



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica
Programa de Engenharia Urbana

LAÍS DE ANDRADE COSTELHA

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PLANEJAMENTO TERRITORIAL
URBANO COM ENFOQUE NOS MOVIMENTOS DE MASSA:
o caso do município de Duque de Caxias - RJ

Rio de Janeiro

2023



UFRJ

LAÍS DE ANDRADE COSTELHA

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PLANEJAMENTO TERRITORIAL
URBANO COM ENFOQUE NOS MOVIMENTOS DE MASSA:
o caso do município de Duque de Caxias - RJ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: D.Sc. Marcos Barreto de Mendonça
Coorientadora: D.Sc. Mônica Bahia Schlee

Rio de Janeiro
2023

C841p Costelha, Laís de Andrade
Proposta metodológica para planejamento territorial urbano com enfoque nos movimentos de massa: o caso do município de Duque de Caxias - RJ / Laís de Andrade Costelha. -- Rio de Janeiro, 2023. 348 f.

Orientador: Marcos Barreto de Mendonça.
Coorientador: Mônica Bahia Schlee.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, 2023.

1. movimentos de massa. 2. suscetibilidade. 3. planejamento territorial urbano. 4. aptidão urbana. 5. gestão de riscos de desastres. I. Mendonça, Marcos Barreto de , orient. II. Schlee, Mônica Bahia , coorient. III. Título.

LAÍS DE ANDRADE COSTELHA

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PLANEJAMENTO TERRITORIAL
URBANO COM ENFOQUE NOS MOVIMENTOS DE MASSA:

o caso do município de Duque de Caxias - RJ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

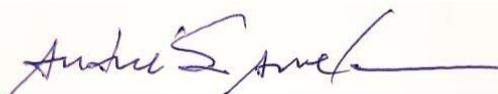
Aprovada pela banca:



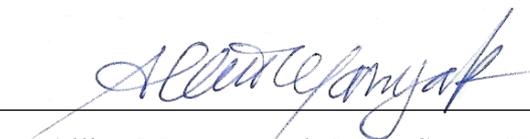
Presidente, Marcos Barreto de Mendonça, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ



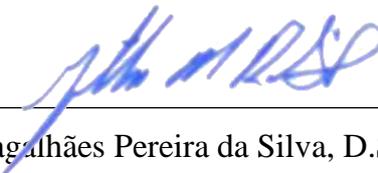
Mônica Bahia Schlee, D.Sc., Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro



André de Souza Avelar, D.Sc., PPGG/UFRJ



Alline Margarete da Mota Serpa, D.Sc., UCP



Jonathas Magalhães Pereira da Silva, D.Sc., PUC-Campinas

Rio de Janeiro

2023

RESUMO

COSTELHA, Laís de Andrade. **Proposta metodológica para planejamento territorial urbano com enfoque nos movimentos de massa: o caso do município de Duque de Caxias - RJ**. Rio de Janeiro, 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Em todo o mundo os desastres socioambientais estão se tornando cada vez mais frequentes, aumentando em número e escala. Essa tendência é em grande parte atribuída ao processo de urbanização ocorrido nas últimas décadas, resultando em passivos significativos para as áreas urbanas. Diante deste cenário, é evidente a necessidade do desenvolvimento de pesquisas para a promoção de cidades com maior resiliência a desastres. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar proposta metodológica para o planejamento territorial urbano com enfoque nos movimentos de massa, por meio do estudo de caso do município de Duque de Caxias - RJ, com intuito de contribuir para a prevenção e mitigação dos riscos de desastres associados a movimentos de massa nos municípios brasileiros. Para tanto, a metodologia proposta visa fornecer embasamento para o planejamento urbano de um município qualquer com base no desenvolvimento de um Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa na escala 1:25.000, uma ferramenta cartográfica de simples aplicação que fornece subsídios para o ordenamento territorial sob a ótica dos desastres associados a movimentos de massa. Como resultado da aplicação metodológica no estudo de caso obteve-se o Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa do município de Duque de Caxias – RJ. Esse mapa foi posteriormente dividido em áreas de análise para o estabelecimento de diretrizes de ocupação, bem como diretrizes para a revisão da legislação urbana do município. Adicionalmente, o estudo gerou um vasto conjunto de informações, mapas e análises urbanas, que têm aplicabilidade abrangente no contexto do planejamento do crescimento urbano do município. Dessa forma, foi possível concluir que a consideração do conhecimento de suscetibilidade a movimentos de massa é determinante para a definição das novas ocupações urbanas e que a ausência de ferramentas para gestão de riscos de desastres no planejamento urbano tem levado à urbanização de áreas inadequadas ou de baixa aptidão urbana, ressaltando a importância de incorporar a suscetibilidade a movimentos de massa no planejamento territorial urbano dos municípios brasileiros.

Palavras-chave: movimentos de massa; suscetibilidade; planejamento territorial urbano; aptidão urbana; gestão de riscos de desastres.

ABSTRACT

COSTELHA, Laís de Andrade. **Methodological proposal for urban territorial planning with a focus on mass movements: the case of the municipality of Duque de Caxias - RJ.** Rio de Janeiro, 2023. Master's thesis (Master in Urban Engineering) - Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Around the world, socio-environmental disasters are becoming more and more frequent, increasing in number and scale. This trend is largely attributed to the urbanization process that has occurred in recent decades, resulting in significant liabilities for urban areas. Given this scenario, it is evident the need to develop research to promote cities with greater resilience to disasters. In this context, the present work aims to present a methodological proposal for urban territorial planning with a focus on mass movements, through the case study of the municipality of Duque de Caxias - RJ, in order to contribute to the prevention and mitigation of disaster risks associated with mass movements in Brazilian municipalities. To this end, the proposed methodology aims to provide a basis for the urban planning of any municipality based on the development of a Simplified Map of Urban Aptitude for Mass Movements at a scale of 1:25,000, a cartographic tool of simple application that provides subsidies for territorial planning with regard to disasters associated with mass movements. As a result of the methodological application in the case study, the Simplified Map of Urban Aptitude for Mass Movements of the municipality of Duque de Caxias - RJ was obtained. This map was later divided into areas of analysis for the establishment of occupation guidelines, as well as guidelines for the revision of the urban legislation of the municipality. Additionally, the study generated a vast set of information, maps, and urban analysis, which have comprehensive applicability in the context of planning the urban growth of the municipality. Thus, it was possible to conclude that the consideration of the knowledge of susceptibility to mass movements is decisive for the definition of new urban occupations and that the absence of tools for disaster risk management in urban planning has led to the urbanization of inadequate areas or areas of low urban suitability, highlighting the importance of incorporating the susceptibility to mass movements in the urban territorial planning of Brazilian municipalities.

Keywords: mass movements; susceptibility; urban territorial planning; urban suitability; disaster risk management.

*Dedico este trabalho ao
meu pai (in memoriam), que me ensinou
o prazer pelo conhecimento e a
resiliência necessária para não desistir.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus, autor e aperfeiçoador da minha fé. Sua presença foi meu sustento inabalável até este momento, iluminando meu caminho nos momentos mais desafiadores, quando eu nada tinha para entregar e esperava apenas sobreviver a mais um dia difícil. Assim, desejo dedicar a Ele não somente esta realização, mas todas as conquistas que se acumularam no passado e as que ainda estão por vir, com plena consciência de que sem Sua graça eu nada seria.

Agradeço ao Arthur, meu amado esposo e companheiro, que sempre se desdobrou entre os papéis de marido, amigo, mentor e aprendiz, constantemente ao meu lado. Ele acreditou mais em mim do que eu mesma. Ele me incentivou, permaneceu firme nos momentos mais turbulentos e me ergueu nos dias mais obscuros. Não hesito em afirmar que sua sabedoria e paciência me conduziram até este desfecho.

Minha gratidão se estende à minha família, aqueles que compartilham tanto das minhas lágrimas como dos meus sorrisos. Cada um à sua maneira única, oferece seu apoio e razões inestimáveis para que eu não perca de vista a beleza da vida. Em especial, desejo expressar meu profundo amor ao meu irmão, Raphael Costelha, que conhece bem meu coração e divide comigo as dores, alegrias e doces lembranças da infância. É através de vocês que encontro a motivação para persistir na batalha, mesmo quando as forças parecem me faltar.

Agradeço também aos meus orientadores Marcos Barreto de Mendonça e Mônica Bahia Schlee, cujas avaliações minuciosas, sugestões valiosas e leituras incansáveis foram fundamentais. No entanto, agradeço sobretudo pela humanidade deles. Acredito firmemente que sem a confiança e paciência que demonstraram ao longo dessa jornada, eu teria desistido. Aliás, houve momentos em que essa ideia pairou sobre mim, mas eles sempre me lembraram da importância e significado da pesquisa que eu havia produzido até então. De fato, foram como anjos de Deus ao meu lado. As palavras não podem expressar quão profundamente grata eu sou por tê-los comigo nessa trajetória.

Expresso minha sincera gratidão ao corpo docente do Programa de Engenharia Urbana (PEU) pelo comprometimento demonstrado e pelo valioso conhecimento transmitido ao longo deste percurso. Também desejo estender meus agradecimentos aos meus colegas de curso, com os quais tive a oportunidade de estabelecer parcerias excepcionais para colaboração mútua e enriquecimento intelectual ao longo de todos os semestres.

Agradeço igualmente aos meus amigos, que constantemente me encorajaram e reconheceram minha capacidade antes que eu mesma fizesse, mostrando uma crença genuína em mim. Ao longo dos obstáculos enfrentados, compartilhei minhas preocupações, e em troca recebi conselhos e palavras de ânimo que me inspiraram. A conexão com eles serviu como um lembrete de que estou rodeada por um círculo de apoio que valoriza e incentiva o meu crescimento.

Agradeço à equipe de Planejamento Urbano de Duque de Caxias: Marcio Wixak, Humberto Magalhães, Yasmin Viana e Miguel Stumbo. Eles não só me incentivaram, como estiveram presentes quando eu me fiz ausente e dividiram comigo não apenas os dias gratificantes de trabalho, mas também forneceram dados de extrema relevância para a elaboração dos mapas desta pesquisa.

Minha gratidão se estende à minha amada amiga e geógrafa Marcelle Rodrigues e ao Dennis Rodrigues da Silva, também geógrafo. Ambos generosamente compartilharam seu tempo e conhecimento, guiando-me através das ferramentas de geoprocessamento, que se mostraram fundamentais para a execução da metodologia adotada neste estudo.

Por fim, mas não menos importante, expresso minha eterna gratidão a duas pessoas que moldaram grande parte daquilo que sou hoje: minha querida avó, Maria Emília Costelha, e meu saudoso pai, Nelson Costelha. Durante a jornada de desenvolvimento desta pesquisa, eles partiram, deixando-me à deriva, sem bússola, energia e ânimo. Cada passo que dei, cada esforço que investi, sempre teve como intuito honrar a dedicação que eles tiveram por mim. Embora não possam testemunhar o desfecho deste caminho, tenho a certeza de que eles estariam preenchidos de orgulho. Continuarei mantendo a chama da luta acesa, seguindo adiante em homenagem a vocês!

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	26
1.1	<i>APRESENTAÇÃO</i>	26
1.2	<i>JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA</i>	28
1.3	<i>OBJETIVOS</i>	29
1.4	<i>METODOLOGIA DE PESQUISA</i>	30
1.5	<i>ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</i>	31
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1	<i>DESASTRES ASSOCIADOS A MOVIMENTOS DE MASSA</i>	33
2.1.1	<i>Conceituação</i>	33
2.1.2	<i>Classificação dos desastres</i>	34
2.1.3	<i>Conceitos Fundamentais sobre Risco</i>	38
2.1.4	<i>Desastres associados a movimentos de massa no Brasil e no mundo</i>	58
2.2	<i>GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES E PLANEJAMENTO URBANO</i>	75
2.2.1	<i>Legislação brasileira</i>	76
2.2.2	<i>Plano Municipal de Redução de Riscos</i>	84
2.2.3	<i>Cartografia geotécnica</i>	86
2.2.4	<i>Experiências de Gestão de Riscos de Desastres no Brasil e no mundo</i>	101
3	PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PLANEJAMENTO TERRITORIAL URBANO ASSOCIADO A MOVIMENTOS DE MASSA	112
3.1	<i>ESCOPO GERAL DA METODOLOGIA</i>	112
3.2	<i>ETAPAS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA</i>	115
3.2.1	<i>Caracterização do Município</i>	115
3.2.2	<i>Levantamento e Consolidação das Informações Cartográficas</i>	116
3.2.3	<i>Elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa</i>	116
4	ESTUDO DE CASO: DUQUE DE CAXIAS – RJ	123
4.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO</i>	123
4.1.1	<i>Panorama político-econômico</i>	125
4.1.2	<i>Histórico</i>	126
4.1.3	<i>Organização Institucional de Duque de Caxias para enfrentamento de desastres</i>	129
4.1.4	<i>Os desastres associados a movimentos de massa em Duque de Caxias</i>	129
4.1.5	<i>Legislação urbana de Duque de Caxias e a Gestão de Riscos de Desastres</i>	133
4.1.6	<i>Plano Municipal de Redução de Riscos de Duque de Caxias</i>	137
4.2	<i>CONSOLIDAÇÃO DAS INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS</i>	139

4.3	<i>ELABORAÇÃO DO MAPA SIMPLIFICADO DE APTIDÃO URBANA FRENTE A MOVIMENTOS DE MASSA DE DUQUE DE CAXIAS</i>	141
4.3.1	<i>Definição de Restrições e Critérios</i>	142
4.3.2	<i>Aplicação da lógica booleana</i>	195
4.3.3	<i>Aplicação da Combinação Linear Ponderada (WLC)</i>	198
4.4	<i>DIRETRIZES PARA PLANEJAMENTO URBANO EM DUQUE DE CAXIAS COM BASE NAS INFORMAÇÕES DE APTIDÃO URBANA FRENTE A MOVIMENTOS DE MASSA</i>	213
4.4.1	<i>Considerações Iniciais</i>	213
4.4.2	<i>Diretrizes de Ocupação da Porção Sul (Áreas 1, 2 e 3)</i>	215
4.4.3	<i>Diretrizes de Ocupação da Porção Norte (Áreas 4 e 5)</i>	221
4.4.4	<i>Diretrizes para revisão da legislação urbana de Duque de Caxias com base no Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa</i>	230
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	251
5.1	<i>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</i>	255
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	256
	APÊNDICE 1 - Maiores desastres associados a movimentos de massa ocorridos no Século XX com mais de 500 mortes	275
	APÊNDICE 2 - Principais desastres por movimentos de massa ocorridos no mundo no Século XXI com mais de 5 mortes (excluído o Brasil)	277
	APÊNDICE 3 - Cartas de Aptidão urbana: principais publicações na literatura brasileira	280
	APÊNDICE 4 - Municípios brasileiros que possuem Carta Geotécnica de Aptidão Urbana (CGAU) concluída até maio de 2023	295
	APÊNDICE 5 - Mapeamento com Uso de Avaliação Multicritério	297
	APÊNDICE 6 - Formulário enviado aos especialistas para aplicação do MÉTODO AHP	317
	APÊNDICE 7 - Aplicação da Metodologia AHP – Respostas Especialistas 1 a 12	329
	APÊNDICE 8 - Fotografias das áreas 4 e 5 da Porção Norte	341
	ANEXO 1 - Macrozoneamento - Zonas de Ocupação (Anexo VI), da Lei Complementar nº 01/2006, Plano Diretor Urbanístico de Duque de Caxias	347
	ANEXO 2 - Macrozoneamento - Zonas Especiais (Anexo VII), da Lei Complementar nº 01/2006, Plano Diretor Urbanístico de Duque de Caxias	348

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Esquema tridimensional: rastejo e seus indícios; (b) Fotografia exemplificando indícios de rastejo.	51
Figura 2 - (a) Esquema tridimensional do escorregamento rotacional; (b) Fotografia exemplificando escorregamento do tipo rotacional; (c) Superfícies de ruptura em escorregamentos simples rotacionais: circular (à esquerda) e não-circular (à direita).....	52
Figura 3 - (a) Esquema tridimensional do escorregamento translacional. (b) Fotografia exemplificando escorregamento do tipo translacional; (c) Superfícies de ruptura em escorregamentos translacionais.	53
Figura 4 - Superfícies de ruptura para um escorregamento misto.	54
Figura 5 - (a) Esquema tridimensional do escorregamento em cunha. (b) Fotografia exemplificando escorregamento em cunha;	55
Figura 6 - (a) e (b) Queda de blocos; (c) e (d) Tombamento de blocos/lajes rochosas; (e) Rolamento de matacões; (f) Deslocamento.	56
Figura 7 - (a) Esquema tridimensional de corrida (ou fluxo) apresentando três zonas na trajetória de movimento sendo elas: (i) zona de iniciação, (ii) zona de transporte e (iii) zona de deposição; (b) Fotografia exemplificando corrida de detritos no Morro do Quitite, Jacarepaguá – RJ, em 1996.	57
Figura 8 - (a) Transporte de sedimentos no fluxo de detritos no Estado de Vargas, na Venezuela; (b) Grande pedregulho (11,3 x 5,0 x 3,5 m); (c) Bairro Los Corales.	63
Figura 9 - (a) Cidade de Zhouqu destruída pelo fluxo de detritos; (b) Edifícios atingidos na zona de deposição; (c) Município inundado a montante do rio Bailong, que foi bloqueado pelos fluxos de detritos.	65
Figura 10 - (a) Polícia de Fronteira Indo-Tibetana (ITBP) resgata pessoas presas no rio inundado; (b) O Templo de Kedarnath, ao fundo, no meio de escorbos, em foto tirada em 20 de junho de 2013; (c) Edifícios destruídos próximo ao rio Alaknanda em Govindghat, no estado de Uttarakhand, em 22 de junho de 2013.	68
Figura 11 - (a) Escorregamento na Serra das Araras no Rio de Janeiro, 1967. (b) Ônibus da Viação Única arrastado pela lama	69
Figura 12 - (a) Vista aérea do Morro Coripós, Blumenau, após o desastre de 2008. (b) Braço do Baú, Ilhota; (c) Blumenau.	71
Figura 13 - (a) Deslizamento em Córrego Dantas, Nova Friburgo, RJ. (b) Deslizamento em Teresópolis, RJ. (c) Deslizamento no condomínio do Lago, Nova Friburgo, RJ.....	74

Figura 14 - Histórico dos principais acontecimentos relacionados à Gestão de Riscos de 1988 a 2012.	79
Figura 15 - Fases para elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos.....	86
Figura 16 - Carta Geotécnica de Suscetibilidade do Município de Magé – RJ elaborada pelo CPRM em 2013 e revisada em 2015.	95
Figura 17 - Trecho da legenda da Carta Geotécnica de Suscetibilidade do Município de Magé – RJ, com a descrição das classes de suscetibilidade a movimentos de massa (alta, média ou baixa) e características predominantes de cada uma.	96
Figura 18 - Carta Geotécnica de Aptidão Urbana do Município de Magé – RJ elaborada pelo CPRM em 2015.	98
Figura 19 - Legenda da Carta Geotécnica de Aptidão Urbana do Município de Magé – RJ, com a descrição das classes de aptidão à urbanização (alta, média, baixa ou nenhuma).....	98
Figura 20 - Carta de Risco a escorregamentos em encostas do Município de Magé – RJ, elaborada pelo DRM em 2011.....	100
Figura 21 - Legenda da Carta de Risco a escorregamentos em encostas do Município de Magé – RJ.....	100
Figura 22 - Proposta de Metodologia para planejamento urbano frente a movimentos de massa com base na suscetibilidade.....	114
Figura 23 - Esquema da metodologia proposta por Coutinho (2013).	118
Figura 24 - Possíveis Restrições e Critérios a serem adotados para criação de um Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa.....	119
Figura 25 - Fluxograma de elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa.....	121
Figura 26 - Mapa de localização de Duque de Caxias.	123
Figura 27 - Mapa de abairramento de Duque de Caxias.	124
Figura 28 - (a) Efeitos do desastre no Bairro Café Torrado, em Xerém; (b) Vista do fluxo torrencial e sua distância do núcleo urbano; (c) Blocos rochosos e matações de corridas de detritos pretéritas, com marcas de fricção e impacto, o que revela o transporte de blocos rochosos.....	133
Figura 29 - Áreas de Risco de Escorregamento de Duque de Caxias segundo o PMRR (2013).	138
Figura 30 - Modelo Hierárquico para aplicação do método AHP.....	144
Figura 31 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Área urbanizada	146

Figura 32 - Trecho da legenda A da CGS de Duque de Caxias indicando alta suscetibilidade a movimentos de massas.	147
Figura 33 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Alta suscetibilidade a Movimentos de Massa.	148
Figura 34 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Zonas de Proteção Ambiental – Unidades de Conservação.....	153
Figura 35 - Manguezal em Duque de Caxias, nas imediações do antigo Aterro de Gramacho.	159
Figura 36 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Zonas de Proteção Ambiental – Áreas de Preservação Permanente.	160
Figura 37 - Croqui representando a Faixa de domínio e a Faixa não-edificável para rodovias federais.....	162
Figura 38 - Faixa de segurança de Linhas de Transmissão de acordo com diferentes tensões.	163
Figura 39 - Placa de segurança indicando de faixa de domínio de dutos enterrados no 2º distrito de Duque de Caxias.	164
Figura 40 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Faixas de domínio e faixas não-edificáveis.....	165
Figura 41 - Trabalho de campo na Cidade dos Meninos para diagnóstico de contaminação no solo.	168
Figura 42 - Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho (AMJG).	170
Figura 43 - Cava ilegal de extração de areia no bairro do Amapá – Duque de Caxias.	173
Figura 44 - (a) e (b) Cavas de extração de areia abandonadas no entorno do Arco Metropolitano, Duque de Caxias.....	174
Figura 45 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Áreas de Risco de Contaminação Ambiental	175
Figura 46 - Mapa de Critério para aplicação da Combinação linear Ponderada: Declividade.	179
Figura 47 - Mapa de Critério para aplicação da Combinação linear Ponderada: Uso e cobertura do solo.	183
Figura 48 - Representação esquemática das unidades taxonômicas geomorfológicas propostas por Ross (1992).	185

Figura 49 - Mapa de Critério para aplicação da Combinação linear Ponderada: Padrões de Relevos.....	191
Figura 50 - Mapa de Critério para aplicação da Combinação linear Ponderada: Estradas não Infraestruturadas em áreas não urbanas.....	194
Figura 51 - Aplicação da Lógica booleana para análise em Duque de Caxias: sobreposição de mapas em ferramenta SIG.	196
Figura 52 - Mapa de Áreas de Restrição de Análise: resultado da aplicação da Lógica Booleana.	197
Figura 53 - Representação do Método de Combinação Linear Ponderada.	198
Figura 54 - Formação acadêmica dos especialistas respondentes do questionário do método AHP.	200
Figura 55 - Tempo de experiência profissional dos especialistas.	200
Figura 56 - Média por especialista dos pesos relativos de cada critério comparado.....	202
Figura 57 - Média por especialista dos pesos relativos de cada classe de critério de Uso e cobertura do solo comparada.	203
Figura 58 - Média por especialista dos pesos relativos de cada classe de critério Estradas não infraestruturadas comparada.....	204
Figura 59 - Aplicação da Combinação linear ponderada para análise em Duque de Caxias: sobreposição de mapas em ferramenta SIG.....	211
Figura 60 - Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa de Duque de Caxias.	212
Figura 61 - Mapa das áreas de análise na Porção Sul e Porção Norte do município.	214
Figura 62 - Mapa das áreas sujeitas a inundação no município.	216
Figura 63 - (a) Parque alagável Yanweizhou, na cidade de Jinhua, em período de seca (b) Parque alagável Yanweizhou em período de cheia.	218
Figura 64 - (a), (b) e (c) Enchentes no Bairro Amapá, registradas por moradores e publicadas na página “Amigo do bairro Amapá”, no Fabebook.	219
Figura 65 - Propaganda do “Programa de Combate às enchentes” veiculada pela Prefeitura Municipal de Duque de Caxias em sua página do Facebook, dia 14 de janeiro de 2021.....	220
Figura 66 - Mapa de análise da Área 4 da Porção Norte do município.....	222
Figura 67 - Loteamentos Bairro Alto da Serra.	223
Figura 68 - Loteamentos Bairro Santo Antônio.	224
Figura 69 - Loteamento Vila Beira Serra, Bairro Santo Antônio.....	225

Figura 70 - Porção Norte - Área 5.	227
Figura 71 - Localização do empreendimento do Grupo Alphaville, elaborado pelo empreendedor.	228
Figura 72 - Mapa do Macrozoneamento do PD (Lei Complementar nº 1, de 31 de outubro de 2006) com modificações realizadas até 2021.	235
Figura 73 - Área Rural Remanescente: sobreposição entre a Área Rural do Decreto nº 841 de 1987 e o Macrozoneamento do Plano Diretor de 2006.	238
Figura 74 - Centralidades Urbanas Hierarquizadas.	243
Figura 75 - Vias ortogonais e paralelas às curvas de nível.	247
Figura 76 - Comparação entre implantação de lotes paralelos ou ortogonais em relação à curvas de nível.	249
Figura 77 - Projeto do arquiteto Marcos Acayaba em terreno acidentado, estruturado sobre pilotis que interfere minimamente no solo e no componente paisagístico.	250
Figura 78 - Diagrama do problema de decisão e classificação dos métodos de decisão multicritério.	299
Figura 79 - Formato de dados raster e vetor.	302
Figura 80 - Camadas de mapas no SIG e sobreposição para avaliação multicritério: entrada e saída.	303
Figura 81 - Esquema ilustrativo do método de sobreposição booleana binária.	305
Figura 82 - Esquema ilustrativo exemplificando a aplicação do método de Combinação Linear Ponderada.	306
Figura 83 - Dois procedimentos para sobreposição de mapas de atributos e mapas de restrições: (a) a padronização é realizada em todas as células nas camadas do mapa de atributos; (b) a padronização é realizada no conjunto de células viáveis.	308
Figura 84 - Exemplo de estruturação hierárquica em dois níveis: critérios e alternativas.	312
Figura 85 - (a) e (b) Ocupação urbana no bairro Santo Antônio (3º distrito), área 4, porção norte.	341
Figura 86 - Escorregamento em encosta da área 5, porção norte.	342
Figura 87 - Cicatrizes de escorregamento em encosta na área 5, porção norte.	342
Figura 88 - Estrada não infraestruturada na área 5, porção norte.	343
Figura 89 - Processo erosivo em encosta adjacente à Estrada do Rio D'ouro, na área 5, porção norte.	343

Figura 90 - (a), (b), (c) e (d) – Cortes de grandes proporções em diferentes encostas da área 5, porção norte.....	344
Figura 91 - (a) e (b)- Cortes de menor proporção em encostas da área 5, porção norte.....	346

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos movimentos de massa proposta por Varnes (1978).....	47
Tabela 2 - Classificação de movimentos de massa proposta por Freire (1965).	48
Tabela 3 - Classificação dos movimentos de massa proposta por Guidicini e Nieble (1984).	49
Tabela 4 - Classificação de movimentos de massa proposta por Augusto Filho (1992).....	50
Tabela 5 - Desastres por movimento de massa ocorridos no Brasil.....	60
Tabela 8 - Desastres associados total ou parcialmente a movimentos de massa em Duque de Caxias entre 1996 e 2015.....	130
Tabela 9 - Relação entre padrões de relevo e grau de influência na suscetibilidade para cidades do RS, SC e para o município do estudo: Duque de Caxias -RJ.	208
Tabela 6 - Escala Fundamental de Saaty.	313
Tabela 7 - Índices randômicos (IR) para $n = 1, 2, 3...15$	316

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos desastres quanto à intensidade conforme Instrução normativa nº 2.	35
Quadro 2 - Classificação dos desastres quanto à evolução.	36
Quadro 3 - Classificação dos desastres quanto à origem conforme proposta pelo COBRADE.	36
Quadro 4 - Classificação dos desastres associados a movimentos de massa conforme proposta pelo COBRADE.	37
Quadro 5 - Classificação dos desastres quanto à origem conforme CODAR.	38
Quadro 6 - Porcentagem das edificações atingidas localizadas em área plana, morro, próximo a talude ou margem de rio - Municípios de SC, desastre de 2008.	72
Quadro 7 - Definições de mapa, planta e carta geotécnicos.	88
Quadro 8 - Escala do mapa geotécnico.	90
Quadro 9 - Zoneamento de risco, escalas de análise e aplicação.	91
Quadro 10 - Escalas de mapeamento de zoneamento de movimentos e massa e sua aplicação.	92
Quadro 11 - Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano – escalas e processos mapeáveis.	93
Quadro 12 - Tipos de Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbana.	117
Quadro 13 - População urbana e rural de Duque de Caxias entre 1940 e 2010.	125
Quadro 14 - Plano Diretor e leis complementares e a prevenção de riscos de desastres em Duque de Caxias.	134
Quadro 15 - Legislação urbana municipal específica e a prevenção de riscos de desastres em Duque de Caxias.	137
Quadro 16 - Dados e fonte de dados utilizados na elaboração dos mapas temáticos de Duque de Caxias.	139
Quadro 17 - Restrições e Critérios selecionados para a elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa do município de Duque de Caxias.	143
Quadro 18 - Unidades de Conservação em Duque de Caxias/ RJ nos âmbitos federal, estadual e municipal.	151
Quadro 19 - Parâmetros adotados para APP de cursos d'água, vigentes na lei municipal de Duque de Caxias e na lei federal.	155

Quadro 20 - Principais cursos d'água em Duque de Caxias com largura inferior a 10 m.	156
Quadro 21 - Principais cursos d'água em Duque de Caxias com largura entre 10 e 50m.	157
Quadro 22 - Principais cursos d'água em Duque de Caxias com largura entre 50 e 200m. ..	157
Quadro 23 - Faixas de domínio em Duque de Caxias.	163
Quadro 24 - Definições das Classes de Declividade com base na USDA (United States Department of Agriculture).	176
Quadro 25 - Classes de Declividade para ocupação urbana (CUNHA, 1991).	177
Quadro 26 - Classes de Declividade conforme Souza e Sobreira (2014).	177
Quadro 27 - Classes de uso e cobertura do solo.	181
Quadro 28 - Padrões de relevo e parâmetros básicos identificados no município de Duque de Caxias -RJ.	187
Quadro 29 - Média total e por formação do especialista dos pesos relativos de cada critério comparado.	202
Quadro 30 - Média total e por formação do especialista dos pesos relativos de cada classe de critério de Uso e cobertura do solo comparada.	203
Quadro 31 - Média total e por especialista dos pesos relativos de cada classe de critério de Estradas não infraestruturadas comparada.	204
Quadro 32 - Correlação entre grau de influência na suscetibilidade a movimentos de massa e valor adotado.	205
Quadro 33 - Características dos critérios e processo de normalização dos dados.	206
Quadro 34 - Classes de declividade a grau de influência na suscetibilidade adotado.	206
Quadro 35 - Classes de Uso e cobertura do solo a grau de influência na suscetibilidade adotado.	207
Quadro 36 - Classes de Padrões de Relevo e grau de suscetibilidade adotado.	208
Quadro 37 - Classes de Estradas não infraestruturadas e grau de influência na suscetibilidade adotado.	209
Quadro 38 - Grau de aptidão urbana e cor de representação no mapa.	210
Quadro 39 - Leis que alteram a Lei Complementar nº 1, de 31 de outubro de 2006 até mai/2023.	231
Quadro 40 - Diretrizes de Zonas Especiais (Zonas Especiais de Centros).	240
Quadro 41 - Declividades longitudinais das vias que asseguram o escoamento das águas sem produzir erosão no pavimento.	245
Quadro 42 - Vantagens e desvantagens dos traçados dos sistemas viários.	246

Quadro 43 - Exemplos de alguns métodos multicritérios.....	299
Quadro 44 - Matriz de comparação em pares.....	313

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Combinação Linear Ponderada	305
Equação 2 - Combinação Linear Ponderada X Restrições	307
Equação 3 - Transformação em Escala Linear – Tipo 1 (Somatório)	309
Equação 4 - Transformação em Escala Linear – Tipo 2 (Pontuação Máxima).....	309
Equação 5 - Transformação em Escala Linear – Tipo 3 (Intervalo de Pontuação).....	310
Equação 6 - Índice de Consistência AHP	315
Equação 7 - Razão de Consistência AHP	315

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analytic Hierarchy Process
APA	Área de Proteção Ambiental
APAIGU	Área de Proteção Ambiental do Alto Iguaçu
APP	Área de Proteção Permanente
ADRC	Asian Disaster Reduction Center
ARG	Área de Risco Geológico
BHRI	Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí
CGAU	Carta Geotécnica de Aptidão Urbana
CGS	Carta Geotécnica de Suscetibilidade
CGRG	Carta Geotécnica de Risco Geológico
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CREA-RJ	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro
DRM	Departamento de Recursos Minerais
ECP	Estado de Calamidade Pública
EM-DAT	Banco de Dados Internacional de Desastres
FUNCAP	Fundo Especial para Calamidades Públicas
GLIDE	Global Disaster Identifier Number
GRD	Gestão de Risco de Desastre
IAEG	Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISRM	International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering
JTC-1	Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes
MADM	Multiple Attribute Decision Making
MCDA	Multiple Criteria Decision Analysis / Multiple Criteria Decision Aid
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
MCE	Multicriteria Evaluation
MDT	Modelo Digital de Terreno
MODM	Multiple Objective Decision Making
OCHA	UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
ONU	Organização das Nações Unidas
PDUI	Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado
PLANCON	Plano de Contingência
PMDC	Prefeitura Municipal de Duque de Caxias
PMRR	Plano Municipal de Redução de Riscos
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UC	Unidade de Conservação
UCPI	Unidades de Conservação de Proteção Integral
UCUS	Unidades de Conservação de Uso Sustentável
UERJ	Universidade Estadual do Rio de Janeiro
UFABC	Universidade Federal do ABC
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFPA	Universidade Federal do Paraná

UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UnB	Universidade de Brasília
UNESP	Universidade Estadual de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O planejamento territorial e urbano para ocupação de novas áreas e reorganização das áreas já ocupadas é de extrema importância para o estabelecimento de formas de ocupação que visem o equilíbrio morfodinâmico das encostas, sobretudo nas áreas de expansão das cidades. Para tanto, o conhecimento do meio físico constitui-se como um dos principais fatores a serem considerados na orientação do processo de ocupação do solo, de modo a minimizar os riscos de desastres socioambientais associados a movimentos de massa.

Em todo o mundo os desastres socioambientais são cada vez mais frequentes, com número de registros e vítimas fatais que vem se acelerando e ampliando, principalmente em função do processo de urbanização das últimas décadas, o qual traz como consequência grandes passivos para as cidades (UNISDR, 2004). Além disso, as mudanças climáticas provocam o aumento de eventos de intensa pluviosidade, que são fatores deflagradores de movimentos de massa, tornando esses processos mais frequentes, bem como os desastres a estes associados (QIGEN LIN et al., 2020).

Os movimentos de massa são fenômenos que resultam de processos naturais e/ou induzidos pelo homem quando o solo e/ou rocha, às vezes juntamente com a vegetação, são deslocados pela ação da gravidade encosta abaixo. Trata-se de um fenômeno que, quando afeta comunidades, configura uma situação de desastre com impactos materiais e humanos. A suscetibilidade natural da encosta a esse fenômeno, que depende de condicionantes geológico-geotécnicos, pode ser acentuada pela ação antrópica, por meio de demandas e imposições que levam às alterações das encostas urbanas, destacando-se entre elas: supressão da cobertura vegetal natural; movimentação de solos através da execução de cortes e aterros para implantação de edificações e acessos; despejo de detritos como lixo e/ou entulho que causam sobrecarga sobre as encostas; alteração das linhas de drenagem natural e consequente modificação do regime de escoamento e infiltração das águas pluviais; entre outros fatores que causam a instabilização das massas de solo e de rocha. Além disso, é oportuno citar os efeitos indiretos da ocupação inadequada das áreas de encostas, que promovem por meio da erosão e dos movimentos de massa o assoreamento dos cursos d'água, favorecendo as inundações nas baixadas. (FARAH, 2003)

Segundo Carmo e Anazawa (2014) e Girão et al. (2007), os diversos desastres registrados no Brasil decorrem da forma de ocupação, que se constitui no principal fator modificador e desencadeador da desestabilização das encostas em áreas urbanas. A crescente urbanização ocorre

paralelamente ao crescimento da pobreza urbana e segregação socioespacial (DAVIS, 2006), que aliados a deficiente política habitacional corroboram para o processo de ocupação de áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações. De acordo com Maricato (2003), a ocupação não legalizada do solo é coerente com o mercado imobiliário capitalista, cuja lógica impossibilita aos pobres a oportunidade de habitar o mesmo espaço urbano valorizado em que moram os que podem pagar. São nas áreas rejeitadas pelo mercado imobiliário privado e nas áreas públicas em regiões desvalorizadas que a população trabalhadora pobre encontra local para estabelecer moradia: encostas, margens de cursos d'água, áreas sujeitas à inundação, entre outras. Conforme exposto por Farah (2003), no Brasil perpetua-se a implacável tendência de ocupação das encostas por setores habitacionais de baixa renda formais ou informais em decorrência dos interesses da indústria imobiliária, que rapidamente angaria os sítios planos e valorizados, restando os terrenos mais problemáticos para os mais pobres.

Em suma, e crescimento populacional em larga escala concomitante a falta de acesso pela população de baixa renda ao mercado imobiliário privado, que deixa de fora mais da metade das populações urbanas, promove a ocupação de áreas não aptas ao desenvolvimento urbano e reflete o problema da ausência de alternativa habitacional para os mais pobres (MARICATO, 2013). Essa situação transformou-se num passivo ambiental e social urbano de proporções muito elevadas, aumentando as situações de risco de desastres.

Neste processo, a ocupação indiscriminada de áreas suscetíveis a movimentos de massa e os desastres decorrentes causam prejuízos imensuráveis tanto para a população como para o poder público, com consequências que abrangem sobretudo a perda de vidas, além dos danos ao patrimônio das famílias atingidas no caso de sobrevivência, os altos investimentos em operações de resgates e os custos de obras para estabilização das áreas atingidas (FARAH, 2003).

Cabe ressaltar que, embora o processo de degradação das encostas seja evidente por meio da ocupação irregular promovido pela população de baixa renda, os bairros formais de alta renda situados nas encostas também não cumprem integralmente a legislação vigente, seja por meio da impermeabilização excessiva do solo, da remoção da vegetação arbórea, bem como acréscimos construtivos verticais e horizontais não aprovados no órgão competente (SCHLEE, 2011).

Destaca-se ainda a questão da paisagem urbana e a importância da manutenção dos sistemas de espaços livres em áreas de encostas, de modo a fortalecer a proteção das florestas e a resiliência e sustentabilidade destes sistemas paisagísticos, enfatizando a proposta de planejamento sustentável por meio da conciliação entre o patrimônio ambiental e as demandas sociais e econômicas (SCHLEE, 2011).

Dessa maneira, entende-se que a desarticulação entre a ocupação do solo urbano e as condições ambientais traz desafios imensuráveis para as cidades brasileiras quanto ao risco de desastres, que perpassam necessariamente pela busca do desenvolvimento urbano resiliente. Sabe-se que soluções isoladas, como as ações estruturais de estabilização de encostas, não reduzem significativamente o problema, sendo fundamental traçar estratégias de cunho transdisciplinar para enfrentar as dificuldades de adaptar as cidades para a resiliência. Em função disso, tem-se destacado a importância de ações não estruturais que envolvem, por exemplo, sistemas de alerta, cartografia geotécnica, legislação específica e planejamento urbano (CARVALHO, 2015).

Diante do exposto, este trabalho busca contribuir para o progresso dos estudos em direção à promoção de cidades resilientes a desastres a partir da investigação de como as considerações de suscetibilidade e de riscos associados a movimentos de massa podem inserir-se no planejamento urbano dos municípios brasileiros para cooperar com a prevenção e mitigação dos riscos. Como estudo de caso, propõe-se analisar as áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Duque de Caxias, a fim de definir as áreas aptas e não-aptas a ocupação urbana, de modo a colaborar com as decisões do planejamento urbano do Município.

1.2 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

O conhecimento acerca dos riscos socioambientais é de extrema relevância para a gestão municipal. Embora ainda seja comumente tratado nos municípios de forma isolada como uma responsabilidade da defesa civil através, principalmente, das ações de resposta e recuperação, sabe-se que para obtenção de resultados mais eficientes é fundamental uma abordagem sistêmica através da prevenção e mitigação. Para tanto, entende-se que as considerações de suscetibilidade e riscos socioambientais, como os associados a movimentos de massa, necessitam ser urgentemente introduzidas na agenda do planejamento territorial e urbano em conformidade com as orientações estabelecidas pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC (lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012). Vale ressaltar que a PNPDEC também deu nova redação ao Estatuto da Cidade (lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001), estabelecendo diretrizes para que a política urbana passe a considerar os riscos de desastres.

Diante desse quadro, observa-se a necessidade de se considerar o conhecimento acerca de suscetibilidade e riscos associados a movimentos de massa no planejamento territorial e urbano dos municípios. Assim, este estudo busca traçar um panorama de como tais informações podem contribuir na revisão do Plano Diretor Municipal e na elaboração e/ou revisão da legislação urbanística dos municípios (leis de uso e ocupação do solo e parcelamento urbano). Além disso,

será importante para direcionar os trabalhos da fiscalização urbana (ao definir as áreas que merecem maior atenção quanto a ocupação), licenciamento (na apreciação e aprovação de parcelamento e edificações) e obras (definição da localização de escolas, creches e unidades de saúde pelos setores responsáveis por projetos de infraestrutura e equipamentos urbanos do município).

No que tange ao estudo de caso do presente trabalho, foi escolhido o município de Duque de Caxias, na região metropolitana do Rio de Janeiro (RJ). Isto porque, embora este município possua áreas suscetíveis a movimentos de massa, a questão do risco de desastre não tem sido trabalhada dentro do planejamento territorial e urbano. Essa constatação é possível, dentre outros motivos, devido a vivência da autora desta pesquisa, servidora concursada deste município desde 2015 e atuante no setor de Planejamento Urbano.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho consiste em apresentar proposta metodológica para o planejamento territorial urbano com enfoque nos movimentos de massa, por meio do estudo de caso do município de Duque de Caxias - RJ.

Quanto aos objetivos específicos, tem-se:

- Sistematizar o conhecimento acerca dos desastres associados a movimentos de massa e suas relações com o uso e ocupação do solo, a fim de compreender as teorias, conceitos e abordagens metodológicas relevantes para o tema.
- Analisar experiências anteriores relacionadas ao planejamento territorial e urbano em áreas afetadas por movimentos de massa, visando identificar lições aprendidas, boas práticas, ferramentas e medidas de Gestão de Riscos de Desastres (GRD);
- Elaborar Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa em escala de planejamento (1:25.000) para o Município de Duque de Caxias, com base nos conceitos teórico-metodológicos adotados pelo Ministério das Cidades em 2011 (BATISTA et al., 2015);
- Propor diretrizes e recomendações de planejamento territorial urbano para o Município de Duque de Caxias com enfoque nos movimentos de massa, considerando os resultados do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa proposto e as peculiaridades do município.

1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Considerando o objeto de pesquisa do planejamento territorial e urbano com enfoque nos movimentos de massa, por meio do estudo de caso do município de Duque de Caxias – RJ, o objetivo deste estudo é construir uma proposta metodológica para aplicação em qualquer município brasileiro, sendo, portanto, uma pesquisa de natureza aplicada e de abordagem metodológica. Para tanto, esta pesquisa será delineada por meio de procedimentos técnicos bibliográficos, documentais e de estudo de caso.

O primeiro procedimento básico consistirá na compreensão do conteúdo relacionado ao tema dos desastres, em particular os desastres associados a movimentos de massa, para posteriormente relacioná-lo ao planejamento territorial e urbano. Será realizada uma investigação aprofundada sobre a relação entre a gestão de riscos de desastres e o planejamento territorial e urbano, explorando as ferramentas que podem ser utilizadas para a prevenção de tais desastres, como a legislação urbanística e o mapeamento geotécnico. Essa etapa será iniciada por meio de uma revisão bibliográfica abrangendo riscos de desastres, movimentos de massa e gestão de risco de desastres, sempre buscando elucidar o tema através da análise de casos emblemáticos e referências de boas práticas, a fim de traçar o panorama do estado da arte. Simultaneamente, será realizada uma pesquisa documental em plataformas de dados sobre desastres e notícias de jornais, com o propósito de construir um histórico atualizado dos principais desastres ocorridos no Brasil e no mundo. Nesta primeira etapa, o objetivo será fornecer subsídios principalmente aos urbanistas e planejadores urbanos que possam não estar familiarizados com os conceitos e termos técnicos da área dos desastres associados a movimentos de massa.

Na fase seguinte, será elaborada uma proposta metodológica a ser aplicada ao município selecionado para o estudo de caso: Duque de Caxias, na Baixada Fluminense do Rio de Janeiro, concentrando-se nesta etapa em desenvolver e aprimorar métodos e técnicas para abordar o problema da falta de efetividade na consideração dos desastres associados a movimentos de massa no contexto do planejamento territorial e urbano.

Posteriormente, para o desenvolvimento do estudo de caso, será realizado o procedimento de coleta de dados de diferentes fontes, a exemplo dos órgãos governamentais como o Serviço Geológico do Brasil – CPRM e a Prefeitura Municipal de Duque de Caxias – RJ. Além disso, será aplicada a Técnica participatória, por meio de questionário enviado a diferentes especialistas, e será realizada visita a campo para reconhecimento do território, com foco na ocupação urbana de áreas suscetíveis a movimentos de massa. Será dado também destaque ao uso da cartografia geotécnica como subsídio para planejamento urbano, com a elaboração do Mapa Simplificado de

Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa em escala de planejamento (1:25.000), de acordo com métodos encontrados na literatura e utilizando o software de geoprocessamento ArcGis. Em seguida, com o resultado do mapa elaborado e o conhecimento prévio da pesquisadora sobre o município, será realizada a análise e discussão dos resultados, com a proposição de diretrizes e recomendações para a ocupação urbana de Duque de Caxias e revisão da sua legislação urbana vigente.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos, da seguinte maneira:

O **Capítulo 1** trata da Introdução ao tema tratado na dissertação, incluindo a Justificativa da escolha do tema, os Objetivos, a Metodologia de pesquisa e a Estrutura da dissertação.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica da pesquisa. É apresentada a fundamentação teórica acerca dos desastres associados a movimentos de massa, abrangendo a definição dos conceitos e classificação de desastres em geral, conceitos fundamentais sobre desastres (tais como perigo ou ameaça, vulnerabilidade e risco) e a caracterização dos movimentos de massa. A fim de melhor elucidar o tema, foram escolhidos seis significativos exemplos de desastres associados a movimentos de massa ocorridos no Brasil e no mundo. Posteriormente é abordado o planejamento urbano e a gestão de riscos de desastres. Para tanto, é oferecido um panorama geral sobre a legislação acerca do tema e o papel do mapeamento geotécnico como ferramenta no planejamento urbano. Também são descritas algumas experiências nacionais e internacionais que servem de referência para a tratativa do tema.

O **Capítulo 3** apresenta proposta metodológica para consideração do conhecimento acerca da suscetibilidade e risco associados a movimentos de massa na orientação do planejamento do uso do solo em áreas não ocupadas. Para tanto, apresenta-se as etapas para a confecção de um Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa que tem por objetivo fornecer subsídios que amparem as decisões de planejamento municipal. Desse modo, é apresentada toda a metodologia para elaboração do mapa com base nas informações disponíveis por cada município.

O **Capítulo 4** apresenta o Estudo de Caso para aplicação da proposta metodológica do Capítulo 3, a partir da aplicação das informações de suscetibilidade e risco associados a movimentos de massa no planejamento urbano de Duque de Caxias. Para isso, é realizada a caracterização da área de estudo, um breve histórico da ocorrência de desastres associados a movimentos de massa e a confecção de um Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a

Movimentos de Massa para o município. Por fim, são propostas diretrizes para o planejamento urbano nas áreas não ocupadas de Duque de Caxias, excluídas as áreas restritas por impeditivos legais e técnicos.

No **Capítulo 5** são apresentadas tanto as considerações finais acerca do que foi discutido nos capítulos anteriores, bem como possíveis lacunas do trabalho proposto e sugestões para os trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESASTRES ASSOCIADOS A MOVIMENTOS DE MASSA

2.1.1 Conceituação

O “Manual de Proteção e Defesa Civil: Glossário de Proteção e Defesa Civil” define desastre como o resultado de eventos adversos, naturais, tecnológicos ou de origem antrópica, sobre um cenário vulnerável exposto à ameaça, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais (BRASIL, 2017).

É interessante observar que o desastre ocorre quando determinado evento (natural ou não) constitui um impacto na sociedade. Neste sentido, Tobin e Montz (1997) descrevem que:

Um desastre pode ser definido livremente como um evento perigoso que perturba significativamente o funcionamento da sociedade. Pode ou não levar a mortes, mas geralmente tem impactos econômicos severos. (TOBIN; MONTZ, 1997)

Do mesmo modo, Abarquez e Murshed (2004) conceituam o desastre como uma séria perturbação na sociedade causando perdas humanas, materiais ou ambientais generalizadas, que excedem a capacidade das comunidades afetadas de lidarem com as consequências através dos próprios recursos. Acrescentam ainda que, os desastres ocorrem quando os efeitos negativos dos perigos não são bem gerenciados.

É importante observar que as definições expostas enfatizam a relação entre a questão do meio físico e a questão social, dado que o aumento dos desastres está relacionado ao desenvolvimento humano e como as intervenções antrópicas agravam a vulnerabilidade das populações a tais eventos, sendo, portanto, também utilizada a denominação desastres sicionaturais (UGARTE, 2014).

Esse entendimento é evidenciado por Valencio (2009), que apresenta uma abordagem dos desastres na esfera da sociologia:

(...) os desastres ditos naturais não são, para a ciência supra, objetos cuja investigação repousa centralmente em variáveis independentes relacionadas intrinsecamente com os fenômenos naturais. A compreensão dos desastres para a Sociologia focaliza centralmente a estrutura e dinâmica social que, num âmbito multidimensional e multiescalar, dá ensejo a variadas interpretações acerca das relações sociais territorial, institucional e historicamente produzidas. (VALENCIO, 2009)

Com relação ao exposto acima, este trabalho compartilha do entendimento de que os desastres são produto de múltiplos fatores que perpassam as questões naturais e em sua maioria estão ligados a ações antrópicas no meio ambiente. Portanto, o termo “desastres socioambientais” (equivalente a “desastres socionaturais”) é mais adequado que o termo “desastres naturais”, comumente utilizado na literatura.

2.1.2 Classificação dos desastres

Quanto a classificação dos desastres, o Anexo A (Classificação Geral dos Desastres) à Política Nacional de Defesa Civil (PNDC)¹, utilizou três critérios: intensidade, evolução e origem (BRASIL, 2000), corroborados pela abordagem de Castro (1998) no Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres.

As classificações relativas à intensidade e origem propostas nos documentos acima sofreram alterações, passando a vigorar conforme a Instrução normativa nº 2 de 20 de dezembro de 2016² do Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2016), quanto aos itens descritos a seguir.

I. Classificação quanto à intensidade

A intensidade dos desastres pode ser definida em termos absolutos ou a partir da relação entre a necessidade de recursos e a disponibilidade destes na área afetada para restabelecer a situação de normalidade (BRASIL, 2000). Castro (1998) descreve esta segunda definição como “termos relativos” e enfatiza que tal classificação é mais precisa e útil para a administração de desastres.

A classificação dos desastres quanto à intensidade adotada pelo Governo Federal está descrita na Instrução normativa nº 2, em substituição a classificação proposta pela Política Nacional de Defesa Civil (BRASIL, 2000) e pelo Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres (CASTRO, 1998). Enquanto estes propunham a divisão em 4 níveis (Pequena intensidade ou porte / acidente; média intensidade ou porte; grande intensidade ou porte;

¹ Aprovada pelo CONDEC (Conselho Nacional de Defesa Civil), através da Resolução nº 2, de 12/12/94, e publicada na Seção 1 do Diário Oficial da União de 02/01/95, com a alteração de seus anexos conforme a Resolução nº 4, de 02/07/99, publicada na Seção 1 do Diário Oficial da União de 05/08/99.

² Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências.

muito grande intensidade ou porte), a Instrução normativa nº 2 em seu artigo 2º propõe 3 níveis de classificação quanto a intensidade, conforme Quadro 1:

Quadro 1 - Classificação dos desastres quanto à intensidade conforme Instrução normativa nº 2.

Nível	Intensidade	Descrição	Resposta e recuperação
Nível I	Pequena intensidade	Há somente danos humanos consideráveis. (§ 1º, art. 2º)	A situação de normalidade pode ser restabelecida com os recursos mobilizados em nível local ou complementados com o aporte de recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência – SE)
Nível II	Média intensidade	Os danos e prejuízos são suportáveis e superáveis pelos governos locais. Caracterizados pela ocorrência de ao menos dois danos, sendo um deles obrigatoriamente danos humanos que importem no prejuízo econômico público ou no prejuízo econômico privado que afetem a capacidade do poder público local em responder e gerenciar a crise instalada. (§ 2º do art. 2º; art. 3º)	A situação de normalidade pode ser restabelecida com os recursos mobilizados em nível local ou complementados com o aporte de recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência – SE)
Nível III	Grande intensidade	Os danos e prejuízos não são superáveis e suportáveis pelos governos locais. Caracterizados pela concomitância na existência de óbitos, isolamento de população, interrupção de serviços essenciais, interdição ou destruição de unidades habitacionais, danificação ou destruição de instalações públicas prestadoras de serviços essenciais e obras de infraestrutura pública. (§ 3º do art. 2º; art. 4º)	A situação de normalidade depende da mobilização e da ação coordenada das três esferas de atuação do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e, em alguns casos, de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública – ECP)

Fonte: Brasil (2016).

II. Classificação quanto à evolução

De acordo com Castro (1998), quanto à evolução os desastres são classificados em: desastres súbitos ou de evolução aguda; desastres graduais ou de evolução crônica; desastres por somação de efeitos parciais (Quadro 2).

Quadro 2 - Classificação dos desastres quanto à evolução.

Tipo	Descrição	Realidade brasileira
Desastres súbitos ou de evolução aguda	Esses desastres caracterizam-se pela subtaneidade, pela velocidade com que o processo evolui e, normalmente, pela violência dos eventos adversos causadores deles. Podem ocorrer de forma inesperada e surpreendente ou ter características cíclicas e sazonais, sendo facilmente previsíveis. Ex.: Inundações bruscas e tornados.	No Brasil, os desastres de natureza cíclica e caráter sazonal são os de maior prevalência.
Desastres Graduais de Evolução Crônica	Esses desastres, ao contrário dos súbitos, caracterizam-se por serem insidiosos e por evoluírem através de etapas de agravamento progressivo. Ex.: Inundações graduais e secas.	No Brasil, o desastre mais importante é a seca, pois apresenta essa característica de agravamento progressivo.
Desastres por Somação de Efeitos Parciais	Esses desastres caracterizam-se pela somação de numerosos acidentes (ou ocorrências) semelhantes, cujos danos, quando somados ao término de um determinado período, definem um desastre muito importante. Ex.: Acidentes de trânsito e de trabalho.	No Brasil, os estudos epidemiológicos demonstram que os desastres por somação de efeitos parciais são os que provocam os maiores danos anuais. Dentre os desastres por somação de efeitos parciais, destacam-se: os acidentes de trânsito; os acidentes de trabalho; os acidentes com crianças no ambiente domiciliar e peridomiciliar.

Fonte: Glossário da Defesa Civil Nacional. Castro (1998).

III. Classificação quanto à origem

Quanto à origem, os desastres são classificados em naturais e tecnológicos (Quadro 3), de acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)³, anexo V da Instrução normativa nº 2 em vigor, conforme descrito em seu artigo 13. A COBRADE substituiu a CODAR (Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos), instituído na Política Nacional de Defesa Civil.

Quadro 3 - Classificação dos desastres quanto à origem conforme proposta pelo COBRADE.

Classificação	Definição	Grupo
Desastres Naturais	São desastres naturais os causados por processos ou fenômenos naturais que podem implicar em perdas humanas ou outros impactos à saúde, danos ao meio ambiente, à propriedade; provocam interrupção dos serviços e distúrbios sociais e econômicos.	1. Geológico
		2. Hidrológico
		3. Meteorológico

³ A COBRADE foi instituída por meio da Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012, posteriormente revogada pela Instrução normativa nº 2, de 2016, em seu artigo 17.

		4. Climatológico
		5. Biológico
Desastres Tecnológicos	São desastres tecnológicos aqueles originados de condições tecnológicas ou industriais, incluindo acidentes, procedimentos perigosos, falhas na infraestrutura ou atividades humanas específicas, que podem implicar em perdas humanas ou outros impactos à saúde, danos ao meio ambiente, à propriedade, interrupção dos serviços e distúrbios sociais e econômicos.	1. Desastres relacionados a substâncias radioativas
		2. Desastres relacionados a produtos perigosos
		3. Desastres relacionados a incêndios urbanos
		4. Desastres relacionados a obras civis
		5. Desastres relacionados a transporte de passageiros e cargas não perigosas

Fonte: Brasil (2016).

A classificação do COBRADE divide ainda os desastres naturais e tecnológicos em grupos, subgrupos, tipos e subtipos. A título de exemplo, os movimentos de massa, objeto de estudo deste trabalho, são classificados conforme o Quadro 4:

Quadro 4 - Classificação dos desastres associados a movimentos de massa conforme proposta pelo COBRADE.

Desastre	Grupo	Subgrupo	Tipo	Subtipo	CobraDE
Naturais	Geológico	Movimento de massa	Quedas, tombamentos e rolamentos	Blocos	1.1.3.1.1
				Lascas	1.1.3.1.2
				Matacões	1.1.3.1.3
				Lajes	1.1.3.1.4
			Deslizamentos	Deslizamentos de solo e/ou rocha	1.1.3.2.1
			Corridas de massa	Solo/ Lama	1.1.3.3.1
				Rocha/ Detrito	1.1.3.3.2
			Subsidências e colapsos	-	1.1.3.4.0

Fonte: Brasil (2016).

A COBRADE foi elaborada a partir da classificação utilizada pela Base de Dados de Desastres de Emergência (*Emergency Events Database*, EM-DAT) com a inclusão de alguns desastres peculiares à realidade brasileira (BRASIL, 2012). A EM-DAT constitui a fonte oficial de dados estatísticos a nível de desastres da Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction*, UNISDR).

Assim, a implementação da COBRADE objetivou a adequação da classificação brasileira à utilizada pela ONU e demais organismos internacionais, possibilitando que o Brasil pudesse contribuir com a alimentação desse importante Banco de Dados Internacional.

Além disso, a substituição da CODAR pela COBRADE atendeu a necessidade de simplificação e adequação da classificação adotada: o primeiro modelo continha desastres jamais ocorridos ou decretados no país e era dividida em três categorias (naturais, humanos ou antropogênicos e mistos) (Quadro 5). Vale ressaltar que essa mudança trouxe inclusive impacto colateral relativo às discussões entre os especialistas acerca da nomenclatura desastres mistos, notadamente controversa, conforme descrito em Brasil (2000) e Marcelino (2008):

Embora clássica, a classificação dos desastres quanto à tipologia em naturais, humanos e mistos vem sendo contestada por autores modernos, que tendem a rotular todos os desastres como mistos (BRASIL, 2000).

De acordo com as normativas da Política Nacional de Defesa Civil, existem três tipos de desastres: naturais, humanos e mistos. Nessa abordagem, a diferença está basicamente no nível de intervenção humana. Entretanto, se considerarmos somente este critério, a grande maioria dos desastres conhecidos como naturais, seriam de fato desastres mistos (MARCELINO, 2008).

Quadro 5 - Classificação dos desastres quanto à origem conforme CODAR.

Tipo	Descrição
Desastres Naturais	São aqueles provocados por fenômenos e desequilíbrios da natureza e produzidos por fatores de origem externa que atuam independentemente da ação humana.
Desastres Humanos ou Antropogênicos	São aqueles provocados por ações ou omissões humanas. Relacionam-se com o próprio homem, enquanto agente e autor. Por isso, são produzidos por fatores de origem interna. Esses desastres podem produzir situações capazes de gerar grandes danos à natureza, aos habitats humanos e ao próprio homem, enquanto espécie.
Desastres mistos	Ocorrem quando as ações ou omissões humanas contribuem para intensificar, complicar e/ou agravar desastres naturais. Caracterizam-se, também, por intercorrências de fenômenos adversos naturais que atuam sobre condições ambientais degradadas pelo homem, provocando desastres.

Fonte: Brasil (2000).

2.1.3 Conceitos Fundamentais sobre Risco

Os conceitos básicos e terminologia relativos a desastres e riscos são temas que têm gerado debates na construção deste campo multidisciplinar do conhecimento técnico-científico (NOGUEIRA, 2002).

Fell et al. (2008) expõem que entre países e até mesmo dentro de um mesmo país existe pouca uniformidade em terminologia e os resultados do zoneamento de movimentos de massa muitas vezes não são precisamente definidos. Como consequência, suscetibilidade, perigo e risco são constantemente trocados em mapas de zoneamento de movimentos de massa.

Varnes (1984) afirmou que àquela época muitas publicações de diversos autores usavam diferentes significados para termos como perigo, risco e vulnerabilidade, o que o fez propor as seguintes definições que, segundo Tominaga (2007), são as mais utilizadas nos estudos de perigos e riscos a deslizamentos:

- **Perigo Natural – H (*Natural Hazard*)** – significa a probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente danoso dentro de um período de tempo específico numa área determinada.
- **Vulnerabilidade – V (*Vulnerability*)** – significa o grau de perda de um determinado elemento ou conjunto de elementos em risco, resultante de um fenômeno natural de uma dada magnitude. É expressa numa escala de 0 (nenhum dano) até 1 (dano total).
- **Risco específico – R_s (*Specific risk*)** – significa o grau de perda esperado devido a um fenômeno natural particular. Pode ser expresso pelo produto de H por V .
- **Elementos em risco – E (*Elements at risk*)** – refere-se à população, propriedades, atividades econômicas, incluindo serviços públicos etc., em risco numa determinada área.
- **Risco Total – R_t (*Total risk*)** – refere-se ao número esperado de vidas perdidas, pessoas afetadas, danos a propriedades, ou interrupção de atividades econômicas devido a um fenômeno natural específico. É o produto de Risco Específico (R_s) e Elementos em risco (E):

$$R_t = (E) \times (R_s) = (E) \times (H \times V)$$

Na década de 80, além da proposta de Varnes, os conceitos de risco e perigo geológico também foram consolidados pela proposta de Einstein (1987, apud NOGUEIRA, 2002), que adotou as seguintes definições:

- **Perigo (*Danger*)** – fenômeno natural, correspondente neste caso aos deslizamentos;
- **Perigo ou ameaça (*Hazard*)** – probabilidade de que um perigo particular (*danger*) ocorra em um determinado período de tempo;
- **Risco (*Risk*)** – probabilidade de ocorrência do perigo ou ameaça (*hazard*) x consequências (dano potencial, o qual pode envolver perdas de vidas ou ferimentos a pessoas, perdas de capital ou danos ambientais não monetários).

Conforme exposto por Nogueira (2002), uma proposta de homogeneização nacional da terminologia e conceitos foi apresentada por Augusto Filho (1990) e ratificada posteriormente por vários trabalhos (AUGUSTO FILHO et al., 1991; AUGUSTO FILHO, 1994; CERRI, 1992a e 1993 e CERRI e AMARAL, 1998):

- **Evento (*Event*)** – Trata de um fato já ocorrido, no qual não foram registradas consequências danosas sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente a ele.
- **Acidente ou desastre (*Disaster*)** – Refere-se a um fato já ocorrido, onde foram registradas consequências danosas sociais e/ou econômicas (perdas e danos).
- **Risco (*Hazard*)** – Possibilidade ou probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos) ou a um segmento dela. É uma condição potencial de ocorrência de um acidente.

Pode ser expresso baseado em dois parâmetros principais: a frequência ou possibilidade de ocorrência do evento destrutivo e as consequências potenciais desse evento, conforme a equação seguinte:

$$R = P \times C$$

Onde: R= risco; P= possibilidade de ocorrência de um evento; C= consequências sociais e/ou econômicas potenciais.

Considerando ainda que: P = S = suscetibilidade, tem-se:

$$R = S \times C$$

Em 2008 o JTC-1 (*Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes / Comitê Técnico de Deslizamentos e Encostas Artificiais*), formado pelas associações internacionais ISSMGE (Associação Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica), IAEG (Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Ambiental) e ISRM (Associação Internacional de Mecânica das Rochas), visando o estabelecimento de normas para o

zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos, reconheceu também a necessidade de uma terminologia unificada para uso internacional com definições que poderiam ser usadas para todos os documentos de zoneamento, relatórios e planejamento de uso do solo (JTC-1, 2008; FELL et al., 2008), conforme segue:

- **Risco (*Risk*)** – uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedade ou meio ambiente. O risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade de um fenômeno de uma dada magnitude multiplicado por suas consequências. No entanto, uma interpretação mais geral de risco envolve uma combinação de probabilidade e consequências numa forma que não se limite a calcular o produto entre essas duas variáveis.
- **Perigo (*Danger*)** – O fenômeno natural que pode levar a danos, descritos em termos geométricos, mecânicos ou de outras características. O perigo pode ser existente (como uma encosta começando a deslizar) ou potencial (como a queda iminente de uma rocha). A caracterização do perigo não inclui qualquer previsão.
- **Perigo (*Hazard*)** – Uma condição com potencial de causar uma consequência indesejável. A descrição de um perigo de escorregamento deve incluir o local, volume (ou área), classificação e velocidade dos deslizamentos em potencial e materiais destes resultantes, e a probabilidade de sua ocorrência dentro de um período determinado.
- **Elementos em risco (*Elements at risk*)** – A população, prédios e construções, atividades econômicas, serviços públicos, outros tipos de infraestrutura e valores do meio ambiente na área que é potencialmente afetada pelo perigo do escorregamento.
- **Vulnerabilidade (*Vulnerability*)** – O grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro da área afetada pelo escorregamento. É expressa numa escala de zero (sem perda) até um (perda total). Para propriedades, a perda será o valor do dano relativo ao valor da propriedade; para pessoas, será a probabilidade de uma vida em particular (elemento em risco) ser perdida, dado que a pessoa seja afetada pelo escorregamento.
- **Suscetibilidade de deslizamento (*Landslide susceptibility*)** – Uma análise quantitativa ou qualitativa da classificação, volume (ou área) e distribuição espacial de deslizamentos que existem ou podem ocorrer em uma área. A suscetibilidade

também pode incluir uma descrição da velocidade e intensidade do deslizamento existente ou em potencial. Embora seja esperado que deslizamentos ocorrerão com mais frequência em áreas mais suscetíveis, na análise de suscetibilidade o período de tempo não é levado em conta. A suscetibilidade a deslizamento inclui deslizamentos cuja origem é em sua própria área ou fora de sua área, mas pode se mover para ou regressar à área de origem.

A UNISDR (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction*) propõe uma terminologia comum para o tema da redução de riscos de desastres (UNISDR, 2004), resultado da análise de inúmeras fontes internacionais e comentários de especialistas, atualizada em 2009 em um relatório traduzido para diversas línguas (UNISDR, 2009), cujas definições estão escritas a seguir:

- **Risco (*Risk*)** – A combinação da probabilidade de que ocorra um evento e suas consequências negativas.
- **Perigo ou ameaça (*Hazard*)** – Fenômeno, substância, atividade humana ou condição perigosa que pode ocasionar perda de vida, ferimentos ou outros impactos na saúde, danos materiais, perda de meios de subsistência e de serviços, transtornos sociais e econômicos, danos ambientais.
- **Vulnerabilidade (*Vulnerability*)** – As características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou ativo que os tornam suscetíveis aos efeitos prejudiciais de um perigo.
- **Desastre (*Disaster*)** – Séria perturbação no funcionamento de uma comunidade ou sociedade, com elevado número de mortes, perdas e impactos materiais, econômicos e ambientais, que excedem a capacidade da comunidade ou sociedade afetada de lidar com a situação usando seus próprios recursos.

Por fim, apresenta-se a terminologia adotada em âmbito nacional pelo Governo Federal através da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – SEDEC, do Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2017). Esta terminologia reúne as definições utilizadas na área de proteção e defesa civil baseadas nos conceitos e orientações consolidados no âmbito internacional, observadas as características da realidade brasileira sobre o tema. É interessante observar que as

definições para Risco de desastre, vulnerabilidade e desastre são as mesmas empregadas na Instrução Normativa nº 2/2016. A seguir estão elencadas as principais definições:

- **Risco de desastre (ou simplesmente risco) (*Risk*)** – Potencial de ocorrência de um evento adverso extremo sob um cenário vulnerável.
- **Perigo (*Hazard*)** – 1. Qualquer condição potencial ou real que pode vir a causar morte, ferimento ou dano à propriedade. Pode ser equiparado, segundo algumas correntes doutrinárias, ao conceito de ameaça. 2. Uma ou mais condições físicas ou químicas com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade e ao meio ambiente.
- **Vulnerabilidade (*Vulnerability*)** – Exposição socioeconômica ou ambiental de um cenário sujeito à ameaça do impacto de um evento adverso natural, tecnológico ou de origem antrópica.
- **Desastre (*Disaster*)** – Resultado de eventos adversos, naturais, tecnológicos ou de origem antrópica, sobre um cenário vulnerável exposto à ameaça, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.
- **Susceptibilidade (*Susceptibility*)** – 1. Ação, particularidade ou condição de susceptível. 2. Disposição particular do organismo para sentir as influências sobre ele exercidas. 3. Capacidade para receber as impressões que colocam em funcionamento as ações orgânicas. 4. Probabilidade de sofrer danos em caso de um perigo natural. Assim, a susceptibilidade descreve as características estruturais e as condições de enquadramento de uma sociedade.

Para as definições de desastres, suscetibilidade e vulnerabilidade existe certa similaridade entre as referências citadas, o que possibilita a melhor compreensão dos conceitos. O mesmo não ocorre com os termos relacionados a perigo e risco.

Nas definições de perigo abordadas anteriormente é interessante observar que Einsten (1987) e Fell et al. (2008) enfatizam a distinção entre o *Danger* e *Hazard*, enquanto os demais autores focam no perigo denominado *Hazard*. A possibilidade de tradução de ambas como “perigo” no português e as diferenças dos conceitos tão sutis fazem prevalecer o uso da definição *Hazard*, mais comumente utilizado na literatura e adotada neste trabalho.

Em relação a palavra *Hazard* também é possível perceber conflitos conceituais entre “perigo” e “risco”, visto que é definida por alguns autores como “Risco”, a exemplo de Augusto Filho (1990), enquanto as outras referências citadas definem como “Perigo”.

Em face à dificuldade de equalizar as diferentes traduções e definições, acredita-se que seguir o padrão internacional proposto pela UNISDR seja a melhor opção, tendo em vista o esforço empenhado por diversos especialistas para consolidar esta terminologia e a ampla aceitação das definições entre órgãos públicos e na academia. Além disso, elas permanecem em constante processo de atualização e no site da UNISDR é possível visualizar a terminologia mais recente.

Diante disto, neste trabalho serão adotadas as definições da UNISDR. Embora não tenham sido realizadas alterações significativas na terminologia apresentada no documento de 2009 anteriormente mencionado (UNISDR, 2009), optou-se por utilizar a sua versão mais atualizada, de 02 de fevereiro de 2017 (UNDRR, 2019), abaixo exposta:

- **Perigo ou ameaça (*Hazard*)** – Um processo, fenômeno ou atividade humana que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos à saúde, danos à propriedade, perturbações sociais e econômicas ou degradação ambiental.
- **Vulnerabilidade (*Vulnerability*)** – As condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a suscetibilidade de um indivíduo, comunidade, ativos ou sistemas aos impactos de perigos.
- **Desastre (*Disaster*)** – Séria perturbação no funcionamento de uma comunidade ou sociedade em qualquer escala devido a eventos perigosos que interagem com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade⁴, levando a um ou mais dos seguintes fatores: perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais.
- **Risco de desastre (*Disaster Risk*)** – Potencial de perda de vidas, ferimentos ou bens destruídos ou danificados que podem ocorrer a um sistema, sociedade ou comunidade em um período específico, determinado probabilisticamente em função do perigo, exposição, vulnerabilidade e capacidade.

No tocante a definição de suscetibilidade, Sobreira e Souza (2012) a descrevem como a potencialidade de processos geológicos causarem transformações do meio físico e Souza (2015) enfatiza que a possibilidade de ocorrência de processos geodinâmicos está vinculada à

⁴ De acordo com a UNDRR (2009), capacidade é a “combinação de todas as forças, atributos e recursos disponíveis em uma comunidade, sociedade ou organização que possa ser usado para alcançar os objetivos acordados”.

predisposição natural do meio físico. Neste trabalho será utilizada a definição de Fell et al. (2008) também adotada pelo JTC-1 (JTC-1, 2008) descrita anteriormente, que foi considerada a mais completa e mais bem aplicada aos estudos sobre deslizamentos.

Quanto ao conceito de risco, é conveniente para o tema desta dissertação a definição específica de risco geológico. Portanto, adota-se aqui a proposta de Cerri e Amaral (1998), que descrevem risco geológico como uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e as suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzido ou não. Considera-se ainda neste conceito a vulnerabilidade dos elementos afetados, que em áreas urbanas está principalmente relacionada ao padrão urbanístico e/ou construtivo (SOUZA, 2015).

2.1.4 Caracterização dos movimentos de massa

2.1.4.1 Definição de movimentos de massa

Na literatura há várias discussões a respeito da terminologia para denominar movimentos de massa, o que conseqüentemente gera diferentes definições e classificações. Conforme destacado por Silveira (2008), na bibliografia internacional os movimentos de massa são denominados *landslides* pelos autores americanos, *landslips* pelos ingleses, *mass movements* por alguns engenheiros geotécnicos e geomorfólogos, *slope movements* pela maioria dos engenheiros geotécnicos e *mass wasting* pela maioria dos geomorfólogos.

De acordo com Cruden (2003), o primeiro emprego do termo “*landslide*” foi registrado em 1838 e seu uso permaneceu confinado na América do Norte até o Século XX. Sharpe (1938) foi o primeiro autor a escrever um livro americano utilizando o termo. Cruden (1991) problematiza a definição de *landslide* em seu artigo “*a simple definition of a landslide*”. Segundo ele, o obstáculo para a simples definição do termo vem de um erro de análise linguística, que de forma literal reduz *landslide* em “*slide of land*” (escorregamento de terra). Neste sentido, o autor afirma que *landslide* é uma palavra norte-americana formada por duas palavras que juntas significam algo inteiramente diferente. Seu objetivo foi elucidar a abrangência da definição do termo, que pode englobar diversos tipos de movimentos de massa, sejam eles de terra, rocha ou detritos, independente de forma, velocidade ou quaisquer outros critérios. Assim, com o objetivo de unificação de termos, foi lançado em 1993 o *Multilingual Landslide Glossary* (Glossário Multilíngue de Movimentos de Massa) pela *Internacional Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventor - WP/WL*, que adotou como definição para o termo

landslide a mesma utilizada por Cruden (1991): “Movimento de uma massa de rocha, de terra ou de detritos encosta abaixo”. (WP/WLI, 1993; CRUDEN, 1991).

Outros autores utilizam definições mais complexas para movimentos de massa, como a de Zuquette (2018):

É um conjunto de movimentos de materiais geológicos naturais e antropogênicos de partes de uma vertente devido à influência direta da gravidade, criando ou aproveitando uma superfície de ruptura, seja em vertentes naturais, seja por alterações antropogênicas, como cortes, aterros, depósitos de resíduos e rejeitos e escavações. O volume de material movimentado pode variar da ordem de alguns até milhões de metros cúbicos e apresentar velocidades da ordem de alguns milímetros por ano até metros por segundo (ZUQUETTE, 2018).

2.1.4.2 Classificação dos movimentos de massa

A grande variedade de características e parâmetros utilizados no entendimento dos movimentos de massa torna fundamental classificá-los. A distinção entre os diversos tipos é baseada em alguns critérios, tais como: velocidade e mecanismo do movimento, material, modo de deformação, geometria da massa mobilizada e conteúdo da água SELBY (1982 apud TOMINGA, 2007).

Tal classificação tem grande relevância, sob o ponto de vista da aplicação, pois gera a possibilidade de associar cada tipo de movimento a um conjunto de características (profundidade, material instabilizado, raio de alcance, poder destrutivo etc.) que somadas ao entendimento dos condicionantes permite formular modelos para orientar a proposição de medidas preventivas e corretivas (CERRI; AMARAL, 1998).

Diversos autores propuseram classificações de movimentos de massa, sendo a primeira delas publicada em 1863 por James Dwight Dana no “Dana’s Manual of Geology”, p.649-650 (Manual de Geologia de Dana), que distinguia três tipos de movimentos de massa sem nomeá-los e que são hoje reconhecidos como corrida de detritos, expansão lateral de terra e escorregamento de rochas. A classificação era simples, porém incompleta. (CRUDEN, 2003).

Posterior ao trabalho de J.D.Dana há uma série de referências a classificações dos movimentos de massa na literatura internacional, as quais destacam-se: Baltzer, 1875; Heim, 1882; Stiny, 1910; Almagia, 1910; Ladd, 1935; Sharpe, 1938; Terzaghi, 1950; Emelyanova, 1953; Keefer e Johnson, 1983; Zaruba e Melcl, 1969; Varnes, 1958 e 1978; Hutchinson, 1988; Sassa, 1989; Epoch, 1993; Dikau et al., 1996. (TOMINAGA, 2007; HUNGR, LEROUEIL, PICARELLI, 2014; ZUQUETTE, 2018).

A classificação realizada por Varnes (1978) (Tabela 1) tornou-se a mais utilizada nos EUA e, posteriormente, em todo o mundo, sendo adotada pela *International Association of Engineering Geology* (IAEG). Nesta classificação, Varnes utilizou como base o tipo de movimento e o tipo de material. Os tipos de movimento foram divididos em 5 principais grupos (quedas, tombamentos, deslizamentos, expansões laterais e corridas). O sexto grupo, denominado movimentos de massa “complexos”, inclui a combinação de dois ou mais movimentos dos outros cinco tipos. Quanto ao tipo de material transportado, foram estabelecidas duas classes: rocha e solo (VARNES, 1978).

Tabela 1 - Classificação dos movimentos de massa proposta por Varnes (1978).

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCHA	SOLO	
			Predominantemente grosseiro	Predominantemente fino
QUEDAS		Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de terra
TOMBAMENTOS		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de terra
ESCORREGA- MENTOS	Rotacional	Abatimento de rocha	Abatimento de detritos	Abatimento de terra
	Poucas unidades	Escorregamento de bloco rochoso	Escorregamento de blocos de detritos	Escorregamento de blocos de terra
	Translacional	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de terra
	Muitas unidades	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de terra
EXPANSÕES LATERAIS ⁵		Expansão de rocha	Expansão de detritos	Expansão de terra
CORRIDAS / FLUXOS		Corrida de rocha (rastejo profundo)	Corrida de detritos	Corrida de terra (rastejo de solo)
COMPLEXOS		Combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos		

Fonte: Varnes (1978).

⁵ Segundo Varnes (1978), nas expansões laterais “o modo dominante de movimento é a extensão lateral acomodada por cisalhamento ou fraturas de tração”.

No Brasil, a partir da década de 60, alguns autores adaptaram as classificações internacionais com base nos movimentos de massa que mais ocorrem no país, especialmente na região sul e sudeste. Destacam-se os seguintes autores: Freire, 1965 (Tabela 2), Guidicini e Nieble, 1984 (Tabela 3); Cunha, 1991 e Augusto Filho, 1992 (Tabela 4).

Freire (1965) foi um dos primeiros autores nacionais a propor uma classificação para movimentos de massa, em seu trabalho “Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática”. Este autor sintetiza num quadro de classificação informações de diversos outros autores internacionais, a saber: Shultz e Cleaves, Krynine e Judd, Sharpe, Terzaghi e Penta. Em sua classificação são considerados três tipos fundamentais: escoamentos, escorregamentos e subsidências (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Tabela 2 - Classificação de movimentos de massa proposta por Freire (1965).

NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICAS
Escoamento	Corresponde a uma deformação ou movimento contínuo com ou sem superfície definida. Dependendo do movimento, são classificados como: <ul style="list-style-type: none"> - Rastejo → escoamento plástico; - Corrida → escoamento fluido-viscoso
Escorregamento	Deslocamento finito ao longo de superfície bem definida. Dependendo da forma, são definidos como: <ul style="list-style-type: none"> - Rotacional - Translacional
Subsidência	Deslocamento finito ou deformação contínua de direção essencialmente vertical. Podem ser subdivididos em: <ul style="list-style-type: none"> - Subsidência propriamente dita - Recalque e desabamento - Quedas

Fonte: Freire (1965) apud Gerscovich (2009)

A classificação de Freire (1965) foi posteriormente desenvolvida por Guidicini e Nieble (1984). Assim, a partir dos três tipos e sete subtipos de Freire foram diferenciadas 32 classes principais, caracterizadas de acordo com parâmetros físico-mecânicos-causais (natureza de superfície de movimentação, inclinação do talude, características qualitativas do movimento, tipo do movimento, velocidade e duração, entre outros). Além disso, algumas modificações foram introduzidas, como uma redistribuição das classes de escorregamentos translacionais (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Tabela 3 - Classificação dos movimentos de massa proposta por Guidicini e Nieble (1984).

TIPOS FUNDAMENTAIS	SUBTIPOS	CLASSES PRINCIPAIS
1 Escoamento	Rastejo (escoamento plástico)	Rastejo de solo Rastejo de detrito de tálus Rastejo de rocha Solifluxão Rastejo de detritos de geleiras Geleiras
	Corridas (escoamento líquido)	Corrida de terra Corrida de areia ou silte Corrida de lama Avalanche de detritos
2 Escorregamento	Escorregamentos rotacionais	Escorregamento de taludes Escorregamento de base Rotura rotacional do solo de fundação
	Escorregamentos translacionais	Escorregamento translacional de rocha Escorregamento translacional de solo Escorregamento translacional de solo e rocha Escorregamento translacional retrogressivo Queda de rocha Queda de detritos
3 Subsidência	Subsidências	Por carreamento de grãos Por dissolução de camadas inferiores e cavernas Por deformações de estratos inferiores Por rotura de estratos inferiores Por retirada do suporte lateral
	Recalques	Por consolidação Por compactação
	Desabamentos	Por rotura de camada Por subescavação Por retirada do suporte lateral
4		Formas de transição ou termos de passagem
5		Movimentos de massa complexos

Fonte: Adaptada do Quadro I (Escorregamentos e fenômenos conexos) de Guidicini e Nieble (1984).

A classificação elaborada pelo IPT (CUNHA, 1991) no “Manual de ocupação de encostas” foi baseada nas anteriores e divide os movimentos de massa em quatro categorias principais: rastejo, corridas de massa, escorregamentos, quedas e tombamentos, tendo sido posteriormente detalhada por Augusto Filho (1992).

Segundo Gerscovich (2009), Augusto Filho (1992) apresenta uma proposta bastante adequada para os casos do Brasil. Nela são apresentados os principais tipos de movimentos gravitacionais de massa que ocorrem com mais frequência na dinâmica ambiental brasileira (ambientes tropicais e subtropicais) (SILVEIRA, 2016). As características analisadas são

movimento, material e geometria, sendo os movimentos de massa subdivididos em quatro classes: rastejos (creep), escorregamentos (slides), quedas (falls) e corridas (flows).

Tabela 4 - Classificação de movimentos de massa proposta por Augusto Filho (1992).

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

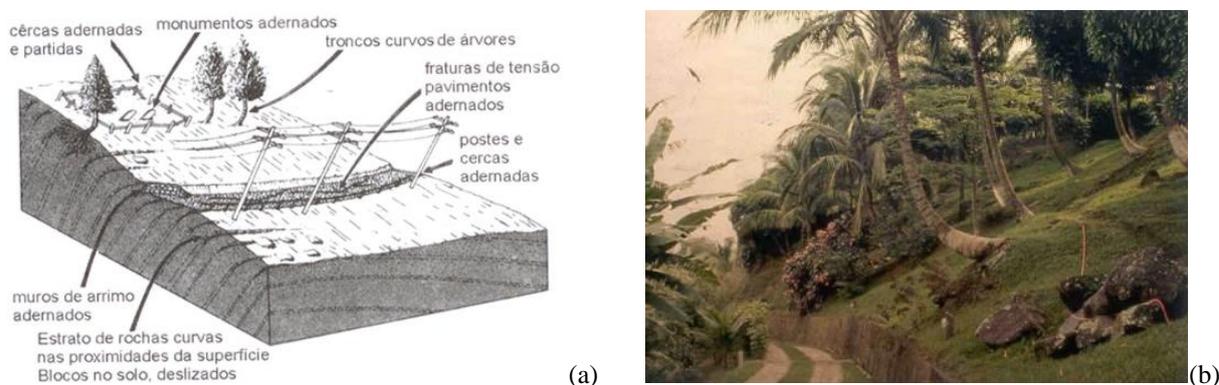
Fonte: Gerscovich (2009)

Para o melhor entendimento dos movimentos de massa, neste trabalho serão descritas as principais classes de movimentos de massa, seguindo a terminologia proposta por Augusto Filho (1992). Como, de acordo com Gerscovich (2009), os deslizamentos são o tipo de movimento de massa mais frequente e de consequência possivelmente catastrófica, serão mais bem detalhados.

1. Rastejo ou fluência

Os rastejos (Figuras 1-a e 1-b) são movimentos lentos e contínuos (não limitáveis no tempo) (FERNANDES; AMARAL, 1996). São causados pela ação da gravidade, associada aos efeitos das variações de temperatura e umidade. Podem envolver grandes volumes de solos sem que seja possível perceber uma diferenciação visível entre o material movimentado e o material estacionado (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Figura 1 - (a) Esquema tridimensional: rastejo e seus indícios; (b) Fotografia exemplificando indícios de rastejo.



Fontes: (a) Bloom (1988) *apud* Infanti Jr. e Forsarini Filho (1998); (b) Proin/Capes e Unesp/Igce (1999).

2. Escorregamentos

Conforme exposto por Fernandes e Amaral (1996), termos gerais de uso cotidiano como queda de barreira, desbarrancamento e deslizamento são frequentemente utilizados na literatura de forma mais técnica para definir os escorregamentos (*slides*), o que pode gerar confusão, visto que muitas vezes designam inclusive movimentos do tipo corridas. Portanto, neste trabalho será utilizado o termo escorregamento⁶ conforme o descrito por Varnes (1978), Guidicini e Nieble (1984), Augusto Filho (1992), entre outros autores.

Os escorregamentos são os processos de movimentos de massa mais frequentes na região sudeste do Brasil e principalmente na Serra do Mar. (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). Caracterizam-se como movimentos rápidos, de curta duração, com plano de ruptura bem definido, sendo possível a distinção entre o material deslizado e o não movimentado (FERNANDES; AMARAL, 1996).

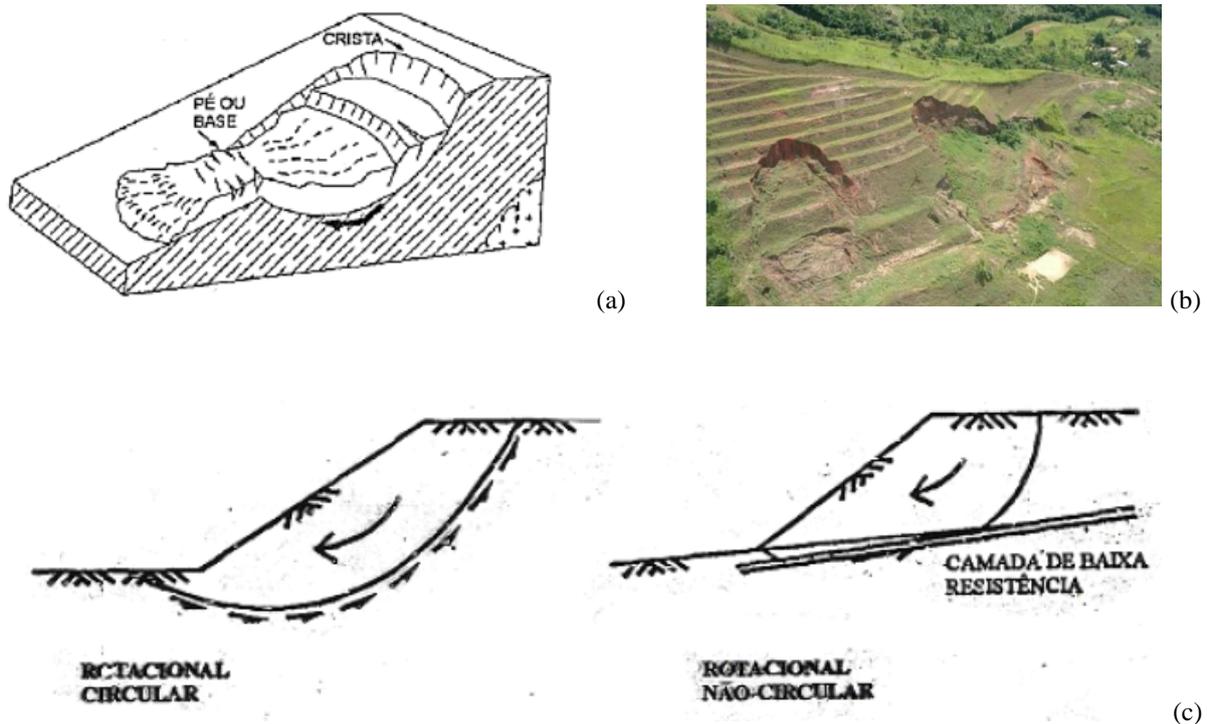
⁶ O uso do termo “deslizamento” será sempre associado ao movimento de massa do tipo escorregamento.

Os escorregamentos podem ser divididos com base na forma do plano de ruptura e no tipo de material em movimento. O material movimentado pode ser solo, rocha, solo e rocha e até mesmo lixo doméstico. (FERNANDES; AMARAL, 1996). Em relação a forma do plano de ruptura, Augusto Filho (1992) divide os escorregamentos em três grandes grupos: rotacional, translacional e em cunha, descritos a seguir:

- Rotacional

Ocorre em solos relativamente espessos e homogêneos, e a ruptura tende a ter geometria circular (ruptura curva, côncava para cima) (Figuras 2-a, 2-b e 2-c). Quando existe contraste razoável de resistência ao cisalhamento entre camadas, a superfície passa a ser mais complexa podendo incluir trechos lineares. (GERSCOVICH, 2009; FERNANDES; AMARAL, 1996)

Figura 2 - (a) Esquema tridimensional do escorregamento rotacional; (b) Fotografia exemplificando escorregamento do tipo rotacional; (c) Superfícies de ruptura em escorregamentos simples rotacionais: circular (à esquerda) e não-circular (à direita).



Fontes: (a) Infanti Jr. e Forsarini Filho (1998); (b) Mendonça (2018); (c) Gerscovich (2009).

Conforme descrito por Fernandes e Amaral (1996), o início do movimento dos escorregamentos rotacionais está frequentemente relacionado a cortes na base dos materiais, como é no caso da implantação de algumas estradas ou a erosão fluvial no sopé da encosta.

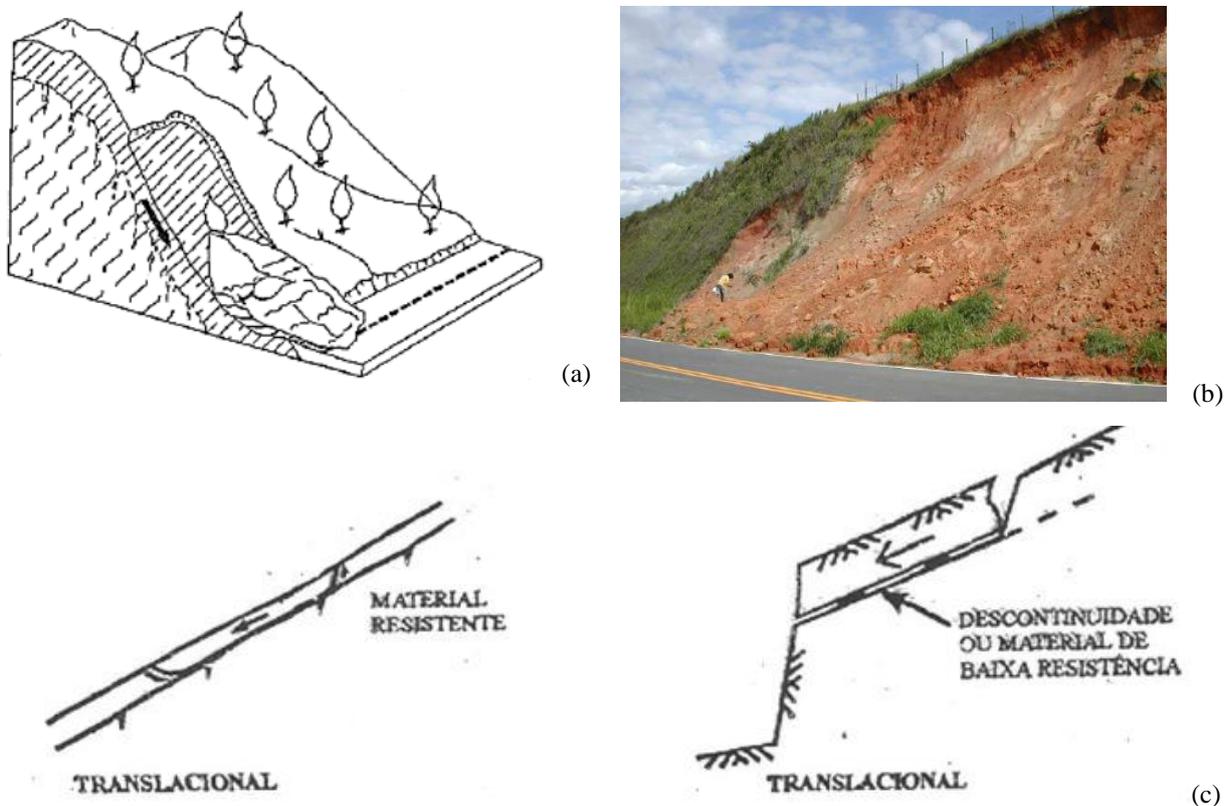
Os escorregamentos rotacionais podem ser múltiplos, através da ocorrência de rupturas combinadas e sucessivas (GERSCOVICH, 2009; INFANTI JR., FORNASARI FILHO, 1998).

- Translacional ou planar

São os mais frequentes entre todos os tipos de movimento de massa e possuem superfície de ruptura de forma planar (figuras 3-a, 3-b e 3-c), ocorrendo na grande maioria das vezes em períodos de intensa precipitação. São em geral, compridos e rasos, com profundidades que variam entre 0,5 e 5,0 m (FERNANDES; AMARAL, 1996). Caracterizam-se pelo grande contraste de resistência entre camadas de solo (planos de fraqueza) ou presença de descontinuidades. Em geral, ocorrem no contato entre solo coluvionar e solo residual e até mesmo no manto de alteração do solo residual (GERSCOVICH, 2009).

Fernandes e Amaral (1996) destacam que, de acordo com o tipo de material, os escorregamentos translacionais podem ser subdivididos em escorregamentos translacionais de rocha, de solo residual, de tálus/colúvio e de detritos (incluindo o lixo). Entretanto, em muitos casos ocorre uma mistura dos materiais em movimento.

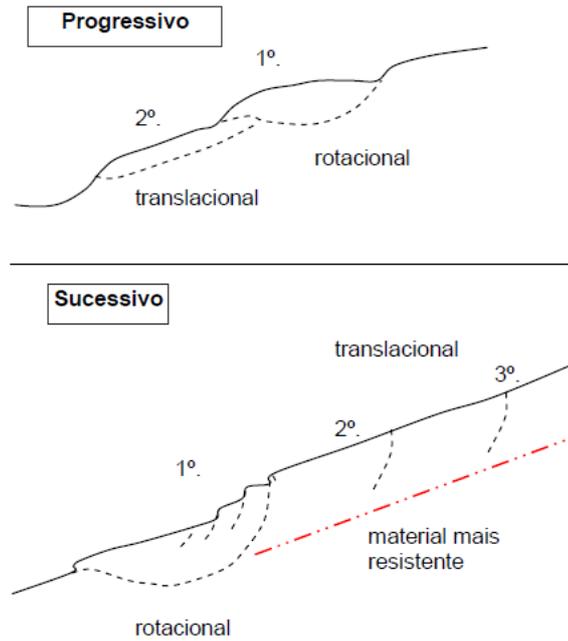
Figura 3 - (a) Esquema tridimensional do escorregamento translacional. (b) Fotografia exemplificando escorregamento do tipo translacional; (c) Superfícies de ruptura em escorregamentos translacionais.



Fontes: (a) Infanti Jr. e Forsarini Filho (1998); (b) Mendonça (2018); (c) Gerscovich (2009).

Gerscovich (2009) destaca ainda que os escorregamentos podem ser mistos, que são uma junção de escorregamentos rotacionais e translacionais. Esses escorregamentos apresentam evolução complexa e podem ser progressivos ou sucessivos. A Figura 4 apresenta casos de escorregamentos misto progressivo e sucessivo.

Figura 4 - Superfícies de ruptura para um escorregamento misto.

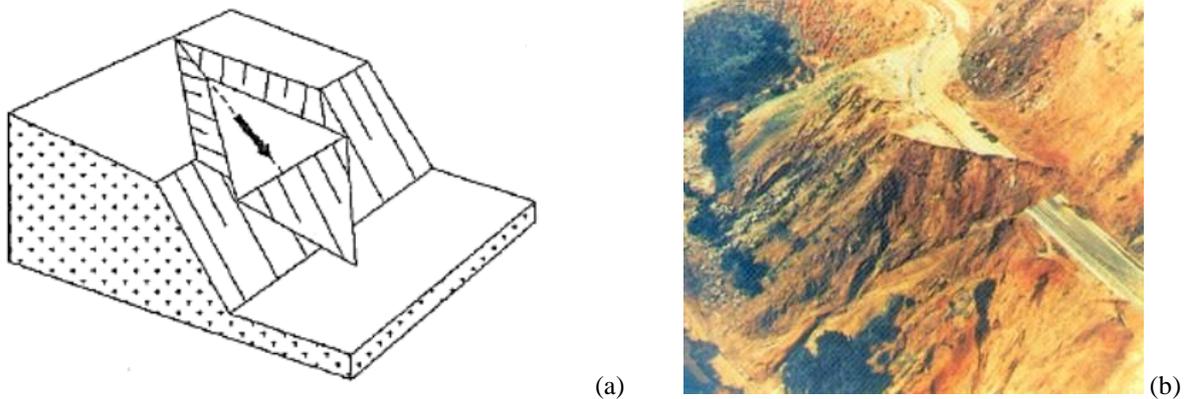


Fonte: Gerscovich (2009).

- Em cunha

Os escorregamentos em cunha (figuras 5-a e 5-b) são caracterizados pelo movimento ao longo de um eixo formado pela interseção de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, que condicionam o deslocamento do material na forma de um prisma. São comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico. (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998).

Figura 5 - (a) Esquema tridimensional do escorregamento em cunha. (b) Fotografia exemplificando escorregamento em cunha;



Fontes: (a) Infanti Jr. e Forsarini Filho (1998); (b) Montgomery (1992).

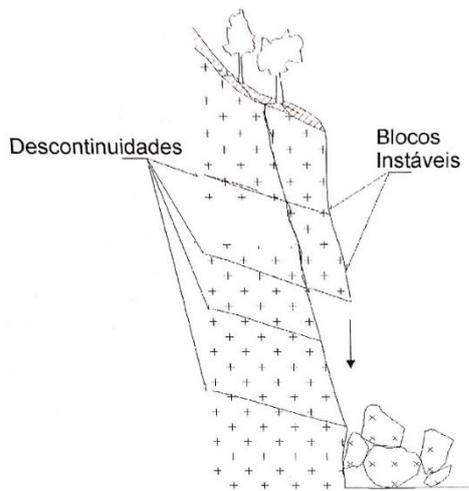
3. Quedas

Augusto Filho (1992) nomeia “quedas” (*falls*) todos os tipos de movimentos de blocos rochosos de alta velocidade deslocados por gravidade, conforme observado na Tabela 4.

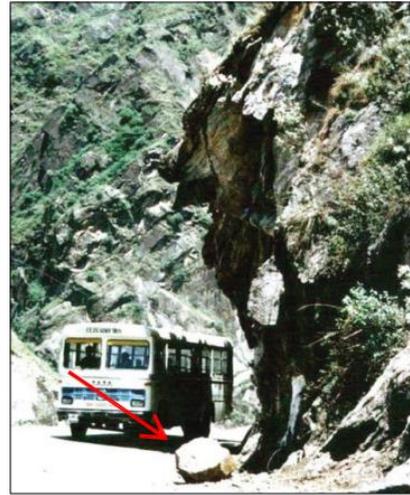
Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) classifica tais movimentos em quatro tipos: queda de blocos, tombamento de blocos, rolamento de blocos e deslocamento, descritos a seguir:

- Queda de blocos (Figura 6-a e 6-b): envolve materiais rochosos que se destacam de taludes ou encostas íngremes em movimentos do tipo queda livre;
- Tombamento de blocos (Figura 6-c e 6-d): se dá pela rotação dos blocos rochosos, condicionado pela presença de estruturas geológicas no maciço;
- Rolamento de blocos (Figura 6-e): se constitui pelo movimento dos blocos ao longo de superfícies inclinadas e geralmente ocorrem quando os blocos se destacam dos taludes e encostas por perda de apoio;
- Desplacamento (Figura 6-f): é o desprendimento de lascas ou placas de rochas devido a variações térmicas ou por alívio de tensão. O movimento pode se dar em queda livre ou por deslizamento ao longo de superfície inclinada.

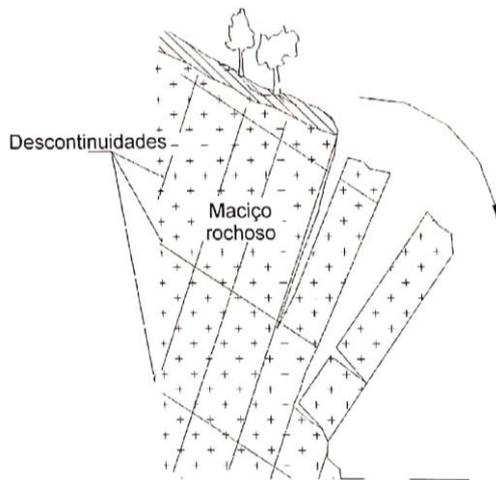
Figura 6 - (a) e (b) Queda de blocos; (c) e (d) Tombamento de blocos/lajes rochosas; (e) Rolamento de matacões; (f) Desplacamento.



(a)



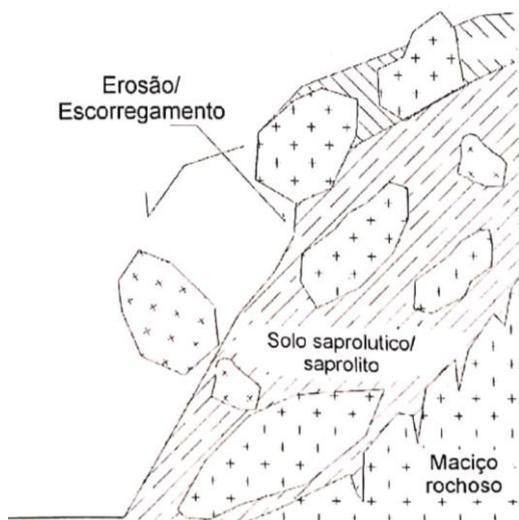
(b)



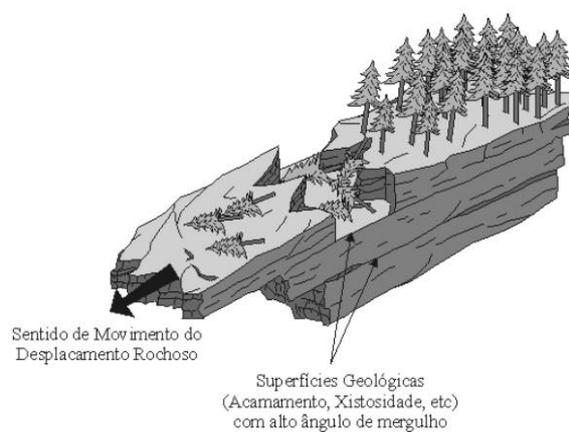
(c)



(d)



(e)



(f)

Fontes: (a), (c) e (e) Infanti Jr. e Forsarini Filho (1998); (b) Hoek (2006) *apud* Villela (2011); (d) Mendonça (2018); (f) Igeológico (2022).

4. Corridas ou fluxos de detritos

As corridas ou fluxos (figuras 7-a e 7-b) são movimentos rápidos nos quais os materiais se comportam como fluidos viscosos (FERNANDES; AMARAL, 1996).

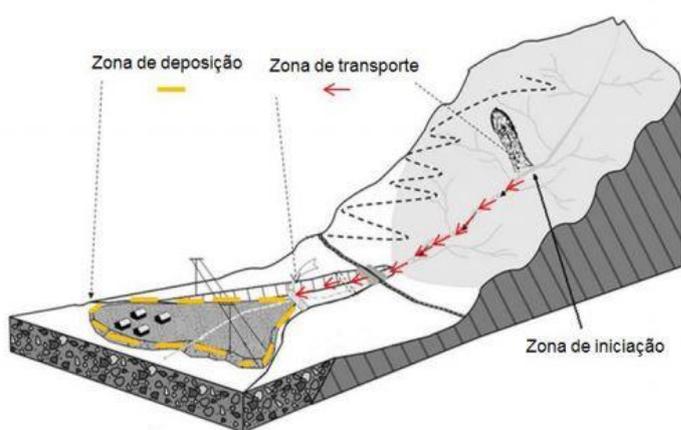
Segundo Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) as corridas caracterizam-se pelo grande volume de material que mobilizam e pelo extenso raio de alcance que possuem, apresentando alto potencial destrutivo.

É importante destacar que a distinção entre corridas e escorregamentos nem sempre é simples de ser realizada numa visita a campo, visto que as corridas são movimentos complexos que podem ser originadas por um escorregamento. (FERNANDES; AMARAL, 1996).

De acordo com as características do material mobilizado e velocidade de deslocamento, as corridas podem receber diferentes denominações na literatura: corrida de lama (*mud flow*), no caso de solo com alto teor de água, corrida de terra (*earth flow*), solo com menor teor de água e corrida de detritos (*debris flow*), que envolve fragmentos de rocha de vários tamanhos. (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998)

É comum que as corridas apresentem recorrência ao longo do tempo, visto que estão associadas à dinâmica de evolução das vertentes de relevos montanhosos. Entretanto, a ocupação de encostas sem atendimento aos critérios técnicos pode antecipar e ampliar o processo. (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998)

Figura 7 - (a) Esquema tridimensional de corrida (ou fluxo) apresentando três zonas na trajetória de movimento sendo elas: (i) zona de iniciação, (ii) zona de transporte e (iii) zona de deposição; (b) Fotografia exemplificando corrida de detritos no Morro do Quitite, Jacarepaguá – RJ, em 1996.



(a)



(b)

Fontes: (a) Nunes e Sayão (2014); (b) Mendonça (2018).

2.1.4 Desastres associados a movimentos de massa no Brasil e no mundo

Para a melhor compreensão do assunto dos desastres e gestão dos riscos é importante o levantamento e a organização dos dados dos eventos ocorridos, que permite a estimativa da magnitude do problema e a identificação de áreas e cidades mais suscetíveis a tais eventos, bem como os períodos de ocorrências e as tendências (NOGUEIRA, 2002).

Diante disso, buscou-se neste trabalho apresentar os principais desastres ocorridos no mundo e no Brasil a partir de dados organizados em ordem cronológica com base na pesquisa em livros, artigos e notícias na mídia. Além disso, alguns eventos foram selecionados para serem detalhados e mais satisfatoriamente elucidar o tema. A análise destes casos de grande vulto retrata a importância que deve ser dada ao cuidado de registrar os dados relativos aos eventos adversos ocorridos, a fim de garantir informação confiável para a divulgação do conhecimento e extrair lições aprendidas a serem utilizadas na Gestão de Riscos de Desastres por especialistas da área e gestores da cidade.

Para a busca de informações sobre os maiores desastres por movimentos de massa ocorridos em todo o mundo recomenda-se a utilização da Base de Dados de Desastres de Emergência (*Emergency Disasters Data Base* - EM-DAT). O EM-DAT é gerido pelo Centro de Pesquisa em Epidemiologia dos Desastres (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* - CRED) da Universidade Católica de Louvain, na Bélgica, e foi criado em 1988 com o apoio inicial da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do governo belga. É um banco de dados cujo objetivo é servir aos propósitos da ação humanitária em nível nacional e internacional e que possui registros de mais de 22.000 desastres no mundo, de 1900 até a presente data, 2023 (EM-DAT, 2019). Segundo Tschoegl et al. (2006), entre os bancos de dados existentes, o EM-DAT fornece de forma mais abrangente e transparente a metodologia empregada. O site inclui os desastres que obedecem a pelo menos um dos seguintes critérios: 10 ou mais pessoas mortas; 100 ou mais pessoas afetadas; Declaração de estado de emergência ou chamada para assistência internacional. Coutinho (2010) salienta que o EM-DAT é um dos sites mais procurados para pesquisas no campo de desastres devido a facilidade na obtenção de informações e a quantidade de registros.

Outras fontes de dados de desastres em escala global são o *Global Disaster Identifier Number* (GLIDE) e o ReliefWeb. O GLIDE é um projeto iniciado e mantido pelo Centro Asiático de Redução de Desastres (*Asian Disaster Reduction Center* - ADRC) em colaboração com diversas instituições internacionais (SDR, CRED, PNUD, FICV, FAO, Banco Mundial, OFDA / USAID, LA Red e OCHA / ReliefWeb). Para cada evento de desastre é associado um número identificador (*GLobal IDentifier number* - GLIDE), compartilhado entre todos os parceiros, possibilitando a

conexão entre as diversas fontes de informação. É possível realizar a pesquisa pelo tipo do desastre, localização e ano, com descrição geral do evento e fonte (TSCHOEGL, 2006). O ReliefWeb é a principal fonte de informações humanitárias sobre crises e desastres globais. É um serviço do Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários (*UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs* - OCHA) que coleta informações em mais de 4.000 importantes fontes, incluindo agências humanitárias nos níveis internacional e local, instituições de pesquisa e mídia. Para obter as informações é possível filtrar os dados por país, tipo de desastre, status (alerta, em progresso e desastres passados) e ano/mês. (RELIEFWEB, 2019)

Por meio dos dados disponibilizados pelas plataformas em escala global é possível compreender a espacialização dos desastres no mundo e a frequência de ocorrência. Segundo os dados do EM-DAT, desde a década de 70 até os dias atuais houve o aumento significativo nas ocorrências de desastres naturais ao redor do globo, o que reflete o crescimento da população urbana e a falta de acesso à moradia digna pela maior parte da população, restando apenas alternativas ilegais e informais, como é o caso das áreas de encostas suscetíveis a movimentos de massa. Sendo assim, os dados registrados podem contribuir para a elaboração de políticas públicas para a redução de riscos de desastres, a exemplo do que é feito pela ONU (Organização das Nações Unidas), um dos órgãos mundiais que utiliza dados globais do banco EM-DAT em países em desenvolvimento (MARCELINO et al., 2006; ARAÚJO, 2018).

Por meio do EM-DAT e consulta a autores diversos, além de notícias publicadas em jornais, elaborou-se a tabela do APÊNDICE 1 deste trabalho, que apresenta os maiores desastres associados a movimento de massa ocorridos no século XX com mais de 500 mortes. Cabe ressaltar que a busca pelo EM-DAT atendeu a necessidade de seleção de desastres da primeira metade do século XX, visto que outros bancos de dados pesquisados, como GLIDE e ReliefWeb, não continham informações desse recorte temporal. Além disso, tabelas organizadas por outros autores, como McGuire et al. (2004) e Crozier e Glade (2004), contribuíram para estruturar a Tabela 5 com informações como tipo de movimento de massa e agente deflagrador. Para a construção da tabela dos principais desastres ocorridos no Século XXI com mais de 5 mortes (APÊNDICE 2) foram usadas como principais fontes os dados do GLIDE e o ReliefWeb, além de notícias publicadas em jornais de renome.

Para uma melhor organização das informações relativas a desastres associados a movimentos de massa no Brasil utilizou-se como base a tabela apresentada por Nogueira (2002), que foi adaptada e atualizada. Nogueira (2002) recorreu a dados de outros autores, bem como a

jornais diversos. A Tabela 5 a seguir apresenta a listagem de Nogueira (2002) com os devidos acréscimos.

Tabela 5 - Desastres por movimentos de massa ocorridos no Brasil.

LOCAL	DATA	N. ° DE MORTES
Santos (SP)	Março de 1928	80
Vale do Paraíba do Sul (MG/RJ)	Dezembro de 1948	250
Santos (SP)	Março de 1956	64
Santos (SP)	Fevereiro de 1959	5
Rio de Janeiro (RJ)	1966	100
Caraguatatuba (SP)	Março de 1967	120
Serra das Araras (RJ) *	Janeiro de 1967	1700
Salvador (BA)	Mai de 1969	15
Salvador (BA)	Abril de 1971	10
Campos do Jordão (SP)	Agosto de 1972	10
Estância Velha (RS)	Julho de 1973	10
Maranguape (CE)	Abril de 1974	12
São Gabriel (SC)	Março de 1974	15
Caruru (SC)	Março de 1974	25
Santos (SP)	Dezembro de 1979	13
Rio de Janeiro (RJ)	Dezembro de 1982	6
São Paulo (SP)	Junho de 1983	8
Rio de Janeiro (RJ)	Março de 1983	5
São Leopoldo (RS)	Agosto de 1983	6
Rio de Janeiro (RJ)	Outubro de 1983	13
Salvador (BA)	Abril de 1984	17
Angra dos Reis (RJ)	1985	5
Arame (interior do MA)	Fevereiro de 1985	20
Rio de Janeiro (RJ)	Março de 1985	23
Salvador (BA)	Abril de 1985	35
Vitória (ES)	1985	93
Lavrinhas (SP)	Dezembro de 1986	11
Rio de Janeiro (RJ)	Março de 1986	12
Rio de Janeiro (RJ)	Fevereiro de 1988	82
Ubatuba (SP)	Fevereiro de 1988	6
Cubatão (SP)	Janeiro de 1988	10
Petrópolis (RJ)	Fevereiro de 1988	171
Rio de Janeiro (RJ)	Junho de 1989	9
São Paulo (SP)	Março de 1989	6
Recife (PE)	Junho de 1989	8
São Paulo (SP)	Outubro de 1989	14
Salvador (BA)	Junho de 1989	31
Salvador (BA)	Mai de 1989	67
Recife (PE)	Junho de 1990	5
Recife (PE)	Julho de 1990	10
São Paulo (SP)	Outubro de 1990	10
Blumenau (SC)	Outubro de 1990	14
São José (SC)	Novembro de 1991	5
Teresópolis (RJ)	Março de 1991	6
Petrópolis (RJ)	Janeiro de 1992	6
Rio de Janeiro (RJ)	Março de 1992	7
Corumbá (MS)	Março de 1992	9
Belo Horizonte (MG)	Janeiro/fevereiro de 1992	10
Salvador (BA)	Março de 1992	11
Estado de Minas Gerais	Janeiro/fevereiro de 1992	20
Estado da Bahia	Janeiro/fevereiro de 1992	20

Contagem (MG)	Março de 1992	36
Belo Horizonte (MG)	Dezembro de 1993	5
Petrópolis (RJ)	Março de 1994	6
Camaragibe (PE)	Março de 1994	6
Mangaratiba (RJ)	Março de 1994	8
Recife (PE)	Junho de 1994	8
Salvador (BA)	Abril de 1994	10
Rio de Janeiro (RJ)	Março de 1994	11
Salvador (BA)	Junho de 1995	58
Rio de Janeiro (RJ)	Fevereiro de 1995	5
São Paulo (SP)	Fevereiro de 1995	9
Siderópolis (SC)	Dezembro de 1995	11
Timbé do Sul (SC)	Dezembro de 1995	14
Rio de Janeiro (RJ)	Fevereiro de 1996	59
Ubatuba (SP)	Fevereiro de 1996 (?)	11
Camaragibe (PE)	Abril de 1996	8
Olinda (PE)	Abril de 1996	9
Recife (PE)	Abril de 1996	42
Salvador (BA)	Maior de 1996	10
São Paulo (SP)	Dezembro de 1996	5
Salvador (BA)	Março de 1997	9
Ouro Preto (MG)	Janeiro de 1997	13
Camacã (interior da BA)	Novembro de 1998	5
Salvador (BA)	Maior de 1999	8
Campos de Jordão (SP)	Janeiro de 2000	10
Rio de Janeiro (RJ)	Janeiro de 2000	13
São Paulo (SP)	Fevereiro de 2000	13
Estado de Minas Gerais	Fevereiro de 2000	20
Recife (PE)	Julho de 2000	6
Estado do Rio de Janeiro	Dezembro de 2001/janeiro de 2002	65
Dom Joaquim (MG)	Janeiro de 2002	5
Santa Catarina (SC) *	Novembro de 2008	135
Angra dos Reis (RJ)	Janeiro de 2010	30
Rio de Janeiro (RJ)	Abril de 2010	102
Região Serrana do estado do RJ *	Janeiro de 2011	905
Sapucaia (distrito de Jamapará) (RJ)	Janeiro de 2012	22
Teresópolis (RJ)	Abril de 2012	5
Petrópolis (RJ)	Março de 2013	21
Sardoá (MG)	Dezembro de 2013	6
Salvador (BA)	Abril de 2015	12
Mairiporã (SP)	Março de 2016	10
Francisco Morato (SP)	Março de 2016	11
Niterói (Morro da Boa esperança) (RJ)	Novembro de 2018	15
Grande Recife (Recife, Olinda e Abreu e Lima) (PE)	Julho de 2019	12
Litoral Norte SP (Guarujá, Santos e São Vicente)	Março de 2020	45
Franco da Rocha (SP)	Janeiro de 2022	18
Petrópolis (RJ)	Fevereiro de 2022	232
Angra dos Reis (bairro Monsuaba) (RJ)	Abril de 2022	11
Paraty (Ponta Negra) (RJ)	Abril de 2022	7
Grande Recife (PE)	Maior de 2022	133
Litoral Norte SP (São Sebastião, Ubatuba)	Fevereiro de 2023	64
Manaus (bairro Jorge Teixeira)	Março de 2023	8

* Desastres abordados no item 2.1.4.4, 2.1.4.5 e 2.1.4.6 desta dissertação.

Deste modo, para uma melhor compreensão sobre situações de desastres associados a movimentos de massa, foram escolhidos três significativos desastres por movimentos de massa ocorridos no mundo, um no século XX, na Venezuela (1999) e outros dois no século XXI, na China (2010) e na Índia (2013). Os critérios de escolha utilizados foram: maior número de vítimas fatais entre os eventos, precipitação como elemento deflagrador e disponibilidade de dados. Estes desastres estão descritos nos itens **2.1.4.1**, **2.1.4.2** e **2.1.4.3** a seguir. Do mesmo modo, com intuito de propiciar uma melhor contextualização do tema no cenário nacional foram escolhidos três relevantes desastres por movimentos de massa ocorridos no Brasil: o desastre na Serra das Araras (1967), o de Santa Catarina (2008) e o da Região Serrana (2011). Todos foram deflagrados por precipitação e tiveram número de mortes significativos no contexto do histórico brasileiro. Os itens **2.1.4.4**, **2.1.4.5** e **2.1.4.6** a seguir pormenorizam esses eventos.

2.1.4.1 Vargas – Venezuela, 1999

Em dezembro de 1999, chuvas constantes e concentradas ocorreram na Cordilheira da Costa Central da Venezuela e provocaram o pior desastre natural associado a movimentos de massa da história da Venezuela e um dos maiores fluxos de detritos induzidos por chuvas documentados em todo o mundo (GENATIOS, 2010).

Segundo Andressen et al. (2001), as chuvas aconteceram desde o início do mês, mas nos dias 14, 15 e 16 foram registrados 911 mm, enquanto a média anual da região é de 555 mm, de acordo com os registros do Serviço Meteorológico da Força Aérea para o período de 1950-1970. A quantidade de chuvas registrada no pluviômetro do Aeroporto de Maiquetía, a 43 m acima do nível do mar, foi de 1207 mm entre os dias 1 e 17 de dezembro.

Conforme destacado por Salcedo (2000), a estação de Maiquetía está localizada no limite oeste da área mais afetada pelo fluxo de detritos. Outras estações em altitudes mais elevadas, como *El Infiernito* (1750 m), não estavam em operação no momento da ocorrência do evento. Assim, é apropriado mencionar que durante um período de fortes chuvas em 1951, a estação *El Infiernito* registrou uma quantidade de chuvas aproximadamente duas vezes maior do que a parte inferior da bacia onde localiza-se a Estação Maiquetía. Este fato permite estimar que, durante o evento de 1999 a precipitação na bacia superior pode ter sido na ordem de 1800 mm entre 14 e 16 de dezembro.

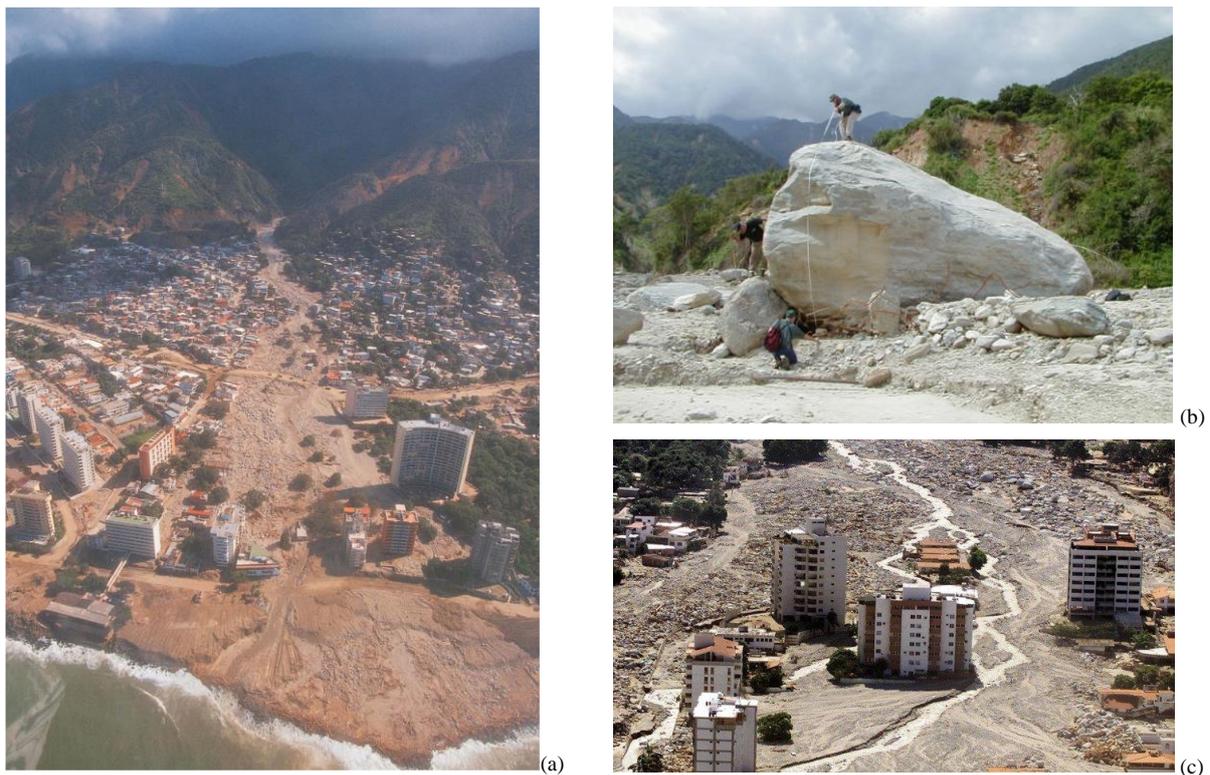
As chuvas ocorridas provocaram escorregamentos e quedas de blocos, bem como a remoção da cobertura vegetal. Embora parte da água tenha sido escoada pela superfície, outra parcela infiltrou no solo nas partes média e alta das bacias, facilitando o trabalho de desagregação

do manto superficial e subsuperficial. Assim, o material removido foi arrastado ao longo dos cursos e novos canais e materiais se incorporaram nos fluxos descendentes em direção às partes planas e até a margem costeira (Figura 8-a) (ANDRESSEN et al., 2001).

No evento foi observado o deslocamento de rochas maiores (Figura 8-b), com pesos superiores a 10 ou 20 toneladas, que destruíram edifícios e geraram em alguns lugares depósitos de mais de 8 m de altura. Foi estimado que o volume de sedimentos depositado foi superior a 20 milhões de m³ (GENATIOS, 2010).

De acordo com Salcedo (2000), o número de mortes estimada por diferentes organismos variou de 5.000 a 50.000 pessoas. Porém, uma estimativa precisa do número de mortes foi difícil de determinar, visto que muitas pessoas ficaram enterradas ou foram empurradas para o mar pelo fluxo de detritos. Somente cerca de 1000 corpos foram encontrados (WIECZOREK et al., 2001).

Figura 8 - (a) Transporte de sedimentos no fluxo de detritos no Estado de Vargas, na Venezuela; (b) Grande pedregulho (11,3 x 5,0 x 3,5 m); (c) Bairro Los Corales.



Fonte: (a) Genatios (2010); (b) Wieczorek et al. (2001); (c) O Globo (2019).

Conforme Genatios (2010), os danos à infraestrutura e funcionamento da cidade de Vargas também foram vultosos (Figura 8-c). Edificações e sistemas de água e esgoto foram destruídos; ocorreu a paralisação do porto e o aeroporto foi designado para atender emergências. Estima-se que o montante das despesas relevantes produzidas imediatamente foi cerca de US \$ 5.000 milhões.

Wieczorek (2001) relata também que observações de campo nas bacias afetadas juntamente com registros históricos indicam que eventos semelhantes ao de 1999 ocorreram anteriormente em toda a região. Depósitos pré-históricos de inundações/fluxo de detritos foram expostos ao longo dos bancos dos canais na maioria das bacias hidrográficas observadas e constatou-se que as dimensões das pedras e a altura dos depósitos são pelo menos tão grandes quanto as registradas em dezembro de 1999 e, em várias áreas, até maiores, apontando que o evento de 1999 não foi necessariamente o maior ocorrido nesta região. Dado isso, o autor destaca a relevância de estudos para o conhecimento da idade dos eventos anteriores e a sua recorrência média.

Como exemplo de eventos anteriores, em 1951, um fluxo de detritos aconteceu na mesma área, porém em menor proporção. Apesar disso, um desenvolvimento urbano extensivo permaneceu ocorrendo na região (WIECZOREK et al., 2001).

Assim, Wieczorek (2001) cita a importância do planejamento da mitigação dos desastres, através de medidas estruturais e não estruturais, a fim de evitar futuras perdas de vida e outros danos causados por eventos similares ou de maior magnitude. Entre as medidas não-estruturais apontadas para o caso de Vargas, o autor aborda algumas ações e questões relativas ao planejamento territorial e urbano, conforme segue:

- Remoção ou conversão da ocupação urbana existente;
- Desencorajamento e regulação do desenvolvimento urbano;
- Impedimento da reconstrução em áreas de alta suscetibilidade;
- Regulação do uso do solo, limitando o tipo ou a intensidade do desenvolvimento em áreas de risco. A exemplo, uma alternativa é zonear essas áreas para usos de espaço aberto, como parques, pastagens ou certos tipos de agricultura.
- Orientação das ruas para que fiquem paralelas à direção descendente do leque aluvional e funcionem como canais de transbordamento do fluxo, limitando possíveis danos às estruturas.
- Orientação dos edifícios de modo que seu comprimento seja paralelo a direção do fluxo.
- Emprego de afastamentos ao longo dos canais de fluxo limitaria os danos em eventos de menor magnitude.
- Construções de dois andares ou mais, em detrimento de residências individuais de um ou dois andares, sabendo que a maioria dos grandes apartamentos resistiu à força dos fluxos de detritos sem desmoronar durante o evento de dezembro de 1999.

2.1.4.2 Gansu – China, 2010

No dia 7 de agosto de 2010 uma tempestade desencadeou fluxos de detritos nas bacias do Sanyanyu e Luojiayu, no Condado de Zhouqu, província de Gansu, no noroeste da China (Figuras 9-a, 9-b e 9-c). Xiao et al. (2003) relataram que este foi o pior desastre já registrado na China. Segundo Tang et al. (2001), os fluxos de detritos são um importante tipo de risco geológico neste país, afetando frequentemente cidades, vilas e aldeias localizadas no sopé da montanha e em leques aluviais.

Os fluxos de detritos de agosto de 2010 se originaram por uma tempestade de tempo de recorrência de mais de 100 anos, registrada pelo pluviômetro localizado em Dongshan, a aproximadamente 10 km da cidade de Zhouqu. Os dados registrados indicam que a precipitação começou por volta das 20h de 7 de agosto e a precipitação acumulada até as 4h de 8 de agosto foi de 96,7 mm. Os relatos indicam que o evento iniciou por volta de 23h40, quando o pluviômetro gravou 77,3mm, entre 23h e 24h (TANG et al., 2001).

Figura 9 - (a) Cidade de Zhouqu destruída pelo fluxo de detritos; (b) Edifícios atingidos na zona de deposição; (c) Município inundado a montante do rio Bailong, que foi bloqueado pelos fluxos de detritos.



Fonte: Cui et al. (2013).

De acordo com Tang et al. (2001), os fluxos de detritos transportaram uma grande quantidade de sedimentos para o rio Bailong, formando uma espécie de barragem de detritos que provocou a inundação de uma grande área. O volume total transportado foi de cerca de 2,2 milhões de m^3 , sendo 1,4 milhões de m^3 pelo fluxo de detritos do Sanyanyu e 0,8 milhões de m^3 pelo fluxo de detritos do Luojiayu. Esse volume transportado foi sem precedentes comparado ao histórico de fluxo de detritos que ocorreram nesta região, com volumes de 0,20 a 0,55 milhões de m^3 . Vale ressaltar que esses volumes estimados desconsideram a parte

fina superior do depósito, removido com a inundação pós fluxo de detritos, bem como o material depositado no canal principal.

Segundo Liu et al. (2012), cerca de 1478 pessoas foram mortas e 297 desaparecidas. O número de pessoas afetadas foi de 20.227, 15 % da população, num total de 4496 famílias. Quanto ao tamanho da área afetada e número de edifícios danificados, há divergências entre os diferentes autores. Liu et al. (2012) relatam uma área total de aproximadamente 60.000m² (606.39 x 10² m²) atingida, 568 edifícios danificados e 4189 edifícios inundados, enquanto Xiao et al. (2003) destacam que o Departamento Provincial de Habitação e Desenvolvimento Rural e Urbano de Gansu reportou que os edifícios foram danificados numa área de mais de 80.000 m² e nesta área, 33 edifícios foram destruídos diretamente pelo fluxo de detritos (em uma área de 11.472 m²) e 20 edifícios foram indiretamente danificados (em uma área de 69.000 m²). Além disso, 205 edifícios foram inundados em uma área de 6.417.820 m² em ambos os lados do rio Bailong. Tang et al. (2001) descrevem a destruição de mais de 5500 casas ao longo do caminho do fluxo.

Conforme exposto por Tang et al. (2001), antes do evento ocorrido em agosto de 2010 o risco de fluxo de detritos na região já era reconhecido, porém seu potencial de devastação não havia sido totalmente estimado. A interação entre os fluxos de detritos e os sistemas humanos é bastante complexo e o entendimento dos caminhos percorridos pelo fluxo é um desafio para engenheiros e geógrafos no processo de prevenção desse tipo de desastre (LIU et al., 2012). Segundo Tang et al. (2001), a propagação e a deposição do material do fluxo de detritos não são determinadas somente pela topografia do leque aluvial, mas também pela localização e características dos edifícios e sua resistência contra a destruição. Dessa forma, estes autores destacam a importância de também considerar a área construída na elaboração dos mapas de risco, a fim de se obter resultados mais confiáveis sobre a distribuição espacial dos detritos.

Para Liu et al. (2012), a maneira que melhor poderia reduzir os desastres por fluxo de detritos seria a modificação dos sistemas humanos, em particular, através da remoção de pessoas e ativos das possíveis áreas afetadas. Entretanto, essa solução pode ser inviável, em função das dificuldades legais e sociais inerentes. Então, estes autores expõem que a melhor solução é construir um modelo de avaliação de risco de fluxo de detritos sobre a economia e a vida humana, de modo a ajustar a estrutura residencial e industrial para redução dos riscos.

Tang et al. (2001) enfatizam a necessidade de melhorar o gerenciamento de riscos de fluxo de detritos e recomendam algumas ações como a regulação e restrição do uso do solo em áreas suscetíveis aos fluxos de detritos, realocação das pessoas que vivem nessas áreas, instalação de sistemas de monitoramento e alerta nas bacias hidrográficas acima das áreas de alto risco e a

construção de estruturas de proteção. Além disso, é citada a importância da elaboração de mapas de risco que possam ser usados pelos planejadores do Departamento de Terras de Recursos da Província de Gansu e outras agências para o desenvolvimento de planos de emergência e alerta, bem como de novas políticas de uso do solo.

2.1.4.3 Kedarnath – Índia, 2013

Durante o mês de junho de 2013 fortes chuvas sem precedentes desencadearam deslizamentos de terra e enchentes no estado indiano de Uttarakhand (Figuras 10-a, 10-b e 10-c), situado ao norte da Índia e ao sul da Cordilheira do Himalaia, causando a morte de mais de 6000 pessoas (ALLEN et al., 2015).

A região em questão apresenta grande propensão a deslizamentos de terra e tem um histórico de outros eventos semelhantes: em 1998, 466 deslizamentos mataram 103 pessoas; em 2001, 27 pessoas vieram a óbito; em 2012, 470 deslizamentos também causaram graves perdas (MARTHA et al., 2015).

As precipitações extremas que provocaram o desastre em Uttarakhand foram incomuns naquele ano. Estudos apontam que tal fenômeno foi desencadeado pela interação entre um sistema meteorológico de latitudes médias e a monção indiana de verão⁷ (JOSEPH et al., 2014 apud Srinivasan, 2013), que naquele ano cobriu todo o país até o dia 16 de junho, com um mês de antecedência (Joseph et al., 2014). O estado de Uttarakhand e áreas adjacentes no Himalaia tiveram 375% mais chuvas que as médias em monções normais (MARTHA et al., 2015).

O observatório meteorológico do Instituto Wadia de Geologia do Himalaia (WIHG – *Wadia Institute of Himalayan Geology*), localizado no acampamento da geleira Chorabari (3820m de altitude) registrou 210 mm de precipitação em 12 horas, entre 15 de junho (17:00) e 16 de junho (5:00). No dia 16 de junho, entre 5:00 e 17:00, 115 mm foram registrados. Assim, somente em 24 horas registrou-se 325 mm de chuva (DOBHAL et al., 2013).

As chuvas desencadearam dois eventos que afetaram principalmente a cidade de Kedarnath. O primeiro evento, no dia 16 pela noite, ocorreu a nordeste de Kedarnath, quando o Rio Saraswati e a bacia do Rio Dudh Ganga (afluente do Rio Mandakini, que margeia a cidade de Kedarnath) foram inundados pela chuva, o que resultou num intenso fluxo em todos os canais e

⁷ O fenômeno da monção é um processo brisa de mar/brisa de terra que ocorre em escala muito ampla, entre o oceano e o continente indianos. No decorrer da Monção Índica de verão (abril a novembro), o oceano Índico, onde reina uma zona anticiclônica, é relativamente frio, enquanto o continente é uma zona mais quente, de baixa pressão e sede de uma corrente ascendente. O vento sopra, portanto, para o nordeste. Fonte: POMEROL, Charles et al.. **Princípios de geologia: técnicas, modelos e teorias**. Bookman, 2013.

provocou excessiva erosão e acumulação de sedimentos nos rios principais. O fluxo de detritos atingiu a cidade de Kedarnath, destruiu a parede de contenção do Rio Saraswati e ocasionou a demolição de três pontes, impossibilitando a fuga das pessoas para áreas mais seguras. Já o segundo evento ocorreu a noroeste da cidade de Kedarnath, no dia 17 às 6:45, quando houve o transbordamento e colapso da morena⁸ do Lago Chorabari, causando enorme devastação no Vale do Kedarnath. (DOBHAL et al., 2013; MARTHA et al., 2015).

Figura 10 - (a) Polícia de Fronteira Indo-Tibetana (ITBP) resgata pessoas presas no rio inundado; (b) O Templo de Kedarnath, ao fundo, no meio de escorbos, em foto tirada em 20 de junho de 2013; (c) Edifícios destruídos próximo ao rio Alaknanda em Govindghat, no estado de Uttarakhand, em 22 de junho de 2013.



Fonte: Reuters (2013).

Quase imediatamente após os desastres as áreas de origem e os caminhos dos fluxos que devastaram as aldeias Kedarnath e à jusante foram reconstruídas remotamente através de imagens e relatórios foram disponibilizados. Em seguida, a atenção científica concentrou-se na compreensão do evento desencadeador das chuvas, como também em discussões em torno dos aspectos humanos importantes do desastre, práticas de desenvolvimento e uso da terra, aspectos físicos e vulnerabilidades sociais e a resposta do governo ao desastre (ALLEN et al., 2015).

Conforme exposto por Dobhal et al. (2013), o crescimento das atividades antropogênicas na área aumentou o risco de desastres e é provável que a intensificação da peregrinação e do turismo permaneça aumentando esse risco. Os autores citam como agente deflagrador a obstrução

⁸ O mesmo que moraina e moréia. Trata-se de amontoados de blocos e argilas carregados pelas geleiras. Fonte: GUERRA, A. T. **Dicionário geológico, geomorfológico**. Secretaria de Planejamento e Coordenação da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1987.

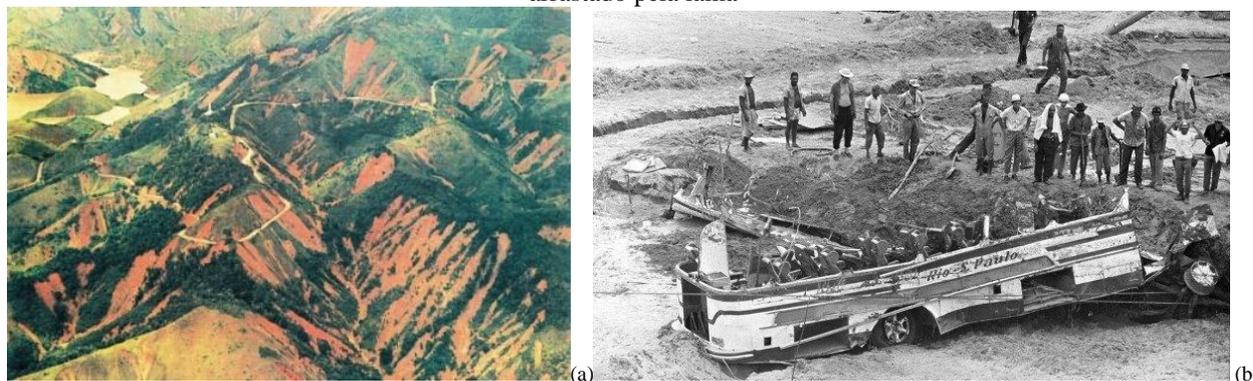
e desvio dos fluxos naturais dos canais devido a construção de estruturas para viabilizar a ocupação. Assim, a tendência de urbanização crescente nessa área deve vir acompanhada da seleção de locais seguros para o desenvolvimento do uso do solo.

2.1.4.4 Serra das Araras (RJ) – Brasil, 1967

Ocorrido entre o dia 22 e 23 de janeiro de 1967, o desastre na região da Serra das Araras, no Rio de Janeiro, é considerado um dos maiores eventos de movimento de massa da história do país. Segundo Jones (1973), uma forte tempestade iniciada por volta das 23 h do dia 22 provocou deslizamentos numa área 26 km de comprimento e 8,6 km de largura (Figura 11-a). Foi atingido um trecho da Rodovia Presidente Dutra, principal ligação entre Rio de Janeiro e São Paulo e o complexo hidroelétrico da Light Serviços de Eletricidade SA (Light), fornecedor da energia do Rio de Janeiro. Conforme descrito por Jones (1973), em aproximadamente 3,5 horas três pluviômetros da região registraram 275 mm (Fazenda da Rosa), 225 mm (Ipê Acampamento) e 218 mm (Barragem de Lajes). A estação da Barragem de Lajes registrou intensidades que variaram de 100 a 114 mm por hora entre 30 e 50 minutos após o início da tempestade.

Alguns jornais da época, tais como o Globo e Jornal do Brasil, relatam que o soterramento das usinas Nilo Peçanha e Fontes provocou a falta de energia por mais de 1 hora no Estado da Guanabara (atual município do Rio de Janeiro) e um racionamento por cerca de três meses. Além disso, registrou-se alguns episódios como o do ônibus Rio - São Paulo, da viação Única, arrastado pela lama, no qual 37 pessoas morreram (Figura 11-b), e o soterramento do acampamento da companhia que realizava a duplicação da Rodovia Presidente Dutra, onde residiam 160 funcionários e suas famílias. Bairros inteiros praticamente desapareceram, a exemplo de Cacaria, Ponte Coberta e Mazomba.

Figura 11 - (a) Escorregamento na Serra das Araras no Rio de Janeiro, 1967. (b) Ônibus da Viação Única arrastado pela lama



Fonte: (a) Vitruvius (2011) e (b) Extra (2017).

Com esses dados, o evento de 1967 é considerado por alguns especialistas como o maior desastre por movimento de massa da história do país, inclusive gerando divergências com especialistas que acreditam ser o evento da Região Serrana em 2011 (G1, 2011). No entanto, o histórico de desastres apresentado pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro registra um número muito inferior de vítimas fatais no evento na Serra das Araras: 500 mortes, contra 905 mortes registradas na Região Serrana.

2.1.4.5 Santa Catarina (SC) – Brasil, 2008

Em novembro de 2008 o estado de Santa Catarina, em especial o Vale do Itajaí, foi cenário de um dos maiores desastres socioambientais da história do estado (Figuras 12-a, 12-b e 12-c), juntamente com as inundações de 1974, 1983, 1984, 1995, 2004 e 2005. Nesse evento, além das inundações, o fato marcante foi a ocorrência de grandes movimentos gravitacionais de massa que geraram fluxos de detritos. (BANCO MUNDIAL, 2012; FLORES et al., 2009).

Segundo Flores et al. (2009), as precipitações no estado iniciaram ainda em agosto de 2008 e tiveram seu ápice em novembro, provocadas por uma instabilidade atmosférica que, entre os dias 21 e 23 de novembro, foi reforçada por um vórtice Ciclônico⁹, causando precipitações concentradas no Médio Vale do Itajaí. De acordo com o relatório do Banco Mundial (2012), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) tem dados que apontam o período do dia 20 a 24 de novembro de 2008 como o de maior registro histórico de chuvas para o estado de Santa Catarina.

Alguns municípios do Vale do Itajaí registraram índices pluviométricos acumulados acima de 500 mm no período de 21 a 25 de novembro. Entre eles, destacam-se Blumenau, 523,9 mm; Balneário Camboriú, 557,5 mm; Luiz Alves, 693 mm e São Francisco do Sul, 604,7 mm (FLORES et al., 2009). Neste mês, recordes históricos foram quebrados: em Blumenau e Joinville os totais do mês ficaram em torno de 1000 mm (equivalente a 1000 litros/m²), para uma média mensal de precipitações de aproximadamente 150 mm (DIAS, 2009).

As intensas precipitações do final de novembro antecedidas por um período de aproximadamente três meses de chuvas deflagraram vários escorregamentos que aconteceram predominantemente nos dias 22 e 23, tanto em áreas urbanas como rurais. Destaca-se ainda que

⁹ Vórtice ciclônico é um sistema atmosférico de baixa pressão, com ventos associados que giram no sentido horário no hemisfério Sul e anti-horário no hemisfério Norte. Fonte: Física em perguntas. Disponível em: <<http://fisicaemperguntas.blogspot.com/2015/01/o-que-sao-vortices-ciclonicos>>. Acesso em: jun. de 2019.

muitos dos movimentos de massa ocorridos foram classificados como fluxo de detritos em função da velocidade da massa deslizando (CEPED, 2009).

Figura 12 - (a) Vista aérea do Morro Coripós, Blumenau, após o desastre de 2008. (b) Braço do Baú, Ilhota; (c) Blumenau.



Fontes: (a) Vitruvius (2016); (b) e (c) Governo do Estado de Santa Catarina (2019).

O total de municípios afetados foi de 74, sendo 14 em Estado de Calamidade Pública -ECP e 60 em Situação de Emergência - SE. O relatório de Avaliação de Danos (Avadans) da Defesa Civil aponta que as chuvas, que duraram até o início de janeiro de 2009, afetaram diretamente 1.5 milhão de pessoas, das quais 82.770 mil ficaram desalojadas e 38.261 desabrigadas (BANCO MUNDIAL, 2012).

Conforme dados do site da Defesa Civil de Santa Catarina, até 02 de abril de 2009 registrou-se um total de 135 mortes e 02 desaparecimentos, sendo 97% dos óbitos resultantes de

soterramento pós-deslizamento de encostas. Os municípios com maior número de vítimas fatais foram Ilhota (41 mortos), Blumenau (24 mortos), Gaspar (17 mortos), Luiz Alves (10 mortos), Rodeio (4 mortos) e Benedito Novo (2 mortos) (CEPED, 2009).

Para entender o desastre em Santa Catarina, em especial no Vale do Itajaí, é preciso compreender os aspectos físicos e o processo de ocupação urbana na região. O Vale do Itajaí está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí (BHRI), que apresenta configuração física caracterizada por vales em formato “V”, declividades acentuadas e formação geomorfológica peculiar, com áreas altamente suscetíveis a cheias e movimentos de massa. A ocupação da bacia iniciou-se na cidade de Itajaí e em 1850 chegou a Blumenau, tendo sido esta última cidade considerada sede de grande parte da colonização da BHRI. As demais cidades da BHRI foram implantando o mesmo padrão de parcelamento da sede, de modo que a morfologia da ocupação das cidades da BHRI, associada a características físicas e sociais, contribuem para a recorrência de desastres na região (LAPOLLI e SIEBERT, 1999; JANSEN e VIEIRA, 2016; JANSEN e VIEIRA, 2018).

De acordo com CEPED (2009), os deslizamentos ocorridos atingiram predominantemente edificações em áreas urbanas, o que corrobora o papel da ocupação das encostas nessa região como um fator de agravamento de ocorrência de desastres. O total de ocupações atingidas que estão localizadas em áreas urbanas é de 84%, mas esse valor é reduzido para 60% quando Blumenau é excluído da contagem dos dados, visto que neste município quase que a totalidade das áreas vistoriadas são urbanas.

Por fim, para melhor ilustrar as considerações acima, o Quadro 6 a seguir apresenta dados do CEPED (2009) que reforçam o problema da ocupação das encostas nos municípios com ocorrência de desastre.

Quadro 6 - Porcentagem das edificações atingidas localizadas em área plana, morro, próximo a talude ou margem de rio - Municípios de SC, desastre de 2008.

Municípios SC	Principais aspectos estruturais - Localização do terreno atingido			
	Área plana	Morro	Próximo a talude	Margem de Rio
Benedito Novo	15,9%	25,0%	47,7%	11,4%
Blumenau	4,8%	44,1%	46,7%	4,4%
Brusque	0,0%	47,0%	51,5%	1,5%
Gaspar	29,9%	20,3%	39,5%	10,2%
Ilhota	9,3%	22,2%	38,9%	29,6%
Indaial	0,0%	60,0%	40,0%	0,0%
Luis Alves	32,4 %	17,3%	35,1%	15,1%

Pomerode	2,7%	37,3%	50,0%	10,0%
Rio dos Cedros	0,0%	36,5%	36,5%	27,1%
Rodeio	0,0%	25,0%	75,0%	0,0%
São Francisco do Sul	18,4%	28,6%	51,0%	2,0%
Timbó	16,5%	17,5%	40,2%	25,8%

Fonte: Adaptado de Ceped (2009).

2.1.4.6 Região Serrana (RJ) – Brasil, 2011

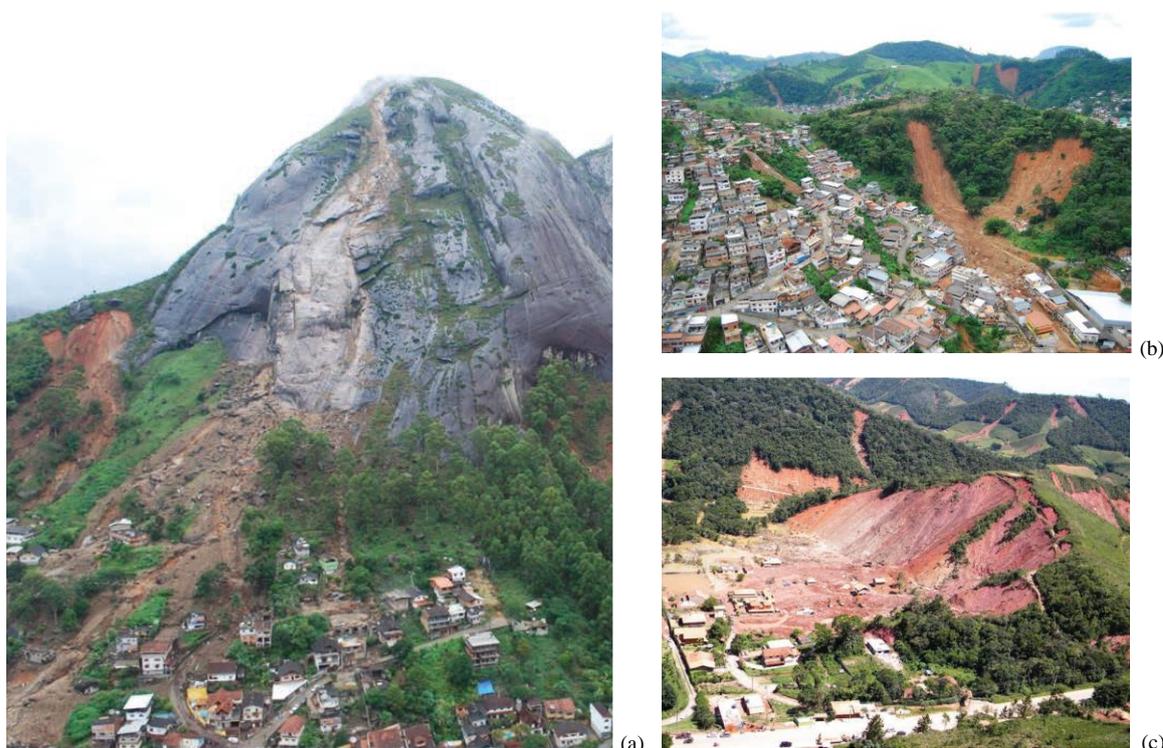
Nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011 a Região Serrana sofreu o maior desastre da sua história, apontado como a maior catástrofe climática e geotécnica do país. Chuvas intensas provocaram enchentes e deslizamentos em sete municípios, afetando principalmente as cidades de Nova Friburgo (Figuras 13-a e 13-c), Teresópolis (Figura 13-b) e Petrópolis. Este evento foi classificado pela ONU como o 8º maior deslizamento ocorrido no mundo nos últimos 100 anos (BUSCH, AMORIM, 2011; DOURADO, ARRAES, FERNANDES E SILVA, 2012).

Os sete municípios mais atingidos foram Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, Bom Jardim, São José do Vale do Rio Preto, Sumidouro e Areal, que decretaram estado de calamidade Pública (ECP). Esse tipo de evento já havia atingido esses municípios em anos anteriores: segundo o Atlas Brasileiro dos Desastres Naturais, em Petrópolis, por exemplo, foram 28 registros oficiais no período de 1991 e 2010, sendo 17 movimentos de massa. Já em Teresópolis constavam 13 registros, sendo 5 relativos a movimentos de massa (BANCO MUNDIAL, 2012, b).

De acordo com Tiga Entralgo (2013), as chuvas que deflagraram os movimentos de massa foram registradas por 46 pluviômetros. Os dados apontam que em alguns locais choveu mais entre os dias 11 e 12 do que o previsto para todo o mês de janeiro. Segundo Dourado et al. (2012), 4 das 5 estações pluviométricas automáticas estavam localizadas em Nova Friburgo, uma das áreas mais afetadas. São elas: Estação de Ypu, com 222,8 mm acumulados em 24 horas, do dia 11 para o dia 12; Estação Sítio Santa Paula, com precipitação acumulada de 240 mm no dia 12; Estação Olaria, com 241,8 mm em 24 h e Estação Nova Friburgo, com 182mm em 24 horas.

Comparando os valores das 4 estações telemétricas com a média no mês de janeiro em Nova Friburgo, de 227 mm, é possível verificar a intensidade das chuvas que atingiram a Região Serrana e provocaram 7.268 movimentos de massa (TIGA ENTRALGO, 2013). Conforme descrito por Dourado et al. (2012), a maior concentração desses movimentos de massa ocorreu na porção norte da crista da serra, nos trechos altos das bacias hidrográficas e, segundo Tiga Entralgo (2013), os tipos mais comuns foram os fluxos de detritos, escorregamentos translacionais e quedas de rochas.

Figura 13 - (a) Deslizamento em Córrego Dantas, Nova Friburgo, RJ. (b) Deslizamento em Teresópolis, RJ. (c) Deslizamento no condomínio do Lago, Nova Friburgo, RJ.



Fonte: Dourado et al. (2012).

Dados da Secretaria Nacional de Defesa Civil e Defesa Civil do Rio de Janeiro, disponibilizados no Relatório de Perdas e Danos do Banco Mundial (2012), apontaram 304.562 pessoas afetadas diretamente pelo desastre, sendo 180 mil pessoas no município de Nova Friburgo. Em São José do Rio Preto e Sumidouro, municípios menores, toda a população foi afetada pelo desastre. O total de desabrigados foi de 16.458 pessoas, 41% no município de Teresópolis. Em relação ao número de mortos, dados oficiais da Polícia Civil contabilizam 905 pessoas (BANCO MUNDIAL, 2012, b), entretanto vários especialistas apontam que o número de mortes é bem superior pois acredita-se que inúmeras perdas não foram documentadas. Além dos danos humanos, as perdas e danos econômicos estimados foram de 4.8 bilhões, sendo 58% concentrados no setor social. Só no setor habitacional foram 55%, num total de 2.6 bilhões (BANCO MUNDIAL, 2012, b).

Conforme abordado por Busch e Amorim (2011), o Conselho Regional de Engenharia do Rio (CREA-RJ) já havia advertido dois anos antes do desastre sobre o perigo das construções em áreas de risco na Região Serrana. Esta região sempre se caracterizou por uma grande suscetibilidade natural, em função da sua localização na Serra do Mar, formada por rochas com camada fina de solo, alta declividade e períodos de chuvas intensas no verão, características que

propiciam maior propensão a deslizamentos. Somado às condições naturais, a ocupação irregular e desmatamento em encostas e margens dos rios agravaram o problema.

Dessa forma, Dourado et al. (2012) expõem que, para evitar novos desastres desta proporção na Região Serrana não se pode somente atuar através de intervenções de obras civis, mas principalmente com ações de prevenção como o mapeamento de áreas de risco e o treinamento e conscientização da população através de palestras nas escolas etc. De Oliveira Filho (2012) apresenta, entre outras, importantes medidas relacionadas à gestão do território na Região Serrana e demais regiões, tais como a implementação da “Lei de Uso e Ocupação de Solo” para elaboração de um zoneamento visando à ocupação adequada; a continuidade da política de Planejamento Urbano; a concepção de um código de obras rigorosamente adaptado às condições da dinâmica ambiental da área; o cumprimento das determinações estabelecidas para as APPs (Áreas de Preservação Permanente): afastamento seguro das margens de córregos e rios, impedimento de ocupações de encostas acima de 45° de inclinação e preservação dos topos de morros, serras e nascentes.

2.2 GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES E PLANEJAMENTO URBANO

Os desastres associados a eventos geohidrológicos são frequentemente gerados ou acentuados pelas atividades humanas, sendo influenciados pela dinâmica econômica excludente e pressão demográfica, que levam as pessoas a se estabelecerem em áreas inadequadas, como as planícies de inundação e áreas suscetíveis a deslizamentos de terra. A falta de planejamento urbano, má gestão ambiental e falta de mecanismos regulatórios colaboram para o aumento do número e magnitude dos desastres. Por estes motivos, o zoneamento de perigo e risco para o planejamento e desenvolvimento urbano é uma necessidade urgente (CASCINI et al., 2005).

No Brasil, por exemplo, o grave problema habitacional e dificuldade de acesso da grande massa da população aos financiamentos do Estado para a compra ou a construção de moradia adequada fortalecem a multiplicação dos loteamentos clandestinos e da autoconstrução, acelerando o processo de periferização e informalidade. Neste contexto, ocorre o crescimento urbano desordenado com a expansão da ocupação em áreas impróprias para habitação, o que aumenta o risco. Ou seja, as análises voltadas à ocupação das áreas de risco apontam que a falta de alternativas habitacionais para a população menos favorecida é um dos principais vetores da produção do risco, à medida que esta classe modela o território enquanto o planejamento urbano excludente atua sobre a “cidade legal”, visto que esta é alvo do investimento privado (COSTA; FERREIRA, 2010)

Diante do exposto, a ação preventiva do planejamento urbano sobre todo o território, e não somente na “cidade legal”, se apresenta como uma das soluções mais potencialmente eficazes, senão a mais eficaz, na Gestão de Risco de Desastre (GRD). Conforme exposto por Schwab et al. (2005), a medida mais profícua na prevenção de desastres é o planejamento, através da identificação das estratégias mais eficazes de gerenciamento de riscos antes que uma área seja zoneada para desenvolvimento. Assim, o planejador deve verificar se é uma decisão sensata permitir o desenvolvimento de áreas propensas a deslizamentos, mesmo que seja possível propor soluções de engenharia.

Com base no exposto anteriormente, Costa e Ferreira (2010) relatam a importância do planejamento urbano incluir a questão das áreas de risco, não somente como uma atividade intelectual de criar planos, mas de modo a incorporar nas políticas públicas e ações concretas do Estado o entendimento sobre o que os autores nomeiam “território potencial do risco”. Neste sentido, é imprescindível o uso da cartografia das áreas de risco em potencial, de forma que seja consolidado nos planos diretores e nos zoneamentos a espacialidade do risco nas cidades. Quanto a isso, Schwab et al. (2005) afirmam que o primeiro passo do processo é identificar o perigo e sua localização. Segundo os autores, o mapeamento dos movimentos de massa é um recurso essencial. Com a identificação dos perigos e todo o processo de mapeamento realizado, poderá ser iniciada a primeira tarefa do planejamento, de avaliar a situação e decidir quais ameaças são mais significativas. Assim, os tomadores de decisão deterão as informações necessárias para concentrar os esforços nos locais mais adequados.

Além disso, tendo em vista que os deslizamentos apresentam um perigo potencial em muitas comunidades, eles merecem atenção dos planejadores e autoridades eleitas locais ao formularem a política de uso do solo. Nesta perspectiva, a legislação cumpre papel fundamental no processo de mitigação de riscos de desastres através do planejamento urbano.

2.2.1 Legislação brasileira

Neste tópico serão abordadas sucintamente a estrutura institucional e legislação relativas à gestão de desastres no Brasil.

O primeiro órgão criado no Brasil para Defesa Civil foi o Serviço de Defesa Civil Passiva Antiaérea, criado pelo Decreto-Lei 4.624 de 1942 em função da pressão popular na ocasião da Segunda Guerra Mundial. Em 1943 o órgão passou a ser denominado Serviço de Defesa Civil, sob a supervisão da Diretoria Nacional do Serviço da Defesa Civil, do Ministério da Justiça e Negócios Interiores, e foi extinto em 1946 pelo Decreto-Lei 9.370 (GANEM, 2012).

Entre 1966 e 1967, em função das fortes chuvas que assolaram a Região Sudeste, provocando enchentes no Estado da Guanabara e deslizamentos na Serra das Araras/RJ (vide item “a” do tópico 2.4.2) e Caraguatatuba (SP), formou-se um Grupo de Trabalho no âmbito do Estado da Guanabara, que elaborou o Plano Diretor de Defesa Civil e organizou a primeira Defesa Civil Estadual do Brasil. Em 1967 também foi criado o Ministério do Interior com a competência, entre outras, de assistir as populações atingidas por calamidade pública em todo território nacional. No decorrer dos anos 70, diversos estados criaram órgãos com a atribuição de desenvolver ações de Defesa Civil (DEFESA CIVIL DO RIO DE JANEIRO, 2019).

Em 1969, o Decreto-Lei 950 instituiu no Ministério do Interior o Fundo Especial para Calamidades Públicas (FUNCAP), constituído por dotações orçamentárias da União e saldos de créditos extraordinários abertos para calamidade pública não aplicados e ainda disponíveis, entre outros recursos (GANEM, 2012).

Todavia, conforme ressaltado por Ganem (2012), somente após a Constituição de 1988 um sistema nacional foi criado. A Constituição Federal de 1988 estabeleceu que a competência de legislar sobre a defesa civil pertence à União, assim como a competência de planejar e promover a defesa contra calamidades públicas, conforme os dispositivos a seguir:

Art. 21. Compete à União:
XVIII - planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações.

Art. 22. Compete privativamente à União legislar sobre:
XXVIII - defesa territorial, defesa aeroespacial, defesa marítima, defesa civil e mobilização nacional;

Segundo Pohlmann et al. (2014), desde a criação da Defesa Civil as ações eram sempre voltadas para atuar nas situações de emergência e/ou calamidade pública, e apenas em 1988 a Defesa Civil passa a ser pensada como instituição para redução de riscos de desastres, a partir a implementação do Sistema Nacional de Defesa Civil através do Decreto nº 97.274 de 16 de dezembro de 1988.¹⁰

O conceito de redução de riscos de desastres é reforçado em 1989 pela ONU (Organização das Nações Unidas), que aprovou através de assembleia a Resolução 44/236, estabelecendo o ano de 1990 como início da Década Internacional para Redução dos Desastres Naturais (DIRDN). Por

¹⁰ O decreto nº 97.274 de 16 de dezembro de 1988 dispõe sobre a organização do Sistema Nacional da Defesa Civil - SINDEC e dá outras providências. Foi revogado em 1993 pelo Decreto nº 895 de 16 de agosto de 1993 que também foi revogado.

efeito do DIRDN, o Brasil elaborou em 1995¹¹ um plano nacional de redução de desastres, chamado de Política Nacional de Defesa Civil (PNDC), pautada em quatro pilares: prevenção, preparação, resposta e reconstrução. (ALMEIDA, 2015). Este plano não tinha força de lei, tendo sido aprovado por uma resolução do Conselho de Defesa Civil.

Várias ações desde 1988 culminaram na Lei Federal nº 12.608 (Figura 14), de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), a realização mais significativa de nível federal promovida no âmbito legislativo do país para redução dos riscos de desastres. Esta lei foi promulgada sobretudo em decorrência dos graves desastres ocorridos no país, como o de Santa Catarina (2008) e o da Região Serrana do Rio de Janeiro (2011) (BRASIL, 2018) e surgiu da necessidade do aperfeiçoamento da gestão de riscos de desastres associada à comoção nacional e pressão pública após os desastres mencionados, que levaram a uma resposta institucional mais efetiva do Governo (ALMEIDA, 2015). A PNPDEC traduziu a necessidade da prevenção, educação ambiental e regramento sobre uso e ocupação do solo associado ao conhecimento das condições físicas do ambiente, de modo a incentivar o planejamento com base em pesquisas e estudos sobre áreas de risco (POHLMANN et al., 2014).

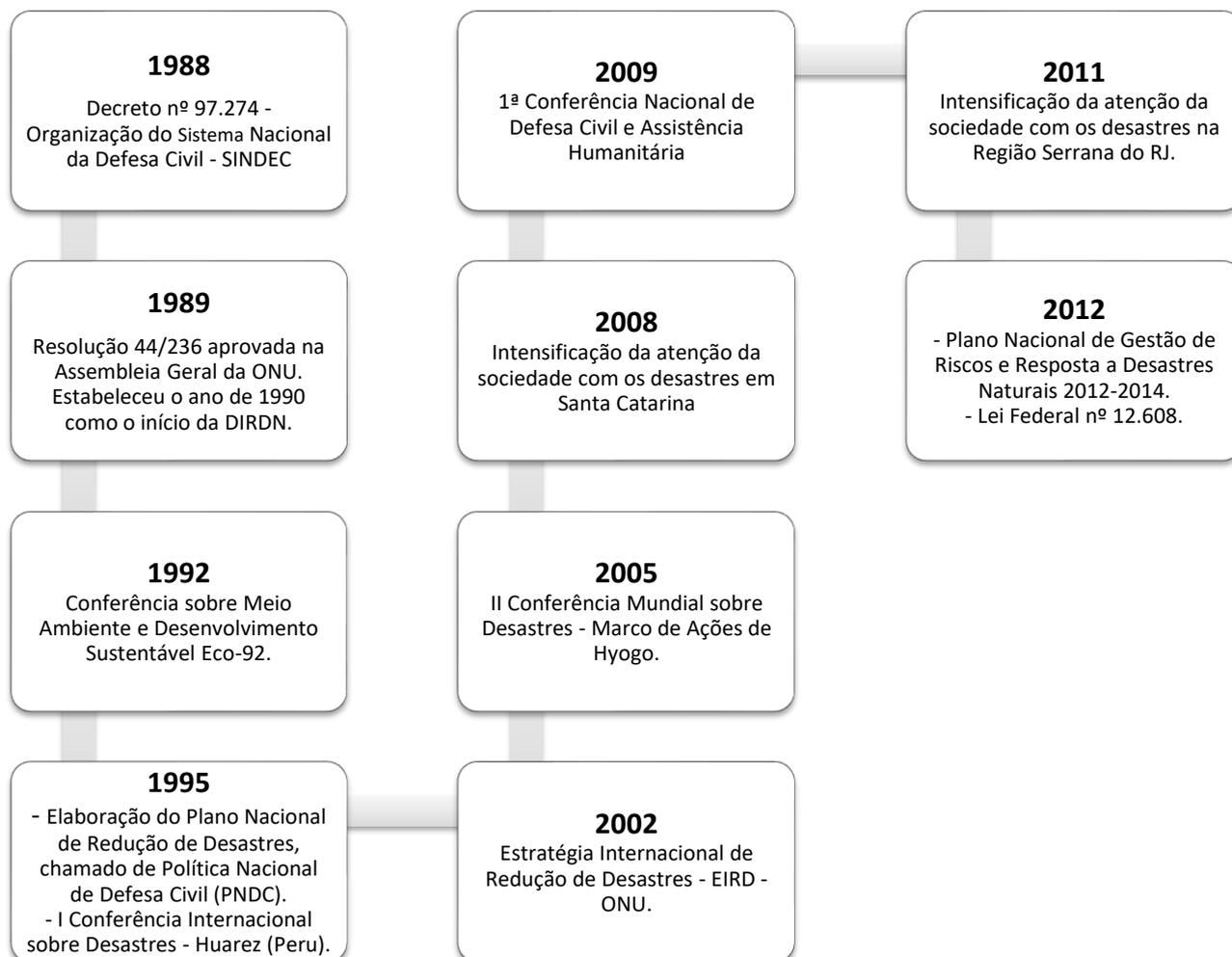
As ações de proteção e defesa civil estão organizadas na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) pelas ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, através de uma gestão sistêmica e contínua, que deve ser adotada por todas as instâncias governamentais – União, Estados, Distrito Federal e Municípios – no âmbito de suas competências legais (DUTRA, 2013). Conforme exposto em BRASIL (2018), a PNPDEC valoriza as medidas de prevenção, e não somente aquelas com foco na resposta e recuperação. Embora as medidas de resposta e recuperação sejam historicamente marcadas como as principais áreas de atuação da Defesa Civil, essa mudança de foco sinaliza o esforço em direcionar o gerenciamento de risco de desastres para o âmbito preventivo, a fim de estabelecer uma “cultura nacional de prevenção de desastres” (ALMEIDA, 2015).

Ademais, segundo Almeida (2015), na PNPDEC pela primeira vez a política de proteção e defesa civil é pensada de modo a integrar-se com políticas de outras áreas. São realizadas modificações não somente no âmbito da Defesa Civil, como na Lei do Estatuto da Cidade, na Lei de Parcelamento do Solo Urbano e na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Essa análise também é realizada por Dutra (2013), que expõe que devido à complexidade e a complementaridade das ações que compõem a Lei Federal nº 12.608, esta estabelece que seus dispositivos deverão ser integrados às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento

¹¹ BRASIL. Diário Oficial da União, pag. 82, Seção I. 2 de Janeiro de 1995.

urbano, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, saúde, educação, ciência e tecnologia, entre outras.

Figura 14 - Histórico dos principais acontecimentos relacionados à Gestão de Riscos de 1988 a 2012.



Fonte: Adaptado de Pohlmann et al. (2014).

No que tange ao ordenamento territorial e planejamento urbano, a referida lei contempla uma série de dispositivos que abarcam o tema, como é perceptível nos incisos IV, VI, VII, X, XI e XII do artigo 5º, que tratam dos objetivos da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, transcritos a seguir:

Art. 5º São objetivos da PNPDEC:

- IV - incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais;
- VI - estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização;
- VII - promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência;

- X - estimular o ordenamento da ocupação do solo urbano e rural, tendo em vista sua conservação e a proteção da vegetação nativa, dos recursos hídricos e da vida humana;
- XI - combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas;
- XII - estimular iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro;

Conforme abordado em BRASIL (2018), a política urbana deve observar a temática da redução dos riscos de desastres, dado que a distribuição da população e das atividades econômicas no território municipal pode gerar riscos ou estar suscetível aos mesmos. Ou seja, o adequado ordenamento territorial e urbano é muito relevante para promover a prevenção dos riscos de desastres.

Neste sentido, no que tange a política de desenvolvimento urbano, a Constituição Federal determina que seja promovida pelo Poder Público Municipal, por meio do Plano Diretor, conforme descrito no artigo 182:

Art. 182. A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.

§ 1º O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

§ 2º A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor.

O artigo 182 foi regulamentado pela Lei Federal nº 10.257, de 10 de junho de 2001, Estatuto da Cidade, que dispõe sobre as diretrizes gerais da política urbana nacional, determina os instrumentos e planejamento a serem adotados no âmbito municipal e dispõe sobre a gestão democrática da cidade.

A Lei Federal nº 12.608 inseriu dispositivos no Estatuto da Cidade. Dessa forma, neste Estatuto a relação entre a política urbana e a redução de riscos de desastres ficou claramente expressa com a inclusão da alínea “h”, inciso VI do artigo 2º, como também dos incisos nos artigos 42-A e 42-B, transcritos a seguir:

Art. 2º. A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais:

- VI – ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar:
 - h) a exposição da população a riscos de desastres.

Art. 42-A. Além do conteúdo previsto no art. 42, o plano diretor dos Municípios incluídos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos deverá conter:

II - mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;

III- planejamento de ações de intervenção preventiva e realocação de população de áreas de risco de desastre;

Art. 42-B. Os Municípios que pretendam ampliar o seu perímetro urbano após a data de publicação desta Lei deverão elaborar projeto específico que contenha, no mínimo:

II- delimitação dos trechos com restrições à urbanização e dos trechos sujeitos a controle especial em função de ameaça de desastres naturais;

Do mesmo modo, a Lei Federal de Parcelamento do Solo Urbano (Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979) também foi modificada pela Lei nº 12.608, que incluiu, dentre outros dispositivos, os § 2º e 3º no artigo 12, transcritos abaixo:

Art. 12. O projeto de loteamento e desmembramento deverá ser aprovado pela Prefeitura Municipal, ou pelo Distrito Federal quando for o caso, a quem compete também a fixação das diretrizes a que aludem os arts. 6º e 7º desta Lei, salvo a exceção prevista no artigo seguinte.

§ 2º Nos Municípios inseridos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, a aprovação do projeto de que trata o caput ficará vinculada ao atendimento dos requisitos constantes da carta geotécnica de aptidão à urbanização.

§ 3º É vedada a aprovação de projeto de loteamento e desmembramento em áreas de risco definidas como não edificáveis, no plano diretor ou em legislação dele derivada.

Através do § 3º acima mencionado, qualquer município brasileiro, e não somente os inseridos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (que é o caso do § 2º), terão a aprovação de loteamentos e desmembramentos condicionada pela avaliação de áreas de risco. Dessa forma, se determinada área for identificada como área de risco não edificável pelo Plano Diretor ou legislação dele derivada, esta não poderá mais ser objeto de parcelamento do solo urbano.

De acordo com o BRASIL (2018), o objetivo dessas disposições inseridas na Lei nº 6.766 foi o de integrar o processo de parcelamento do solo urbano a uma visão mais ampla de ocupação do território, de modo que as análises para aprovação ultrapassem a gleba a ser parcelada, tendo em vista os aspectos do meio físico que impactam na segurança da ocupação no que concerne a redução de riscos de desastres.

A Lei nº 12.608/2012, do mesmo modo que abrangeu o parcelamento do solo urbano, também se estendeu às construções em geral através do Art. 23, que veda a concessão de licença ou alvará de construção em áreas de risco indicadas como não edificáveis no Plano Diretor ou legislação dele derivada:

Art. 23. É vedada a concessão de licença ou alvará de construção em áreas de risco indicadas como não edificáveis no plano diretor ou legislação dele derivada.

Conforme abordado por Dutra (2013), alcançar o disposto na PNPDEC demandará forte protagonismo dos municípios, visto que compete a estes, entre outras tarefas, a inserção de ações de proteção e defesa civil ao planejamento, bem como ações de identificação, mapeamento e fiscalização das áreas de risco, proibição de novas ocupações nessas áreas, aprovação e vistoria das edificações. Tais atribuições estão descritas nos incisos do art. 8º da referida lei, com destaque para os incisos III, IV, V e VII:

Art. 8. Compete aos Municípios:

- III - incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal;
- IV - identificar e mapear as áreas de risco de desastres;
- V - promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas;
- VII - vistoriar edificações e áreas de risco e promover, quando for o caso, a intervenção preventiva e a evacuação da população das áreas de alto risco ou das edificações vulneráveis;

Entretanto, a que se notar que a fragilidade institucional e a baixa capacidade econômica dos municípios, em especial os de menor porte (que representam a maioria dos municípios brasileiros), dificultam a cooperação intergovernamental e geram um grande desafio para a efetivação e consolidação da PNPDEC em nível local (NOGUEIRA; OLIVEIRA; CANIL, 2014).

Ressalta-se ainda que em seu inciso VI do artigo 6º a PNPDEC instituiu o Cadastro Nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, cuja adesão se dá por iniciativa própria do município ou indicação dos demais entes federados. O cadastro foi regulamentado em 2021 pelo Decreto Federal nº 10.692, mas ainda não há uma divulgação oficial dos municípios nele contidos. Municípios incluídos nesta categoria devem adotar as medidas previstas na lei, com o apoio do estado e da União. Algumas destas medidas, estabelecidas no art.22 da PNPDEC, que altera os arts. 3º-A, 3º-B e 5º-A da Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010¹², estão abaixo transcritas:

¹² Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em

Art. 3º-A.

§ 2º Os Municípios incluídos no cadastro deverão:

I - elaborar mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;

IV - criar mecanismos de controle e fiscalização para evitar a edificação em áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos; e

V - elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo e para o aproveitamento de agregados para a construção civil.

Conforme observado por Dutra (2013), os municípios inseridos no Cadastro Nacional, além das medidas de contingência e redução dos riscos previstas no artigo 42, deverão atender a exigências específicas dos artigos 42-A e 42-B do Estatuto da Cidade citados anteriormente. Assim sendo, é possível notar na legislação a articulação entre as diretrizes e ações voltadas para a prevenção de desastres e as diretrizes e ações relacionadas à política urbana e legislação urbanística.

Todavia, apesar da determinação legal se restringir aos municípios integrantes do Cadastro Nacional, é importante que todos os municípios suscetíveis a ocorrência de desastres associados a deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos levem em consideração o disposto na lei (BRASIL, 2018).

Além disso, há que se destacar que, de acordo com o inciso VI do artigo 41 do Estatuto da Cidade, incluído pela PNPDEC, os municípios integrantes do Cadastro Nacional passaram a ter a obrigatoriedade de elaboração do Plano Diretor, mesmo que não se enquadrem em nenhuma das outras exigências constantes nos demais incisos do mesmo artigo:

Art. 41. O plano diretor é obrigatório para cidades:

VI - incluídas no cadastro nacional de Municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. (Incluído pela Lei nº 12.608, de 2012)

Nesta perspectiva, é importante ressaltar que juntamente com a abordagem da redução de riscos no âmbito do Plano Diretor, também é necessário que a Lei de Parcelamento do Solo Urbano e a Lei de Uso Solo (também denominada Lei de Zoneamento) estabeleçam normas relacionadas a redução de riscos de desastres e definam as áreas propícias ou não a ocupação urbana. Ou seja, o Plano Diretor deverá conter orientações gerais sobre parcelamento, uso e ocupação do solo urbano, que deverão ser retratados e detalhados nas leis de uso e ocupação do solo urbano e de parcelamento

áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil; e dá outras providências. (Redação dada pela Lei nº 12.983, de 2014)

do solo urbano, condizentes com os requisitos determinados para a redução de riscos de desastres estabelecidos pela lei 12.608 (BRASIL, 2018).

Do mesmo modo, o Código de Obras e Edificações, apesar de ser legislação relativa às exigências a serem cumpridas para o licenciamento de obras e edificações, têm implicações sobre a gestão de riscos no município e pode conter normas que garantam a segurança, resistência e qualidade as obras e edificações, de acordo com as necessidades locais (BRASIL, 2018; DUTRA, 2013).

Dessa forma, é fundamental que a legislação urbanística e edilícia esteja atualizada, para que a Administração Municipal desempenhe seu papel de controle e fiscalização. Além disso, é de suma importância o mapeamento das áreas de risco para que as exigências contidas na legislação possam ser cumpridas. Neste sentido, evidencia-se a relevância da cartografia geológico-geotécnica, que atua como ferramenta para identificação dos níveis de riscos existentes no território e determinação das áreas não edificáveis e passíveis de condicionantes relativas ao uso e ocupação do solo (BRASIL, 2018). Assim, de acordo com Dutra (2013), a existência do mapeamento é indispensável para o aprimoramento das ações de gestão de riscos, visto que por meio dele são estabelecidos critérios técnicos que possibilitarão o desenvolvimento do arcabouço legal para o ordenamento territorial de maneira mais realista, segura e menos vulnerável.

À vista disso, o item 2.2.3 aborda a temática do mapeamento geotécnico e cartas de aptidão urbana, a fim de melhor elucidar o assunto e sua interface com o planejamento urbano.

2.2.2 Plano Municipal de Redução de Riscos

O Ministério das Cidades, criado em janeiro de 2003, inseriu a pauta da prevenção e redução dos riscos como parte da sua missão de elaborar uma nova política de desenvolvimento urbano no País. Diante disto, o Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) foi concebido por este ministério em 2004 por meio da Ação de Apoio à Prevenção de Riscos em Assentamentos Precários no âmbito do “Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários” (Secretaria Nacional de Programas Urbanos). De acordo com Carvalho e Galvão (2004), “esta ação, inédita na área de políticas nacionais de desenvolvimento urbano, foi composta por duas modalidades: (a) capacitação de equipes municipais para a elaboração de mapas de risco e a concepção de programas preventivos de gerenciamento de risco; e, (b) elaboração de planos municipais de redução de riscos”. Segundo Cerri e Nogueira (2012), o Ministério das Cidades havia disponibilizado até 2012 recursos e suporte técnico para que cerca de 75 municípios

elaborassem seus Planos Municipais de Redução de Riscos com recursos do Orçamento Geral da União.

O PMRR é um instrumento de planejamento urbano, com base no diagnóstico do risco e na proposição de medidas estruturais voltadas para a redução dos riscos (ALHEIROS, 2006), de modo a garantir ao poder público um referencial técnico para direcionamento dos recursos orçamentários necessários à implementação de ações para reduzir e controlar as situações de riscos associados a escorregamentos e inundações.

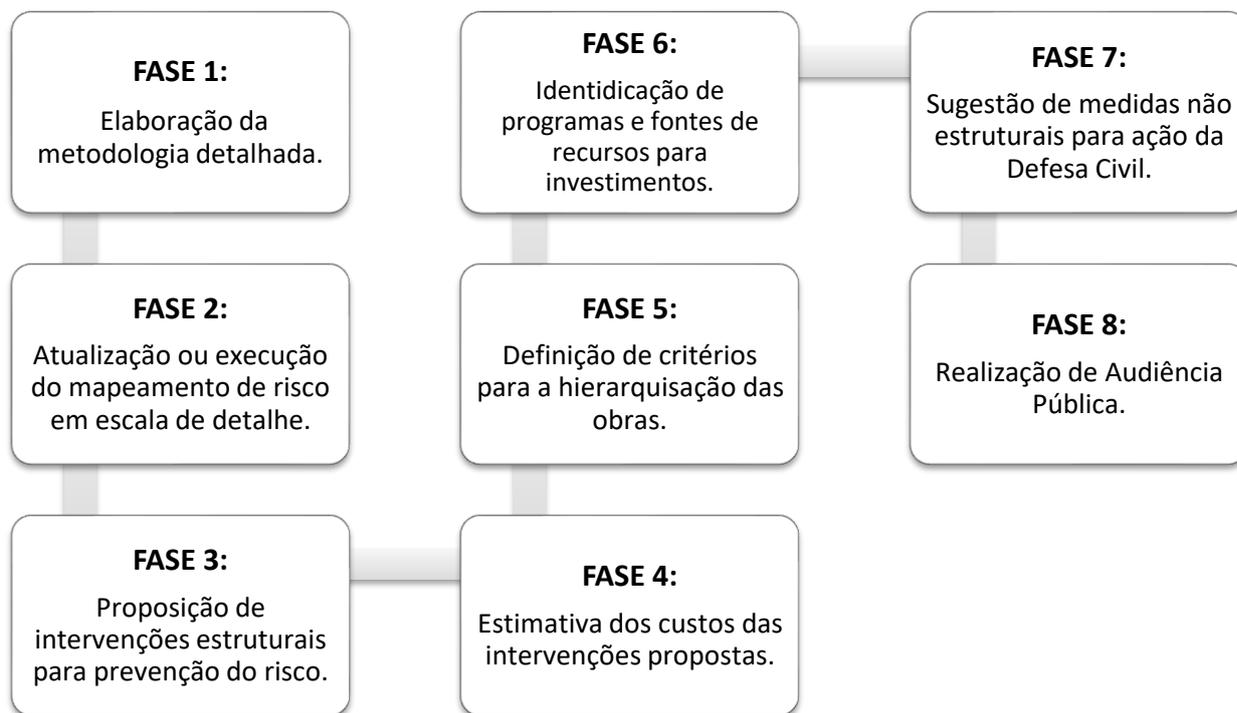
A Lei nº 12.608/12 reforçou a necessidade de um plano para redução de riscos por meio do artigo 22, § 2º, inciso III, que determina que os municípios inclusos no Cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos devem “elaborar plano de implantação de obras e serviços para a redução de riscos de desastre” (BRASIL, 2012).

De acordo com Cerri e Nogueira (2012), o Ministério das Cidades estabelece que o PMRR deve contemplar, no mínimo:

- (1) um diagnóstico do risco nos assentamentos precários do município, tendo por referência metodológica o documento “Critérios para elaboração do mapeamento de riscos em assentamentos precários” (BRASIL, 2004);
- (2) a proposição de intervenções estruturais para redução e controle de riscos nos setores mais críticos do diagnóstico;
- (3) a estimativa de custos para as intervenções sugeridas;
- (4) o estabelecimento de uma escala de prioridades de intervenção, com critérios definidos em conjunto com a prefeitura;
- (5) a identificação de fontes de recursos potenciais para implantação das intervenções prioritárias, buscando programas dos governos municipal, estadual e federal;
- (6) a realização de audiência pública para discussão do plano e busca de agenda comum para implantação das intervenções prioritárias.

Alheiros (2006) estabelece as 8 fases para elaboração do PMRR (Figura 15) no Guia para Elaboração de Políticas Municipais, do Ministério das Cidades. Todas essas etapas devem ser realizadas pelo município, seja por equipe própria ou por meio da contratação de empresas de consultoria ou parcerias com órgãos públicos de pesquisa.

Figura 15 - Fases para elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos.



Fonte: Adaptado de Alheiros (2006).

No documento Orientação Operacional nº 11/2011, expedido pelo Ministério das Cidades aos proponentes e à CAIXA, há uma série de recomendações aos municípios contemplados no programa quanto as condicionantes para a formalização, execução e encerramento do termo de compromisso para a elaboração ou revisão de Planos Municipais de Redução de Risco (BRASIL, 2011).

2.2.3 Cartografia geotécnica

A Cartografia Geotécnica conta com uma vasta gama de publicações de diversos autores. Não é objetivo deste trabalho esgotar o tema, mas somente apresentar uma síntese sobre os principais aspectos relativos aos conceitos, aplicações, tipos de mapas e cartas geotécnicas, metodologia e escala, abordados com base na literatura nacional e internacional, de modo a melhor elucidar a importância do mapeamento geotécnico para o planejamento urbano.

2.2.3.1 Breve Histórico da cartografia Geotécnica no Brasil

A elaboração de trabalhos de cartografia geotécnica iniciou-se no Brasil na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) através do Professor austríaco Haberlehner. Em 1966 Haberlehner publicou no XXII Congresso Brasileiro de Geologia, realizado no Rio de Janeiro, o trabalho intitulado "Princípios de Mapeamento Geotécnico", e um de seus assistentes, o Professor Urbano Heine, também publicou o "Levantamento Geotécnico do Estado da Guanabara", o qual continha uma nota explicativa de uma folha protótipo que estava sendo desenvolvida. Essa folha protótipo abrangia uma área de 10 km², na escala 1:5000 e foi considerada o primeiro mapa geotécnico formalmente publicado no Brasil. Em 1967 a folha foi integrada ao relatório final de 22 especialistas, incluindo o Professor Haberlehner, como resultado de um trabalho que visava estudar as causas dos deslizamentos ocorridos no Rio de Janeiro naquele ano e no ano anterior e orientar as ações governamentais sobre os danos ocorridos (BARROSO; CABRAL, 1997).

De lá para cá, principalmente nos últimos 30 anos, intensificou-se o desenvolvimento de trabalhos e procedimentos metodológicos, através de diferentes centros produtores, a saber: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Departamento de Geotecnia da EESC da USP (Universidade de São Paulo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Estadual de São Paulo (UNESP Rio Claro), Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Universidade Federal do Paraná (UFPA), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Mineropar e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (ZUQUETTE, GANDOLFI, 2004; SOUZA, 2015).

Ao analisar os principais trabalhos de mapeamento geotécnico realizado no Brasil entre 1966 e 1993, Zuquette (1993) afirma que estes seguiram basicamente quatro linhas metodológicas: (1) trabalhos desenvolvidos de acordo com metodologias e sistemáticas de outros países; (2) trabalhos executados com base nos pressupostos da proposta de Zuquette (1987); (3) trabalhos que possuem o título de cartografia ou mapeamento geotécnico, porém são transformações pouco aprofundadas de trabalhos de geologia básica; (4) trabalhos que não fazem referências à aspectos metodológicos, mas que após análise é possível verificar que se enquadram na metodologia do IAEG (*Internacional Association for Engineering Geology*), que é muito ampla.

De acordo com Xavier (2017), após as considerações de Zuquette (1993) sobre o mapeamento geotécnico realizado no Brasil entre 1966 e 1993, muitos outros trabalhos foram realizados no país no intuito de estabelecer propostas metodológicas.

Neste sentido, é importante ressaltar que existem diferentes metodologias para a elaboração de mapas geotécnicos, tanto internacionais como nacionais. Entre as internacionais, Zaine (2000) destaca as seguintes: IAEG (*International Association of Engineering Geology and Environmental*), Francesa ou SANEJOUAND, PUCE (*Pattern Unit Component Evaluation*), ZERMOS (zonas expostas ao movimento dos solos) e Mathewson e Font (1974). Quanto as nacionais, Ribeiro (2016) elenca as metodologias do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), de Cottas (1983), da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), da Unesp/Rio Claro, da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), de Diniz e Freitas (2013), do Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies (Gegep), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), do Ministério das Cidades, da Universidade Federal do ABC (UFABC) e do CPRM.

2.2.3.2 Termos e Conceitos

Inicialmente, a fim de esclarecer os conceitos abordados, é importante destacar que neste trabalho os termos mapas e cartas geotécnicas serão utilizados indistintamente, embora alguns autores diferenciem mapas geotécnicos de plantas e cartas geotécnicas. Para melhor entendimento desta dupla terminologia, Zuquette (1993) explica que as denominações cartografia geotécnica e mapeamento geotécnico são oriundas de duas correntes de trabalho que tem estabelecido influência no país: a de língua francesa (*cartographie geotechnique*) e a de língua inglesa (*engineering geological mapping*). Zuquette (2004) aplicou as definições indicadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Definições de mapa, planta e carta geotécnicos.

TERMO	CONCEITO
MAPA GEOTÉCNICO	Representação dos atributos geotécnicos levantados, sem realização de análise interpretativa e sempre em escalas inferiores a 1:10.000.
PLANTA GEOTÉCNICA	Representação gráfica realizada em escalas mais detalhadas, maiores que 1:10.000, normalmente voltada para locais onde serão executadas obras específicas.
CARTA GEOTÉCNICA	Representação dos resultados da interpretação dos atributos que constam num mapa. Ex.: carta clinométrica obtida a partir do mapa topográfico, carta de escavabilidade etc.

Fonte: Adaptado de Zuquette (2004).

De acordo com a *International Association of Engineering Geology* (IAEG), um mapa geotécnico (mapa geológico de engenharia) é um tipo de mapa geológico que fornece uma representação generalizada de todos os componentes de um ambiente geológico de importância no uso do solo, planejamento, projeto, construção e manutenção aplicados à engenharia civil e de mineração (IAEG, 1976). Segundo Zuquette (1987) *apud* Zuquette (1993) o mapeamento geotécnico é um processo que tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, de modo que tais informações possam ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento e outros. Diniz (1998) *apud* Diniz (2012) conceitua a cartografia geotécnica como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da geologia de engenharia voltada para o planejamento e gestão ambiental urbana e territorial. Para Pandrini et al. (1995), as cartas e/ou mapas geotécnicos são os produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico aplicado para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo. González de Vallejo et al. (2002) explicam que os mapas geotécnicos constituem um método para representar cartograficamente as informações geológico-geotécnicas com o objetivo de planejamento e uso do território, bem como para o projeto, construção e manutenção de obras de engenharia.

Com base nas conceituações abordadas acima, entende-se que as cartas geotécnicas são produtos cartográficos que agregam os componentes do meio físico e os processos atuantes em uma determinada área, com o intuito de subsidiar o planejamento do uso do solo urbano e rural.

2.2.3.3 Tipos e escalas

Cerri (1990) classifica as cartas geotécnicas como cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco. Bittar et al. (1992) defendem a subdivisão em quatro principais tipos: cartas geotécnicas dirigidas, cartas geotécnicas convencionais, cartas de suscetibilidade e cartas de risco geológico. Prandini et al. (1995) definem quatro tipos principais de cartas geotécnicas: as cartas geotécnicas (propriamente ditas), cartas de riscos geológicos, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros.

Souza (2015) afirma que, após uma pesquisa em mais 200 trabalhos, entre os quais livros, dissertações de mestrado, teses de doutoramento e artigos em periódicos, pôde constatar que existe uma variedade enorme de termos e produtos, sendo alguns mais frequentes como suscetibilidade, risco, aptidão, com seus respectivos mapas e cartas, outros menos comuns, como fragilidade, vulnerabilidade, sensibilidade, predisponência, restrições etc. Além dos diferentes termos e produtos, o autor também constatou uma grande variabilidade das escalas de mapeamento, que

compreendeu ser consequência dos produtos cartográficos básicos existentes em cada local. Esses produtos tratam de um conjunto de assuntos relacionados ao uso do meio físico, tais como uso urbano, implantação de obras civis, uso agrícola e exploração de recursos minerais, estudos diversos sobre processos geodinâmicos, entretanto, não existe um padrão comum ou normatização dos conceitos e dos procedimentos executados na realização destes, assim como das escalas de trabalho e apresentação final. Em vista disso, Souza (2015) coloca que no atual estágio de desenvolvimento da cartografia geotécnica no Brasil, admite-se essa dificuldade, ou mesmo a impossibilidade desta padronização. Entretanto, acredita-se que seja possível alcançar um estado de concordância num futuro próximo a partir da evolução do estado da arte da cartográfica geotécnica e geoambiental.

Tendo em vista o abordado anteriormente, entende-se a importância da correlação entre os tipos de produtos a serem gerados e o objeto de estudo (SOUZA, 2015). Portanto, a fim de evitar inúmeras classificações, este trabalho adotou a nomenclatura de três tipos de carta descritas nos itens 2.2.3.4, 2.2.3.5 e 2.2.3.6: a carta geotécnica de suscetibilidade, a carta geotécnica de aptidão à urbanização e a carta geotécnica de risco geológico. Esta escolha se justifica, entre outros motivos, pela sua adoção no Ministério das Cidades em 2011, através de uma parceria com a Universidade Federal de Pernambuco (BATISTA et al., 2015), e também porque sua utilização está subentendida na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) que, ao estabelecer que o Plano Diretor municipal deve conter o mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações, e que a identificação e o mapeamento de áreas de risco devem levar em conta as cartas geotécnicas, considera haver uma precedência entre as cartas requeridas pela legislação (BITAR et al., 2015).

Quanto à escala dos mapas geotécnicos, o IAEG (1976) utiliza a divisão em três categorias, conforme Quadro 8:

Quadro 8 - Escala do mapa geotécnico.

ESCALA	<ul style="list-style-type: none"> - Local: 1:10.000 e superior. - Urbana: entre 1:10.000 e 1:100.000. - Regional: 1:100.000 e inferior.
--------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Adaptado de Unesco – IAEG (1976).

Com relação ao mapa geotécnico para zoneamento de risco, Soeters e Van Westen (1996) explicitaram que a escala de trabalho é determinada pelos requisitos do usuário para quem a pesquisa é executada e, tendo em vista que planejadores, engenheiros, arquitetos e urbanistas,

geógrafos e geólogos formam a comunidade de usuários mais atuante, propõe uma diferenciação das escalas de análise conforme exposto no Quadro 9:

Quadro 9 - Zoneamento de risco, escalas de análise e aplicação.

ESCALA	APLICAÇÃO
Escala Nacional (<1:1 milhão)	<ul style="list-style-type: none"> • É destinada a fornecer um inventário geral das áreas com problemas de um país inteiro; • Podem ser usadas para informar tomadores de decisão de políticas nacionais e o público em geral.
Escala regional (1: 100.000 a 1: 500.000)	<ul style="list-style-type: none"> • Destina-se às fases iniciais de projetos de desenvolvimento regional ou à avaliação de instabilidade no desenvolvimento de grandes projetos de engenharia e planos de desenvolvimento regional; • As áreas a serem investigadas são grandes, da ordem de 1.000 km² ou mais, e o nível de detalhes do mapa é baixo; • As unidades de terreno com extensão de várias dezenas de hectares são delimitadas e classificadas de acordo com sua suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa.
Escala média (1: 25.000 a 1: 50.000)	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser usada na determinação de zonas de risco em áreas afetadas por grandes estruturas de engenharia, estradas e urbanização; • As áreas a serem investigadas podem cobrir algumas centenas de quilômetros quadrados; no entanto, é necessário um nível de detalhe consideravelmente mais alto nesta escala; • Os detalhes devem ser tais que as inclinações adjacentes na mesma litologia devem ser avaliadas separadamente e possam ser obtidas diferentes classificações de risco, dependendo de suas características, como ângulo de inclinação ou forma e tipo de uso do solo. Dentro da mesma unidade de terreno, distinções devem ser feitas entre diferentes segmentos de declive. Por exemplo, uma inclinação côncava deve receber uma classificação diferente, quando apropriado, de uma inclinação reta ou convexa adjacente.
Grande escala (1: 5.000 a 1: 15.000)	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser usada no nível da investigação e intervenção local; • Essa escala permite avaliação da variabilidade de um fator de segurança em função de condições variáveis de declive ou sob a influência de fatores desencadeantes; • O tamanho da área em estudo pode variar de várias dezenas de quadrados quilômetros; • As classes de perigo nesses mapas devem ser absolutas, indicando a probabilidade de falha para cada célula da grade ou unidade de mapeamento com áreas de até um hectare ou menos claramente definidas; • Embora a seleção da escala de análise geralmente seja determinada pela aplicação pretendida dos resultados do mapeamento, a escolha da técnica do mapeamento permanece aberta. Essa escolha depende de tipo de problema e disponibilidade de dados, recursos financeiros e tempo para a investigação, bem como a experiência profissional dos envolvidos na pesquisa.

Fonte: Baseada nos dados de Soeters e Van Westen (1996).

Em seu estudo sobre zoneamentos específicos de movimentos de massa, Fell et al. (2008) afirmam que a escala deve ser selecionada levando em consideração os objetivos específicos do mapa e propõem a divisão em três tipos: zoneamento de suscetibilidade, zoneamento de perigo e zoneamento de risco. O zoneamento de suscetibilidade, envolve a classificação, área ou volume (magnitude) e distribuição espacial do movimentos de massa existentes ou potenciais na área de estudo; o zoneamento de perigo considera os resultados do mapeamento da suscetibilidade de escorregamento e estabelece uma frequência determinada (por exemplo, probabilidade anual) para os movimentos de massa potenciais; e o zoneamento de risco considera os resultados de mapeamento de perigo e analisa os danos em potencial a pessoas (probabilidade anual de perda de vidas), a propriedades (valor anual de perda de propriedades) e fatores de meio ambiente (valor anual de perda de ecossistemas) para elementos em risco, levando em consideração a probabilidade e vulnerabilidade espaço-temporais. Os autores desenvolveram uma tabela de escalas de mapeamento de zoneamento de movimentos de massa de acordo com a necessidade de aplicação (Quadro 10). Em termos práticos, no entanto, a escala do mapeamento pode ser condicionada pela escala dos mapas topográficos disponíveis.

Quadro 10 - Escalas de mapeamento de zoneamento de movimentos e massa e sua aplicação.

ESCALA	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO ZONEAMENTO	ÁREA TÍPICA DE ZONEAMENTO
<1:100.000	<ul style="list-style-type: none"> • Inventários de deslizamentos e suscetibilidade para informar tomadores de decisões e público em geral. 	>10.000 quilômetros quadrados
1:100.000 a 1:25.000	<ul style="list-style-type: none"> • Inventário de deslizamento e zoneamento de suscetibilidade para construções regionais, ou projetos de engenharia de grande porte; • Mapeamento de perigo de nível preliminar para áreas locais. 	1.000 – 10.000 quilômetros quadrados
1:25.000 a 1:5.000	<ul style="list-style-type: none"> • Inventário de deslizamentos, zoneamento de perigo e suscetibilidade para áreas locais, zoneamento de perigo de nível intermediário e avançado para obras de desenvolvimento regional; • Zoneamento de risco de nível preliminar a intermediário para áreas locais e estágios avançados de planejamento de projetos de engenharia de grande portem estradas e ferrovias. 	10 – 1.000 quilômetros quadrados
> 1:5.000	<ul style="list-style-type: none"> • Zoneamento de perigo e risco de nível intermediário e avançado para áreas locais e sítios específicos e para a fase projeto da construção de estruturas de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias. 	Muitos hectares ou dezenas de quilômetros quadrados

Fonte: Modificada de Fell et al. (2008).

Cerri et al. (1996) propuseram o método do detalhamento progressivo no qual o mapeamento geológico-geotécnico deveria ser realizado em 3 etapas sucessivas, cada uma delas com um tema técnico e um nível de aprofundamento necessário ao desenvolvimento da fase subsequente. Zaine (2000) denominou essas etapas como:

(a) 1ª etapa ou geral, com mapeamento geológico-geotécnico regional na escala 1:50.000 ou 1:25.000 apresentando a caracterização do meio físico geológico;

(b) 2ª etapa ou etapa intermediária, com cartas e/ou mapas geotécnicos apresentados na escala 1:25.000 (1ª etapa = 1:50.000) ou 1:10.000 (1ª etapa = 1:25.000), nas áreas de adensamento e/ou expansão urbana selecionadas a partir do mapa da etapa geral;

(c) 3ª etapa ou Etapa de detalhe, com mapas na escala 1:10.000, com base na caracterização do meio físico geológico e na identificação de eventuais problemas geológico-geotécnicos selecionados que, se necessário, deverão ser detalhados em escalas maiores que 1:5000.

Sobreira e Souza (2012) afirmam que o método do detalhamento progressivo pode ser utilizado em práticas de planejamento e ordenamento urbano, de modo que a etapa geral seja representada pela suscetibilidade, a etapa intermediária (ou de semidetalhe) seja representada pela aptidão à urbanização e a etapa de detalhe pelo risco. Entretanto, estes autores propõem que as escalas sejam de maior detalhe em todos os três níveis, conforme o Quadro 11:

Quadro 11 - Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano – escalas e processos mapeáveis.

PRODUTO	ESCALAS DE MAPEAMENTO	PROCESSOS GEODINÂMICOS PASSÍVEIS DE IDENTIFICAÇÃO
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou de maior detalhe	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Cartas de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou de maior detalhe	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/ enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou de maior detalhe	Movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Fonte: Sobreira e Souza (2012).

É importante ressaltar que esta sequência de análise é a ideal para planejamento de cidades novas. Entretanto, para o caso de cidades já implantadas, estes níveis hierárquicos de estudo podem ser desenvolvidos independentemente, segundo as necessidades mais imediatas dos municípios (SOBREIRA; SOUZA, 2012).

2.2.3.4 Carta geotécnica de suscetibilidade (CGS)

A carta de suscetibilidade está implícita no inciso I do artigo 22 da PNPDEC e, segundo Bitar et al. (2015), classifica os terrenos em distintos graus quanto a propensão a processos do meio físico que podem gerar desastres naturais (Figura 16). Trata-se de um mapa interpretado que reflete a variação da capacidade dos terrenos em desenvolver um determinado movimento de massa. Essa carta possui finalidade multiuso, podendo ser usada no planejamento urbano e rural, planejamento de infraestrutura, planos de reabilitação, planejamento regional etc. No caso das cidades, a CGS poderá auxiliar na identificação das melhores áreas para urbanização e na necessidade de avaliações com maior nível de detalhe em relação ao risco das regiões já ocupadas.

Sobreira e Souza (2012) sugerem que as Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade (CGSs) sejam criadas com um nível de detalhe maior do que a escala 1:25.000. Um exemplo relevante é o estudo de Souza (2015) realizado no quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, onde duas CGSs foram desenvolvidas para o mesmo local, diferindo apenas na escala: uma em 1:25.000 e outra em 1:50.000. Os resultados indicaram que a CGS na escala de 1:50.000 apresentou aproximadamente 50% menos identificações de áreas com alta suscetibilidade.

As informações básicas necessárias para elaboração de uma CGS são as seguintes:

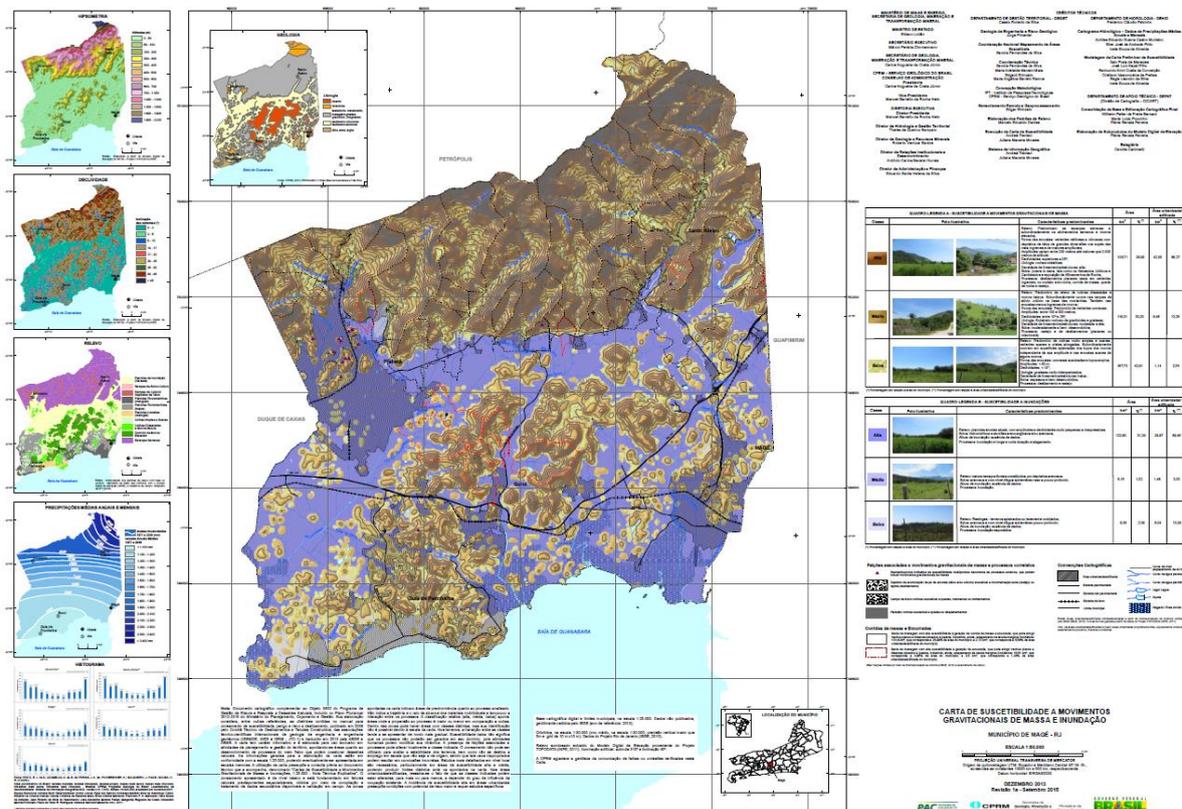
1. Mapas topográficos nas escalas 1:25.000 ou maiores;
2. Informações da rede de drenagem para avaliação dos escoamentos superficiais e de interfluxo das águas pluviais;
3. Análises de declividade, concentração de fluxo e curvaturas vertical e horizontal das encostas (Análises Morfométricas);
4. Mapa de materiais considerados inconsolidados (solos residuais e transportados), com especial atenção aos depósitos de tálus/colúvios e os depósitos aluvionares;
5. Mapa geológico estrutural para identificar as principais estruturas que podem condicionar rupturas translacionais, fluxos superficiais e corridas de detritos e solo.
6. Histórico de ocorrências de movimentos de massa e inundações considerando a separação entre a deflagração de processos naturais e induzidos, bem como as tipologias de processos de movimentos de massa.

As CGSs são instrumentos que servem como base para definir ações a longo prazo, não sendo possível definir ações a curto e médio prazo. Uma vez elaborada a CGS para uma dada região, Souza (2015) sugere três ações importantes:

- a- As regiões identificadas como de alta suscetibilidade e que estejam ocupadas, devem ser mapeadas em escala de detalhe (em geral 1:2.000) para a identificação do risco geológico;
- b- As regiões identificadas como de alta suscetibilidade e que não estejam ocupadas, devem ser consideradas inicialmente como áreas com restrições à ocupação em detrimento das áreas delimitadas com média ou baixa suscetibilidade;
- c- As regiões identificadas como de baixa e/ou média suscetibilidade, ocupadas ou não, devem ser destinadas à elaboração de cartas geotécnicas em maior escala para avaliação da sua aptidão ao uso urbano.

Os critérios para classificação das regiões em alta, média ou baixa suscetibilidade (Figura 17) dependem do método de elaboração da CGS. Esses critérios fogem ao escopo do presente trabalho e podem ser encontrados em Souza (2015).

Figura 16 - Carta Geotécnica de Suscetibilidade do Município de Magé – RJ elaborada pelo CPRM em 2013 e revisada em 2015.



Fonte: CPRM (2013b).

Figura 17 - Trecho da legenda da Carta Geotécnica de Suscetibilidade do Município de Magé – RJ, com a descrição das classes de suscetibilidade a movimentos de massa (alta, média ou baixa) e características predominantes de cada uma.

QUADRO-LEGENDA A - SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA		
Classe	Foto ilustrativa	Características predominantes
Alta		<p>Relevo: Predominam as escarpas serranas e subordinadamente os alinhamentos serranos e morros elevados;</p> <p>Forma das encostas: vertentes retilíneas a côncavas com depósitos de talus de grandes dimensões nos sopés das mais íngremes e de maiores amplitudes;</p> <p>Amplitudes variam entre 200 metros até maiores que 2.000 metros de altitude;</p> <p>Declividades: superiores a 25°;</p> <p>Litologia: rochas cristalinas;</p> <p>Densidade de lineamentos/estruturas: alta;</p> <p>Solos: jovens e rasos, tais como os Neossolos Litólicos e Cambissolos e exposição de Afloramentos de Rocha;</p> <p>Processos: deslizamentos planares rasos em vertentes íngremes, no contato solo-rocha, corrida de massa, queda de rocha e rastejo;</p>
Média		<p>Relevo: Predomínio de relevo de colinas dissecadas e morros baixos. Subordinadamente ocorre nas rampas de alúvio colúvio na base das montanhas. Também nas encostas menos íngremes de morros;</p> <p>Forma das encostas: Predomínio de vertentes convexas;</p> <p>Amplitudes: entre 100 e 300 metros;</p> <p>Declividades: entre 10° e 25°;</p> <p>Litologia: Substrato rochoso de granitoides e gnaisses;</p> <p>Densidade de lineamentos/estruturas: moderada a alta;</p> <p>Solos: moderadamente a bem desenvolvidos;</p> <p>Processos: rastejo e de deslizamentos (planares ou rotacionais).</p>
Baixa		<p>Relevo: Predomínio de colinas muito amplas e suaves, vertentes suaves e cristas alongadas. Subordinadamente ocorrem em superfícies aplainadas dos topos dos morros independente da sua amplitude e nas encostas suaves de alguns morros;</p> <p>Forma das encostas: convexas suavizadas e topos amplos;</p> <p>Amplitudes: < 50 m;</p> <p>Declividades: < 10°;</p> <p>Litologia: gnaisses muito intemperizados;</p> <p>Densidade de lineamentos/estruturas: baixa;</p> <p>Solos: espessos e bem desenvolvidos;</p> <p>Processos: deslizamento e rastejo.</p>

Fonte: CPRM (2013b).

2.2.3.5 Carta geotécnica de aptidão urbana (CGAU)

A carta geotécnica de aptidão urbana (Figura 18) tornou-se obrigatória através do inciso V do artigo 22 da Lei Federal nº 12.608/12 e é um instrumento de planejamento e gestão municipal voltado para a prevenção de desastres através do fornecimento de subsídios que norteiam a ocupação urbana. Conforme Sobreira e Souza (2012), a aptidão a urbanização refere-se à capacidade dos terrenos de suportar os diferentes usos e práticas da engenharia, da arquitetura e do urbanismo, com o mínimo de impacto possível e com o maior nível de segurança para a população. Esses autores definem que o objetivo final das CGAU é definir áreas que não são passíveis de ocupação e os setores que podem ser ocupados.

Segundo Bitar et al. (2015), a CGAU contém o resultado de uma avaliação dos perigos relacionados aos processos do meio físico e as orientações para uso e ocupação do solo, com base nas limitações e potencialidades de cada unidade geotécnica delimitada.

Oliveira Filho (2015) destaca o papel da carta geotécnica de aptidão urbana de combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco, com iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro. Do mesmo modo, Batista (2015) enfatiza a importância desta carta em evitar o surgimento de novas áreas de risco.

De forma concisa, Nogueira e Canil (2017) definem a carta de aptidão urbana como um instrumento cartográfico que tem por objetivo o fornecimento de informações que orientem o parcelamento do solo no processo de uso e ocupação, de forma equilibrada com a condição de suporte do meio físico, evitando-se os riscos e as consequências dos desastres. É interessante observar que tal instrumento é fundamental para a orientação da expansão urbana, tanto em áreas urbanas pouco consolidadas, como também nos novos projetos de parcelamento do solo, empreendimentos e loteamentos (SOUZA, 2015; NOGUEIRA, CANIL, 2015).

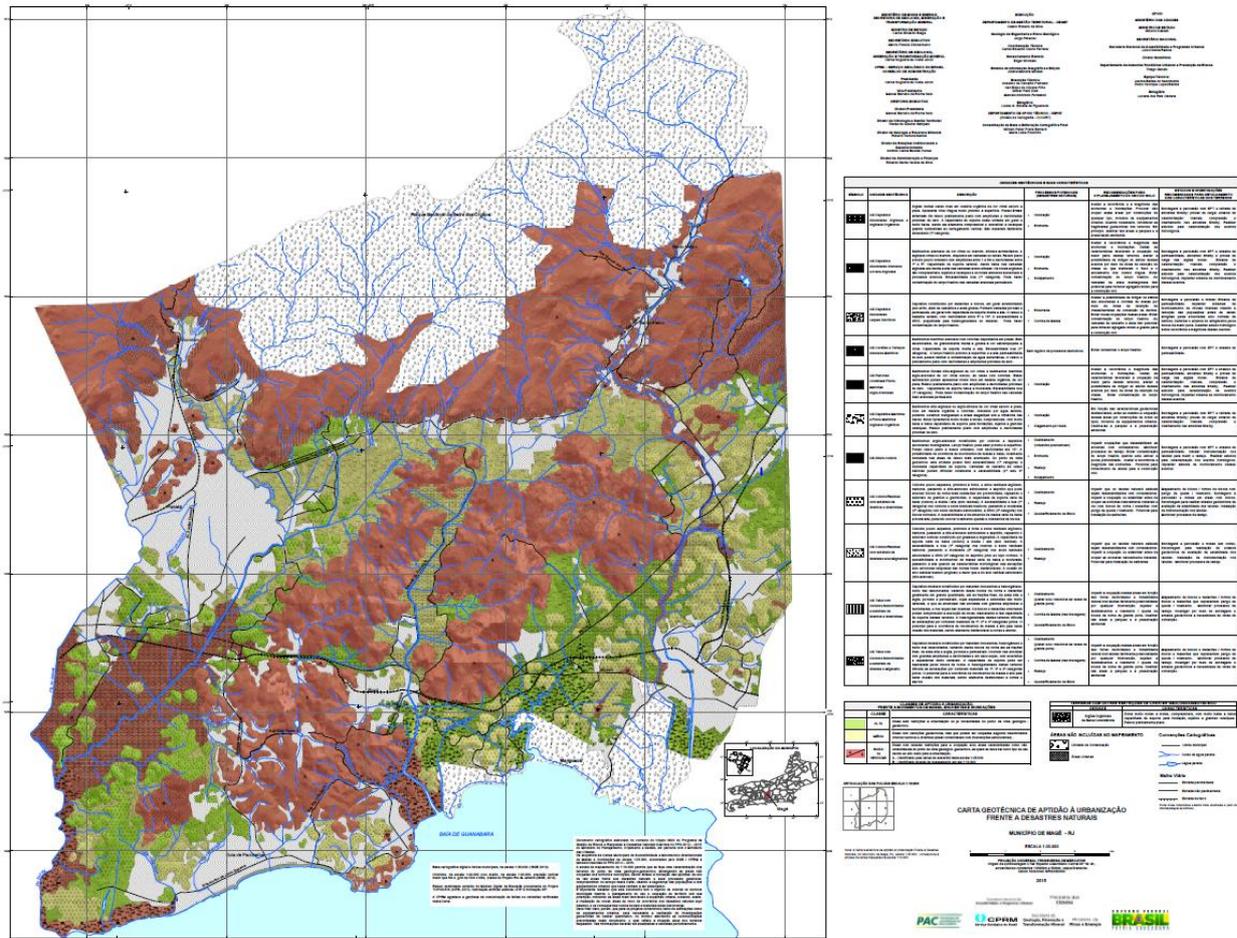
Souza (2015) expõe ainda que no caso das áreas consolidadas, consolidáveis com potencial para adensamento e consolidáveis sob condicionantes é possível que haja necessidade de reordenamento urbano a fim de evitar riscos pontuais. Para tanto, é imprescindível que as cartas geotécnicas de aptidão apresentem uma abordagem integrada dos diagnósticos dos eixos físico-ambiental (aptidão a urbanização), jurídico-legal e socioeconômico-organizativo, a fim de gerar um produto que defina orientações sobre as áreas regularizáveis, regularizáveis sob condições e não regularizáveis, bem como sobre a possível liberação ou impedimento da titulação.

A partir da análise preliminar da CGS, deve-se escolher regiões de particular interesse para gerar CGAUs contendo três classes principais: aptidão alta, média e baixa/inexistente (Figura 19). Assim como mostrado para CGSs, as CGAUs sofrem grande influência da escala adotada, sendo recomendada escalas de 1:10.000 ou de maior detalhamento. No entanto, a elaboração de uma CGAU nessa escala envolve intenso trabalho de campo, modelagens matemáticas e estudos complementares. (Souza, 2015)

Coutinho (2013) apresenta a proposta de mapeamento da CGAU em escala de 1:25.000 com fins de planejamento e gestão territorial e na escala 1:10.000 ou de maior detalhe para parcelamento do solo, a fim de que haja detalhamento suficiente das informações de modo a permitir diretrizes para projetos de parcelamento dentro do perímetro urbano do município.

O APÊNDICE 3 apresenta um panorama das principais publicações brasileiras sobre CGAU.

Figura 18 - Carta Geotécnica de Aptidão Urbana do Município de Magé – RJ elaborada pelo CPRM em 2015.



Fonte: CPRM (2015).

Figura 19 - Legenda da Carta Geotécnica de Aptidão Urbana do Município de Magé – RJ, com a descrição das classes de aptidão à urbanização (alta, média, baixa ou nenhuma).

CLASSES DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO, FRENTE A MOVIMENTOS DE MASSA, ENCHENTES E INUNDAÇÕES		
SIMBOLO	CLASSE	CARACTERÍSTICAS
[Verde Claro]	ALTA	Áreas sem restrições à urbanização ou já consolidadas do ponto de vista geológico - geotécnico.
[Amarelo]	MÉDIA	Áreas com restrições geotécnicas, mas que podem ser ocupadas segundo determinados critérios técnicos e diretrizes (áreas consolidáveis com intervenções estruturantes) .
[Vermelho]	BAIXA ou NENHUMA	Áreas com severas restrições para a ocupação e/ou áreas caracterizadas como não consolidáveis do ponto de vista geológico -geotécnico, às quais se deve dar outro tipo de uso devido ao alto custo para a urbanização . A – Identificado pela cartas de suscetibil idade escala 1:25.000 B – Identificado através de mapeamento esc ala 1:10.000

Fonte: CPRM (2015).

2.2.3.6 Carta geotécnica de Risco Geológico (CGRG)

A carta geotécnica de risco geológico está implícita no inciso III do artigo 22 da PNPDEC e apresenta a distribuição dos riscos geológicos em tipo e grau visando a prevenção de desastres.

Segundo Cerri et al. (1995), nas cartas geotécnicas de risco geológico preponderam a avaliação de dano potencial à ocupação, representado a partir dos diferentes graus de risco, que são resultado da probabilidade de ocorrência de processos geológicos naturais ou induzidos e suas consequências sociais e econômicas. Cerri et al. (1990) afirmam que os riscos geológicos podem ser identificados através do zoneamento, a partir da delimitação das regiões onde as manifestações geológicas podem causar danos, ou através de cadastramentos, identificando os riscos com maior detalhe, de moradia em moradia ou de trecho em trecho (Figuras 20 e 21).

A escala de representação cartográfica dos riscos geológicos é definida de acordo com os objetivos do trabalho. No Brasil, Bitar et al. (1992) afirmam que as CGRG têm escalas que variam entre 1:50.000 a 1:250. Entretanto, nas publicações mais recentes tem-se adotado a escala de 1:2000 ou de maior detalhamento, conforme o proposto por Sobreira e Souza (2012).

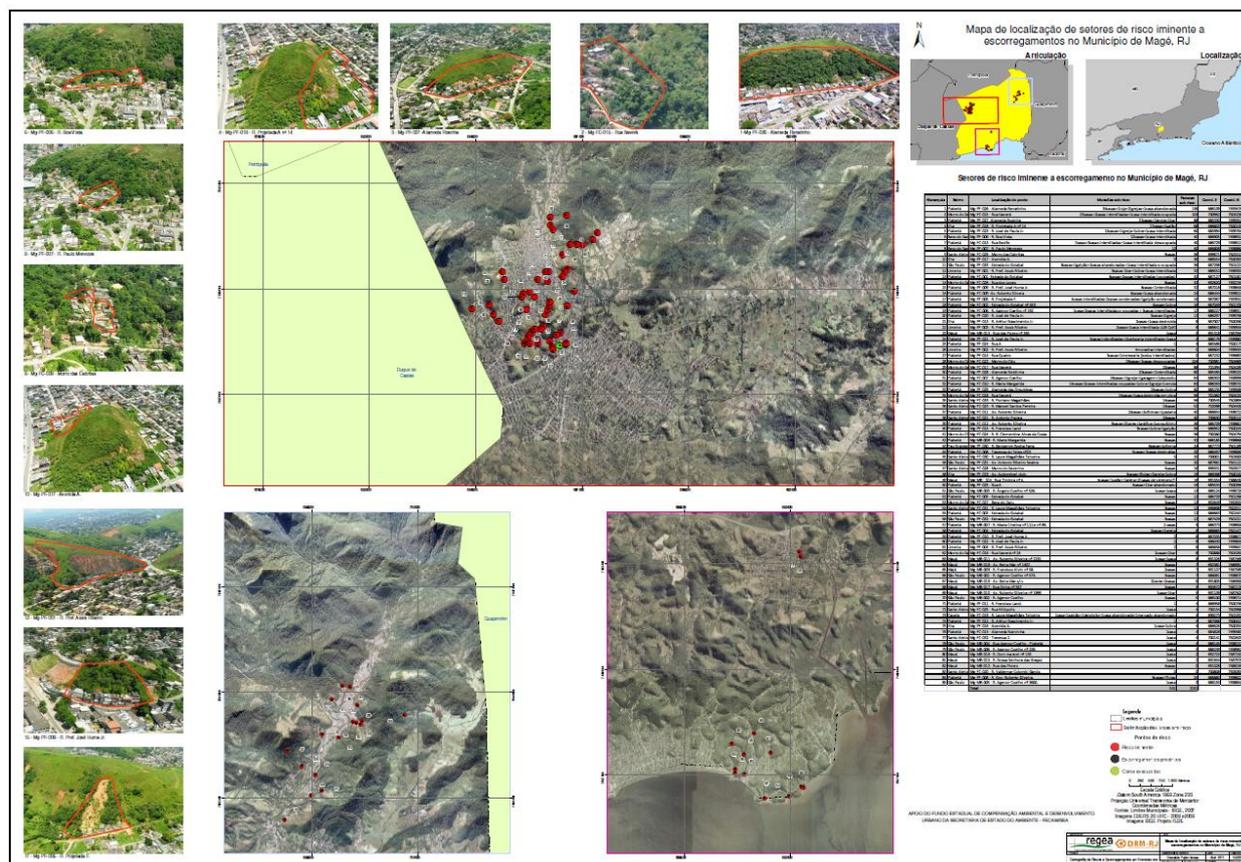
Sobreira e Souza (2012) citam os procedimentos necessários no processo de mapeamento das CGRG, abaixo elencados:

1. Pesquisa de dados sobre ocorrências e registros de acidentes junto aos órgãos competentes, bem como mapeamentos e estudos anteriores;
2. Utilização de bases cartográficas, principalmente mapas topográficos e cadastrais de detalhe (1:5.000; 1:2.000);
3. Obtenção de fotografias aéreas de baixa altitude (no caso de carência de bases cartográficas adequadas);
4. Trabalhos de campo com determinação e descrição dos fatores condicionantes do risco geológico (ex.: litotipo, declividade, obstrução das linhas de drenagem naturais, etc);
5. Identificação e representação dos agentes/feições potencializadoras do risco geológico (ex.: lançamentos concentrados de água e/ou esgoto, acúmulo de lixo e/ou entulho, etc).

No Brasil a metodologia que tem sido adotada e mais difundida na identificação e mapeamento de riscos geológicos é a do Ministério das Cidades, aplicada em mais de 60 municípios. Nesta metodologia os riscos são apresentados em quatro níveis hierárquicos (baixo, médio, alto e muito alto) e os setores/áreas de risco representam os locais sujeitos à ocorrência de eventos naturais ou induzidos, ou por ele atingidos. Segundo esses autores, quando os setores de risco estão delimitados apenas por domicílios, deve-se considerar toda a área de abrangência do

processo, de modo que a carta possa também auxiliar no planejamento urbano do município e não seja somente um produto voltado para ações emergenciais (SOBREIRA; SOUZA, 2012).

Figura 20 - Carta de Risco a escorregamentos em encostas do Município de Magé – RJ, elaborada pelo DRM em 2011.



Fonte: DRM (2011).

Figura 21 - Legenda da Carta de Risco a escorregamentos em encostas do Município de Magé – RJ.

- Legenda**
- Limites municipais
 - Delimitação das áreas em risco
- Pontos de risco**
- Risco iminente
 - Escorregamentos pretéritos
 - Obras executadas

Fonte: DRM (2011).

2.2.4 Experiências de Gestão de Riscos de Desastres no Brasil e no mundo

Alguns países possuem uma cultura mais antiga de prevenção de riscos, proteção e defesa civil desenvolvida devido ao histórico de enfrentamento de desastres naturais que levaram à ampliação de estratégias e políticas para lidar com esses eventos ao longo do tempo, como é o caso do Japão, China e Coréia do sul. Outros países, como o Brasil e os vizinhos sul-americanos Argentina e Colômbia apresentam contexto de legislações muito recentes (RAFFAELLI; MORETTI, 2021).

No Brasil, na última década do século XX, é possível notar uma abordagem mais integrada na temática dos riscos, sob a perspectiva da prevenção de desastres. Neste trabalho serão abordadas duas experiências nacionais em Gestão de Riscos de Desastres (GRD) nas quais o planejamento urbano passou a ser considerando no processo: na Região do Grande ABC (SP) e no município de Blumenau (SC). Além disso, serão abordadas duas experiências internacionais, nos EUA e no Japão.

2.2.4.1 Região do Grande ABC (SP) – Brasil

A região do Grande ABC é constituída por 7 municípios (Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra) da Região Metropolitana de São Paulo que integram o Consórcio Intermunicipal Grande ABC, responsável por planejar e executar ações de políticas públicas de âmbito regional voltadas para a gestão de riscos de desastres e outros assuntos.

O Consórcio Intermunicipal Grande ABC, inicialmente constituído como uma associação civil de direito privado em 19 de dezembro de 1990, foi transformado em Consórcio Público em fevereiro de 2010 para adequar-se à legislação vigente. Entre os programas vigentes no consórcio, consta o de Riscos Urbanos e Ambientais, estabelecido para ações de monitoramento, prevenção, mitigação e eliminação de riscos no âmbito regional conforme o Programa Regional de Redução de Riscos (PRRR) desenvolvido por Grupos de Trabalho (GTs) de Defesa Civil e Planejamento Urbano.

As ações do consórcio relacionadas a Gestão de Riscos iniciaram em 2011 com as discussões para elaboração do PRRR. Em 2012 foi firmada parceria com a Universidade Federal do ABC (UFABC) para a realização de curso e capacitação das equipes técnicas das áreas de Defesa Civil e Planejamento Urbano. Em 2015 foi assinado o Termo de Cooperação Técnico

Científico entre o Consórcio Intermunicipal Grande ABC e a Universidade Federal do ABC, que teve como eixo central a construção do Plano Diretor Regional (PDR-ABC), além de outros subprojetos, como a elaboração das cartas geotécnicas de aptidão urbana dos municípios de Santo André e Ribeirão Pires (NOGUEIRA; CANIL, 2017).

O município de Mauá já possuía uma carta de aptidão urbana elaborada pela própria Prefeitura com o apoio do IPT. São Bernardo do Campo e Rio Grande da Serra também já tinham desenvolvido suas cartas através de convênio entre o Ministério das Cidades e a UFABC. Os municípios de Diadema e São Caetano do Sul não possuíam áreas de expansão urbana, então não foram elaboradas cartas de aptidão urbana. Dessa forma, com a elaboração das cartas de aptidão urbana de Santo André e Ribeirão Pires através do Consórcio Intermunicipal Grande ABC foi possível integrar os resultados das cinco cartas disponíveis (São Bernardo do Campo, Rio Grande da Serra, Mauá, Santo André e Ribeirão Pires) num produto cartográfico em escala regional como suporte ao PDR-ABC.

Assim, no macrozoneamento do PDR-ABC foi proposta a Macrozona de Redução da Vulnerabilidade e de Recuperação Ambiental (MRR), que inclui as áreas sujeitas a riscos geológicos e apresenta como um dos objetivos específicos a mitigação dos riscos. Nas áreas de risco desocupadas que estão sob forte pressão para ocupação o plano cita como estratégia de planejamento a utilização das cartas de aptidão urbana, denominadas Cartas de Aptidão ao Assentamento, para identificar áreas inaptas ou de urbanização complexa, enfatizando o estabelecimento de usos e atividades abarcando projetos de agricultura de base ecológica até parques urbanos, lineares ou unidades de conservação (CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL GRANDE ABC, 2016)

Com relação ao processo de elaboração das cartas de aptidão urbana de São Bernardo do Campo e Rio Grande da Serra, Nogueira e Canil (2015) apontam uma importante contribuição, que foi a estreita relação estabelecida entre a UFABC e as prefeituras, o que referendou os pressupostos adotados pela publicação de referência organizada pelo Governo Federal (DINIZ; FREITAS, 2013), na qual é enfatizado que o principal usuário da carta de aptidão é o planejador urbanista e por isso é importante o envolvimento dos técnicos e gestores das prefeituras em todas as etapas do trabalho. Além disso, sobre a elaboração das cartas de aptidão de São Bernardo do Campo, Canil e Nogueira (2018) relatam que neste município os resultados do mapeamento foram utilizados para revisão de tipologia de assentamentos precários, considerando que mais de 30% dos domicílios neste município estão implantados em assentamentos precários e em loteamentos irregulares, em grande parte, em áreas de risco e de proteção ambiental. Segundo dados do

Consórcio Intermunicipal Grande ABC, em 2016, das 630 moradias apontadas como em risco iminente no ABC, 553 foram removidas, através do Programa Remoções Preventivas.

Com base nas considerações anteriores, é interessante destacar o êxito da organização supra municipal do ABC para o enfrentamento de riscos e desastres, sobretudo a relevância do engajamento das equipes municipais e a vantagem adquirida pelos municípios menos estruturados, viabilizando a implementação das novas legislações e metas definidas pela União para a gestão de riscos de desastres (NOGUEIRA et al., 2014). Ademais, evidencia-se também neste processo a participação efetiva do GT de planejamento urbano e a importância da elaboração da cartografia geotécnica de aptidão urbana para subsidiar o Plano Diretor Regional do ABC.

2.2.4.2 Blumenau (SC) – Brasil

O município de Blumenau está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí (BHRI), localizada no Estado de Santa Catarina. Segundo Jacob et al. (2013), 40% da população da bacia reside nos dois principais centros urbanos: Blumenau e Itajaí. Blumenau possui população de 357.199 habitantes em 2019 (IBGE, 2019), a maior da bacia, e se constitui como um emblemático caso de Gestão de Riscos de Desastres, pioneiro na BHRI, principalmente devido ao desastre de 2008, que fortaleceu ações voltadas para a gestão de risco e culminou com a aprovação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Ademais, a estrutura organizacional e desenvolvimento de ações em parceria com outros órgãos municipais torna o município uma referência para os municípios vizinhos pertencentes à BHRI (JANSEN; VIEIRA, 2018).

A forma de ocupação do espaço urbano de Blumenau desde a sua colonização em 1850 pelos imigrantes alemães potencializou uma série de problemas relativos ao assentamento em áreas inadequadas sujeitas a inundações, enxurradas e deslizamentos. Isso porque a cidade desenvolveu-se em torno de áreas próximas ao Rio Itajaí-Açu, o maior curso d'água da BHRI, numa extensão de terra configurada por relevo acidentado, com vales estreitos e íngremes, principalmente na parte sul (LAPOLLI, SIEBERT, 1999; JANSEN, VIEIRA, 2018).

Conforme exposto por Lapolli e Siebert (1999), a análise histórica da configuração espacial em Blumenau permite o entendimento da evolução urbana e dos problemas urbanísticos enfrentados pelo município. Os lotes coloniais inicialmente traçados eram estreitos e profundos, paralelos entre si e perpendiculares ao rio e às curvas de nível, acessados por vias paralelas aos corpos d'água, facilitando a irrigação da lavoura para consumo doméstico e transporte. Posteriormente, com o processo de urbanização, os lotes coloniais foram loteados gradualmente,

de maneira que foram traçadas vias secundárias perpendiculares aos cursos d'água e às curvas de nível, com inclinação acentuada, gerando ruas sem saída e loteamentos isolados. Tal configuração resultou numa malha urbana fragmentada, sistema viário sobrecarregado e potencializou a construção nas encostas.

Neste sentido, Kormann e Robaina (2016) salientam que este tipo de ocupação mencionada anteriormente avançou pela encosta a partir de 1930, em função da escassez de áreas planas, e trouxe como consequência a execução de cortes e aterros excessivamente íngremes, muito comum em áreas com predomínio de encostas íngremes e vales em “V”. Em suma, a forma de ocupação, juntamente com as características inerentes ao terreno, ampliaram o risco de desastres e provocaram ao longo da história do município uma série de ocorrências, tendo sido a de 2008 a de maior repercussão, com destaque para deslizamentos de grandes proporções, grandes perdas sociais, econômicas e ecossistêmicas (JANSEN; VIEIRA, 2018).

Diante disto, ao longo dos anos Blumenau tem promovido ações preventivas e para redução de danos e destaca-se como referência em GRD na bacia do Rio Itajaí. Entre as ações adotadas, Jansen e Vieira (2017) citam: a atuação da Defesa Civil na enchentes de 1983 e 1984; o Plano Municipal de Redução de Riscos entre 2005 e 2010; a Instituição da Secretaria Municipal de Defesa do Cidadão; o AlertaBlu (Sistema de Monitoramento e Alerta de Chuvas Intensas de Blumenau), Projetos e Políticas Integradas de Segurança e Defesa Civil, em 2013; Implantação parcial do Centro de Operações de Blumenau (COB) em 2015; Instituição do ‘Julho Laranja’, mês com atividades municipais que incentivam a prevenção de mitigação de riscos de desastres, entre outras.

Com relação a ações de planejamento urbano para prevenção de desastres, ressalta-se a promulgação do Decreto 9.853/2012 (BLUMENAU, 2012), que dispõe sobre as áreas com restrição de uso e ocupação do solo, identificando as Áreas de Risco Geológico (ARG's) na Carta de Aptidão à Urbanização, anexo II do decreto. Além disso, o Plano Diretor Urbano de Blumenau, Lei complementar nº 1181 de 2018 (BLUMENAU, 2018) estabelece como uma de suas diretrizes “reduzir as vulnerabilidades socioambientais estimulando a ocupação em locais com baixo risco geológico e adoção de estratégias de planejamento voltadas para a prevenção de desastres associados a fenômenos naturais”. O Plano Diretor também reserva uma seção (seção XIII) composta por 3 artigos que discorrem sobre a Política Pública Municipal de Prevenção de Desastres, com destaque para os seguintes incisos os quais abordam diretamente a questão do planejamento e uso do solo:

Art. 39. São objetivos da Política Municipal de Prevenção de Desastres:
II - incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais;
VI - estimular o ordenamento da ocupação do solo, de forma a evitar a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis, tendo em vista sua conservação e a proteção da vegetação nativa, dos recursos hídricos e da vida humana;

Além das iniciativas por meio da legislação urbana, o Poder Público desenvolveu após o desastre de 2008 outras ações no viés do planejamento, como o plano Blumenau 2050. O plano propunha constituir-se como uma agenda territorial e documento-base de atuação para os governantes do Município, apresentando diretrizes e projetos com previsão para implantação até 2050. Segundo a Prefeitura Municipal de Blumenau, o plano surgiu a partir de um vasto material resultante das diferentes equipes técnicas que compuseram a Secretaria de Planejamento Urbano desde 1970. (PMB, 2008).

Porém, conforme observado por Jacob et al. (2013), as propostas apresentavam forte apelo imagético, muitas vezes desconsiderando as características locais. Para este autor, esse processo reflete a dificuldade por parte do governo municipal em lidar com os desafios da urbanização frente os desastres associados a fenômenos naturais, embora demonstre um avanço nas esferas da sociedade organizada na corresponsabilização pela gestão ambiental e urbana.

Após 3 anos do lançamento do plano Blumenau 2050, em 2011 foi lançado o segundo número da Revista de Divulgação do Desenvolvimento Urbano de Blumenau, com o objetivo de informar o já havia sido realizado e viabilizado pela Prefeitura. Entre avanços citados com relação a diminuição do risco de desastres, o plano apresenta: a revisão de códigos complementares ao Plano Diretor, com índices mais restritivos para as áreas de risco de deslizamentos, a fim de limitar construções de grande porte; implantação em 2009 do Departamento de Geologia vinculado à Secretaria Municipal de Planejamento Urbano (SEPLAN) (PMB, 2011).

Em síntese, é importante mencionar que a GRD em Blumenau é um processo em construção. Segundo Vieira e Jansen (2018), alguns passos são fundamentais para aperfeiçoar as ações de GRD no município e aumentar a participação da população, entre estes expandir o mapeamento dos grupos de interesse e ampliar a inclusão das comunidades atingidas.

2.2.4.3 Portola Valley (California) – EUA

Portola Valley está localizado no condado de San Mateo, a aproximadamente 48 km ao sul de São Francisco, no estado da Califórnia. A cidade fica situada num vale com declives íngremes e ao fundo do vale está a falha de San Andreas. A oeste da falha, onde as encostas se elevam a 487

m, deslizamentos de terra são comuns, enquanto a leste da falha, onde as encostas atingem 121 m, os movimentos de massa são insignificantes (MADER, 2005).

A cidade desenvolveu-se desde 1960 em terras geologicamente estáveis, a leste da falha de San Andreas. Porém, a pressão do desenvolvimento e crescimento encorajaram a criação de empreendimentos nas áreas menos estáveis a oeste da falha. Assim, consciente dos perigos de deslizamentos de terra e terremotos como o ocorrido em 1906, a pequena cidade de 23,54 km² adotou um modelo conservador em relação ao nível de risco geológico considerado aceitável. (MADER, 2005).

Segundo Pearce (2003), imediatamente após a sua incorporação em 1964, Portola Valley estabeleceu um comitê de conservação, para ajudar a conservar os recursos naturais e o caráter do vale. Foi nomeado para o comitê o geólogo Dwight Crowder, residente da cidade, que foi o primeiro a recomendar que as condições geológicas deveriam ser levadas em consideração no zoneamento, regulamentos de subdivisão e desenvolvimento do local.

Neste sentido, Crowder, familiarizado com o processo de planejamento e regulamentos da cidade, desenvolveu recomendações viáveis para considerar as condições geológicas dentro do contexto de planejamento comunitário. Assim, ele sugeriu que (1) a cidade contratasse um geólogo de engenharia, (2) os riscos geológicos fossem mapeados, (3) o desenvolvimento em encostas íngremes fosse restrito, (4) o desenvolvimento fosse afastado das falhas, (5) as subdivisões e o desenvolvimento local fossem revisados com relação a riscos geológicos e (6) os tamanhos dos lotes fossem adequados aos terrenos (PEARCE, 2003). Mader, urbanista de Portola Valley de 1965 a 2010, explica as razões que faziam de Crowder um geólogo incomum: o interesse em promover políticas públicas e em falar de geologia para tomar decisões de planejamento urbano, numa época em que havia pouca conversa entre geólogos e planejadores urbanos (MADER, 2014).

As principais propostas do programa integrado de mitigação de riscos geológicos em Portola Valley foram implantadas entre 1967 e 1979. Desde 1979, o programa foi ajustado com base na experiência da cidade e cada um dos elementos foram testados e aprimorados, quando necessário (MADER, 2005).

Entre os principais elementos contidos no programa de mitigação de riscos estão o plano geral, regulamentos de zoneamento, regulamentos de subdivisão, desenvolvimento local e regulamento de classificação e os códigos de construção. No plano geral de Portola Valley encontram-se as políticas de risco mais gerais e é especificado que as áreas mais instáveis devem ser mantidas livres de todos os edifícios para ocupação humana (MADER, 2005). Segundo Nielsen

(1979), desde a implantação do plano geral a cidade perseguiu um programa bem-sucedido que faz um extenso uso das informações geológicas para planejamento do uso do solo.

Segundo Mader (2005), a intenção do plano geral e dos regulamentos é gerar um nível de detalhe geológico apropriado para a cidade avaliar com a maior precisão possível o risco associado ao desenvolvimento e, em seguida, exigir decisões da comissão de planejamento e do conselho da cidade para minimizar esses riscos. Para tanto, foi estabelecido que as propriedades que atravessassem a falha deveriam apresentar informações mais detalhadas. Assim, o plano geral define as políticas que impedem o desenvolvimento em áreas de risco (PEARCE, 2003).

Conforme descrito por Pearce (2003), em 1972 o comitê estabeleceu algumas normas para orientar o desenvolvimento ao longo ou próximo da falha: (1) dentro de uma faixa de 30 m (100 pés) de largura ao longo de toda a extensão da falha não poderia ser permitido nenhum edifício para ocupação humana, (2) dentro de uma faixa de 76 m (250 pés) ao longo de todo o comprimento da falha só poderiam ser construídas edificações unifamiliares limitadas à construção térrea em estrutura de madeira, (3) além da faixa de 76 m ao longo de todo o comprimento da falha não eram exigidas medidas. Tais recomendações eram válidas somente para novas construções e foram incorporadas no esboço dos regulamentos de zoneamento propostos, sendo aceitas pelos proprietários locais e aprovadas em 1973.

Já em 1974 foi elaborado um mapa mais preciso de Portola Valley, intitulado “Mapa de Movimento potencial de solo não perturbado” (“*Movement Potential of Undisturbed Ground Map*”), preparado e utilizado pelos geólogos, mas também usado pelos residentes que buscavam entender como poderiam ser afetados. No mesmo ano, o comitê geológico preparou seu primeiro relatório e, entre outras coisas, recomendou a redução da densidade permitida de desenvolvimento, de acordo com a extensão do risco geológico da propriedade, medido pelo mapa de potencial de movimentação de terra. Além disso, os proprietários que tivessem suas propriedades inseridas em ambas as categorias, estável e instável, teriam permissão para maior densidade de desenvolvimento na primeira, a fim de incentivar que a área instável permanecesse livre. Como a maior parte das terras a oeste da falha são íngremes, foram incorporados no zoneamento regulamentos de densidade em taludes, o que tornou Portola Valley pioneira no estabelecimento desse tipo de regulamento (PEARCE, 2003).

Os mapas de risco geológico têm sido de grande valia no desenvolvimento de regulamentos de uso do solo em Portola Valley. O programa de mapeamento incluiu extensas investigações de campo e levou aproximadamente 4 anos para ser executado, tendo sido realizado na escala de 1:6000 por estudantes de uma universidade próxima sob a direção do geólogo da cidade. Os

perigos são identificados em dois mapas: um “Mapa Geológico” que descreve as características geológicas, especialmente a falha de San Andreas e os deslizamentos, e o “Mapa de Movimento potencial de solo não perturbado”, anteriormente citado, que identifica movimentos potenciais do solo. (NILSEN, 1979; MADER, 2005).

De acordo com Mader (2005), quando o licenciamento de um parcelamento ou empreendimento é solicitado, este é revisado com base nos mapas e outras informações relevantes de zoneamento. Esses documentos juntos descrevem: tipos e quantidades de usos permitidos na terra; parcelas onde os canteiros de obras são restritos ou proibidos devido a problemas geológicos ou riscos de inundação; e procedimentos que devem ser seguidos para tentar superar os riscos. Há também uma portaria de subdivisão que regula as condições e procedimentos sob os quais os terrenos podem ser subdivididos. Assim, é necessária a aprovação da subdivisão antes da propriedade existente legalmente poder ser dividida em duas ou mais novas parcelas para venda, arrendamento ou financiamento.

Do mesmo modo que funciona para a subdivisão das parcelas, para a aprovação de uma construção ou modificação de uma estrutura existente é exigida uma licença de construção, conforme determinado pelos códigos de construção. Nesta situação, o geólogo da cidade analisa todos os pedidos em áreas potencialmente instáveis, conforme definido no mapa de potencial de movimento do solo. Às vezes, estudos geológicos mais detalhados indicam que as condições geológicas não são tão ruins quanto mostrado no mapa geral e então o desenvolvimento da cidade é permitido. Em outros casos, alterações na localização de um edifício para uma localização estável na parcela pode resolver o problema. Em casos extremos, a licença não é permitida, podendo o requerente recorrer da decisão, algo que raramente ocorreu (MADER, 2005).

Para Pearce (2003), o sucesso da experiência em Portola Valley está na integração do planejamento de gerenciamento de desastres e o planejamento comunitário com alta participação da sociedade. Mader (2005) expõe que em Portola Valley cada um desempenha um papel significativo para garantir um desenvolvimento seguro. Assim, ao longo dos anos, a familiaridade da cidade com o programa de mitigação de riscos garante automação e consideração abrangente de preocupações geológicas durante a revisão do desenvolvimento propostas. Conforme abordado por Nilsen (1979), a experiência de Portola Valley na aplicação de ciências da terra é singular e resultado, entre outros motivos, da atuação de um grupo de geólogos dedicado a chamar a atenção da cidade para riscos geológicos extremos e de um clima político receptivo ao uso de informações de ciências da terra na tomada de decisões de planejamento. Dessa forma, embora a experiência de Portola Valley seja baseada em uma única comunidade, os componentes do programa integrado

de mitigação de riscos geológicos da cidade, que levam em consideração a geologia ao tomar decisões sobre o uso da terra, podem ser adaptados a outras comunidades.

2.2.4.4 Japão

O Japão tem 70% do seu arquipélago inserido em área montanhosa e, segundo Mizuyama (2008), cerca de 120 milhões de pessoas vivem em planícies densamente povoadas, leques aluviais, sopés de encosta e declives. Os fatores topográficos e geológicos combinados com as condições climáticas contribuem para tornar o país altamente propenso a desastres por sedimentos. A precipitação média anual no Japão é em torno de 1500 a 1600 mm, sendo a precipitação em Tóquio o dobro de outras grandes cidades de países ocidentais (SHAW, 2014). Conforme exposto pela *Japan Landslide Society*, as condições naturais presentes neste país criam condições físicas únicas de suscetibilidade a desastres por movimentos de massa, que não podem ser vistas em nenhum outro lugar do mundo. Dessa forma, é comum a ocorrência de fluxos de detritos, deslizamentos e similares (TSUNAKI, 2002).

Ao longo da história do Japão foram registrados inúmeros movimentos de massa, desde a antiguidade, havendo evidências do Período Jamon médio a tardio (3000-1000aC) (TSUNAKI, 2002). Em função dessa realidade, o Japão possui uma ampla prática em Gestão de Risco de Desastre através de medidas estruturais, tais como infraestrutura e instalações, e não-estruturais, como o sistema de alerta, restrição e controle do uso e ocupação do solo em áreas vulneráveis e promulgação de leis, sendo um dos países mais avançados no que concerne ao estudo e pesquisa de desastres de sedimentos e ao desenvolvimento de ações de redução de riscos. Além disso, neste país há um forte histórico de abordagens comunitárias, em que a comunidade desempenha um importante papel antes, durante e após o desastre (SHAW, 2014).

De acordo com Shaw (2014), existem muitos exemplos no Japão de envolvimento e prática da comunidade na redução de riscos de desastres, como o caso de Hiroshima (1999), Saijo (2004), Toyooka (2004) e Shiso (2009 e 2011). Nestas cidades, vê-se a participação dos moradores locais em ações como o desenvolvimento de mapas de prevenção de desastres (Hiroshima e Shiso), envolvimento das escolas locais no processo de observação da cidade (Saijo), educação participativa sobre desastres (Saijo), participação voluntária na separação e remoção de detritos (Toyooka), simulações regulares de desastres (Hiroshima e Shiso), entre outras.

Somado ao esforço da comunidade, destaca-se também as várias leis que foram promulgadas pelo governo do Japão para promover medidas preventivas, como a “Lei Sabo” (*Sabo*

Law), de 1897; a “Lei de Prevenção de Deslizamentos de Terra” (*Landslide Prevention Law*), de 1958; a “Lei Relativa à Prevenção de Desastres devido ao Colapso de Encosta Íngreme” (*Law Concerning the Prevention of Disasters due to the Collapse of Steep Slope*), de 1969; e a “Lei Contramedidas para Desastres de Sedimentos” (*Act on Sediment Disaster Countermeasures*), de 2001 (SHAW, 2014).

A Lei Sabo (Lei de Controle de Erosão e Sedimentos), de 1897, foi promulgada para restringir a produção de sedimentos e para contê-los, a fim de evitar desastres relacionados aos mesmos. A lei proibiu atividades potencialmente produtoras de sedimentos em distritos designados e permitiu que governos nacionais e da província implementassem projetos em todo o Japão (JAKOB; HUNGR, 2005). Conforme o artigo 1º da lei, são estabelecidas medidas preventivas (*sabo*¹³ *Works*) para implementar instalações (*sabo facilities*) que devem ser construídas com a finalidade de controle de inundação na área designada pelo Ministério da Terra, Infraestrutura e Transporte (SABO, 2019).

Segundo Tsunaki (2002), as medidas de investigação e mitigação de deslizamentos de terra no Japão avançaram desde o deslizamento de Maseguchi que ocorreu na província de Niigata em 1947, o que culminou na elaboração da “Lei de Prevenção de Deslizamentos de Terra”, de 1958, tendo sido a primeira desse tipo no mundo. Cabe ressaltar que esta lei deu base para o progresso das técnicas de controle de deslizamentos de terra no Japão, visto que, após a sua implementação, a tecnologia de mitigação de deslizamentos de terra, incluindo métodos de investigação e pesquisa, avançou gradual e sistematicamente.

A “Lei Relativa à Prevenção de Desastres devido ao Colapso de Encosta Íngreme”, de 1969, foi criada com o objetivo de adotar as medidas necessárias para prevenir rupturas em declives acentuados, com inclinação de 30º ou mais, conforme estabelecido em seu artigo 1º, 2º e 3º (SABO, 2019).

A “Lei Contramedidas para Desastres de Sedimentos” entrou em vigor em 2001 e até então o Japão não possuía leis relacionadas a mapas de risco para desastres de sedimentos (UCHIDA, 2009). A promulgação desta lei se deu por conta de uma sequência de desastres ocorrida em Hiroshima em 1999. Nos dias 23 a 24 de junho e 26 a 27 de junho fortes chuvas atingiram a cidade e acarretaram fluxo de detritos em 139 locais, causando o colapso de 186 edifícios; 31 mortos e 1 pessoa desaparecida; e 154 casas danificadas, além de outros danos. Em 29 de junho, uma frente de chuva estacionária causou chuva torrencial em Hiroshima e uma avalanche de rochas e terra

¹³ SABO é um termo japonês utilizado dentro e fora do Japão para designar controle de erosão, tendo sido ampliado para incluir “esforços para prevenir desastres relacionados a sedimentos por meio da conservação e recriação do ambiente natural” e “controle de torrente e córrego da montanha” (MIZUYAMA, 2008; JAKOB e HUNGR, 2005).

afetou várias cidades em 325 locais, causando 24 mortes. Assim, em 8 de julho foi estabelecido pelo Ministério da Construção (atual Ministério de Terras, Infraestrutura e Transportes) o Escritório de Promoção de Gestão de Terras para Prevenção de Desastres e em 9 de julho de 2000 foram estabelecidas as diretrizes básicas para a “Lei Contramedidas para Desastres de Sedimentos”, promulgada pelo governo nacional em 2001 (SHAW, 2014).

É interessante observar que após os desastres ocorridos em 1999 tornou-se notório no Japão como a expansão de áreas residenciais agrava a vulnerabilidade a desastres de sedimentos em certos locais. Hiroshima teve um crescimento populacional constante entre a década de 1970 e meados da década de 90, quando houve intensa imigração. O resultado disso foi a expansão para áreas montanhosas fazendo com que Hiroshima seja a cidade do Japão com maior risco de desastre de sedimento. (UCHIDA, 2009; SHAW, 2014)

A “Lei Contramedidas para Desastres de Sedimentos” estabeleceu as “medidas de mitigação suave”, também chamadas de medidas não-estruturais, a serem promovidas pelas prefeituras a fim de prevenir este tipo de desastre. Tsunaki (2002) aponta como principais objetivos desta lei: (1) definir e delinear as áreas suscetíveis a desastres de sedimentos; (2) estabelecer sistemas de alerta e evacuação para as áreas afetadas; e (3) promover medidas de mitigação para evitar desastres de sedimentos, restringindo o desenvolvimento das encostas e impondo códigos de construção e processos de inspeção mais rigorosos em áreas suscetíveis a perigos graves. Conforme exposto por Uchida (2009), a lei estabelece que o governo local deve divulgar informações de áreas propensas a desastres de sedimentos, nomeadas da seguinte forma: (1) as áreas de risco são denominadas "Áreas de Alerta de Desastres Relacionados a Sedimentos" e (2) as áreas de risco particularmente vulneráveis a danos extensos são designadas como "Áreas de Alerta Especial de Desastres Relacionados a Sedimentos". Nestas últimas, as seguintes medidas são adotadas para mitigar os desastres: licenciamento para o desenvolvimento de áreas residenciais, regulamentação das estruturas dos edifícios e recomendação para a realocação de edifícios que possam sofrer danos significativos durante um desastre de sedimentos. Além disso, de acordo com Shaw (2014), a lei determina que a prefeitura deve distribuir “Mapas de áreas de Risco de Desastres de Sedimentos” a cidadãos locais, nos quais deve conter a relação entre pontos de risco de desastre de sedimentos, os locais de evacuação e as rotas de evacuação.

3 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PLANEJAMENTO TERRITORIAL URBANO ASSOCIADO A MOVIMENTOS DE MASSA.

3.1 ESCOPO GERAL DA METODOLOGIA

O papel da cartografia geotécnica no planejamento e gestão territorial e urbana como ferramenta fundamental na prevenção de desastres vem sendo cada vez mais reconhecido em âmbito mundial, sendo primordial a elaboração das cartas geotécnicas para a definição de diretrizes de ocupação urbana e adequação dos Planos Diretores e demais leis urbanísticas e ambientais.

Embora o uso da cartografia geotécnica seja previsto em lei (Lei Federal nº 12.608), ainda é pouco difundido e incorporado pelos municípios brasileiros para fins de planejamento urbano. Isso se dá tanto pelo desconhecimento dos gestores e técnicos municipais, como também pela falta de recursos e dados em escala apropriada. De acordo com Vasconcelos et al. (2018), a construção da Carta Geotécnica de Aptidão Urbana é por si só um desafio técnico metodológico, visto ser um instrumento inédito que integra diferentes disciplinas desde geologia e hidrologia a planejamento urbano e gestão.

Segundo dados do CPRM, até fevereiro de 2023, 617 dos 5.568 municípios brasileiros possuíam Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade, sendo o Estado do Rio de Janeiro o único totalmente mapeado, enquanto estados como Amazonas e Roraima possuem apenas um (1) município mapeado e Acre, Mato Grosso, Goiás e Rio Grande do Norte contam com dois (2) municípios mapeados (CPRM, 2023).

Já as Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbana (CGAU) foram finalizadas em apenas 32 municípios (APÊNDICE 4) dos 106 municípios listados como os mais críticos do país para o mapeamento com recursos de parcerias com o Ministério das Cidades. Desses 32 municípios, 5 realizaram o mapeamento com recursos estaduais e/ou municipais (Angra dos Reis/RJ, Mangaratiba/RJ, Niterói/RJ, São Gonçalo/RJ e Três Rios/RJ). O CPRM lista ainda em sua base de dados mais 5 municípios que já possuem a CGAU finalizada e não constam na base geral dos 106 municípios previstos na listagem inicial do Governo Federal: Peruíbe/SP, Teresina/PI, Brasília/DF, Castelo/ES e Manaus/AM (BRASIL, 2022; CPRM, 2023). Em suma, 37 municípios do Brasil possuem Carta Geotécnica de Aptidão Urbana.

Diante deste cenário, considera-se que o conhecimento acerca da suscetibilidade e risco associado a movimentos de massa é primordial para a orientação do planejamento do uso do solo em áreas não ocupadas e é fundamental que os municípios que ainda não possuem Carta Geotécnica de Aptidão Urbana possam viabilizar a sua elaboração para definições que amparem

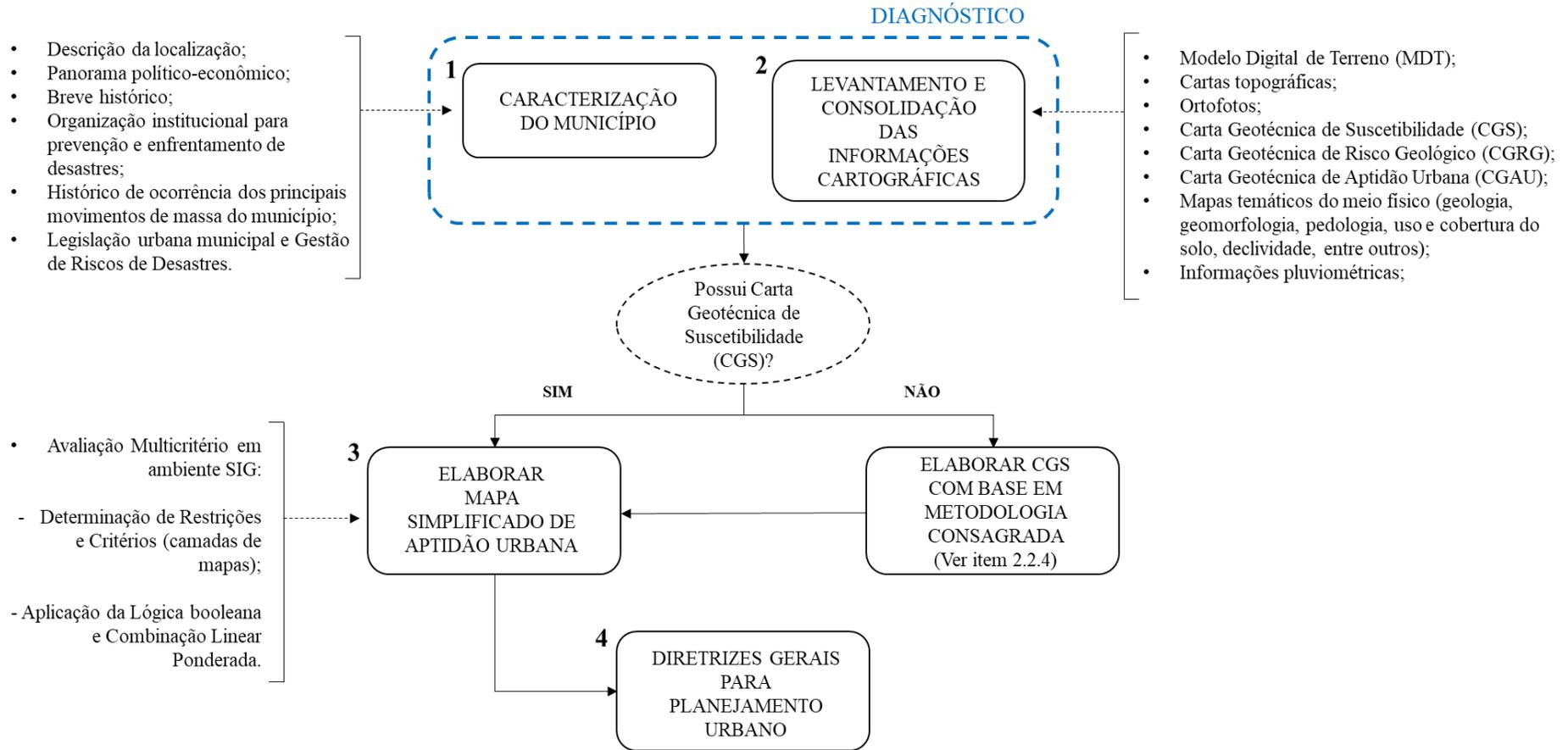
as decisões de planejamento municipal. Para tal propósito, sabe-se das limitações encontradas nas gestões municipais, o que inviabiliza muitas das vezes a aplicação de metodologias de mapeamento em escalas de detalhamento que demandem trabalho de campo e base cartográfica em escala adequada.

Deste modo, sugere-se neste trabalho uma metodologia para desenvolvimento de um Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa na escala 1:25.000, com base nas informações de suscetibilidade e risco existentes e que integre uma visão sistêmica do contexto urbano, passível de ser elaborado e utilizado por gestores municipais das áreas de planejamento urbano e ambiental. Trata-se de uma ferramenta simplificada, que não tem como objetivo substituir as Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbana, mas possibilitar que municípios que ainda não possuem o ferramental completo de Cartas Geotécnicas também possam traçar diretrizes voltadas para a prevenção de desastres associados a movimentos de massa em suas leis que regem a ordenação territorial. Para tanto, esta proposta não visa somente a elaboração do mapa, mas todo o processo de conhecimento do território acerca do risco de desastres que possa subsidiar o planejamento urbano.

O esquema abaixo (Figura 22) estabelece os procedimentos propostos para que um município qualquer possa incorporar os conhecimentos de suscetibilidade e riscos associados a movimentos de massa no planejamento urbano:

Figura 22 - Proposta de Metodologia para planejamento urbano frente a movimentos de massa com base na suscetibilidade

PLANEJAMENTO URBANO FRENTE A MOVIMENTOS DE MASSA



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2 ETAPAS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

3.2.1 Caracterização do Município

Nesta etapa deve-se realizar um diagnóstico do município com dados gerais e informações específicas sobre desastres. Recomenda-se a consulta a literatura, relatórios elaborados por empresas de consultoria, informações fornecidas por órgãos governamentais, bem como a realização de visitas técnicas no município para reconhecimento do território e nas secretarias municipais, em especial a Secretaria de Urbanismo e a Secretaria de Defesa Civil.

É recomendável que no mínimo os seguintes documentos e informações sejam coletados:

- Legislação urbana e ambiental nos âmbitos federal, estadual e municipal relacionada ao ordenamento territorial e urbano e a desastres associados a movimentos de massa (Ex: Plano Diretor Urbano);
- Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR);
- Plano de Contingência (PLANCON);
- Planos setoriais municipais, como Plano Municipal de Saneamento Básico, Plano Municipal de Controle Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, entre outros;
- Planos de manejo de unidades de conservação inseridas no território do município;
- Planos estratégicos estaduais, como os planos estaduais metropolitanos para municípios inseridos em metrópoles.

Nesta etapa recomenda-se a abordagem dos seguintes tópicos, conforme disponibilidade de informações:

- Descrição da localização;
- Panorama político-econômico;
- Breve histórico;
- Organização institucional para prevenção e enfrentamento de desastres;
- Histórico de ocorrência dos principais movimentos de massa do município;
- Legislação urbana municipal e Gestão de Riscos de Desastres;
- Áreas não passíveis de ocupação: áreas contaminadas, zonas de proteção ambiental, entre outras;

3.2.2 Levantamento e Consolidação das Informações Cartográficas

A fim de traçar as estratégias para a gestão de risco de desastres, deve-se reunir o maior número possível de dados cartográficos sobre o município que possam embasar as propostas de planejamento urbano com foco em movimentos de massa. Recomenda-se a realização de inventário e geração de dados básicos e organização das informações em ambiente SIG, para maior efetividade na elaboração da etapa posterior.

Seguem alguns dados relevantes a serem buscados:

- Modelo Digital de Terreno (MDT);
- Cartas topográficas;
- Ortofotos;
- Carta Geotécnica de Suscetibilidade (CGS);
- Carta Geotécnica de Risco Geológico (CGRG);
- Carta Geotécnica de Aptidão Urbana (CGAU);
- Mapas temáticos do meio físico (geologia, geomorfologia, pedologia, uso e cobertura do solo, declividade, entre outros);
- Informações pluviométricas;

3.2.3 Elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa

Conforme já visto nos tópicos de cartografia geotécnica, a confecção das Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbana (CGAU) fundamenta-se na proposta de detalhamento progressivo apresentada por Cerri et al. (1996), sistematizada por Zaine (2000) e reforçada por Souza (2015), de modo que as CGAU são normalmente elaboradas na escala 1:10.000 ou de maior detalhe a partir do detalhamento da Carta Geotécnica de Suscetibilidade, normalmente mapeada na escala 1:25.000.

Dada a realidade da maior parte dos municípios brasileiros quanto a falta de dados em escala compatível e a falta de técnicos especializados para a realização de trabalho de campo que demanda este tipo de cartografia, adotou-se no presente trabalho o nome Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa para o produto em escala 1:25.000 com fins de planejamento urbano que tem por base inicial a Carta Geotécnica de Suscetibilidade (CGS).

A elaboração do mapa na escala 1:25.000 é baseada na proposta de Coutinho (2013) que descreve dois tipos de Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbana: a Carta Geotécnica de Aptidão Urbana aplicada ao Parcelamento do solo, em igual a 1:10.000 ou de maior detalhe e a Carta Geotécnica de Aptidão Urbana aplicada ao planejamento municipal, na escala 1:25.000 (Quadro 12). Desta forma, a escala de 1:25.000, embora não seja adequada para decisões de parcelamento, cumpre o objetivo do planejamento e gestão territorial e apresenta subsídios para a definição de diretrizes de ocupação e expansão, a serem apresentadas no Plano Diretor Municipal.

Quadro 12 - Tipos de Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbana.

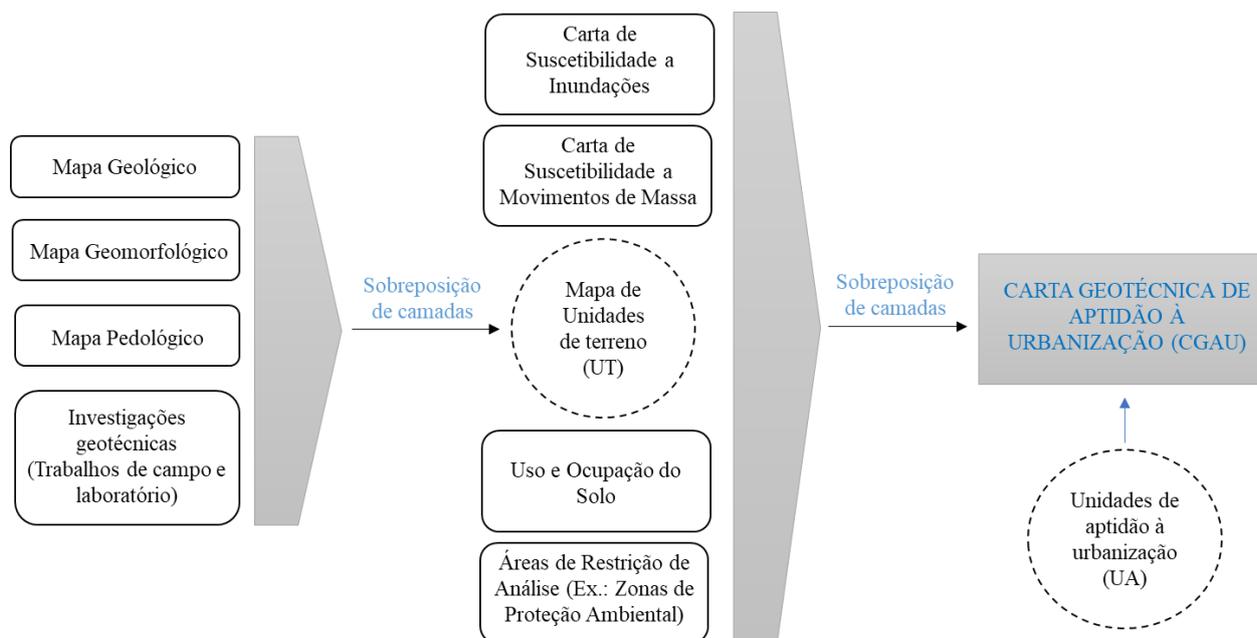
Tipo de CGAU	Escala	Objetivos
Carta Geotécnica de Aptidão Urbana aplicada ao Parcelamento do solo	1:10.000 ou de maior detalhe	<ul style="list-style-type: none"> • Fornecimento de informações que orientem o parcelamento do solo; • Instrumento para a elaboração de projeto específico para alteração de perímetro urbano (art. 42-B, Lei nº10.257/01); • Fornecimento de elementos para a decisão sobre a consolidação urbanística ou eventual reassentamento de áreas já parceladas com baixa ocupação urbana.
Carta Geotécnica de Aptidão Urbana aplicada ao Planejamento municipal	1:25.000	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento e gestão territorial a partir da apresentação de elementos do meio físico e dos modos de ocupação do solo; • Fornecimento de subsídios gerais para a legislação municipal; • Indicação de áreas que necessitam de detalhamento.

Fonte: Coutinho (2013).

Cabe ressaltar que o Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa diferencia-se da Carta Geotécnica de Aptidão Urbana aplicada ao planejamento municipal em relação a metodologia aplicada. As CGAU na escala 1:25.000 propõem a definição preliminar de unidades de terreno de comportamento semelhante, com base nos componentes básicos do meio físico (geologia, geomorfologia, pedologia, entre outros), investigação geotécnica, trabalho de campo e laboratório (Coutinho, 2013). Estas unidades são caracterizadas geotecnicamente e gera-se um mapa de unidades de terreno, com o qual cruza-se informações de uso do solo, zonas de

proteção ambiental, entre outros. Como resultado é possível obter as classes de aptidão (baixa média e alta aptidão à urbanização), como também as unidades de aptidão urbana, que apresentam a caracterização geotécnica da área, processos geodinâmicos e recomendações para ocupação (Figura 23).

Figura 23 - Esquema da metodologia proposta por Coutinho (2013).



Fonte: Adaptado de Lima (2016).

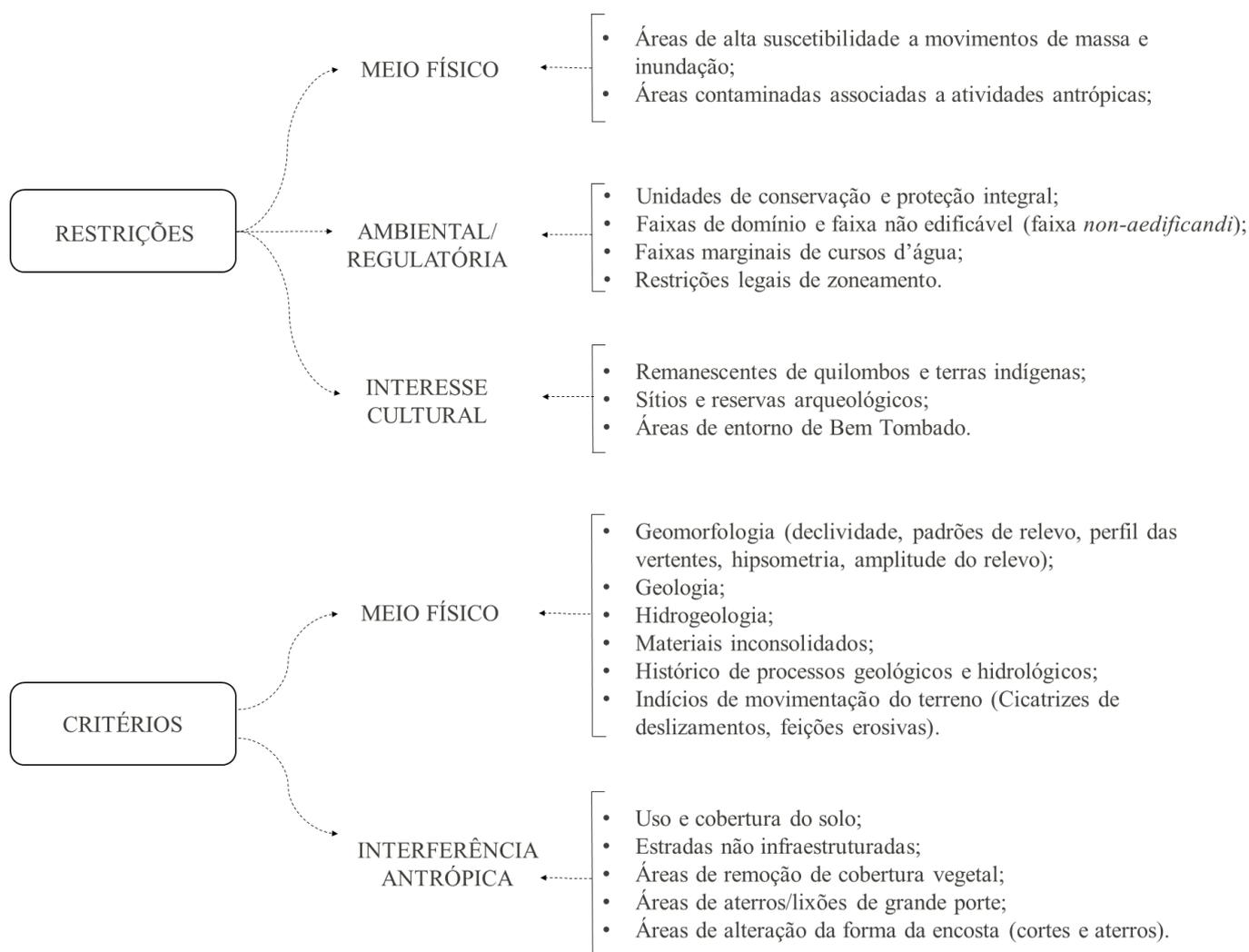
O Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa, embora compartilhe dos mesmos objetivos das CGAU, diferencia-se nas etapas de elaboração, visto que elimina a definição preliminar de unidades de terreno, que demanda conhecimento de um profissional de geologia e/ou geotecnia tanto para os trabalhos de campo e investigação geotécnica como para a caracterização geotécnica. Tendo em vista que estes recursos requeridos para a confecção das CGAU normalmente não estão disponíveis na maior parte dos municípios brasileiros, como é o caso do município de Duque de Caxias, optou-se no presente trabalho por reformular a proposta metodológica das CGAU e renomear o produto resultante.

Assim, a metodologia proposta para o Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa preconiza o cruzamento das áreas de restrição de análise numa primeira etapa e o posterior cruzamento de todos os dados do meio físico e uso do solo numa segunda etapa, ambas por meio de métodos de análise multicriterial aplicadas em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), conforme detalhado no APÊNDICE 5 - Mapeamento com Uso de Avaliação Multicritério. São designadas restrições as variáveis que são excluídas da área de análise

e critérios as variáveis que descrevem o potencial de ocupação urbana de determinada porção do território, tendo em vista a ocorrência de movimentos de massa.

Para estudos de suscetibilidade e aptidão urbana a movimentos de massa, podem-se observar as seguintes restrições e critérios gerais com base na literatura (Figura 24), que deverão ser validados conforme a área a ser estudada:

Figura 24 - Possíveis Restrições e Critérios a serem adotados para criação de um Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Resumidamente, as seguintes etapas sintetizam a aplicação da Avaliação Multicritério em SIG para construção do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa:

- Etapa 1: Cruzamento das áreas de restrição de análise

- (a) Definição das restrições de análise;
- (b) Aplicação do conceito de **Lógica Booleana**: criação das camadas (mapas) de restrição;
- (c) Álgebra dos mapas de restrição para elaboração do Mapa de Áreas de Restrição de Análise;
- (d) Produto: Mapa de Áreas de Restrição de Análise: áreas APTAS e NÃO APTAS para análise.

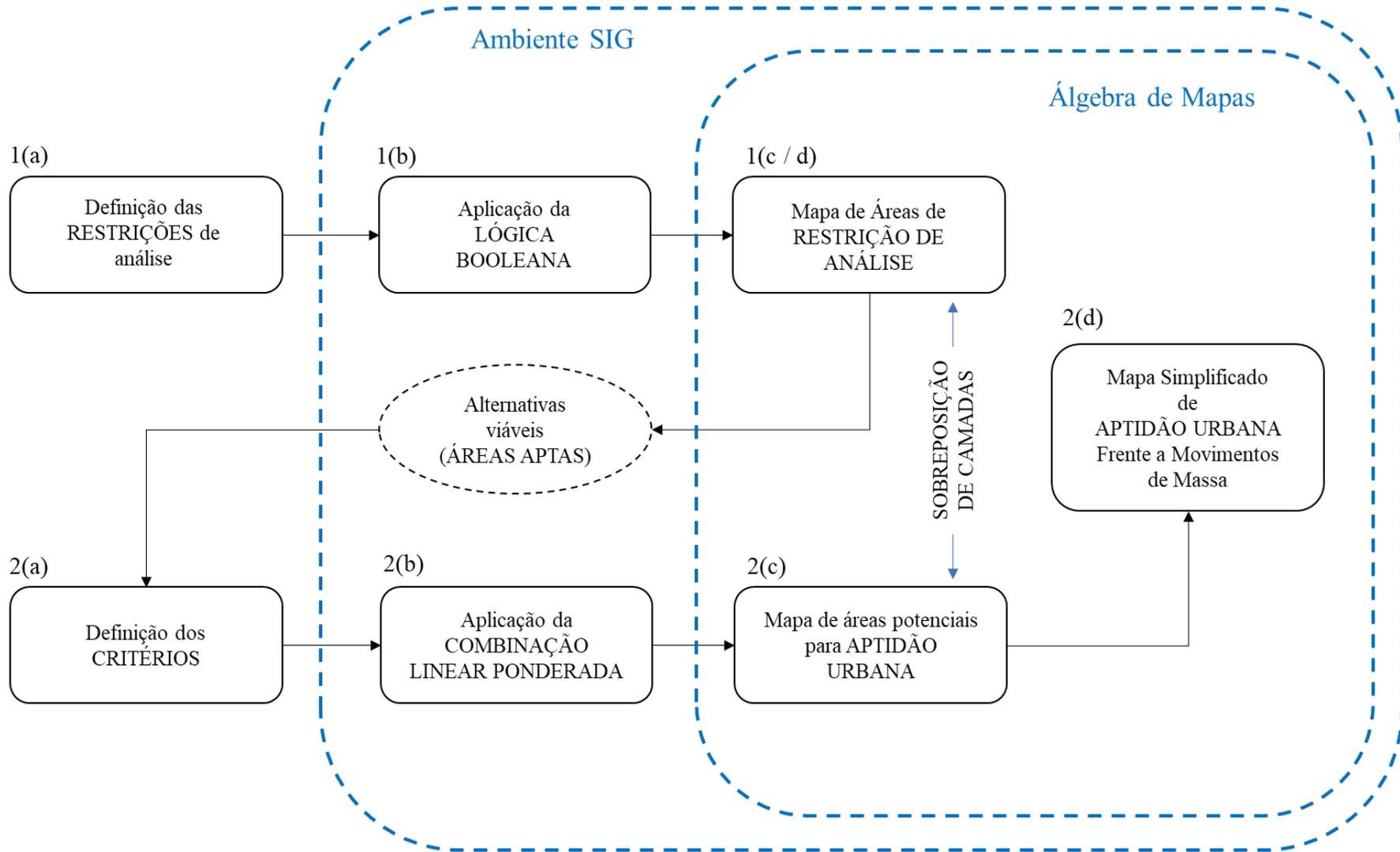
- Etapa 2: Cruzamento das informações do meio físico e uso do solo (critérios)

- (a) Definição dos critérios;
- (b) Aplicação do Método de **Combinação Linear Ponderada** nas alternativas viáveis (áreas aptas): criação das camadas (mapas) de critérios;
- (c) Álgebra dos mapas de critérios para elaboração de Mapa de Áreas Potenciais para Aptidão Urbana, denominado Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa;
- (d) Produto: Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa: resultado da álgebra de mapas de critérios, já consideradas inicialmente somente as alternativas viáveis (áreas aptas) com base no Mapa de Áreas de Restrição de Análise.

Na etapa 2, a aplicação da Combinação Linear Ponderada presume a definição dos pesos dos critérios, que pode ser realizada pelo método de comparação em pares, a exemplo do AHP (*Analytic Hierarchy Process*), adotado no estudo de caso do presente trabalho e detalhado nos APÊNDICES 5, 6 e 7.

Conforme pode ser observado no fluxograma de elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa apresentado na Figura 25, propõe-se nesta metodologia a ordem de cruzamento de acordo com Malczewski (1999) (ver item 2.3, APÊNDICE 5). Dessa forma, a Combinação Linear Ponderada é aplicada diretamente sobre as alternativas viáveis (áreas aptas).

Figura 25 - Fluxograma de elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para ilustrar as etapas da metodologia de elaboração do mapa, pode-se imaginar a aplicação em um município qualquer. Suponha-se que determinado município iniciará a confecção do seu Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa. O primeiro passo será definir as RESTRIÇÕES (etapa 1a), ou seja, quais áreas serão analisadas e quais áreas não serão analisadas, seja por questões legais ou outras.

Assim, inicialmente o município poderá definir se a análise será feita em todo o território ou somente num trecho. Se o município em questão determina que serão analisadas somente as áreas fora do perímetro urbano definido por lei, então o perímetro urbano passa a ser a primeira restrição da análise. Além disso, o município deverá avaliar quais áreas são legalmente proibidas de serem ocupadas. Suponha-se que se identifica uma Reserva Biológica e as áreas de preservação permanente (APPs) dos cursos d'água, que são restrições ambientais, como também uma área de reserva arqueológica, que é uma restrição no âmbito do interesse cultural. Dessa forma, são RESTRIÇÕES do município: perímetro urbano, reserva biológica, APPs de cursos d'água e reserva arqueológica, que se configuram como áreas de restrição de análise, cada uma representada por um mapa.

Na Etapa 1b aplica-se a lógica booleana por meio da sobreposição dos mapas de restrição em ambiente SIG. Tem-se como resultado Mapa de Restrições, um resultado binário que apresenta: áreas aptas para análise e áreas excluídas da análise. Parte-se então para a 2ª etapa.

Na Etapa 2a define-se os CRITÉRIOS que influenciam a suscetibilidade dos terrenos os quais o município dispõe de dados. Suponha-se que determinado município dispõe de dados de declividade, uso e cobertura do solo e geologia em escala compatível para análise, mas não possui dados de geomorfologia (e não possui os recursos necessários para a busca desse dado). Dessa forma, propõe-se que seja realizada a sobreposição dos mapas temáticos dos dados existentes, ainda que esse não seja o cenário ideal. Assim, executa-se a etapa 2b, da Combinação Linear Ponderada, que pressupõe a aplicação do AHP com definição de pesos preferencialmente por meio de especialistas. Obtém-se desta sobreposição o mapa de áreas potenciais para aptidão urbana, que pode ser classificado em áreas de baixa à alta aptidão urbana. Esse resultado foi denominado neste trabalho Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa.

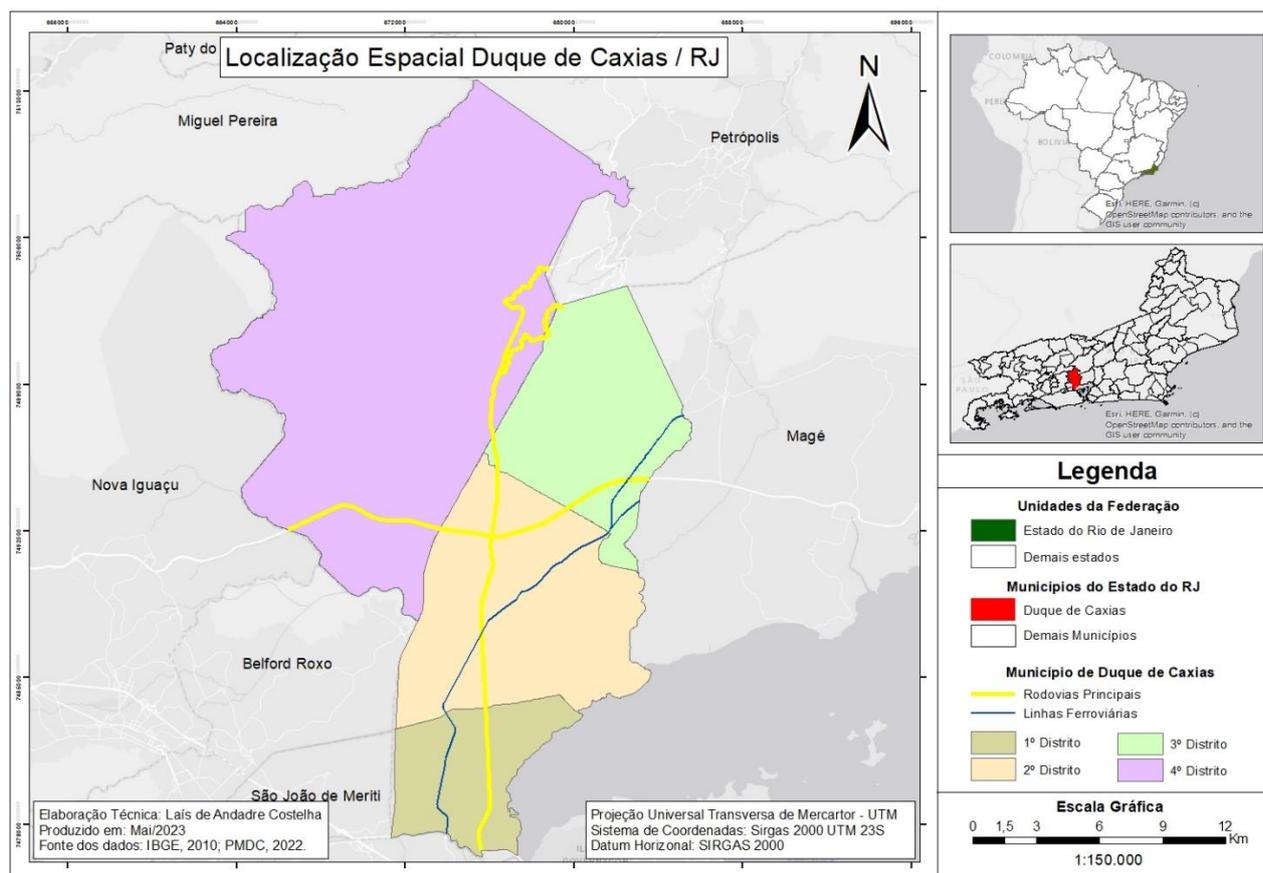
No estudo de caso apresentado no capítulo a seguir serão desenvolvidas as etapas da metodologia proposta para o município de Duque de Caxias-RJ, desde a caracterização do município até o passo a passo para elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa e resultados obtidos por meio da sua análise.

4 ESTUDO DE CASO: DUQUE DE CAXIAS – RJ

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

Duque de Caxias, município pertencente a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), está situado na Baixada Fluminense e foi criado pelo Decreto Estadual n.º 1.055, de 31 de dezembro de 1943, pertencendo até então ao município de Nova Iguaçu. Possui uma população estimada de 999.449 habitantes em 2021 e área de 467,319 km², segundo dados do IBGE (IBGE, 2023). Tem como limites os municípios de Miguel Pereira, Petrópolis, Magé, Rio de Janeiro, São João de Meriti, Belford Roxo e Nova Iguaçu e seu território está dividido em 4 distritos, de acordo com a Lei n.º 2.157 de 28 de maio de 1954: Duque de Caxias (1º distrito), Campos Elíseos (2º distrito), Imbariê (3º distrito) e Xerém (4º distrito) (Figura 26).

Figura 26 - Mapa de localização de Duque de Caxias.

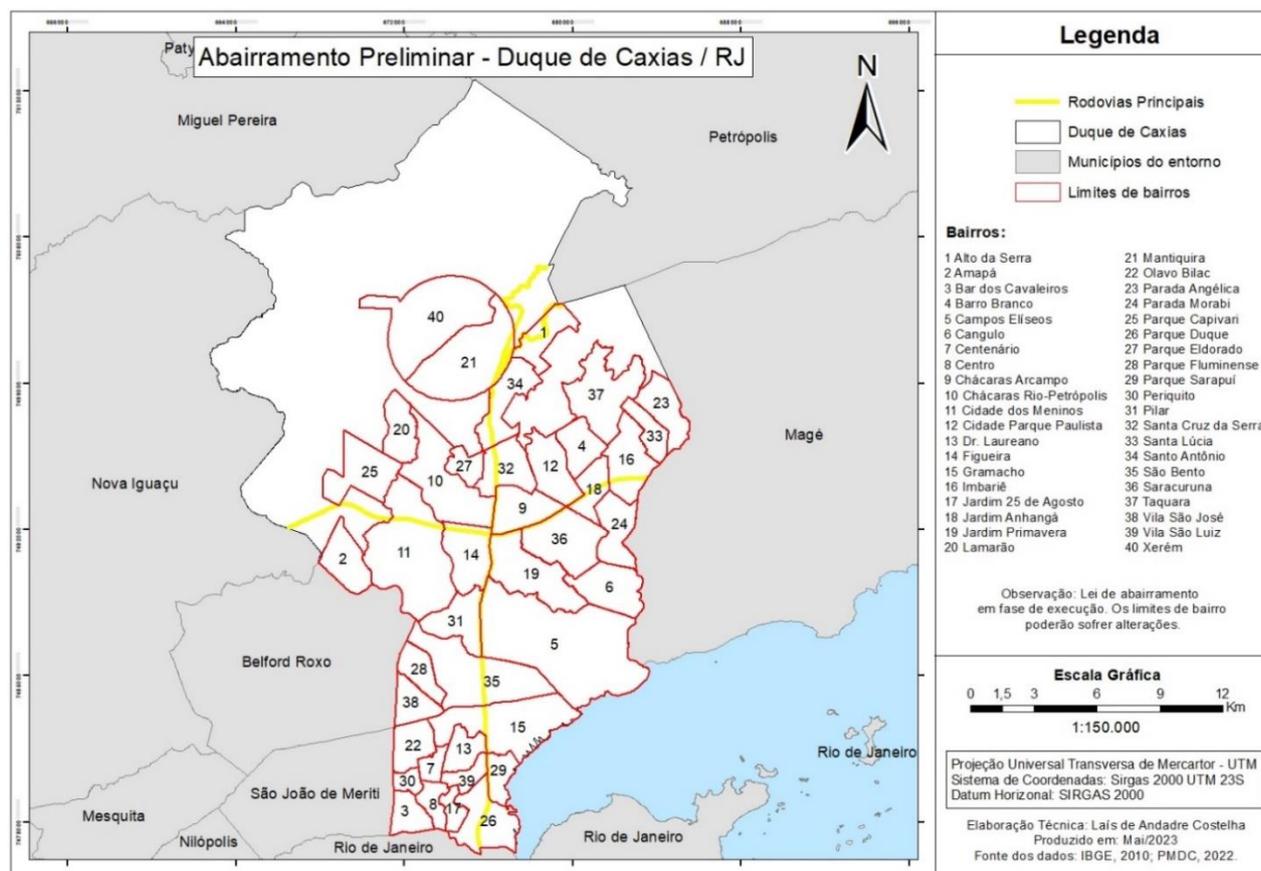


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O abairramento oficial vigente em Duque de Caxias (Figura 27) está de acordo com o Decreto n.º 841 de 1973 e o Decreto n.º 1864, de 1987 e é composto de 40 bairros. Os bairros a seguir sinalizados com asterisco encontram-se parcialmente inseridos em mais de um Distrito. O 1º

Distrito, Duque de Caxias, está situado ao sul do território municipal, envolvendo os seguintes bairros: Parque Duque, Jardim 25 de Agosto, Vila São Luiz, Doutor Laureano, Gramacho, Olavo Bilac, Centenário, Periquito, Bar dos Cavalheiros, Centro e Parque Sarapuí. O 2º Distrito, Campos Elíseos, localizado no centro-leste, é composto pelos bairros: Vila São José, Parque Fluminense, São Bento, Pilar, Campos Elíseos, Cidade dos Meninos (*), Figueira, Jardim Primavera, Cangulo, Saracuruna, Chácaras Rio-Petrópolis (*), Chácaras Arcampo, Parque Eldorado (*), Santa Cruz da Serra (*). O 3º Distrito, Imbariê, situado à nordeste do território municipal, abrange: Parada Morabi, Jardim Anhangá, Cidade Parque Paulista, Barro Branco, Imbariê, Santa Lúcia, Parada Angélica, Taquara, Alto da Serra (*), Santa Cruz da Serra (*), Santo Antônio (*). O 4º Distrito, Xerém, ocupa a maior extensão territorial do Município e está situado na sua porção noroeste, e engloba os bairros: Cidade dos Meninos (*), Amapá, Parque Capivari, Lamarão, Mantiquira, Xerém, Parque Eldorado (*), Chácaras Rio-Petrópolis (*), Alto da Serra (*), Santo Antônio (*).

Figura 27 - Mapa de abairramento de Duque de Caxias.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O município está integrado ao sistema rodoviário e ferroviário que o liga à capital do estado, em localidade estratégica para o desenvolvimento de atividades industriais e de logística, reforçada não somente pela proximidade com a cidade do Rio de Janeiro, mas principalmente pelo importante entroncamento rodoviário que dá acesso aos Estados de São Paulo e Minas Gerais. O Arco Rodoviário da Região Metropolitana (BR-493), inaugurado em 2014, possibilita ainda ao município a conexão com o Porto de Sepetiba, em Itaguaí, e se articula com a Rodovia Washington Luís, que liga Rio de Janeiro a Belo Horizonte (BR-040) e a Rodovia Rio-Magé (BR-116).

No último censo do IBGE, em 2010, a população do município era de 855.048 pessoas (IBGE, 2019), a terceira maior do Estado, atrás somente do Rio de Janeiro e de São Gonçalo. Desse total, mais de 50% da população estava concentrada no 1º e 2º distritos, mais próximos da capital. Os dados mostram que o 1º distrito concentrava 341.304 habitantes, enquanto o 2º concentrava 290.762 e o 3º e 4º, 161.853 e 61.129, respectivamente (TCE-RJ, 2018).

Conforme Da Silveira e Ribeiro (2017), a maior parte da população ocupa as áreas urbanas (Quadro 13), o que segue o padrão da maior parte das municipalidades do estado, predominantemente urbanas. De acordo com o censo de 2010, o município possuía 296.222 domicílios, sendo 18.336 inseridos em aglomerados subnormais (favelas), onde viviam 61.452 pessoas (TCE-RJ, 2018), em favelas concentradas principalmente no 1º distrito.

Quadro 13 - População urbana e rural de Duque de Caxias entre 1940 e 2010.

ANO	POPULAÇÃO TOTAL	POPULAÇÃO URBANA	%	POPULAÇÃO RURAL	%
1940	28.328	23.963	84,6	4.365	15,4
1950	92.459	74.565	80,4	17.894	19,6
1960	241.026	176.306	72,1	67.313	27,9
1970	431.397	404.496	93,8	26.901	6,2
1980	575.814	555.208	96,4	20.606	3,6
1991	667.821	664.745	99,5	3.673	0,5
2000	775.456	772.327	99,6	3.129	0,4
2010	855.048	852.138	99,7	2.910	0,3

Fonte: Da Silveira e Ribeiro (2017).

4.1.1 Panorama político-econômico

A administração municipal de Duque de Caxias segue com pouca ou nenhuma alteração do ponto de vista político-administrativo desde 2016. Isso é evidenciado pela contínua permanência no poder do grupo liderado pelo político Washington Reis de Oliveira, que vem

concentrando seus esforços principalmente na área da saúde e na realização de remoções de favelas. A gestão atual, liderada pelo Prefeito Wilson Miguel dos Reis, que é tio de Washigton Reis, entrou em exercício em abril de 2022. Esse acontecimento se deu em virtude da renúncia do então prefeito Washington Reis, que estava em seu segundo mandato e optou por deixar a prefeitura a fim de buscar uma pré-candidatura ao Senado pelo estado do Rio de Janeiro.

O PIB do município é de 47.153.673,08 (dados de 2020 do IBGE), o segundo maior do Estado, atrás somente do município do Rio de Janeiro. Da Silveira e Ribeiro (2017) afirmam que o papel de destaque da economia de Duque de Caxias no Estado do Rio acontece há algumas décadas, principalmente a partir dos anos 1960 quando ocorreu a instalação da Refinaria de Duque de Caxias (REDUC) no município. Segundo esses autores, na década de 1980 a cidade apresentou crescimento econômico de 32,5%.

A economia de Duque de Caxias cresce com ênfase em dois setores: serviços e indústria. Segundo Camaz (2015), em 2015 o município possuía 810 indústrias e 10 mil estabelecimentos comerciais instalados. Entretanto, o setor de serviços corresponde a maior parte da economia caxiense, 88,31%, contra 11,65% da indústria e 0,04% da agropecuária, segundo dados IBGE Cidades 2015 (DA SILVEIRA e RIBEIRO, 2017).

4.1.2 Histórico

A história de Duque de Caxias sempre teve estreita relação com a urbe carioca desde o início da ocupação europeia, visto que a região onde o município está inserido, às margens da Baía de Guanabara, constituiu-se como uma importante ligação entre o interior e o litoral, tendo uma posição estratégica tanto para o desenvolvimento da cidade do Rio de Janeiro como da própria região metropolitana (ALMEIDA, 2014).

O território abrangido pela Baixada Fluminense abrigou a partir do século XVI a porção do Recôncavo da Guanabara, conhecida como Iguassu. O povoamento da região iniciou no séc. XVI, quando foram doadas sesmarias pela Coroa Portuguesa, durante a expulsão dos franceses que haviam invadido a Baía de Guanabara. Desde aquele século até 1828, quando o regime de doação de sesmarias foi extinguido, ao menos 269 sesmarias já haviam sido concedidas em Iguassu. A primeira sesmaria foi doada a Cristóvão Monteiro em 1565, às margens do Rio Iguaçú e formou a Fazenda Iguaçú, sendo a mais antiga e importante fazenda que hoje constitui o município de Duque de Caxias (BRAZ; ALMEIDA, 2010).

Os primeiros aglomerados surgiram no entorno de igrejas, como a de São Bento, por volta de 1596, e de Nossa Senhora do Pilar, em 1612. Ao longo do século XVII a população permaneceu

reduzida concentrada principalmente nos engenhos e somente no século seguinte houve um crescimento expressivo, devido a sua importância estratégica para o escoamento do ouro, em função dos seus rios, como também pelas estradas abertas nas serras, a exemplo do Caminho Novo, aberto em 1704 para transpor a Serra dos Órgãos. Assim, a Baixada tornou-se ponto obrigatório de passagem para quem se dirigia ou regressava da região de Minas, e os caminhos, que partiam dos portos fluviais eram pontos de aglutinação de pessoas e atividades econômicas, dando origem aos primeiros núcleos urbanos (DA SILVEIRA; RIBEIRO, 2017).

No século XIX, com a expansão do café pelo Vale do Paraíba e com a chegada da Família Real Portuguesa em 1808, houve um novo impulso ao fluxo dos caminhos localizados na Baixada Fluminense e nas imediações dos portos fluviais, promovendo um aumento demográfico na região. (DA SILVEIRA; RIBEIRO, 2017). Entretanto, a expansão da malha ferroviária carioca no mesmo século para a região da baixada em áreas diferentes daquelas ligadas aos caminhos do ouro e aos portos fluviais colaborou para o declínio desses núcleos e o deslocamento populacional para o entorno das estações, levando ao rápido crescimento populacional e alterando a organização regional significativamente (ALMEIDA, 2014).

Dessa forma, Merity, área atual do 1º distrito de Duque de Caxias, passou por um processo de surgimento de vilas e povoados, efeito da inauguração da Estrada de Ferro Leopoldina em 1886, como também da expansão urbana da cidade do Rio de Janeiro, visto que as cidades da baixada passaram a aliviar as pressões demográficas da capital (principalmente para o contingente populacional de baixo poder aquisitivo), já prenunciadas com a reforma urbana de Pereira Passos de 1906 (ALMEIDA, 2014).

Entretanto, conforme aponta Da Silveira e Ribeiro (2017), apesar do folego econômico trazido pela nova ferrovia, o impacto inicial do povoamento não foi grande, em função da falta de saneamento, que limitava o crescimento. A partir de 1930, na era Vargas, foi instaurado um programa de abertura de canais, dragagem e retificação dos grandes rios e Duque de Caxias experimentou um intenso processo de remodelação de sua área. Com a melhoria da infraestrutura, somada a um conjunto de fatores que fizeram a população de baixa renda do Rio de Janeiro procurar moradia na Baixada Fluminense, o distrito de Merity passou por um notável crescimento demográfico. Com isso, as propriedades rurais passaram a ser fracionadas e surgiram os loteamentos, predominantemente à beira da Ferrovia. (ALMEIDA, 2014; DA SILVEIRA, RIBEIRO, 2017).

Os dados estatísticos mostram que, em 1910, a população de Merity era de 800 pessoas, passando em 1920, para 2.920 e, em 1930, para 28.756 habitantes. Assim, diante do desenvolvimento

alcançado pela cidade o deputado federal Dr. Manoel Reis propôs a criação do distrito de Caxias através do Decreto Estadual nº 2.559, de 14 de março de 1931, que elevou o local a 8º distrito de Nova Iguaçu (ALMEIDA, 2014).

A insatisfação da elite caxiense com o governo municipal de Nova Iguaçu acelerou o processo de emancipação, que ocorreu em 1943, quando os distritos de Caxias, São João de Meriti, Xerém e Estrela passaram a integrar o novo município de Duque de Caxias, criado através do Decreto Lei nº 1.055, de 31 de dezembro. O município foi inicialmente composto pelos distritos de Duque de Caxias, São João de Meriti e Imbariê, porém em 1947 São João de Meriti emancipou-se e em 1954 o Distrito de Imbariê deu origem a outros dois: Xerém e Campos Elíseos. (ALMEIDA, 2014; DA SILVEIRA, RIBEIRO, 2017).

De acordo com Da Silveira e Ribeiro (2017), nas duas décadas seguintes à emancipação o município continuou a passar por transformações no seu perfil social e econômico, tornando-se populoso e industrializado no final dos anos 50, em função de, entre outros aspectos, disponibilidade de terras a preços reduzidos e proximidade com a capital. Almeida (2014) coloca que em 1950, 112 unidades industriais já haviam sido instaladas no município e a população alcançou 92.459 habitantes. Em 1958, o número de unidades industriais passou para 228. Em 1961, a instalação da Refinaria Duque de Caxias (REDUC) colaborou para transformar ainda mais a economia e, segundo Beloch (1986 *apud* DA SILVEIRA; RIBEIRO, 2017), entre 1959 e 1970 a participação de Duque de Caxias nas atividades econômicas da RMRJ aumentou de 4,4% para 10,8%. Em 1970, o município era o que possuía a maior quantidade de terras não-ocupadas entre todos os municípios da baixada, além de metade de suas terras já serem urbanas, o que favorecia a localização de indústrias.

Dessa forma, Duque de Caxias foi o município com a maior taxa de crescimento demográfico entre 1950 e 1960. Além das vagas de emprego disponibilizadas pelo desenvolvimento da indústria, a proximidade com a capital favorecia o deslocamento pendular diário dos trabalhadores que estabeleciam residência na cidade e faziam suas atividades fora do município (DA SILVEIRA; RIBEIRO, 2017).

O crescimento demográfico acelerado suscitou problemas ligados à urbanização rápida e desordenada. De acordo com Souza (2002), o processo de ocupação da Baixada, em especial de Duque de Caxias, foi produzido por meio da ocupação popular, através da autoconstrução de moradias e formação de favelas. Braz e Almeida (2010) relatam ainda os graves problemas enfrentados pela população caxiense quanto ao abastecimento de água e a ausência de uma rede de captação de esgoto, além do inconstante e precário fornecimento de energia. O problema com

enchentes é relatado por Braz e Almeida (2010), que citam como exemplo a enchente de 1958, a qual dizimou toda a população da Favela do Mangue.

Da Silveira e Ribeiro (2017) retratam o crescimento da Duque de Caxias baseado numa ocupação típica de cidade-dormitório, com deficiência em infraestrutura, equipamentos comunitários, implantação desordenada dos loteamentos e habitações de baixo padrão construtivo. No município estabeleceu-se o modelo centro-periferia, no qual a infraestrutura, mercado de trabalho e moradia de alto padrão estão concentrados no centro e a periferia municipal se encontra empobrecida em diferentes níveis.

Assim, da mesma forma como aconteceu na cidade do Rio de Janeiro, em que o mercado mobiliário com a conivência do poder público “expulsou” das áreas providas de infraestrutura a população de baixa renda para a periferia do município e para a Baixada Fluminense, o processo em Duque de Caxias reproduziu essa lógica, com a presença de núcleos mais abastados, especialmente o bairro de 25 de agosto.

4.1.3 Organização Institucional de Duque de Caxias para enfrentamento de desastres

No mandato do Prefeito Alexandre Cardoso (2013-2017) a Defesa Civil possuía status de Secretaria Municipal de Defesa Civil. Entretanto, desde o início do mandato do Prefeito Washington Reis, iniciado 2017, a Defesa Civil passou a ser uma subsecretaria da Secretaria de Saúde, então denominada Secretaria Municipal de Saúde e Defesa Civil e, atualmente, é uma superintendência que compõe a Secretaria Municipal de Obras e Defesa Civil.

O status de secretaria é dotado de várias vantagens alinhadas aos princípios fundamentais da administração pública e gestão de risco. Isso inclui a autonomia e poder de decisão, a alocação de orçamento e recursos específicos, a ampliação da visibilidade e reconhecimento, a legitimidade e representatividade, bem como a capacitação para o desenvolvimento de planejamento estratégico destinado à prevenção e resposta a desastres.

4.1.4 Os desastres associados a movimentos de massa em Duque de Caxias

O rápido crescimento demográfico do município de Duque de Caxias, somado a outros fatores, resultou na ocupação inadequada de áreas de encostas e planícies fluviais, formando áreas que hoje apresentam risco a deslizamentos e inundações (REGEA, 2013). De acordo com pesquisa realizada por Barcellos et al. (2016), entre 1996 e 2015 ocorreram 35 desastres associados a eventos naturais em Duque de Caxias, sendo 18 deles classificados como

“Deslizamento/Inundação” e 8 como somente “deslizamento”. Os demais foram classificados como “inundação”. É importante destacar que nem todos esses eventos registrados pelos autores tiveram perdas de vida, desabrigados ou desalojados, mas impactaram a cidade de alguma forma. A Tabela 8 apresenta a lista dos eventos classificados como “Deslizamento/Inundação” e “deslizamento” registrados entre 1996 e 2015.

Tabela 6 - Desastres associados total ou parcialmente a movimentos de massa em Duque de Caxias entre 1996 e 2015.

DATA DO EVENTO	TIPO DE DESASTRE	N. ° DE DESABRIGADOS	N. ° DE DESALOJADOS	N. ° DE MORTES
19 - 23/11/1996	Deslizamento	0	0	2
07 - 09/01/1998	Deslizamento	160	1000	6
11/02/1998	Deslizamento/Inundação	1000	0	4
23 - 24/12/2001	Deslizamento/Inundação	0	1424	6
28 - 29/11/2003	Deslizamento/Inundação	0	2000	7
15 -16/01/2004	Deslizamento	269	1268	3
27/01/2006	Deslizamento/Inundação	0	0	3
07/10/2006	Deslizamento	0	50	3
24 - 25/10/2007	Deslizamento/Inundação	0	1600	1
12/12/2007	Deslizamento/Inundação	0	0	0
03/02/2008	Deslizamento/Inundação	0	0	0
15/03/2008	Deslizamento	0	0	0
02/10/2008	Deslizamento	0	0	0
14/11/2008	Deslizamento	0	0	0
21/01/2009	Deslizamento	0	0	0
11/11/2009	Deslizamento/Inundação	0	0	0
15/11/2009	Deslizamento/Inundação	205	3039	3
04/12/2009	Deslizamento/Inundação	55	100	3
30 - 31/12/2009	Deslizamento/Inundação	865	1600	1
15/01/2010	Deslizamento/Inundação	0	0	0
06/04/2010	Deslizamento/Inundação	187	23	0
02/01/2012	Deslizamento/Inundação	44	0	0
03/01/2013	Deslizamento/Inundação	270	1126	2
18/03/2013	Deslizamento/Inundação	149	347	33
28/02/2015	Deslizamento/Inundação	0	0	0
22/03/2015	Deslizamento/Inundação	0	0	0

Legenda:

* Dados de desabrigados, desalojados e mortes obtidos em Silva et al. (2019).

Fonte: Barcellos et al. (2016).

Observando as datas dos desastres acima listados é possível observar que a maior parte dos eventos aconteceram entre os meses de novembro e fevereiro, caracterizado pelo período de verão

chuvoso na região. De acordo com os dados apresentados por Barcellos et al. (2016), dos 26 eventos relacionados a movimentos de massa, 14 foram associados a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), fenômeno típico dos meses de verão (entre os meses de novembro e março), que mantém a convecção tropical mais acentuada e contribui para a geração e manutenção dos altos acumulados de chuva por dias consecutivos.

Dessa forma, a presença do fenômeno ZACS, aliada à existência de diversas áreas com média e alta suscetibilidade a movimentos de massa no município, juntamente com as questões sociais e de infraestrutura que afligem as localidades mais vulneráveis, emerge como um fator contribuinte para a ocorrência de desastres em Duque de Caxias.

Pesquisa de Hassan et al. (2017) indica uma correlação entre a deflagração de deslizamentos e o acumulado de pluviometria de 3 dias em Duque de Caxias. Entretanto, os autores utilizaram dados de apenas 3 anos, entre 2013 e 2016, e ressaltaram que uma série temporal mais longa poderia ajustar este resultado. A dificuldade apontada por Hassan et al. (2017) para estudos com um período maior deve-se ao banco de dados do município de Duque de Caxias, que foi consolidado e informatizado somente em 2013. Diante disto, é possível perceber o obstáculo da obtenção de dados em Duque de Caxias, refletindo na quantidade diminuta de publicações relativas ao tema de desastres no município.

Vale destacar no presente trabalho o desastre ocorrido em Xerém em 2013. Entre os dias 02 e 03 de janeiro de 2013 a chegada de uma frente fria provocou intensas chuvas na Região Serrana e na Baixada Fluminense (BARCELLOS et al., 2016). O distrito de Xerém foi o mais atingido do município de Duque de Caxias, com precipitação de 208 mm em apenas 10 h, um índice bastante alto considerando a média mensal de 420 mm em janeiro, de 1961 a 1990 (DRM, 2013). O resultado foi a ocorrência de um desastre (Figura 28-a) que foi amplamente divulgado pela mídia, principalmente porque tornou evidente que mesmo após o desastre ocorrido na Região Serrana em 2011, com enormes impactos a sociedade, as tragédias continuaram se repetindo no Estado do Rio de Janeiro sem uma intervenção efetiva do poder público para a redução dos riscos.

De acordo com relatório do DRM acreditou-se num primeiro momento que o desastre teria sido causado por um processo hidráulico no Rio Capivari, um fluxo torrencial, sem participação terrosa ou contribuição advinda das encostas adjacentes, visto que na primeira avaliação realizada no dia 03/01/2013 não foi verificado o deslocamento de blocos rochosos, tal qual aconteceu na Região Serrana em 2011. Entretanto, estudos posteriores realizados pelo DRM constataram que o fluxo torrencial conseguiu mobilizar blocos rochosos e o processo destrutivo teve sim uma fase de corrida de detritos (DRM, 2013), que é um dos tipos de movimentos de massa (vide item 2.1.4.2).

A geomorfologia na região de Xerém, caracterizada pela transição abrupta entre escarpas declivosas para a baixada plana, propiciam o aumento rápido da velocidade e vazão dos fluxos d'água nos rios Capivari e Saracuruna, principalmente por conta da forma de funil da bacia hidrográfica. Assim, segundo o DRM (2013), as chuvas intensas levaram ao fluxo torrencial (Figura 28-b) que se transformou num fluxo concentrado¹⁴, denso e com alta velocidade, exumando blocos rochosos e matacões rochosos depositados ali por corridas de massa pretéritas, o que acabou por formar uma corrida de detritos que abriu uma clareira de mais de 100m onde era mata fechada, alargando o rio de 10 a 15 vezes da sua dimensão normal.

O relatório do DRM ainda aponta que os danos causados pelo fenômeno poderiam ter sido piores, visto que o potencial destrutivo de uma corrida de detritos não foi alcançado. Alguns fatores contribuíram para minimizar o problema: (1) a corrida de detritos foi barrada por uma represa da CEDAE, que também desacelerou o fluxo concentrado, o que pôde ser constatado pela deposição à jusante de parte dos sedimentos e blocos rochosos que a transpuseram após danificar a sua crista. Embora o papel dessa represa não fosse o de “retenção”, mas o de abastecimento de água, ela desempenhou muito bem uma função de dissipação de energia; (2) os picos de precipitação registrados, 38.8mm/h, às 21h30 do dia 02, estiveram bem aquém dos valores registrados em corridas de massa, como no desastre da Região Serrana, que atingiram 80 a 130 mm/h; (3) As chuvas dos dias antecedentes ao evento também não foram excepcionais: a diária atingiu 84.4 mm/24h e a dos 4 dias anteriores, 109.0 mm/96h.

Entretanto, o DRM ressalta que o risco de corridas de detritos na região não é baixo. Os estudos na área através de imagens e mapeamento de campo revelaram a grande extensão de depósitos de corridas de massa pretérita (Figura 28-c). Além disso, a situação de risco se agrava em função da vulnerabilidade das comunidades que ocupam a faixa ribeirinha do Rio Capivari.

No evento de 2013, De Oliveira Silva et al. (2019) relatam que foram registradas 2 mortes, 60 feridos, 270 desabrigados, 1.126 desalojados e 50.000 afetados no pós-evento. Os autores destacam que a resposta ao evento foi iniciada pela população local e continuada pela prefeitura, Defesa Civil, militares e instituições religiosas. Após 13 horas, a prefeitura estabeleceu um comitê de crise e foi criado um centro de distribuição regional de doações numa igreja local.

¹⁴ A erosão por fluxo concentrado desenvolve-se em linhas de talvegue ou nos cursos de drenagem de primeira ordem, resultando no entalhamento vertical do terreno, no rebaixamento das vertentes laterais e no alargamento do vale da drenagem. Fonte: http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6997/Processos_Erosivos_nas_Encostas.html

Figura 28 - (a) Efeitos do desastre no Bairro Café Torrado, em Xerém; (b) Vista do fluxo torrencial e sua distância do núcleo urbano; (c) Blocos rochosos e matacões de corridas de detritos pretéritas, com marcas de fricção e impacto, o que revela o transporte de blocos rochosos.



Fonte: (a) Jacobi (2013); (b) e (c) DRM (2013).

4.1.5 Legislação urbana de Duque de Caxias e a Gestão de Riscos de Desastres

Para elucidar o tema, fez-se uma avaliação no quadro normativo do ordenamento territorial vigente no município de Duque de Caxias e sua articulação com as exigências de prevenção de desastres socioambientais por meio da Gestão de Riscos de Desastres (GRD). O Quadro 14 apresenta os principais instrumentos de ordenação urbana e o panorama de Duque de Caxias quanto a inserção da GRD na legislação urbana. O Quadro 16 apresenta a legislação específica do município onde a temática dos riscos é abordada, direta ou indiretamente. Com base nesse levantamento é possível verificar a capacidade de gestão territorial do município quanto a prevenção dos desastres e a conformidade da legislação municipal com a legislação federal. Cabe ainda ressaltar que, por possuir áreas de risco, Duque de Caxias é apto a integrar o Cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, regulamentado pelo Decreto nº 10.692, de 3 de maio de 2021, o que significa que a inclusão assegura o apoio da União e do Estado, no âmbito de suas competências, na execução das ações gerenciamento de riscos e

desastres previstas no art. 5º do decreto (o que inclui elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização), de acordo com a sua disponibilidade orçamentária e financeira.

Quadro 14 - Plano Diretor e leis complementares e a prevenção de riscos de desastres em Duque de Caxias.

Legislação Urbana Duque de Caxias (DC)	Status em DC	Abordagem de Gestão de Riscos de Desastres (GRD) definida pela Lei 12.608	Aborda a GRD
Plano Diretor (PD)			
Lei Complementar nº 1, de 31 de outubro de 2006 (com acréscimo de leis complementares)	Vigente	Ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar a exposição da população a riscos de desastres.	Sim
Leis Complementares ao Plano Diretor			
Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano (Lei de Zoneamento) (Decreto nº 841, de 13 de novembro de 1973 e suas modificações)	Vigente (Anterior ao PD de 2006)	Compete aos Municípios: Identificar e mapear as áreas de risco de desastres (inciso IV, art. 8 da Lei nº 12.608/2012);	Não
Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Decreto nº 860, de 20 de maio de 1974 e suas modificações)	Vigente (Anterior ao PD de 2006)	É vedada a aprovação de projeto de loteamento e desmembramento em áreas de risco definidas como não edificáveis, no plano diretor ou em legislação dele derivada (Art. 12, §3º da Lei no 6.766/1979, acrescido pelo Art. 27 da Lei nº 12.608/2012).	Não
Lei de Perímetro Urbano	<i>Inexistente</i>	Os Municípios que pretendam ampliar o seu perímetro urbano deverão elaborar projeto específico que contenha delimitação dos trechos com restrições à urbanização e dos trechos sujeitos a controle especial em função de ameaça de desastres naturais (inciso II, art. 42-B da Lei nº 10.257/2001, inserido no Art. 26 da Lei nº 12.608/2012).	-
Código de Obras e Edificações (Decreto nº 2.185, de 04 de dezembro de 1990)	Vigente (Anterior ao PD de 2006)	-	Não

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Lei Complementar nº 1, de 31 de outubro de 2006, que institui o Plano Diretor Urbanístico do Município de Duque de Caxias-RJ e estabelece diretrizes e normas para o seu ordenamento físico-territorial e urbano, aborda a temática da gestão de riscos de desastres especialmente com relação ao estabelecimento da Política Habitacional de Interesse Social do Município (Seção IV). Em seu artigo 16, a lei determina como diretrizes de habitação de interesse social associadas a gestão de risco de desastres a reserva de terrenos e remanejamento de moradores de áreas de risco, conforme exposto:

Art.16. São diretrizes da Política Habitacional de Interesse Social do Município:

- VI. Garantir reserva de terrenos para o assentamento planejado de empreendimentos habitacionais de interesse social destinados a receber moradores remanejados de áreas de risco, de interesse ambiental ou urbanístico;
- XI. Elaborar o Plano Estratégico Habitacional Municipal para caracterização das áreas de assentamentos subnormais, em especial das Zonas de Interesse Social - ZEIS, conforme as seguintes diretrizes:
 - f) Identificar e delimitar terrenos vazios para fins de criação de novas Zonas Especiais de Interesse Social planejadas para receber população remanejada de áreas de risco.
- XII. Remanejar população em áreas de risco ou de interesse urbanístico ou de interesse ambiental, para áreas dotadas de infraestrutura, equipamentos coletivos e serviços urbanos, preferencialmente nas circunvizinhanças da moradia anterior;

O artigo 16 estabelece ainda em seu § 2º quais são as áreas ocupadas por moradias consideradas como áreas de risco de desastres associados a movimentos de massa e inundações:

§ 2º. Consideram-se em áreas de risco as moradias situadas nos seguintes locais:

- d) Áreas que oferecerem riscos à segurança individual e coletiva e inviabilizam a implantação de serviços urbanos básicos, tais como áreas sujeitas a deslizamentos, alagamentos, inundações, insalubres ou áreas de interesse urbanístico.

Por fim, o artigo 23 estabelece a proibição da extensão da infraestrutura do município para áreas de risco:

Art.23. Fica vedada a extensão dos serviços públicos de infraestrutura para assentamentos irregulares e em áreas de risco.

Diante do exposto, constata-se que o Plano Diretor de Duque de Caxias, embora faça menção a áreas de risco, deverá em sua revisão sofrer atualizações conforme a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC e proceder o mapeamento de suas áreas de risco, tanto nas áreas urbanas como rurais, bem como elaborar as cartas geotécnicas, como base para estabelecer diretrizes urbanísticas.

Quanto as leis complementares ao Plano Diretor de 2006, pode-se observar pelo Quadro 16 que estas não foram regulamentadas até o presente momento. Segundo o Plano Diretor (art. 97,

§ 1º da LC nº 01, as “Leis de Uso e Ocupação do Solo, de Parcelamento Urbano, o Código de Obras e a Lei de Bairros deverão ser elaboradas no prazo máximo de 18 meses, a partir da data da aprovação do referido Plano.” Como essa regulamentação não foi efetivada, criou-se uma lacuna entre o Plano Diretor e a legislação urbana efetivamente utilizada, de modo que o município recorre ao uso de outros decretos e leis que já vigoravam antes do PD para aspectos específicos, como os relativos aos índices urbanísticos, que deveriam ter sido estabelecidos pela regulamentação da Lei de Uso e Ocupação do Solo. Com relação ao Código de Obras e Edificações, por exemplo, o município faz uso do Decreto nº 2.185, de 04 de dezembro de 1990, que não menciona a questão dos riscos de desastres. Seria adequado que o código de Obras regulamentasse questões relativas a movimentos de terra, como cortes e aterros, bem como questões de drenagem superficial, de modo garantir não somente a segurança de determinado lote, como também a segurança dos imóveis e logradouros limítrofes. Cabe destacar que é importante que as leis complementares estejam alinhadas com as diretrizes estabelecidas no Plano Diretor, de tal maneira que se recomenda a atualização dessas leis na sequência da nova revisão do Plano Diretor.

O município dispõe ainda de legislação específica onde a questão do risco é abordada direta ou indiretamente, conforme Quadro 15. O Decreto nº 4859 institui regiões consideradas como Áreas de Risco de Inundação, localizadas ao longo de rios, canais e valões nos 4 distritos. Embora não apresente espacialização da extensão das áreas, representa um avanço em direção à abordagem da Gestão de Riscos de Desastres na legislação do município. Outros dois dispositivos tratam do tema de forma indireta: o Decreto nº 3.005 e a Lei nº 2.712. O Decreto nº 3.005, que dispõe sobre a edificação residencial em parcelamento irregular, determina no § 2º, artigo 1º, que “o projeto não será aprovado e a obra não será autorizada se o imóvel estiver situado em **área de risco**, em unidades de conservação, em área ou faixa não edificável ou em áreas necessárias à regularização do parcelamento”. A Lei nº 2.712, que concede isenção do Imposto Predial e Territorial Urbano e da Taxa de Coleta Domiciliar de Lixo para exercícios passíveis de lançamento tributário e normatiza a “Mais-Valia” aos contribuintes que se regularizarem perante a Administração Pública Municipal, estabelece em seu inciso II do artigo 12 que “serão indeferidas pelo Município as solicitações de regularização das edificações construídas em discordância com a legislação municipal que estiverem situadas em área de risco, assim definidas pelo Município”.

Quadro 15 - Legislação urbana municipal específica e a prevenção de riscos de desastres em Duque de Caxias.

Legislação Urbana Duque de Caxias (DC)	Status em DC	Abordagem de Gestão de Riscos de Desastres (GRD) definida pela Lei 12.608	Aborda a GRD
Legislação específica			
Decreto nº 4859, de 15 de março de 2006 (Institui regiões consideradas como Áreas de Risco de Inundação)	Vigente	Compete aos Municípios: Identificar e mapear as áreas de risco de desastres (inciso IV, art. 8 da Lei nº 12.608/2012);	Sim
Decreto nº 3.005, de 25 de abril de 1997 (Autoriza edificação residencial em parcelamento irregular)	Vigente	É vedada a concessão de licença ou alvará de construção e áreas de risco indicadas como não edificáveis no plano diretor ou legislação dele derivada (Art. 23 da Lei nº 12.608/2012);	Sim
Lei nº 2712, de 30 de junho de 2015 (Regularização das edificações construídas em discordância com a legislação municipal)	Vigente	É vedada a concessão de licença ou alvará de construção e áreas de risco indicadas como não edificáveis no plano diretor ou legislação dele derivada (Art. 23 da Lei nº 12.608/2012);	Sim

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Dessa forma, é visível a necessidade da incorporação da Gestão de Riscos de Desastres na legislação urbana, inclusive devido a obrigatória adequação à Lei nº 12.608/2012.

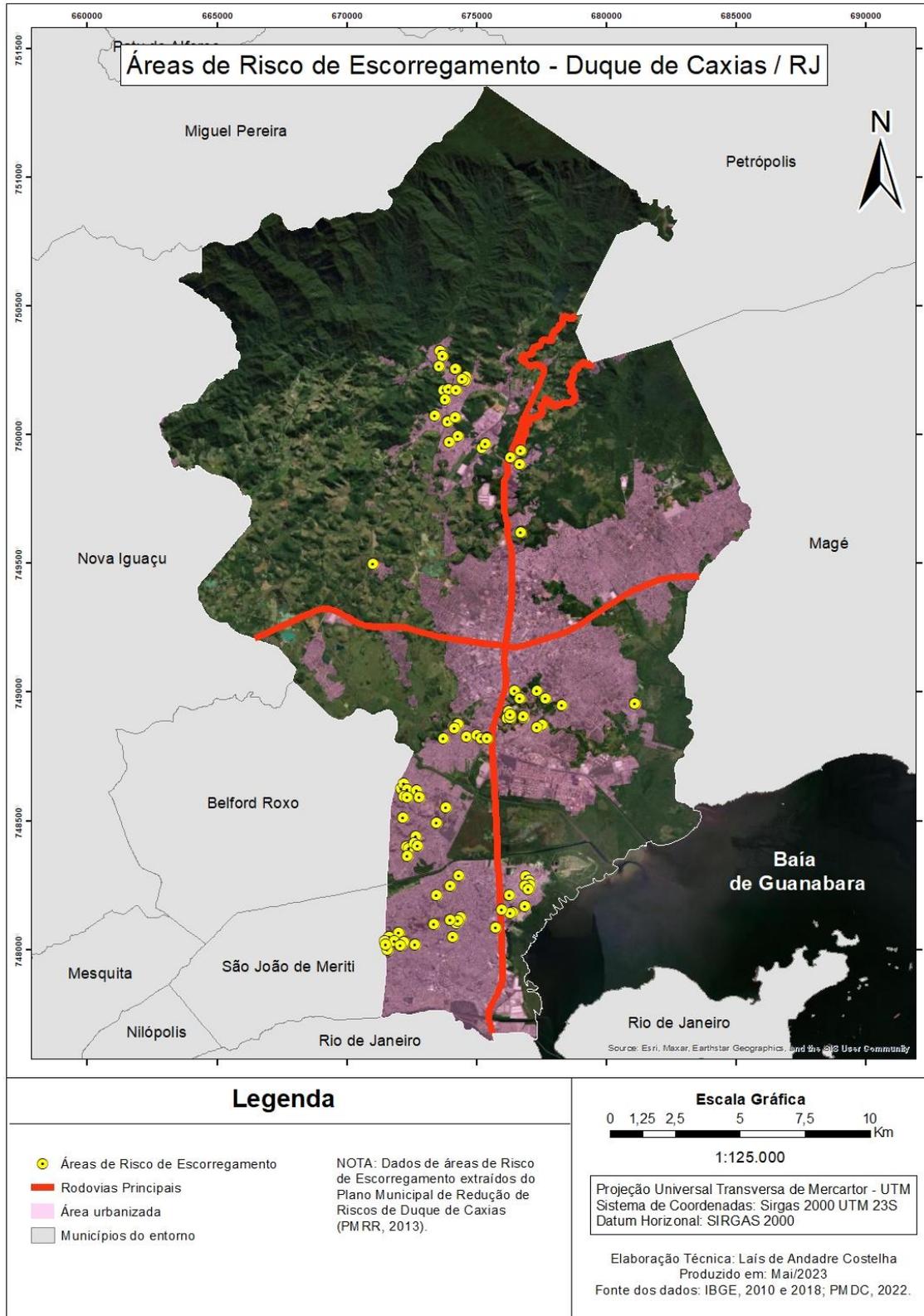
4.1.6 Plano Municipal de Redução de Riscos de Duque de Caxias

O Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) do Município de Duque de Caxias (RJ) foi elaborado no ano de 2013 pela empresa de consultoria REGEA - Geologia e Estudos Ambientais Ltda através de parceria firmada com a Prefeitura Municipal, com apoio financeiro da Caixa Econômica Federal – CEF por meio do “Programa Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários” do Ministério das Cidades.

A consultoria identificou 96 áreas de risco prioritárias no município tomando como base as informações disponibilizadas pela Secretaria de Defesa Civil do município, tais como cópia em formato digital do Mapeamento de Risco do Município de Duque de Caxias elaborado pelo DRM-RJ em 2011 (incluindo pontos de vistorias do DRM em datas anteriores ao mapeamento), bem como as áreas de inundação indicadas pela própria Defesa Civil. Das 96 áreas mapeadas, 88 áreas (96 setores) foram de risco de escorregamentos (Figura 29) e 08 áreas (09 setores) foram de risco de inundação, nas quais foram contabilizadas 1.340 moradias nos setores de risco a

escorregamento e 31.070 moradias nos setores de risco de inundação. Todas as áreas e limites dos setores e suas respectivas fichas de cadastro foram incluídos no PMRR como anexo.

Figura 29 - Áreas de Risco de Escorregamento de Duque de Caxias segundo o PMRR (2013).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.2 CONSOLIDAÇÃO DAS INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

Nesta etapa buscou-se reunir todas as informações cartográficas existentes sobre a região a partir da consulta em órgãos federais, estaduais e municipais. Os dados coletados foram organizados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a partir da interpretação de imagens e processamento de dados foram geradas novas informações. O Quadro 16 apresenta um resumo dos dados reunidos em ambiente SIG, fonte e breve descrição.

Quadro 16 - Dados e fonte de dados utilizados na elaboração dos mapas temáticos de Duque de Caxias.

Dados	Fonte	Descrição
MDE SRTM	Topodata, INPE	MDE derivado de dados SRTM (<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>) refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m). A folha que recobre a área do município de Duque de Caxias é a 22S435SN, em formato TIFF (Tag Image File Format) e Datum WGS-84.
Curvas de nível	IBGE	As curvas de nível fazem parte da Categoria da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro, na escala 1:25000, desenvolvida no âmbito do Projeto RJ25.
Carta Geotécnica de Suscetibilidade (CGS)	CPRM	Carta de Suscetibilidade contendo as áreas suscetíveis e encartes dos temas, tais como hipsometria, declividade. Escala 1:25.000. Banco de dados em SIG (formatos <i>shapefile</i> e raster).
Áreas Urbanizadas	IBGE	Área urbanizada delimitada pelo IBGE por meio da interpretação visual de imagens geradas a partir de insumos do Satélite Sentinel-2/MSI, com resolução de 10 m, referentes ao ano de 2019.
Unidades de Conservação Federais	ICMBio	Dados em formato <i>Shapefile</i> disponibilizados no portal do Ministério do Meio Ambiente do Governo Federal.
Unidades de Conservação Estaduais	INEA	Dados em formato <i>Shapefile</i> disponibilizados no Portal GeoInea.

Unidades de Conservação Municipais	PMDC (Prefeitura Municipal de Duque de Caxias)	Dados em formato <i>Shapefile</i> obtidos com a PMDC por meio da Subsecretaria de Urbanismo.
APPs de Topo de Morro	INEA	Dados em formato <i>Shapefile</i> disponibilizados no Portal GeoInea.
Drenagem	INEA	Categoria Hidrografia da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro, na escala 1:25.000, desenvolvida no âmbito do Projeto RJ25.
APPs de mangue	INEA	Dados em formato Shapefile extraído do “Mapeamento das áreas de Mangues do Estado do Rio de Janeiro na escala 1:25.000” disponível no Portal do INEA.
Limites, Ferrovia, Rodovias Federais, Dutovias e Linhas de Transmissão de Energia	PMDC (Prefeitura Municipal de Duque de Caxias)	Dados em formato <i>Shapefile</i> obtidos com a PMDC por meio da Subsecretaria de Urbanismo.
Áreas de Risco de Contaminação Ambiental	Autora	Dados em formato <i>Shapefile</i> elaborados pela autora com base em informações obtidas na etapa de CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO .
Uso e cobertura do solo	INEA	Mapeamento realizado para Regiões Hidrográficas e bacias hidrográficas, na escala 1:25.000 e pixel de 2x2m para o ano de 2015, com base em imagens de satélite de 2013, 2014 e 2015 no âmbito do Projeto ‘Olho no verde’ em 2018.
Carta Padrões de Relevo	CPRM	As Cartas de Padrões de Relevo em nível municipal elaboradas em escala de semidetalhe (1:25.000) estão associadas a um banco de dados georreferenciado que apresenta gráfica e espacialmente a compartimentação

		topográfica do relevo em táxons hierárquicos e diferentes parâmetros de análise geomorfológica.
Estradas Rurais	PMDC (Prefeitura Municipal de Duque de Caxias)	Dados em formato <i>Shapefile</i> obtidos com a PMDC por meio da Secretaria de Agricultura.
Logradouros	Open Street Map (OSM)	Dados em formato <i>Shapefile</i> obtidos por meio da plataforma colaborativa OSM.
Logradouros	IBGE	Dados em formato <i>Shapefile</i> dos logradouros de setores urbanos ou de expansão Urbana resultante dos dados do Censo Demográfico 2010 e de atualizações pontuais.
Áreas de Risco de Escorregamentos	PMRR de Duque de Caxias	Dado obtido em formato de tabela obtido na etapa de CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO e transformado em <i>Shapefile</i> .

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3 ELABORAÇÃO DO MAPA SIMPLIFICADO DE APTIDÃO URBANA FRENTE A MOVIMENTOS DE MASSA DE DUQUE DE CAXIAS

Para confecção do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa do Município de Duque de Caxias utilizou-se neste trabalho a Avaliação Multicritério aplicada em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), detalhada no APÊNDICE 5. Nos próximos itens estão a aplicação da metodologia seguida passo a passo.

4.3.1 Definição de Restrições e Critérios

Para selecionar as restrições de análise (Quadro 17) e elaborar o Mapa de Restrições (ou Mapa de Áreas de Restrição de Análise) considerou-se os impeditivos do meio físico e impeditivos legais/ambientais, de modo a excluir do resultado (Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa) áreas do território que possuem proibição de ocupação (ex.: Reservas Biológicas) ou não é recomendada a ocupação (ex.: áreas com risco de contaminação do solo), além da exclusão da área urbanizada, que não faz parte do escopo deste trabalho (ver 4.3.1.1.1). A estas áreas foi atribuído o grau de importância 0 (zero), o que significa que são eliminadas e, portanto, não consideradas na análise. Com essa abordagem, a delimitação do mapeamento de Duque de Caxias foi reduzida, removendo as áreas já urbanizadas (ou já ocupadas), as áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa (com base na Carta Geotécnica de Suscetibilidade), as zonas de proteção ambiental, as faixas de domínio e faixas não edificáveis e as áreas de risco de contaminação ambiental.

Para a seleção dos critérios de análise da aptidão urbana frente a movimentos de massa (Quadro 17), considerou-se variáveis que influenciam a suscetibilidade dos terrenos à movimentos de massa, tendo em conta que quanto mais suscetível a movimentos de massa uma determinada área for, menos favorável à ocupação urbana. Desta forma, definiu-se critérios consagrados na literatura dos estudos de suscetibilidade dos terrenos por meio da análise multicriterial: declividade e uso e cobertura do solo. Além destes, foram considerados os critérios de padrões de relevo e estradas não-infraestruturadas, menos usuais nos estudos desenvolvidos com a metodologia proposta, porém reconhecidamente relevantes na influência sobre a suscetibilidade.

É importante ressaltar que a escolha das restrições e critérios também foi condicionada pela disponibilidade de dados em escala adequada para o presente estudo. Não foi possível, portanto, considerar todos os condicionantes de suscetibilidade a movimentos de massa, limitando-se aos disponíveis para a área de estudo, sendo esta limitação uma realidade de grande parte dos municípios brasileiros.

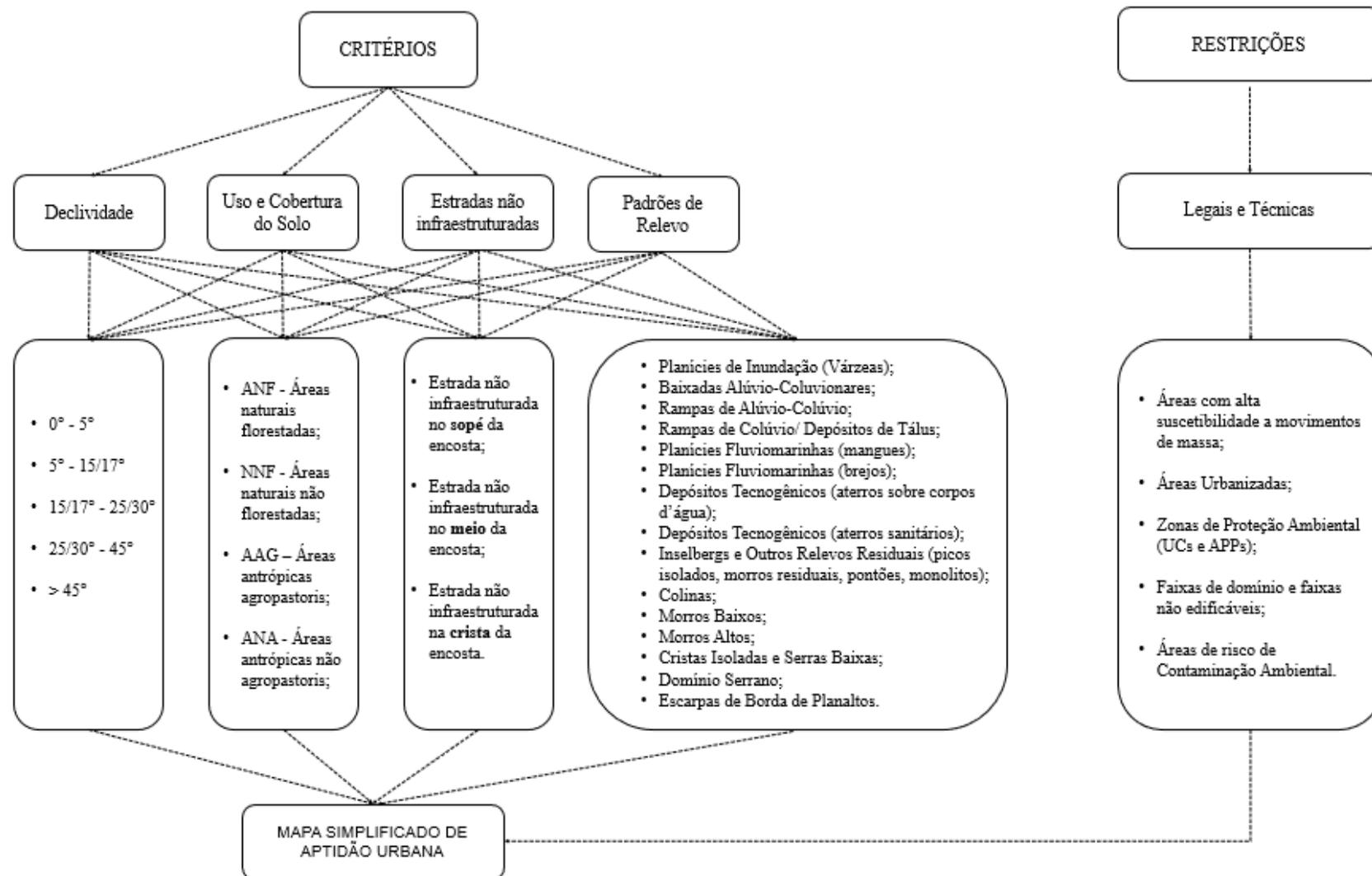
Quadro 17 - Restrições e Critérios selecionados para a elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa do município de Duque de Caxias.

LÓGICA BOOLEANA	RESTRICÇÕES DE ANÁLISE	TIPO	COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA	CRITÉRIOS DE ANÁLISE	TIPO
	Área urbanizada	Metodológica		Declividade	Meio físico
	Áreas com alta suscetibilidade a movimentos de massa	Meio físico		Uso e cobertura do solo	Meio físico / Socioeconômico
	Zonas de Proteção Ambiental	Legal / Ambiental		Padrões de relevo (geomorfologia)	Meio físico
	Faixas de domínio e faixa não edificável (faixa <i>non-aedificandi</i>)	Legal/ Ambiental		Estradas não infraestruturadas	Socioeconômico
	Áreas de risco associadas a atividades antrópicas	Meio físico/ Socioeconômico		-	-

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As restrições e os critérios do Quadro 17 estão pormenorizadas nos próximos tópicos, a fim de contextualizar o uso destas variáveis no território de Duque de Caxias e justificar a sua importância na conjuntura dos estudos de suscetibilidade dos terrenos à movimentos de massa. Para cada restrição e critério foi elaborado um mapa que foi posteriormente convertido para o formato raster para a realização da sua sobreposição no software ArcGis 10.8, a fim de obter como resultado o Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa de Duque de Caxias. Adotou-se para todos os produtos a projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator) e o Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) Zona 23S. A Figura 30 apresenta o modelo hierárquico com os critérios e classes de critérios adotados e as restrições.

Figura 30 - Modelo Hierárquico para aplicação do método AHP.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3.1.1 Restrições de análise

4.3.1.1.1 Áreas urbanizadas

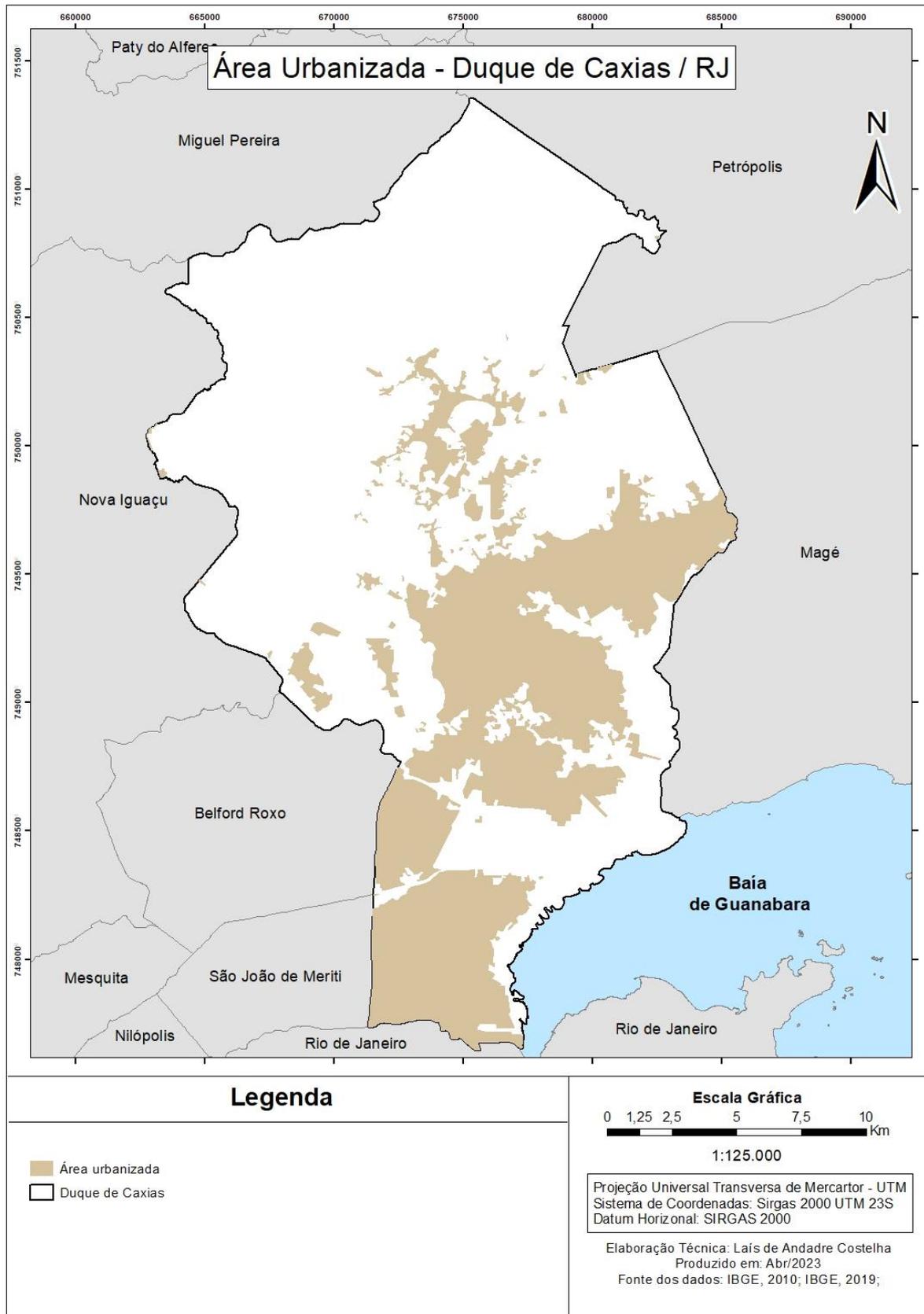
Para a elaboração do Mapa de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa, recomenda-se o estudo das áreas de expansão urbana, de modo que sejam avaliadas as potencialidades e restrições dentro dos perímetros urbanos. Essa diretriz atende ao artigo 22 da Política Nacional de Defesa Civil para os municípios incluídos no cadastro com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, que deverão elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo urbano.

Para municípios que não possuem zoneamento indicando as áreas de expansão urbana, deve-se proceder uma análise mais geral das suscetibilidades, definição das áreas com maior potencial e seu posterior detalhamento (Souza e Sobreira, 2014).

Para efeitos legais, o perímetro urbano é definido por lei municipal complementar ao Plano Diretor, juntamente com leis como a lei de uso e ocupação do solo urbano e a lei de parcelamento do solo urbano. É um instrumento previsto na Lei 10.257 de 2001 (Estatuto da Cidade) como agente racionalizante da expansão urbana. A lei do Perímetro Urbano delimita a área urbana consolidada, as áreas de expansão urbana (ainda não ocupadas) e zonas de urbanização específica (ocupações na área rural com características urbanas), e define, por exclusão, a área rural.

Nos municípios que possuem a lei de perímetro urbano, pode-se definir as áreas urbanas e consolidadas e as áreas rurais como áreas de restrição de ocupação e analisar as áreas passíveis de urbanização para a confecção do Mapa de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa. No caso do município de Duque de Caxias, as leis complementares ao Plano Diretor municipal de 2006 não foram editadas e a definição do limite rural e urbano é controversa. Diante disso, optou-se por considerar como área de restrição a área urbanizada delimitada pelo IBGE por meio da interpretação visual de imagens geradas a partir de insumos do Satélite Sentinel-2/MSI, com resolução de 10 m, referentes ao ano de 2019 (IBGE, 2019). Dessa forma, reitera-se que a análise para a confecção do Mapa de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa foi realizada somente para as áreas não urbanizadas do município, incluindo as áreas rurais, cuja indefinição de limites foi desconsiderada num primeiro momento (abordado no item 4.4.4). Gerou-se nesta etapa o Mapa de Área Urbanizada de Duque de Caxias (Figura 31) utilizado posteriormente na confecção do Mapa de Restrições.

Figura 31- Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Área urbanizada



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3.1.1.2 Áreas com alta suscetibilidade a movimentos de massa

Para definição da primeira das restrições de ocupação urbana, adotou-se como ponto de partida a Carta Geotécnica de Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação de Duque de Caxias desenvolvida e publicada pelo CPRM em julho de 2013 e revisada em março de 2016, na escala 1:25.000.

Seguindo a mesma lógica do Detalhamento Progressivo (CERRI et al., 1996) já citada, as áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa (Figura 32) foram excluídas da análise para a confecção do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa, visto que suas características geológico-geotécnicas e geomorfológicas podem desencadear ou ser área de atingimento de movimentos de massa e, portanto, são áreas não aptas à ocupação urbana. Duque de Caxias tem 99,67 km² de área inserida dentro da classe de alta suscetibilidade a movimentos de massa, correspondente a 21,32% do seu território, abrangendo praticamente a porção norte do território, nos terceiro e quarto distritos (Figura 33).

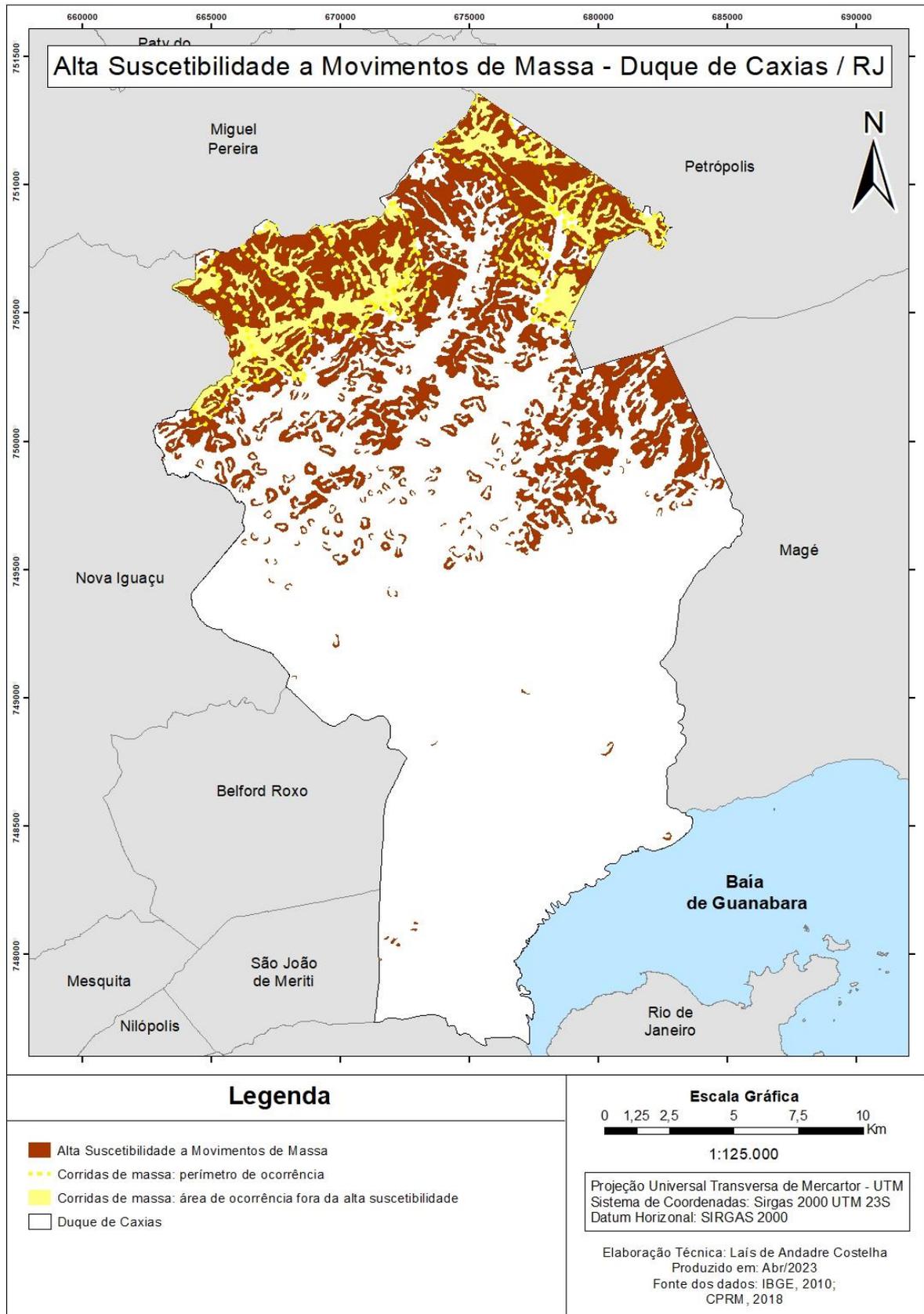
Figura 32 - Trecho da legenda A da CGS de Duque de Caxias indicando alta suscetibilidade a movimentos de massas.

Classe	Foto ilustrativa	Características predominantes
Alta		<ul style="list-style-type: none"> • Relevos: Predominam em escarpas, alinhamentos serranos e morros elevados, em relevos acidentados; • Formas de encostas: predomínio de vertentes retilíneas e côncavas; • Amplitudes: variáveis de 150 a mais de 300 m; • Declividades: entre 20 e 30° em alinhamentos serrano e escarpas, entre 10° e 20° nas formas de morros elevados; • Litologias: constituídas por ortognaisses graníticos e paragnaisses dioríticos, deformados e migmatizados; • Densidade de lineamentos/estruturas: moderada a alta; • Solos: expressivos depósitos de tálus e colúvios; • Processos: deslizamentos translacionais rasos (planares); queda e/ou rolamento de blocos e matacões, lascas e formação de cunhas, e rastejos.

Fonte: CPRM (2013a).

Entretanto, vale destacar que esta metodologia adotada, que mantém a escala de 1:25.000 da carta de suscetibilidade e não realiza o detalhamento, não possibilita analisar de forma pormenorizada cada área. Portanto, para a exclusão definitiva de qualquer área, recomenda-se o mapeamento em escalas de maior detalhamento, uma vez que nem toda área com suscetibilidade alta a algum processo apresenta situações críticas em toda sua extensão.

Figura 33 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Alta suscetibilidade a Movimentos de Massa.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3.1.1.3 Zonas de proteção ambiental

Entre as áreas de restrição de ocupação urbana considerou-se as áreas de proteção ambiental abrangidas por algumas Unidades de Conservação (UCs) e as Áreas de Preservação Permanente (APPs). Para tanto, tomou-se como referência a legislação ambiental federal, estadual e municipal. Os itens I e II a seguir abordam as UCs e APPs de Duque de Caxias.

1. Unidades de Conservação (UCs)

Unidade de Conservação é definida no artigo 2º da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000 como:

Art. 2º. I- espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção;

Essas áreas se dividem em dois grandes grupos: as Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) e as Unidades de Conservação de Uso Sustentável (UCUS), que são subdivididas em categorias e se diferenciam quanto aos seus objetivos básicos e grau de proteção. As **UCPI** são subdivididas em cinco categorias (Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio da Vida Silvestre) e tem como objetivo básico a preservação da natureza sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos na lei. Portanto, são mais voltadas para a pesquisa e conservação da biodiversidade. Já as **UCUS** são subdivididas em sete categorias (Área de Proteção Ambiental, Floresta Nacional, Área de Relevante Interesse Ecológico, Reserva Extrativista, Reserva da Fauna, Reserva Extrativista, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural) e tem por objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de uma parcela dos seus recursos naturais.

Em Duque de Caxias existem oito Unidades de Conservação nos âmbitos federal, estadual e municipal (Quadro 18), num total de 29.490,17 ha. Porém existem algumas sobreposições entre as áreas das unidades, como a sobreposição considerável entre a APA da Região Serrana de Petrópolis com o Refúgio de Vida Silvestre da Serra da Estrela e sobreposições de pequenos trechos entre a APA da Região Serrana de Petrópolis com a Reserva Biológica do Tinguá, a Reserva Biológica Municipal do Parque Equitativa e o Parque Natural Municipal da Taquara (Figura 34).

Tendo em vista os diferentes graus de proteção das UCs, este trabalho considerou como áreas de restrição de ocupação somente as Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) do município: Reserva Biológica do Tinguá, Reserva Biológica Municipal do Parque Equitativa, Refúgio de Vida Silvestre da Serra da Estrela, Parque Natural Municipal da Taquara e Parque Natural Municipal da Caixa D'Água. As Unidades de Conservação de Uso Sustentável (UCUS) de Duque de Caxias, representadas pelas APAs da Região Serrana de Petrópolis, do Alto Iguaçu e do São Bento, não foram consideradas como áreas de restrição, visto que segundo o art. 15 da Lei nº 9.985 as APAs são dotadas de certo grau de ocupação humana e tem com um dos objetivos disciplinar o processo de ocupação.

O **Mapa de Unidades de Conservação** de Duque de Caxias (Figura 34) apresenta todas as UCs, a fim de informar sobre o panorama do município, entretanto as APAs serão excluídas no processo de elaboração do Mapa de Restrições, como já mencionado. Os dados para confecção dos mapas foram obtidos das seguintes fontes: 1. UCs Federais: dados em formato *Shapefile* elaborados produzidos no ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) e disponibilizados no site do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2020); 2. UCs Estaduais: dados em formato *Shapefile* produzidos pelo INEA e disponibilizados no Portal GeoInea (INEA, 2022); 3. UCs Municipais: dados em formato *Shapefile* obtidos com a Prefeitura Municipal de Duque de Caxias, por meio da Subsecretaria de Urbanismo.

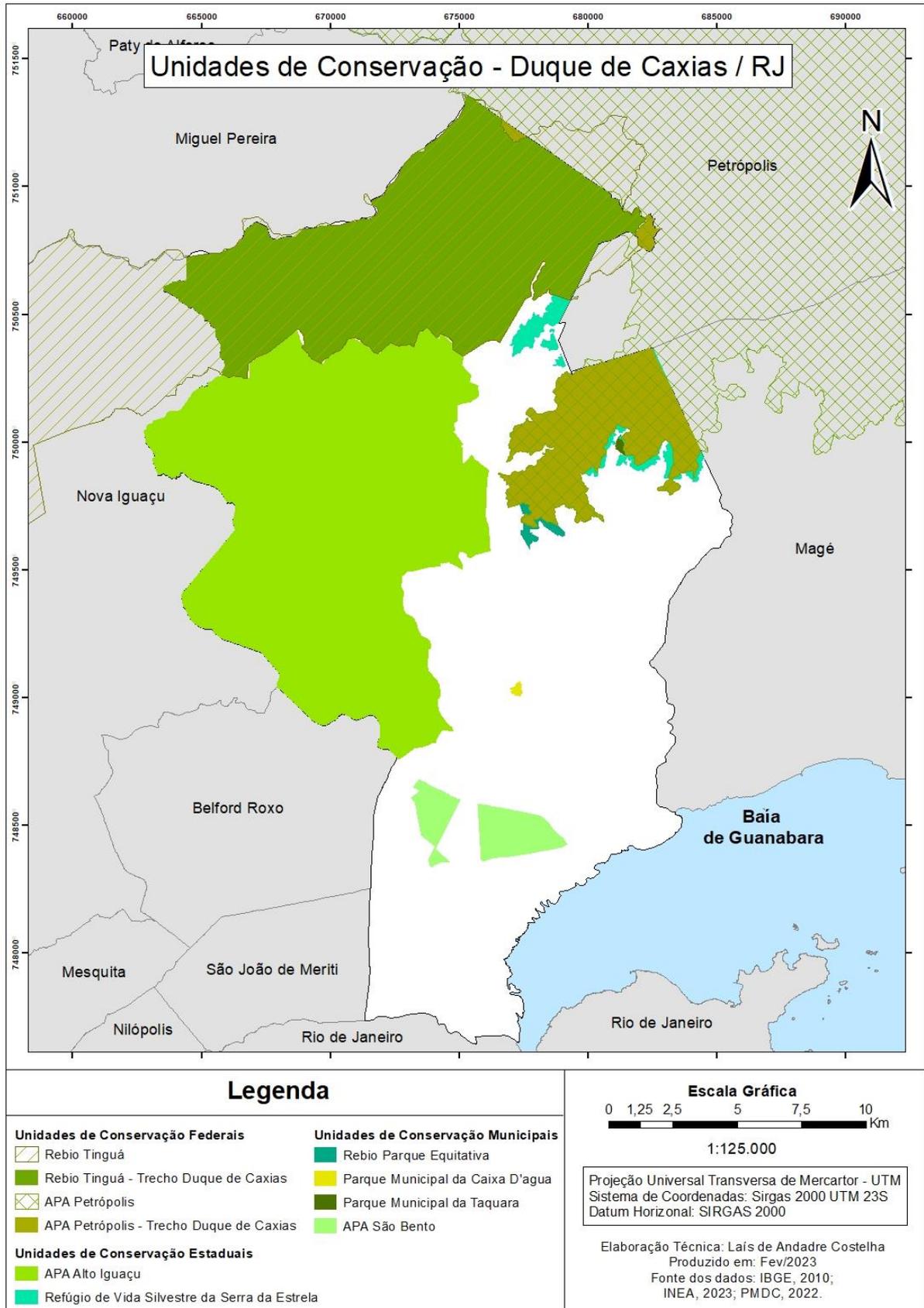
Quadro 18 - Unidades de Conservação em Duque de Caxias/ RJ nos âmbitos federal, estadual e municipal.

ESFERA ADMINISTRATIVA	NOME DA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	MUNICÍPIOS ABRANGIDOS	ÁREA TOTAL (ha)	ÁREA INSERIDA EM DUQUE DE CAXIAS (ha)	DIPLOMA LEGAL DE CRIAÇÃO / MODIFICAÇÃO
Federal	Reserva Biológica do Tinguá	Nova Iguaçu Duque de Caxias Miguel Pereira Petrópolis	24.812,90	9.436,62 *	Decreto nº 97.780 de 23 de maio de 1989
	APA da Região Serrana de Petrópolis	Petrópolis Duque de Caxias Magé Guapimirim	68.224,29	3031,37 *	Decreto nº 87.561, de 13 de setembro de 1982 / Decreto nº 527, de 20 de maio de 1992.
Estadual	APA do Alto Iguaçu	Duque de Caxias Nova Iguaçu Belford Roxo	22.109	13.803,1 *	Decreto nº 44.032, de 15 de janeiro de 2013.
	Refúgio de Vida Silvestre da Serra da Estrela	Duque de Caxias Magé Petrópolis	4.811,44	1.999,28 *	Lei nº 7.826, de 27 de dezembro de 2017.
Municipal	Reserva Biológica Municipal do Parque Equitativa	Duque de Caxias (3º distrito)	157	157	Decreto nº 5738, de 08 de dezembro de 2009 / Lei nº 3.200, de 21 de dezembro de 2021

	APA São Bento	Duque de Caxias	1.033,4	1.033,4	Decreto nº 3.020, de 05 de junho de 1997/ Decreto nº 2003, de 27 de outubro de 2006
	Parque Natural Municipal da Taquara	Duque de Caxias	19,4	19,4	Lei nº 1.157, de 11 de dezembro de 1992
	Parque Natural Municipal da Caixa D'Água	Duque de Caxias (2º distrito)	10,0	10,0	Decreto nº 5.486, de 18 de novembro de 2008 / Lei nº 2.917 de 22 de novembro de 2018
* Áreas extraídas em ambiente SIG (ArcGis), por meio do cálculo da área do Shapefile da Unidade de Conservação.					

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 34 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Zonas de Proteção Ambiental – Unidades de Conservação



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

I. Áreas de Preservação Permanente (APPs)

O Inciso II da Lei federal nº 12.651/2012 (Código Florestal Brasileiro) define as Áreas de Preservação Permanente (APPs) como a “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” e o artigo 4º traz um detalhamento preciso das delimitações das APP’s em zonas rurais e urbanas, com a descrição das faixas e parâmetros diferenciados para as distintas tipologias de APPs, de acordo com a característica de cada área a ser protegida.

Nas APPs não é permitida a ocupação, salvo algumas exceções previstas em lei, como a definição descrita no § 10 do artigo 4º para as áreas urbanas consolidadas (acrescido pela Lei nº 14.285, de 2021), que observa os casos de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental. É importante ressaltar que a Lei nº 14.285 também estabeleceu que as faixas marginais estabelecidas poderão ser redefinidas em áreas urbanas consolidadas por lei municipal ou distrital, desde que ouvidos os conselhos estaduais, municipais ou distrital de meio ambiente. Diante disto, deve-se observar a lei municipal para estabelecer as restrições de ocupação deste trabalho.

No âmbito municipal, as APPs são observadas tanto no decreto nº 1.501, de 30 de abril de 1984, que institui o Código Florestal do Município de Duque de Caxias e dá outras providências, como no Plano Diretor Urbanístico do município de Duque de Caxias, instituído pela Lei Complementar nº 01, de 31 de outubro de 2006.

No Código Florestal do Município de Duque de Caxias as APPs são estabelecidas no artigo 2º conforme texto:

Art. 2º - Consideram-se de preservação permanentemente, para efeito deste Decreto, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d’água, em faixa marginal cuja largura mínima será:

1- de 5 (cinco) metros para os rios de menos de 10 (dez) metros de largura.

2- igual à metade da largura dos cursos que meçam de 10 (dez) a 200 (duzentos) metros de distância entre as margens;

3- ao redor de açudes, ou reservatórios naturais ou artificiais de águas;

b) nas nascentes, mesmo nos chamados “olhos-d’água” seja qual for a sua situação topográfica;

c) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

d) nas encostas ou partes destas com declive superior a 45%, equivalente a 100% na linha de maior declive;

e) nos manguezais pertencentes à orla marítima da Baía de Guanabara;

f) em altitude superior a 1.100 (mil e cem) metros, nos campos naturais ou artificiais, as florestas nativas e as vegetações campestres.

Já no Plano Diretor Urbanístico do município de Duque de Caxias, instituído pela Lei Complementar nº 01, de 31 de outubro de 2006, as APPs para cursos d'água são definidas pelo artigo 8:

Art. 8º - Consideram-se áreas de preservação permanente, para efeito desta Lei, as formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água do Município, desde o seu nível mais alto, em faixa marginal cuja largura mínima será de:

I. 30m (trinta metros) para os cursos d'água de menos de 10m (dez metros) de largura, para o redor de lagos e lagoas ou reservatórios d'água naturais ou artificiais, situados dentro do perímetro urbano;

II. 50m (cinquenta metros) para os cursos d'água que tenham de 10m (dez metros) a 50m (cinquenta metros) de largura, para o redor das nascentes, ainda que intermitentes, nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica e ao redor de lagos e lagoas naturais com até 20ha (vinte hectares) de superfície, em zona rural;

III. 100m (cem metros) para os cursos d'água que tenham de 50m (cinquenta metros) a 200m (duzentos metros) de largura, para o redor de lagos e lagoas naturais com mais de 20ha (hectares) de superfície, em zona rural.

Diante do exposto, adotou-se neste trabalho como áreas de restrição de ocupação: APPs de cursos d'água (item a), APPs de Topos de Morros, Montes, Montanhas e Serras (item b) e APPs de mangue (item c), abaixo descritas:

a. APPs de cursos d'água:

Faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente (matas ciliares), excluídos os cursos d'água efêmeros, medidas a partir da borda da calha do leito regular.

Os parâmetros de largura das APPs de cursos d'água vigentes em Duque de Caxias (Quadro 19) são baseados Lei nº 12.651/2012 (Novo Código Florestal Brasileiro) e no Plano Diretor Urbanístico de Duque de Caxias. Observa-se que os parâmetros do Código Florestal do Município de Duque de Caxias relativos a cursos d'água foram substituídos pelos do Plano Diretor do município, visto ser este mais recente e revogar as disposições em contrário.

Quadro 19 - Parâmetros adotados para APP de cursos d'água, vigentes na lei municipal de Duque de Caxias e na lei federal.

Largura do Curso d'água (m)	Zona	Largura APP (m)	Legislação
< 10	Urbana / Rural	30	Lei nº 12.651/2012
< 10	Urbana	30	Plano Diretor Urbanístico de Duque de Caxias

10 a 50	Rural	50	Plano Diretor Urbanístico de Duque de Caxias
10 a 50	Urbana / Rural	50	Lei nº 12.651/2012
50 a 200	Urbana / Rural	100	Lei nº 12.651/2012
50 a 200	Rural	100	Plano Diretor Urbanístico de Duque de Caxias
200 a 600	Urbana / Rural	200	Lei nº 12.651/2012
> 600	Urbana / Rural	500	Lei nº 12.651/2012

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A seleção dos principais cursos d'água de cada categoria de largura foi realizada com base em AGEVAP (2021) e DUQUE DE CAXIAS (2017). Calculou-se a distância entre as margens dos rios a partir da média aritmética da largura de seções amostrais medidas no Google Earth (JUNIOR; FERREIRA, 2013). Deste modo, abaixo estão as listagens dos principais cursos d'água do município (Quadro 20, 21 e 22), categorizados por largura média, com suas respectivas faixas de APP em metros.

Para a confecção das faixas de APPs do Mapa de APPs de Duque de Caxias (Figura 36) foram traçados buffers dos cursos d'água selecionados, extraídos individualmente do arquivo “Trecho Drenagem (Linha) - 1:25.000”, disponível no Portal do INEA e que faz parte da categoria Hidrografia da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro, na escala 1:25.000, desenvolvida no âmbito do Projeto RJ25, elaborada a partir de uma parceria entre o IBGE e o Governo do Estado do Rio de Janeiro, através da Secretaria de Estado do Ambiente – SEA-RJ.

- Principais cursos d'água do município do município com largura inferior a 10 metros:
Foram traçados buffers de 30 metros para cada lado do curso d'água.

Quadro 20 - Principais cursos d'água em Duque de Caxias com largura inferior a 10 m.

Curso d'água	Largura média (m)	Largura APP (m)
Rio Capivari	7,5	30,0
Rio João Pinto	8,2	30,0
Rio do Registro	6,5	30,0
Rio da Taquara	6,0	30,0
Rio Calombé	5,0	30,0

Rio de Areia	6,4	30,0
Rio Pati	4,0	30,0
Rio do Xerém	3,2	30,0
Rio Água Preta	7,2	30,0

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

- Principais cursos d'água do município com largura entre 10 e 50 m de distância:
Foram traçados buffers de 50 metros para cada lado.

Quadro 21 - Principais cursos d'água em Duque de Caxias com largura entre 10 e 50m.

Curso d'água	Largura média (m)	Largura APP (m)
Canal de Tomada	44,0	50,0
Rio Pilar	14,0	50,0
Rio Estrela	38,0	50,0
Rio Saracuruna	12,0	50,0
Rio Sapucaia	12,0	50,0
Rio Roncador	12,0	50,0
Rio Tinguá	11,0	50,0

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

- Principais cursos d'água do município com largura entre 50 e 200 m de distância:
Foram traçados buffers de 100 metros para cada lado.

Quadro 22 - Principais cursos d'água em Duque de Caxias com largura entre 50 e 200m.

Curso d'água	Largura média (m)	Largura APP (m)
Canal de Sarapuí	60,0	100,0
Rio Iguaçu	72,0	100,0

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

b. APPs de Topos de Morros, Montes, Montanhas e Serras:

São consideradas APPs as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, ou seja, o terço superior do morro. Para fins de existência de APP, para que uma elevação seja considerada “morro” é preciso que tenha altura mínima de 100 m e inclinação média maior que 25°.

A delimitação de APPs de Topos de morro no município de Duque de Caxias está de acordo com a alínea c do artigo 2º do Código Florestal do Município de Duque de Caxias, bem como o inciso IX do artigo 4 da Lei Federal 12.651/2012.

Para a confecção do Mapa de APPs de Duque de Caxias (Figura 36) foram extraídas as APPs de topo de morro correspondentes ao território de Duque de Caxias a partir do arquivo “Áreas de Preservação Permanente de Topo de Morro 1:25.000”, disponível no portal do INEA e elaborado a partir de modelo digital de elevação (MDE), feito com os dados da Base Cartográfica 1:25.000 IBGE/SEA (curvas de nível e pontos cotados). O INEA baseou-se na Lei Federal 12.651/2012 e na Resolução Inea nº 93, que estabelece a metodologia para delimitação de áreas de preservação permanente de topo de morro, no Estado do Rio de Janeiro.

c. APPs de mangue

O inciso XIII do artigo 3 da Lei nº 12.651/2012 (Novo Código Florestal Brasileiro) define manguezal como:

Ecossistema litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência fluviomarina, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os Estados do Amapá e de Santa Catarina;

Segundo esta mesma lei, o manguezal é considerado como APP nos incisos VI e VII do artigo 4º: “VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues”; e “VII - os manguezais, em toda a sua extensão”. Além disso, o Código Florestal do Município de Duque de Caxias também prevê o manguezal como área de APP na alínea e do artigo 2º: “Art. 2º - Consideram-se de preservação permanentemente, para efeito deste Decreto, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: e) nos manguezais pertencentes à orla marítima da Baía de Guanabara”.

A preservação dos manguezais está também em consonância com o Plano diretor Urbanístico de Duque de Caxias, que estabelece como diretriz da Política Ambiental do Município no inciso IV do artigo 7º: “Articular gestões entre entes públicos e privados para recuperação dos passivos ambientais do Município, em especial aqueles que afetam os manguezais marginais à Baía de Guanabara e ao Rio Estrela...”.

O manguezal na Baía de Guanabara sofre intenso processo de degradação e teve redução significativa da sua extensão ao longo dos anos. Especificamente nas imediações da foz dos rios Estrela e Saracuruna, entre Duque de Caxias e Magé, o ecossistema possui alto índice de poluição

com a contaminação química da implantação de dutos, devido à proximidade com a Refinaria de Petróleo de Duque de Caxias (REDUC). Para amenizar essa problemática o município de Magé implementou a APA da Estrela (AGEVAP, 2021). Em reportagem do Jornal O Globo de 2013, foi realizada denúncia sobre o avanço de aterros clandestinos sobre áreas de manguezais em Duque de Caxias (O GLOBO, 2013). Contudo, mais recentemente em reportagem da Veja Rio de 2021 foi relatado por especialistas a recuperação de uma área de 1,3 milhão de metros quadrados de manguezal em Duque de Caxias, ao lado do antigo Aterro de Gramacho, cuja quantidade de chorume disposto no solo degradava o ecossistema adjacente (VEJA RIO, 2021).

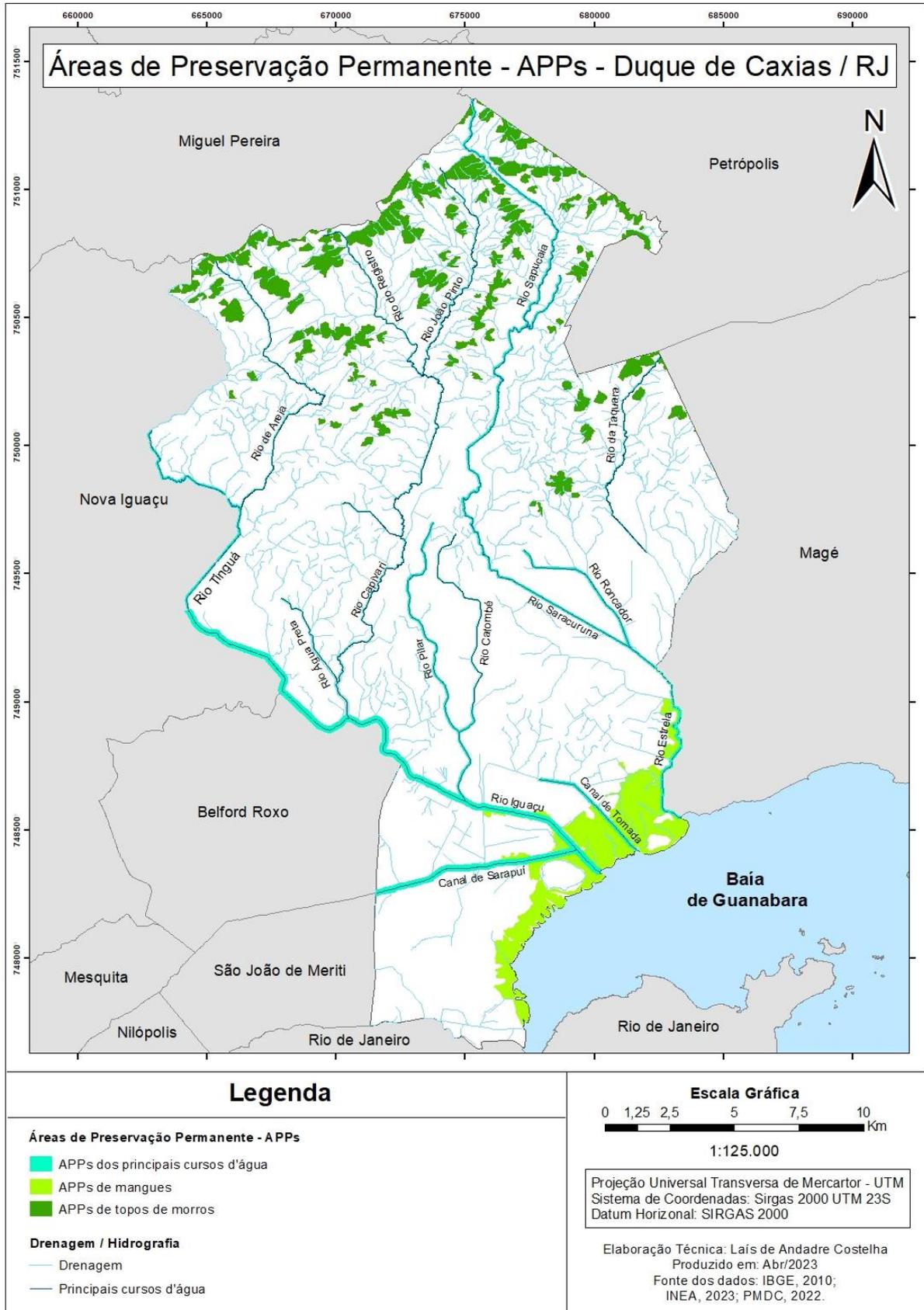
Dessa forma, as áreas de manguezal na Baía de Guanabara pertencentes ao território de Duque de Caxias (Figura 35) também estão consideradas no Mapa de APPs de Duque de Caxias (Figura 36) e foram extraídas do arquivo “Mapeamento das áreas de Mangues do Estado do Rio de Janeiro na escala 1:25.000” disponível no Portal do INEA, confeccionado com base nas imagens Rapideye adquiridas pela SEA RJ na escala 1:25.000, a partir da classificação supervisionada manual, utilizando imagens de 2012 e realizado em 2015.

Figura 35 - Manguezal em Duque de Caxias, nas imediações do antigo Aterro de Gramacho.



Fonte: Veja Rio (2021).

Figura 36 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Zonas de Proteção Ambiental – Áreas de Preservação Permanente.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3.1.1.4 Faixa de domínio e faixa não edificável (faixa non-aedificandi)

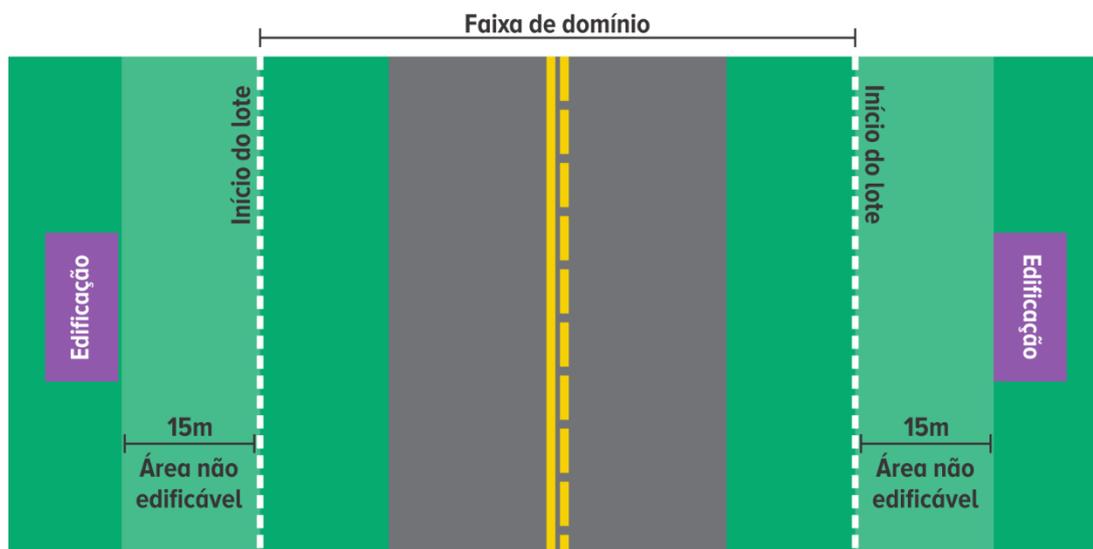
A faixa de domínio é a área de terra determinada legalmente para a construção e operação de rodovias, ferrovias, dutovias e linhas de transmissão de energia elétrica, que possui utilidade pública e tamanho variável de acordo com o projeto e legislação. Nas rodovias, por exemplo, a faixa de domínio é constituída pelas pistas de rolamento, canteiros, obras de arte, acostamentos, sinalização e faixa lateral de segurança, com limites definidos conforme projeto executivo da rodovia (DNIT, 2023).

Em Duque de Caxias foram identificadas algumas áreas de faixa de domínio e suas respectivas áreas não-edificáveis e/ou faixas de segurança (Figura 40):

- a- Ferrovia, referente a trecho do Ramal Sacacuruna e das extensões Vila Inhomirim e Guapimirim, trens urbanos sob concessão da SUPERVIA Concessionária de Transportes Ferroviários S./A;
- b- Rodovias Federais, BR-040 (Rodovia Washington Luis) e BR-493 (Arco Metropolitano do Rio de Janeiro);
- c- Dutovias, referentes a gasodutos e oleodutos que conectam o Terminal de Campos Elíseos (Duque de Caxias /RJ) e a Refinaria de Duque de Caxias (REDUC) aos terminais de Angra dos Reis (RJ), de Cabiúnas (Macaé/RJ), da Ilha d'Água/RJ e a Refinaria Regap (Betim - MG) (PETROBRÁS, 2023);
- d- Linhas de Transmissão de Energia.

Ao longo da faixa de domínio público de rodovias e ferrovias estabelece-se uma faixa não-edificável (faixa *non-aedificandi*) onde não é permitido erguer edificações sem a prévia autorização do órgão ou empresa responsável (Figura 37). No caso de rodovias e ferrovias, o art. 4º, inciso III, da Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, prevê uma faixa de 15 (quinze) metros de área não-edificável de cada lado a partir do limite da faixa de domínio, podendo nas rodovias reduzir-se esse limite por lei distrital ou municipal até o limite mínimo de 5 (cinco) metros de cada lado, nos termos da Lei Federal nº 13.913 de 2019 (BRASIL, 1979; BRASIL, 2019; DNIT, 2023).

Figura 37 - Croqui representando a Faixa de domínio e a Faixa não-edificável para rodovias federais.



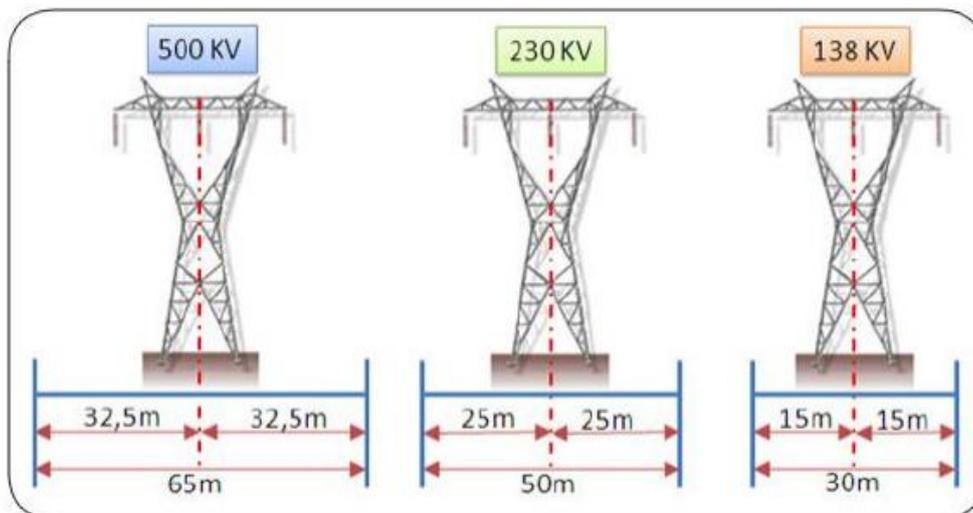
Fonte: VIA-040 (2023).

No caso das dutovias (Figura 39) a faixa de domínio é a área de largura típica de 20 metros onde estão enterrados os dutos a uma profundidade média de 1,5 metros. Esta faixa é delimitada por marcos amarelos semienterrados nas laterais (SANTOS, 2013). A faixa de segurança é estabelecida ao longo do traçado da faixa de domínio, a fim de possibilitar o acesso para manutenção, bem como minimizar riscos de acidentes com vazamentos, escavações ou construções que comprometam o funcionamento do sistema. A faixa de segurança (*non-aedificandi*) de 15 metros para dutovias prevista no art. 4º, inciso III, da Lei Federal nº 6.766 de 1979 foi abolida pela Lei Federal nº 13.913 de 2019, que suprimiu a palavra “dutos” da redação, mantendo tal obrigatoriedade somente para rodovias e ferrovias (BRASIL, 1979; BRASIL, 2019). Entretanto, a reserva de faixa não-edificável pode ser exigida no âmbito do licenciamento ambiental a critério dos órgãos responsáveis, nos termos do § 3º da Lei Federal nº 10.932 de 2004 (BRASIL, 2004). Ademais, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) dispõe na Portaria nº 125, de 05 de agosto de 2002 que qualquer obra adjacente a ser executada a uma distância de até 15 metros a partir dos limites da Faixa de Domínio de Dutos deverá ser previamente analisada e aprovada (ANP, 2002).

Quanto às Linhas de Transmissão (LT) de energia, estabelece-se ao longo do seu eixo uma faixa de segurança (também denominada faixa de servidão) que possui restrições de uso válidas durante toda a vida útil do empreendimento, a fim de promover a segurança de pessoas e instalações, bem como garantir o acesso para manutenção. A largura desta faixa varia conforme projeto da LT de acordo com as diferentes tensões de operação segundo critérios e normas técnicas,

de modo que quanto maior tensão, maior a largura da faixa de segurança (Figura 38). (CUCCO, 2011)

Figura 38 - Faixa de segurança de Linhas de Transmissão de acordo com diferentes tensões.



Fonte: Wosny (2010) *apud* Cucco (2011).

Diante do exposto, este trabalho estabelece as faixas de domínio e faixas não-edificáveis em Duque de Caxias como áreas de restrição de ocupação urbana. Além disso, adotou-se como restrição de ocupação as faixas de segurança de 15 metros de cada lado ao longo de dutovias, visto que quaisquer intervenções devem ser previamente aprovadas pelo órgão competente, e as faixas de segurança de linhas de transmissão, de modo a garantir a segurança no uso e ocupação do solo (Quadro 23).

Quadro 23 - Faixas de domínio em Duque de Caxias.

Duque de Caxias	Tipo de faixa de domínio	Definição de faixa de domínio	Restrição de ocupação (m)	Fontes
SUPERVIA - Ramal Central-Saracuruna	Ferrovia	Terreno onde se localiza a via férrea e as demais instalações da ferrovia, inclusive os acréscimos necessários à sua expansão.	15	BRASIL, 1979; BRASIL, 2019; DNIT, 2023
BR-040; BR-493 (Arco Metropolitano do Rio de Janeiro)	Rodovia Federal	Base física sobre a qual se assenta uma rodovia com limites definidos conforme projeto executivo da rodovia, decretos de utilidade pública, ou em projetos de desapropriação;	15	BRASIL, 1979; BRASIL, 2019; DNIT, 2023

Transpetro (Petrobras Transporte S.A)	Dutovia	Faixa de largura determinada, na qual estão dutos de petróleo, seus derivados ou gás natural, enterrados ou aéreos, bem como seus sistemas complementares;	Adotado: 15 *	ANP, 2002.
Linhas de transmissão de energia - operadoras LIGHT e ENEL	Linhas de Transmis são (LT) de Energia	Faixa de terra ao longo do eixo da LT aérea, declarada de utilidade pública adquirida pelo expropriante por meio de acordo, por instrumento público extrajudicial, decisão judicial ou prescrição aquisitiva, devidamente inscritos no cartório de registro de imóveis.	Variável ** Adotado: 17,5 ***	ABNT, 1985;

* Valor adotado como restrição a ocupação em função da Portaria nº 125, de 05 de agosto de 2002 da Agência Nacional do Petróleo (ANP);

**De acordo com a NBR 5422, a largura da faixa de segurança de uma linha aérea de transmissão de energia elétrica deve ser determinada levando-se em conta o balanço dos cabos devido a ação do vento, efeitos elétricos e posicionamento das fundações de suportes e estais.

*** Distância de Faixa de Segurança adotada com base na Especificação Técnica da Companhia Celg de Participações – CelgPAR (Goiás) para LT com nível de tensão de 230 kV.

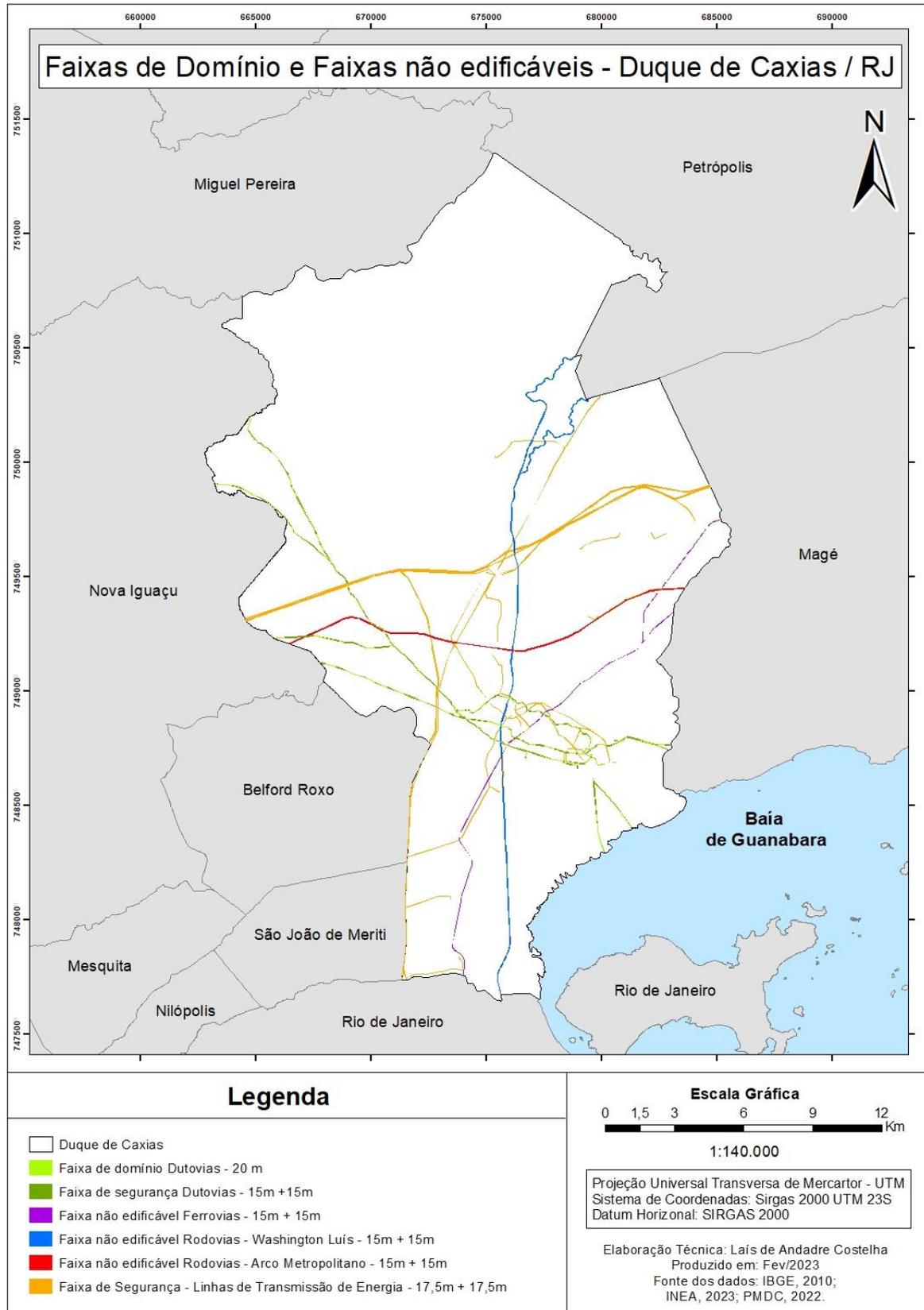
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 39- Placa de segurança indicando de faixa de domínio de dutos enterrados no 2º distrito de Duque de Caxias.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 40 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Faixas de domínio e faixas não-edificáveis.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3.1.1.5 Áreas de risco de contaminação ambiental

Dentro deste tópico são abordadas algumas áreas não ocupadas no território de Duque de Caxias que tenham algum tipo de passivo ambiental relacionado a atividades antrópicas. Em função dos riscos oferecidos à saúde e segurança humana, a ocupação urbana nestas localidades não é recomendada até que medidas de reabilitação sejam comprovadamente efetivas, de modo que as condições para ocupação sejam restabelecidas, a exemplo dos casos de ocupação de áreas de solo contaminado, onde se requer que as concentrações das substâncias detectadas tenham atingido níveis aceitáveis para a aprovação do uso do solo pretendido.

Diante do exposto, foram selecionados dois grupos de áreas de maior vulto dentro do território de Duque de Caxias onde neste trabalho adotou-se a restrição de ocupação: a- Áreas de risco de contaminação no solo (por resíduos de pesticidas organoclorados e disposição de resíduos sólidos) e b- Áreas de extração mineral de areia. Essas áreas são descritas nos subitens a seguir e estão identificadas no mapa “Áreas de Contaminação Ambiental” (Figura 45).

a) Áreas de risco de contaminação do solo

De acordo com a CETESB (2021), Área Contaminada (AC) define-se pela área onde existe ou existiu fonte de contaminação primária e, como resultado, contém quantidades de matéria ou concentrações de substâncias, em ao menos um dos compartimentos do meio ambiente, capazes de causar danos aos bens a proteger. Nesta definição, entende-se como “compartimentos do meio ambiente” os solos, sedimentos, rochas, materiais utilizados para aterrar os terrenos, construções, águas subterrâneas e superficiais, ar e organismos vivos. Já o termo “bens a proteger” denomina os bens, seres vivos, recursos naturais ou ambientais, entidades ou situações que se deseja proteger ou recuperar dentro de uma AC ou em sua vizinhança.

O processo de recuperação de áreas contaminadas visa a compatibilização da qualidade da área com o uso do solo, através de medidas de remediação ou de restrição do uso do solo. A abordagem de remediação perpassa tanto por técnicas convencionais tais como remoção e redistribuição de solos, bem como técnicas mais aprimoradas como contenção, biorremediação, desorção térmica, oxidação química, extração de vapores, bombeamento e tratamento de águas subterrâneas. Devido aos altos custos dessa abordagem, em alguns casos e mediante estudo criterioso pode-se adotar medidas tais como atenuação natural com monitoramento, bem como redefinição do uso e ocupação do solo ou a restrição por tempo indeterminado (CETESB, 2001).

O Gerenciamento de áreas contaminadas tem como documento legal específico em nível federal a Resolução CONAMA nº 420/2009 (alterada parcialmente pela Resolução CONAMA nº

460/2013) que está em consonância com as leis federais precedentes: Lei Federal nº 6.938/81 (Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA, regulamentada pelo Decreto nº 97.632) que no Art. 2º, inciso VIII define a recuperação de áreas degradadas como um objetivo da Política Nacional de Meio Ambiente; e a Lei Federal nº 6.766/79, que no Art. 3º, Parágrafo Único, II e V não permite o parcelamento do solo em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados e em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

- Área contaminada por resíduos de pesticidas organoclorados: Cidade dos meninos

Um dos casos mais antigos de contaminação ambiental no Rio de Janeiro encontra-se na Cidade dos meninos, bairro de Duque de Caxias localizado no 2º distrito correspondente a uma área de propriedade da União de cerca de 20 hectares, desmembrada em 1943 do Núcleo Colonial São Bento para a instalação de um projeto de assistência social e educação para meninas carentes, idealizado por Darcy Vargas. O projeto inicial não se concretizou e em 1946 a área foi repassada para a Fundação Abrigo Cristo Redentor (FARC) que manteve a destinação original e a transformou em um internato para rapazes. Em 1947 a localidade passou a ser chamada oficialmente de Cidade dos Meninos. Em 1949 a FARC cedeu por prazo determinado 8 dos seus 40 pavilhões para a instalação do Instituto Nacional da Malária, um órgão pertencente ao Ministério da Educação e Saúde, que em 1950 ali instalou uma fábrica de produtos profiláticos para produção de compostos altamente tóxicos, a saber, hexaclorociclohexano (HCH), amplamente utilizado no combate de vetores da malária e da doença de chagas, e outros pesticidas como o arsenito de cobre (aceto-meta-arsenito de cobre), também conhecido como Verde Paris e o tricloro bis(clorofenil)etano (DDT). A fábrica foi fechada em 1961 por questões econômicas, porém por razões não conhecidas foram abandonados no local equipamentos, produtos acabados, tambores contendo matérias-primas e rejeitos dispostos inadequadamente, conforme depoimentos de moradores da Cidade dos Meninos, que relataram que tais produtos eram utilizados por todos para matar formigas, ratos e outros animais, bem como na lavagem de roupas e pisos (BRASIL, 2003; OLIVEIRA, 2008).

A primeira denúncia de contaminação por HCH, comumente denominado “pó-de-broca” (por ter sido muito utilizado contra a broca do café) foi vinculada em jornal em 1988, porém o caso só teve repercussão em 1989, quando os principais jornais do país noticiaram 14 denúncias em apenas 10 dias. A contaminação foi constatada em 1989 pelo órgão fiscalizador ambiental do

Estado do Rio de Janeiro (Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente - FEEMA), que retirou do local 40 toneladas de HCH armazenadas temporariamente na Refinaria de Duque de Caxias (REDUC). A FEEMA estimou ainda cerca de 350 toneladas de rejeitos espalhados ao redor da ruína da antiga fábrica e dentro de um raio de 100 metros foram encontradas concentrações residuais de HCH em amostras de solo e de grama (Figura 41), bem como foi detectada a contaminação humana através de exames clínico-laboratoriais realizados pela FIOCRUZ em sete famílias (31 indivíduos) (OLIVEIRA, 2008).

Figura 41 - Trabalho de campo na Cidade dos Meninos para diagnóstico de contaminação no solo.



Fonte: Brasil (2003).

Os desdobramentos do caso incluíram instauração de inquérito civil pela Procuradoria Geral de Justiça do Rio de Janeiro; solicitação de interdição da Cidade dos meninos e evacuação da área de foco pela Procuradoria Geral da República; e assinatura de Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta e de Obrigações (TAC) perante o Ministério Público Federal em 1993. Nos termos do TAC foi assumida pelo Ministério da Saúde a responsabilidade pela descontaminação da Cidade dos meninos, iniciada somente em 1995 pela empresa contratada NORTOX Agro Química S. A. (OLIVEIRA, 2008).

O processo de descontaminação da área foi realizado por adição de CaO (óxido de cálcio), revolvendo a terra da área contaminada. Entretanto, apesar de laudos da NORTOX alegando a descontaminação, avaliações posteriores constataram que a área contaminada antes estimada pela FEEMA em 13.000 m², passou a ser de 33.000 m² após a demolição das ruínas e de 70.000 m² após a

demolição das casas. Em 2002 a área foi apontada como “local de perigo A: perigo urgente para a saúde pública” pelo Relatório de Avaliação de Risco à Saúde Humana por Resíduos de Pesticidas em Cidade dos Meninos, encomendado à empresa AMBIOS Engenharia e Processos Ltda pelo Ministério da Saúde.

Os pesticidas organoclorados são considerados substâncias persistentes, ou seja, produtos tóxicos de difícil degradação que penetram em todos os compartimentos do ecossistema global. Na Cidade dos Meninos foram encontrados resíduos desses produtos nas amostras de sangue dos moradores que ainda residem no local, bem como em amostras de solo, vegetação, animais e seus produtos derivados. O isolamento da área de foco realizado em 1995 pela Fundação Nacional da Saúde já não existe mais e a contaminação da Cidade dos Meninos permanece até o presente momento não resolvida.

- Área contaminada por disposição de resíduos sólidos: Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho

O Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho (AMJG), localizado no 1º distrito do município de Duque de Caxias, foi implantado na década de 70, período de Governo Militar e baixo enfoque para questões ambientais. Seu projeto foi iniciado em 1976 por convênio firmado pela extinta FUNDREM (Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro) em área doada pelo INCRA e suas operações iniciadas em 1978. Trata-se de uma área de 1.3 milhões de m² (Figura 42), próxima ao Km 4.5 da Rodovia Washington Luís e às margens da Baía de Guanabara, sendo considerado à época da sua implantação como o maior aterro da América Latina (IETS, 2011).

O empreendimento tinha por objetivo receber os resíduos sólidos de parte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ): Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Nilópolis e São João de Meriti, futuramente incluindo Queimados e Belford Roxo. Os municípios que enviavam seus resíduos para o aterro deveriam contribuir com recursos para sua gestão e manutenção sob responsabilidade da Companhia Municipal de Limpeza do Rio de Janeiro (COMLURB), associada à Prefeitura do Rio de Janeiro. Entretanto, devido à crise econômica que atingiu o país nas décadas de 70 e 80, os municípios já não dispunham dos recursos necessários para manter o funcionamento do aterro sob condições adequadas, o que levou à sua rápida deterioração. Desse modo, embora o aterro tenha sido implantado segundo os procedimentos técnicos da ABNT, a irregularidade na manutenção e no controle de contaminantes comprometeram o funcionamento dos sistemas de drenagem e impermeabilização do solo (DE

OLIVEIRA; MACHADO, 2022). De acordo com a Alta Geotecnia Ambiental (2018), o aterro funcionou como um vazadouro de lixo até 1995, sem técnicas adequadas de operação, controle e segurança e somente a partir deste ano é que foi concedido parcialmente para a iniciativa privada visando sua recuperação operacional e ambiental, assim como exploração comercial.

Figura 42 - Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho (AMJG).



Fonte: Terra (2013).

Desse modo, relatórios produzidos pelo Instituto de Estudos do Trabalho e da Sociedade (IETS, 2011) e pela Alta Geotecnia Ambiental (2018) sobre o aterro e seu entorno identificaram contaminação não somente no solo, mas também nos corpos hídricos, incluindo águas subterrâneas. O chorume produzido alcançou rio próximos, como o Rio Iguaçu e o Rio Sarapuí, bem como a Baía de Guanabara, incluindo a fauna e flora do manguezal. O relatório da Alta Geotecnia Ambiental registra ocorrência de acidentes que contribuíram para a contaminação da área do entorno, como a ruptura de grande porte na porção sul do aterro com vazamento de chorume para o manguezal, no ano de 2010.

Em sua projeção, o aterro foi projetado para receber aproximadamente 3.000 toneladas de lixo por dia durante uma vida útil de cerca de 20 anos. Porém, chegou a receber até 9.000 t/dia de

lixo e seu uso prolongou-se por 34 anos até o dia 3 de junho de 2012, quando suas atividades foram encerradas às vésperas da Conferência “Rio+20” (IETS, 2011; CODEÇO, 2022).

b) Áreas de extração mineral de areia e seus impactos ambientais: cavas em Duque de Caxias

A atividade da extração mineral da areia, embora extremamente importante para economia e atendimento às demandas da indústria da construção civil, causa inúmeros impactos ao meio ambiente, relacionados ao desmatamento, descaracterização do relevo, assoreamento dos leitos dos cursos d’água nas proximidades do local de extração, alteração do regime hidrológico dos cursos d’água, contaminação da água e do solo, entre outros. Tais impactos estão associados às diferentes fases da exploração (IPT, 2003; MECI, SANCHES, 2010; SANTOS, 2015):

- Abertura da cava, que implica na supressão de vegetação, movimentação de terra com remoção do solo superficial de maior fertilidade, solo remanescente exposto a processos erosivos, descaracterização da paisagem local;
- Operação de extração, que gera poluição do ar por particulados suspensos durante a atividade, geração de ruído, perda d’água pela atmosfera devido a evaporação das cavas, compactação dos solos devido à presença de maquinário pesado para o transporte do material, contaminação do solo e da água (por vazamentos ou disposição inadequada produtos como óleos, graxas, ou disposição irregular do lixo gerado na operação do empreendimento).

Além disso, após a etapa de extração, as cavas desativadas ou abandonadas que estejam total ou parcialmente inundadas oportunizam a deposição de resíduos domésticos, industriais e até de construção civil de forma irregular, o que pode gerar a contaminação do solo e da água, inclusive dos lençóis freáticos. Cabe ressaltar ainda a instalação de habitação de baixa renda em muitas dessas áreas. (IPT, 2003; MECI, SANCHES, 2010). Sanchez (2001) relata alguns casos emblemáticos de ocupação de cavas de areia desativadas, como o caso de uma cava de areia em Samiritá, São Vicente (SP), que após desativada foi utilizada para disposição de resíduos industriais da Rhodia e por fim foi ocupada por um loteamento popular. Outro caso é o de cavas de extração de areia em Osasco (SP), desativadas pelo Governo do Estado em 1956 para uso da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e utilizadas para disposição

de lodos de tratamento de esgoto, bota-fora de sucatas e peças usadas, entulho, areias de fundição e resíduos industriais desconhecidos. Em 1996, sem uso, foram ocupadas por moradores do entorno, que conseguiram verba do governo estadual para a construção de um conjunto residencial numa gleba de 93 mil m². A CETESB constatou em sondagens do local a presença de gases e risco de explosão devido à alta concentração de metano.

A legislação para áreas de extração de areia no Brasil está regulamentada por diversas leis e regulamentos, incluindo a Constituição Federal, as leis de meio ambiente e as regulamentações estaduais e municipais. A Constituição Federal de 1988 estabelece o direito à proteção do meio ambiente e prevê no parágrafo 2º, artigo 225 que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”. A Resolução Conama nº 237/97 regulamenta o licenciamento ambiental para atividades minerárias, incluindo a extração de areia, nos termos do parágrafo 1º, artigo 2º. O decreto 97.632/89 que regulamenta a PNMA prevê a elaboração do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (Prad), instrumento técnico-gerencial e legal que estabelece os meios de contenção da degradação, bem como o planejamento do uso do solo futuro da área degradada (IPT, 2003).

Além disso, é de suma importância versar sobre a atividade de extração mineral dentro do contexto municipal, a partir de legislação específica que regule a atividade, bem como por meio da abordagem do planejamento urbano municipal através do Plano Diretor e da Lei de Uso e Ocupação do Solo, de modo que sejam previstos no zoneamento territorial as áreas potencialmente aptas à extração mineral, bem como a indicação dos futuros usos da área de acordo com o planejamento municipal (IPT, 2003).

Em Duque de Caxias existem inúmeras áreas de extração de areia (mineral não-metálico) em bairros como Amapá (Figura 43), sendo muitas delas ilegais e alvo de ações civis públicas do Ministério Público Federal há mais de uma década (MPF, 2020). São inúmeras as notícias sobre áreas exploração mineral em Duque de Caxias, inclusive nas áreas dos sítios arqueológicos Terra Prometida e Aldeia das Escravas II, considerados de grande importância pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) (O GLOBO, 2013). Além disso, há denúncias de moradores sobre o envolvimento de milicianos com a extração de areia e o uso indiscriminado das cavas inundadas como lazer pela população, que faz até mesmo o uso de jet-skis, colocando em risco a saúde e a vida, visto que essas águas não são próprias para banho (APUBLICA, 2020).

Figura 43 - Cava ilegal de extração de areia no bairro do Amapá – Duque de Caxias.



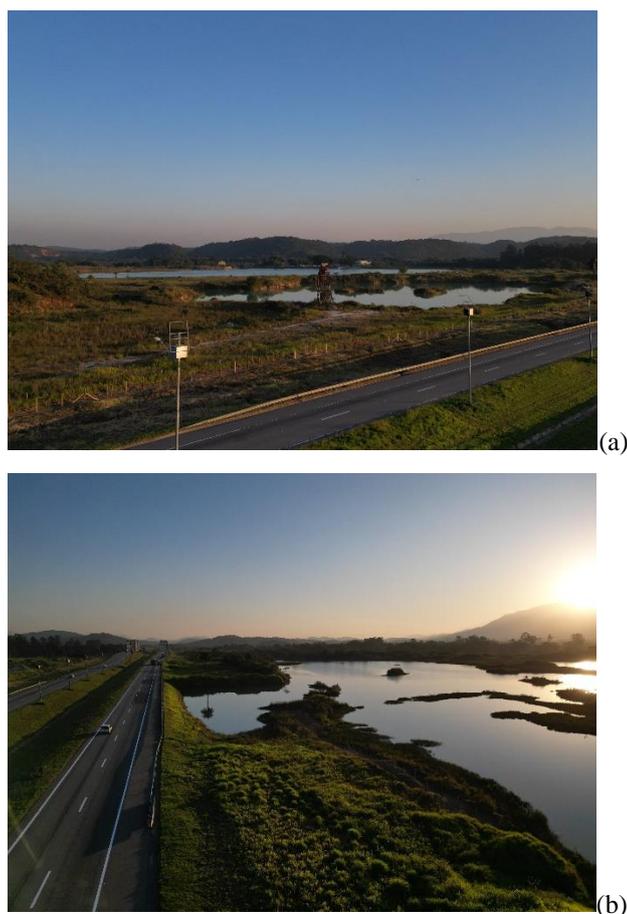
Fonte: INEA (2019).

Algumas dessas áreas de extração estão inseridas dentro da Área de Proteção Ambiental do Alto Iguaçu (APAIGU), Unidade de Conservação Estadual estabelecida pelo INEA (Figuras 44-a e 44-b). De acordo com o Plano de manejo da APAIGU (2021), aprovado pela Resolução INEA nº 22 de 20 de maio de 2021, as áreas de extração de minerais não-metálicos dentro do território da APA têm a extração de areia como a principal atividade dessa categoria, em áreas localizadas no Parque Amapá (em direção ao Arco Metropolitano) e no Parque Capivari (na porção leste da APA), em Duque de Caxias, e correspondentes a 1,61% (355,29 ha) da área da Unidade de Conservação (mineração em atividade e desativadas). O plano de manejo da APAIGU estabeleceu que os empreendimentos de mineração já instalados em seu território deverão obrigatoriamente proceder a recuperação das áreas degradadas pelo processo de extração e ficou vedada a abertura de novas áreas de mineração após a publicação do plano, nos termos das normas gerais das Zonas de Uso Agropecuário (ZUAP) definidas no zoneamento da APAIGU.

O Plano Diretor de Duque de Caxias (Lei Complementar nº 01, de 31 de outubro de 2006) não versa sobre o assunto da extração mineral, cabendo à sua Revisão a inserção do tema, tendo em vista a necessidade do debate sobre o uso futuro das cavas desativadas, após avaliação detalhada das condições ambientais e de segurança das áreas em questão. Esta avaliação deverá ser realizada pelo município a partir de uma equipe multidisciplinar de planejamento urbano e ambiental, a fim de determinar se a cava é adequada para reutilização urbana e quais medidas devem ser tomadas para garantir a segurança e a preservação do meio ambiente.

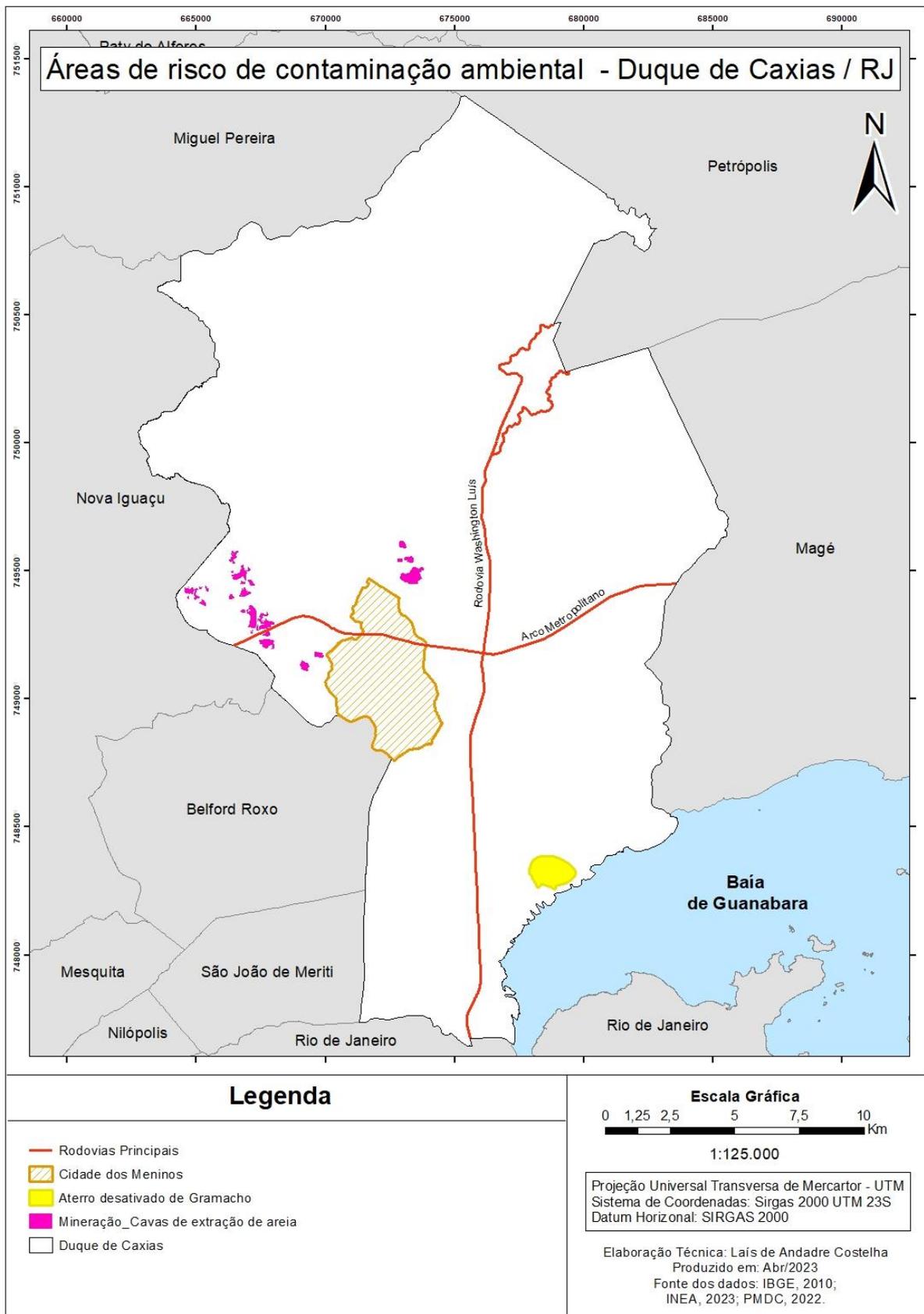
Deste modo, este trabalho optou por manter as áreas de cavas de extração de areia no território de Duque de Caxias como áreas de restrição à ocupação urbana, haja vista a falta de informações sobre a previsão de uso futuro. Entretanto, essa restrição pode ser repensada futuramente, ao passo que a legislação sobre o território incorpore medidas de recuperação para essas áreas degradadas.

Figura 44- (a) e (b) Cavas de extração de areia abandonadas no entorno do Arco Metropolitano, Duque de Caxias.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 45 - Mapa de restrição para aplicação da Lógica Booleana: Áreas de Risco de Contaminação Ambiental



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.3.1.2 Critérios para análise de aptidão urbana em função da suscetibilidade a movimentos de massa

4.3.1.2.1 Declividade

A declividade é um parâmetro de importância significativa em estudos de suscetibilidade a movimentos de massa e, conseqüentemente, na aptidão a urbanização. Observa-se um consenso entre pesquisadores sobre o uso da declividade como um parâmetro muito importante na modelagem de escorregamentos, visto que o ângulo de declividade está diretamente relacionado às forças de cisalhamento que atuam nas encostas e as resistências ao cisalhamento dos materiais. De acordo com Çellek (2020), um estudo da literatura apontou a declividade como parâmetro de entrada em 1500 publicações relativas a análises de suscetibilidade a movimentos de massa, o que segundo a autora, define este parâmetro como o mais influente e essencial em pesquisas deste tipo.

É relevante destacar que embora a declividade represente um critério consensual entre pesquisadores, a relação entre o ângulo de declividade e a ocorrência de movimentos de massa não pode ignorar outros fatores como tipo de solo, detritos ou rochas da área de estudo (ÇELLEK, 2020). Conforme o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2017), os limites das classes de declividade podem sofrer variação de acordo com as áreas de levantamento, a fim de melhor capturar as condições locais, desde que estejam dentro limites máximo (superior) e mínimo (inferior) da classe estipulados de acordo com o Quadro 24 proposto pelo departamento.

Quadro 24 - Definições das Classes de Declividade com base na USDA (United States Department of Agriculture).

Classes para -		Limites recomendados para as classes de declividade	
Encosta simples	Encosta complexa	Limite inferior (%)	Limite superior (%)
Quase plano	Quase plano	0	3
Suavemente inclinado	Ondulado	1	8
Fortemente inclinado	Muito ondulado	4	16
Moderadamente íngreme	Montanhoso	10	30
Íngreme	Íngreme	20	60
Muito íngreme	Muito íngreme	>45	

Fonte: United States Department of Agriculture (2017).

Para fins de ocupação urbana de encostas, CUNHA (1991) estabeleceu cinco faixas de declividade e definição dos valores limites de cada classe, conforme a Quadro 25. Entretanto, tais classes podem ser adotadas com restrições mais acentuadas de acordo com as características do terreno a ser ocupado.

Quadro 25 - Classes de Declividade para ocupação urbana (CUNHA, 1991).

Classes de declividade			Descrição dos valores limites para ocupação urbana
Classes	(em graus)	(em porcentagem)	
I	0° a 8,53°	0% a 15%	15% - Inclinação máxima longitudinal (greide) tolerável nas vias para circulação de veículos.
II	8,53°	15%	30% - Declividade máxima prevista em lei para a ocupação de encostas sem projetos especiais.
	a 16,70°	a 30%	
III	16,70°	30%	50% - Limite de declividade tecnicamente recomendável para a ocupação.
	a 26,57°	a 50%	
IV	> 26,57°	> 50%	Valores superiores a 50% podem ser ocupados mediante recursos técnicos específicos, de custos extremamente elevados.

Fonte: Modificado de Cunha (1991).

Souza e Sobreira (2014) orientam que as cartas de declividades devem ter intervalos de classes flexíveis e sugerem a hierarquização das classes de declividade em no máximo seis faixas, a depender das características geomorfológicas da área, com base em valores constantes em instrumentos legais, literatura técnica ou de uso consagrado. Assim, os autores estabelecem as classes de declividade conforme o Quadro 26, também adotadas neste trabalho, visto que são fundamentadas na legislação brasileira e amparadas na realidade geomorfológica do país, além de serem apresentadas dentro do contexto da confecção de mapas de aptidão à urbanização.

Quadro 26 - Classes de Declividade conforme Souza e Sobreira (2014).

Classes de declividade			Descrição	Fontes
Classes	(em graus)	(em porcentagem)		

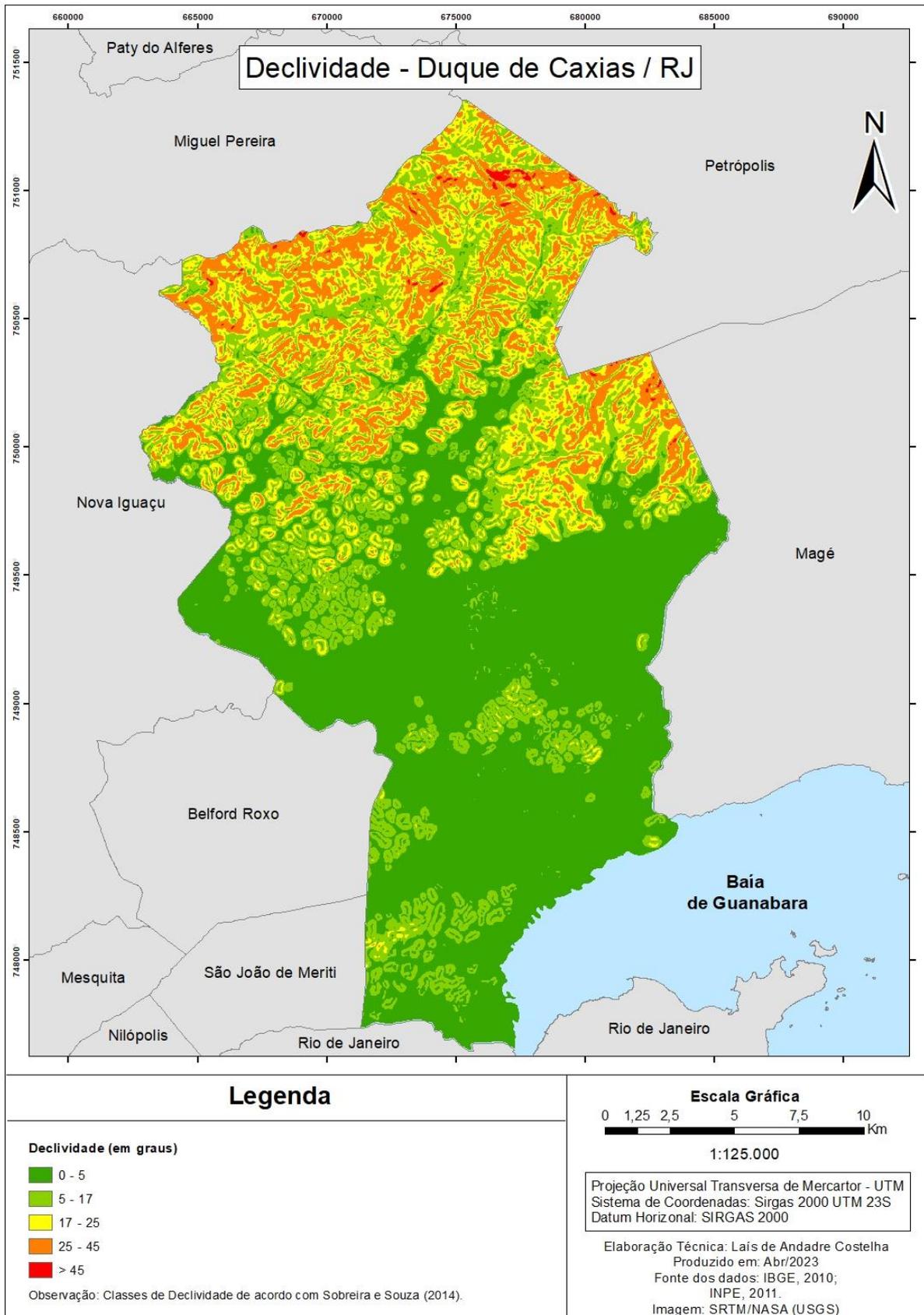
I	0° a 5°	0% a 8,75%	Áreas mais planas que podem sofrer influência direta dos corpos d'água, podendo englobar terraços fluviais e planícies de inundação e áreas em topos de morro aplainados.	Dantas, 2010
II	5° a 15° / 17°	8,75% a 26,79% / 30,57%	Áreas onde a inclinação das encostas não significa grande empecilho à ocupação. Estabelece-se 17° como o limite de áreas urbanizáveis sem restrições.	Brasil, 1979
III	15°/17° a 25°/30°	26,79% / 30,57% a 46,63% / 57,74%	Áreas mais inclinadas, passíveis de ocupação, porém condicionadas à execução de estudos geológico-geotécnicos. Estabelece-se a declividade máxima de 25° como limite técnico recomendável à ocupação, a partir do qual são necessárias infraestruturas que incidem em custos extremamente elevados aos projetos de expansão urbana.	Brasil, 1979 Marsh, 1978 Cunha, 1991
IV	25°/30° a 45°	46,63% / 57,74% a 100%	Áreas muito inclinadas, consideradas de uso restrito pelo Código Florestal. São áreas com maior propensão ao desenvolvimento de processos geodinâmicos diversos.	Brasil, 2012
V	> 45°	100%	Áreas altamente inclinadas, inviáveis para a ocupação urbana devido à sua potencialidade em sediar diferentes eventos geodinâmicos de grande magnitude. Ainda, o limite de 45° ou 100% representa uma restrição legal definida pelo Código Florestal como área de preservação permanente.	Brasil, 2012

Fonte: Modificado de Souza e Sobreira (2014).

Para elaboração do Mapa de Declividade de Duque de Caxias foi utilizado o MDE derivado de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) pela iniciativa TOPODATA desenvolvida pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). A folha que recobre a área do município de Duque de Caxias é a 22S435SN, em formato TIFF (Tag Image File Format) e Datum WGS-84.

O processo de confecção foi realizado no software ArcGis 10.8 e iniciou-se com a reprojeção do MDE para o Sistema de Coordenadas Projetadas SIRGAS 2000 UTM Zone 23 S. Posteriormente utilizou-se a ferramenta Slope (*ArcToolbox > Spatial Analyst tools > Surface > Slope*), que permite selecionar os intervalos de declividade (%) ou a inclinação da encosta (°). O mapa foi gerado em graus de acordo com as classes de Souza e Sobreira (2014), que melhor se adequaram para o desenvolvimento deste trabalho, conforme já mencionado. Os intervalos das 5 classes foram: 0-5°, 5°-17°, 17°-25°, 25°-45°, > 45° (Figura 46).

Figura 46 - Mapa de Critério para aplicação da Combinação linear Ponderada: Declividade.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.3.1.2.2 Uso e cobertura do solo

A dinâmica de uso e cobertura do solo é um dos fatores que influenciam a suscetibilidade a movimentos de massa juntamente com diversos fatores do meio físico, tais como litologia, declividade, hidrologia. É sabido que determinadas alterações no uso e cobertura do solo, a exemplo do desmatamento, dos cortes e aterros em encostas para construção de vias, lançamento de lixo e entulho sobre a encosta e lançamento diretamente sobre o terreno promovem o aumento da suscetibilidade a movimentos de massa (MENDONÇA; GUERRA, 1997; MENESES et al., 2019). De acordo com Reichenbach et al. (2014), na análise de estabilidade de taludes, a litologia e a estrutura geológica dos terrenos são consideradas constantes por longos períodos, enquanto a morfologia, o clima e o uso do solo são afetados por grandes modificações sazonais ou por um período de décadas.

É consagrado na literatura acerca dos movimentos de massa o entendimento da influência da vegetação na estabilidade dos terrenos e influência na ocorrência de escorregamentos, tendo em vista suas características mecânicas e hidrológicas (GLADE, 2003; REICHENBACH et al., 2014; STOKES et al., 2008). Reichenbach et al. (2014) identificou em sua pesquisa que o aumento do número de taludes instáveis estava relacionado ao aumento do solo exposto em locais anteriormente ocupados por áreas florestadas. Segundo Stokes et al. (2008), as plantas apresentam elementos úteis na estabilidade dos taludes: (a) as raízes fornecem ancoragem e atuam absorvendo água e nutrientes do solo; (b) As hastes suportam partes do solo acima da encosta e funcionam como contenção para o solo em erosão; (c) As folhas interceptam a precipitação e realizam a evapotranspiração, diminuindo os níveis de umidade do solo. Desse modo, é de extrema importância o estudo em detalhes das diferentes espécies vegetais e seu papel no reforço do solo e estabilidade de taludes, levando em conta que determinados tipos de plantas são mais adequados que outros para objetivos específicos de estabilização (REICHENBACH et al., 2014; STOKES et al., 2008).

O mapeamento de uso e cobertura do solo permite a compreensão da espacialização dos elementos naturais e antrópicos e o entendimento da influência das atividades desenvolvidas pelo homem nas mudanças de cobertura e uso do solo. Em muitos casos grandes áreas são modificadas em um curto tempo, alterando fortemente os fatores ambientais que controlam a estabilidade dos terrenos. O conhecimento das características da ocupação de um determinado uso é fundamental para a avaliação da suscetibilidade e limitações do uso do solo para determinados fins (CRUZ; CRUZ, 2021; GLADE, 2003). Figueiredo et al. (2017) associou fatores naturais e fatores

antrópicos relativos à ocupação do solo pelo homem para estimar a suscetibilidade a deslizamentos de uma determinada região em Niterói, observando uma significativa influência destes últimos no grau de suscetibilidade. Deste modo, o monitoramento da cobertura e uso do solo é relevante e indispensável para o planejamento ambiental e urbano e a para a formulação de políticas públicas de regulação e inspeção das áreas vegetadas, evitando assim o aumento de áreas suscetíveis a movimentos de massa.

Para a confecção do Mapa de uso e cobertura do solo de Duque de Caxias (Figura 47) foram utilizados dados do Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA). O INEA realiza periodicamente o mapeamento de Uso e cobertura do solo para todo o estado em escala 1:100.000, disponível para os anos de 2007, 2013, 2015 e 2018 e produz mapeamentos mais detalhados, como os realizados para Regiões Hidrográficas e bacias hidrográficas, na escala 1:25.000 e para Unidades de Conservação estaduais, em escala 1:10.000 (INEA, 2023). O mapeamento das Regiões hidrográficas na escala 1:25.000 e pixel de 2x2m para o ano de 2015 foi realizado com base em imagens de satélite de 2013, 2014 e 2015 no âmbito do Projeto ‘Olho no verde’ em 2018, projeto de monitoramento sistemático dos remanescentes florestais para detecção de mudanças na cobertura florestal e alertas de desmatamento no estado (CRUZ; CRUZ, 2021; INEA, 2021). Conforme Cruz e Cruz (2021), o mapeamento na escala 1:25.000 contou com a realização adicional de trabalhos de campo que possibilitaram a complementação da identificação das classes e supriu as lacunas advindas da presença de nuvens e excesso de sombreamento. As autoras destacaram o rigor de representação do mapeamento, tanto devido ao criterioso processo de avaliação e validação, envolvendo de dois a três intérpretes para cada Região Hidrográfica, como em função das visitas à campo. A partir deste mapeamento para as Regiões Hidrográficas obteve-se o Uso e cobertura do solo do Município de Duque de Caxias, inserido na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH V - Baía de Guanabara).

As classes adotadas no mapeamento estão descritas no Quadro 27 a seguir:

Quadro 27 - Classes de uso e cobertura do solo.

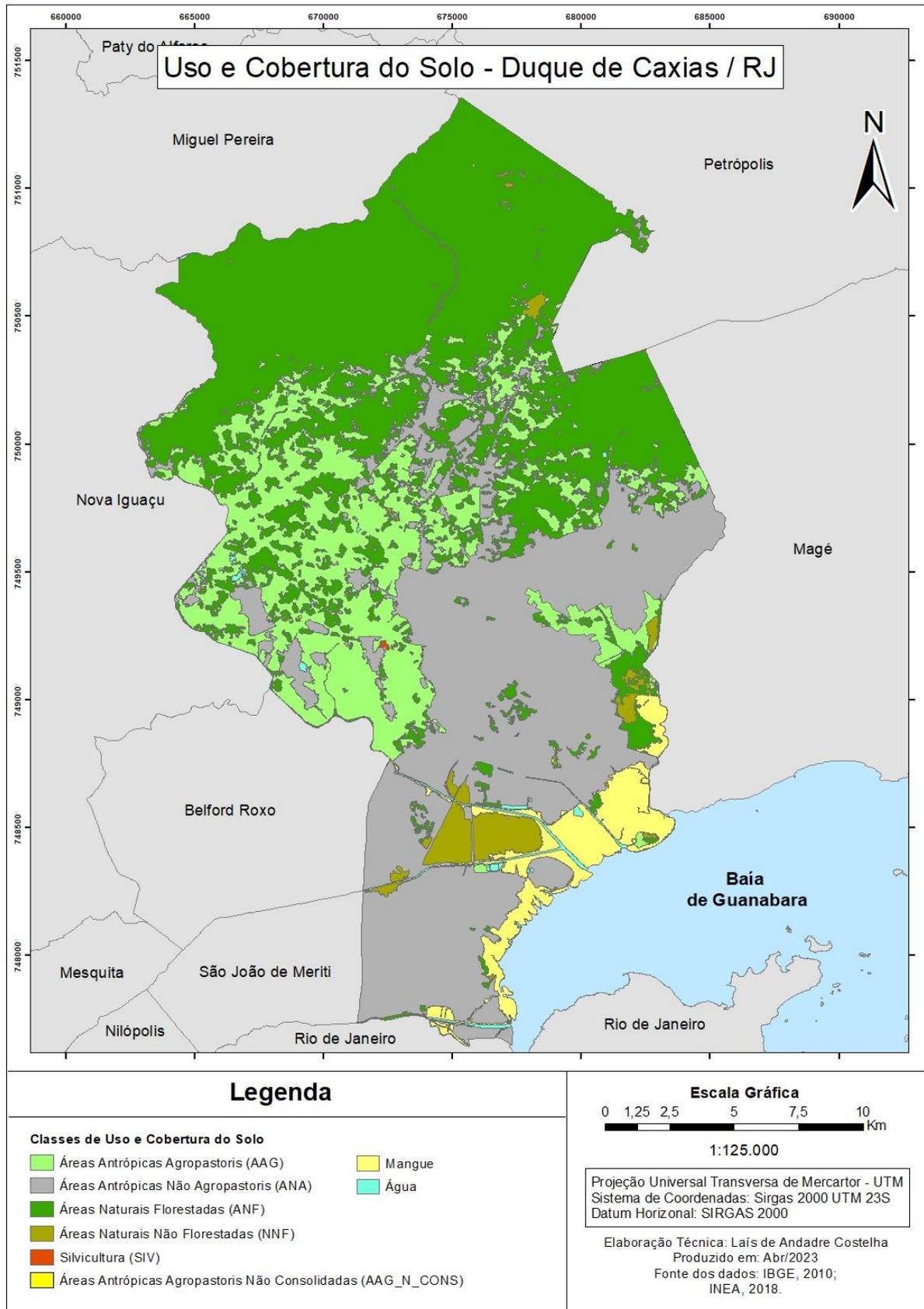
ÁREAS DE COBERTURA DA TERRA	CLASSE	SIGLA	DESCRIÇÃO
Áreas Naturais	Áreas Naturais Florestadas	ANF	Diferentes níveis sucessionais de Mata Atlântica entre outras.

	Áreas Naturais Não Florestadas	NNF	Cordões arenosos, afloramentos rochosos, dunas, campos de altitude, entre outras.
Áreas Antrópicas	Áreas Antrópicas Agropastoris	AAG	Diferentes tipos de cultivos, áreas de pastagem, entre outras.
	Áreas Antrópicas Não Agropastoris	ANA	Áreas urbanas de diferentes níveis de densidade de ocupação, áreas de mineração, solo exposto, entre outras.
Áreas Especiais	Silvicultura	SIV	Prioritariamente Eucalipto.
Áreas Não Consolidadas	Áreas Antrópicas Agropastoris Não Consolidadas	AAG_N_Cons	Áreas mapeadas como florestas no ano de 2008 e convertidas em áreas antrópicas agropastoris identificadas no mapeamento do ano de 2014.

Fonte: INEA (2023).

O mapeamento do uso e cobertura do solo em Duque de Caxias demonstrou que o município é predominantemente composto por Áreas Naturais Florestadas (41,3%), Áreas Antrópicas Não Agropastoris (32,5%) e Áreas Antrópicas Agropastoris (18,8%). O mangue, ecossistema de transição entre os ambientes terrestre e marinho correspondente a 4,2% do território do município, é considerado como Área de Preservação Permanente (APP) e, portanto, foi definido como Restrição de ocupação neste trabalho. As Áreas Naturais Não Florestadas correspondem a 2,3% do território. Quanto as áreas de Silvicultura e Áreas Não Consolidadas, não possuem trechos significativos no município, apresentando dessa forma porcentagem irrelevante.

Figura 47 – Mapa de Critério para aplicação da Combinação linear Ponderada: Uso e cobertura do solo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3.1.2.3 Padrões de relevo (geomorfologia)

Dentre as características do meio físico que contribuem na suscetibilidade a movimentos de massa destaca-se a configuração morfológica dos terrenos, apresentada no mapeamento de padrões de relevo. Este critério, conjugado a outros tais como litologia e formações superficiais, representa um importante instrumento do meio físico para avaliação de áreas suscetíveis. Dentre os parâmetros e atributos analisados para a definição de cada padrão de relevo, destacam-se a amplitude, a geometria de topos e de vertentes, a ocorrência e processos de aluvionamento em fundos de vales e o grau de dissecação dos terrenos. (DANTAS, 2013)

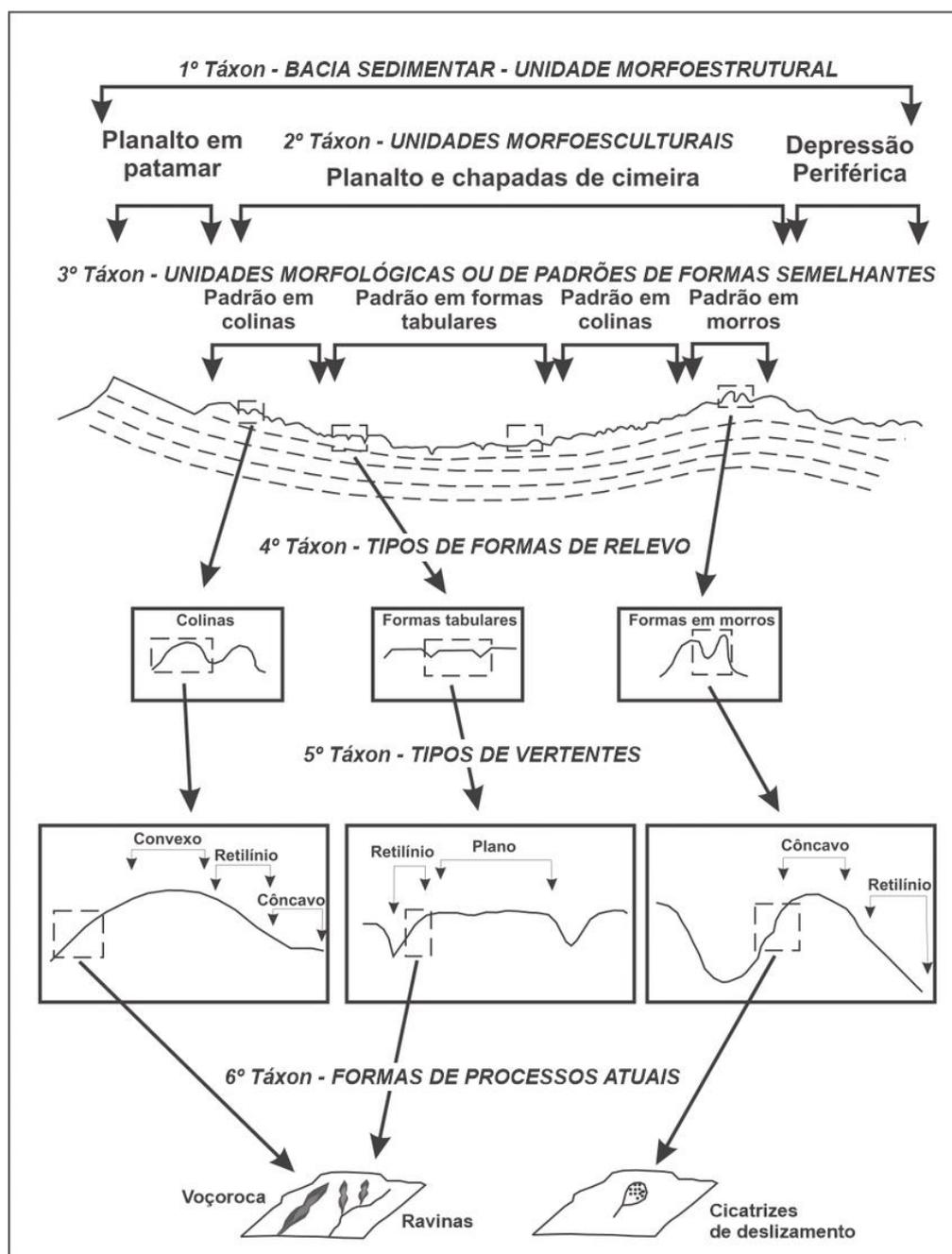
O mapeamento de padrões de relevo para a elaboração de Cartas de Padrões de Relevo Municipais (escala 1:25.000) conduzido pelo Departamento de Gestão Territorial do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) tem como premissa o conceito de padrões de relevo, que trata da compartimentação do relevo em morfologias semelhantes com base na metodologia de mapeamento descrita por Ross (1992), bem como nos conceitos de sistemas de relevo de Ponçano et al. (1979) e de unidades homólogas de Soares e Fiori (1976), descritos nos parágrafos a seguir. (DANTAS, 2013; CPRM, 2021)

Em razão da complexidade da representação cartográfica da superfície terrestre e das diversas formas que a compõem, Ross (1992) propôs um **sistema de classificação ou de taxonomia do relevo** (Figura 48) em função da escala de análise e com base nos aspectos fisionômicos, ou seja, no formato das formas de relevo de diferentes tamanhos. Com a finalidade de facilitar a operacionalização da pesquisa geomorfológica, a proposta de Ross divide o relevo em seis diferentes táxons, classificados de acordo com o grau de detalhamento em que se analisa o relevo, sendo eles:

- a) 1º táxon: unidade morfoestrutural;
- b) 2º táxon: unidade morfoescultural;
- c) 3º táxon: unidades morfológicas ou de padrões de formas semelhantes;
- d) 4º táxon: tipos de formas de relevo;
- e) 5º táxon: tipos de vertentes;
- f) 6º táxon: formas de processos atuais (ravinas, voçorocas, cicatrizes de deslizamentos, entre outros).

Ainda de acordo com Ross (1992) com relação ao discernimento dos fatos geomórficos e a escala de representação escolhida, a representação de setores de vertentes (5º táxon), por exemplo, somente é passível de cartografiação em escalas de maior de detalhamento.

Figura 48 - Representação esquemática das unidades taxonômicas geomorfológicas propostas por Ross (1992).



Fonte: Adaptado de Ross (1992).

O conceito de sistemas de relevo exposto por Ponçano et al. (1979) propõe a individualização do relevo em Sistemas, unidades e elementos e foi desenvolvido a partir da década de 40 pelo 'Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization' (CSIRO) da Austrália para o reconhecimento de grandes áreas não mapeadas com o objetivo de classificar as potencialidades e adequação das terras para fins agrícolas (PONÇANO et al., 1981 *apud* CARNEIRO, 2018). Métodos semelhantes também foram adotados por vários países como a

antiga URSS, Inglaterra, Japão, EUA e Brasil (ZAINE, 2000). A metodologia consiste na distinção de conjuntos de formas de relevo com atributos físicos de textura e padrão semelhantes, ou zonas homólogas, e a partir disso estabelece subdivisões de dada região em áreas de tamanhos variáveis onde é possível verificar um padrão de topografia, solos e vegetação. De acordo com Carneiro (2018), os sistemas de relevo possibilitam a interpretação das relações entre a geologia, clima, formas de relevo, vegetação e solos. Um determinado sistema de relevo se divide em partes menores denominadas unidades de relevos, e estas também se dividem em elementos do relevo. Em contrapartida, os Sistemas de Relevo são agregados, formando unidades maiores como Subzonas, Zonas e Províncias, definidas de acordo com as características genéticas, morfoestruturais e morfoclimáticas, contribuição do trabalho desenvolvido por Almeida (1964). (SOUZA, 2015; ROSS, GOUVEIA, 2022). Ponçano et al. (1979) aplicou o método de sistemas de relevo ao Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo elaborado pelo IPT em 1981, na escala 1:1.000.000, trabalho que se constitui num marco fundamental para o estudo geomorfológico de São Paulo, visto que foi o primeiro mapeamento sistemático realizado para todo o Estado. Dessa maneira, para a subdivisão com base em sistemas de relevo, a cartografia do Estado de São Paulo é apresentada dividida em províncias, zonas, subzonas e delimitada por conjuntos de formas menores definidas como sistemas de relevo (ZAINE, 2000; ROSS, GOUVEIA, 2022).

Quanto ao **conceito de unidades homólogas**, refere-se à metodologia de fotointerpretação geológica a partir de fotografias aéreas, adaptado para o Brasil por Soares e Fiori (1976) e posteriormente sistematizado para imagens de satélite. Nesta metodologia, os autores propuseram a análise lógica da imagem fotográfica de forma sistemática e codificada por meio de três etapas: fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação. Na análise da fotografia aérea distinguem-se os *elementos texturais* (menor superfície contínua e homogênea distinguível na imagem fotográfica e passível de repetição), *estruturas* (lei que exprime ou que define o padrão e organização dos elementos texturais no espaço) e *zonas homólogas* (repetição dos mesmos elementos texturais e da mesma estrutura), atribuindo a estas características, na etapa de fotointerpretação, um significado geológico. Assim, de acordo com os autores, embora a metodologia não substitua trabalhos de campo nem resulte num mapa geológico, é possível através dela selecionar áreas para implantação de obras de engenharia com rapidez e baixo custo (SOARES; FIORI, 1976).

De acordo com Coutinho (2013), para a elaboração cartas geotécnicas em escalas 1:25.000, voltadas ao planejamento municipal, utilizam-se informações referentes ao 3º táxon e alguns dados do 4º táxon, a exemplo da Carta geotécnica de aptidão urbana aplicada ao plano diretor. Deste

modo, o mapeamento de Padrões de Relevos realizado pelo CPRM para Duque de Caxias (CPRM, 2018) atende ao propósito de elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa com fins de planejamento urbano, visto que representa, em linhas gerais, o 3º táxon hierárquico da metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1992). Em alguns casos, foram mapeadas relevantes feições de relevo em escala de semidetalhe, alcançando o 4º táxon (CPRM, 2021).

Os padrões de relevo nortearam, por exemplo, o desenvolvimento da Carta Geotécnica de Aptidão Urbana de Teresina – PI. A partir dos padrões de relevo o CPRM zoneou o território em Unidades Geotécnicas (UGs) e seus potenciais processos de desastres (inundações, enchentes, solapamentos e deslizamentos), de modo que cada UG foi associada a uma classe de aptidão urbana (baixa, média e alta aptidão) frente a movimentos de massa, enchentes e inundação (CPRM, 2020).

Diante disto, definiu-se os Padrões de relevo como critério para a análise multicriterial deste trabalho e o **Mapa de Padrões de Relevos** (Figura 49) de Duque de Caxias foi confeccionado com base nos dados da Carta de Padrões de Relevos elaborada pelo CPRM em 2018. Os padrões de relevo identificados para Duque de Caxias estão descritos na Quadro 28.

Quadro 28 - Padrões de relevo e parâmetros básicos identificados no município de Duque de Caxias -RJ.

PADRÕES DE RELEVO	CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES	AMPLITUDE PREDOMINANTE (m)	INCLINAÇÃO DAS VERTENTES PREDOMINANTE Graus (°)
Planícies de Inundação (Várzeas)	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies sub-horizontais; • Depósitos arenosos ou areno-argilosos a argilosos; • Fundos de vales. • Terrenos imperfeitamente drenados, sendo periodicamente inundáveis. 	Zero	0-3
Baixadas Alúvio-Coluvionares	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies sub-horizontais; • Depósitos arenosos com grânulos e seixos a areno-argilosos; • Entulhamento de sedimentos fluviais e fluxos de enxurrada; • Baixadas entremeadas num relevo de colinas isoladas. 	2 a 5	0-5

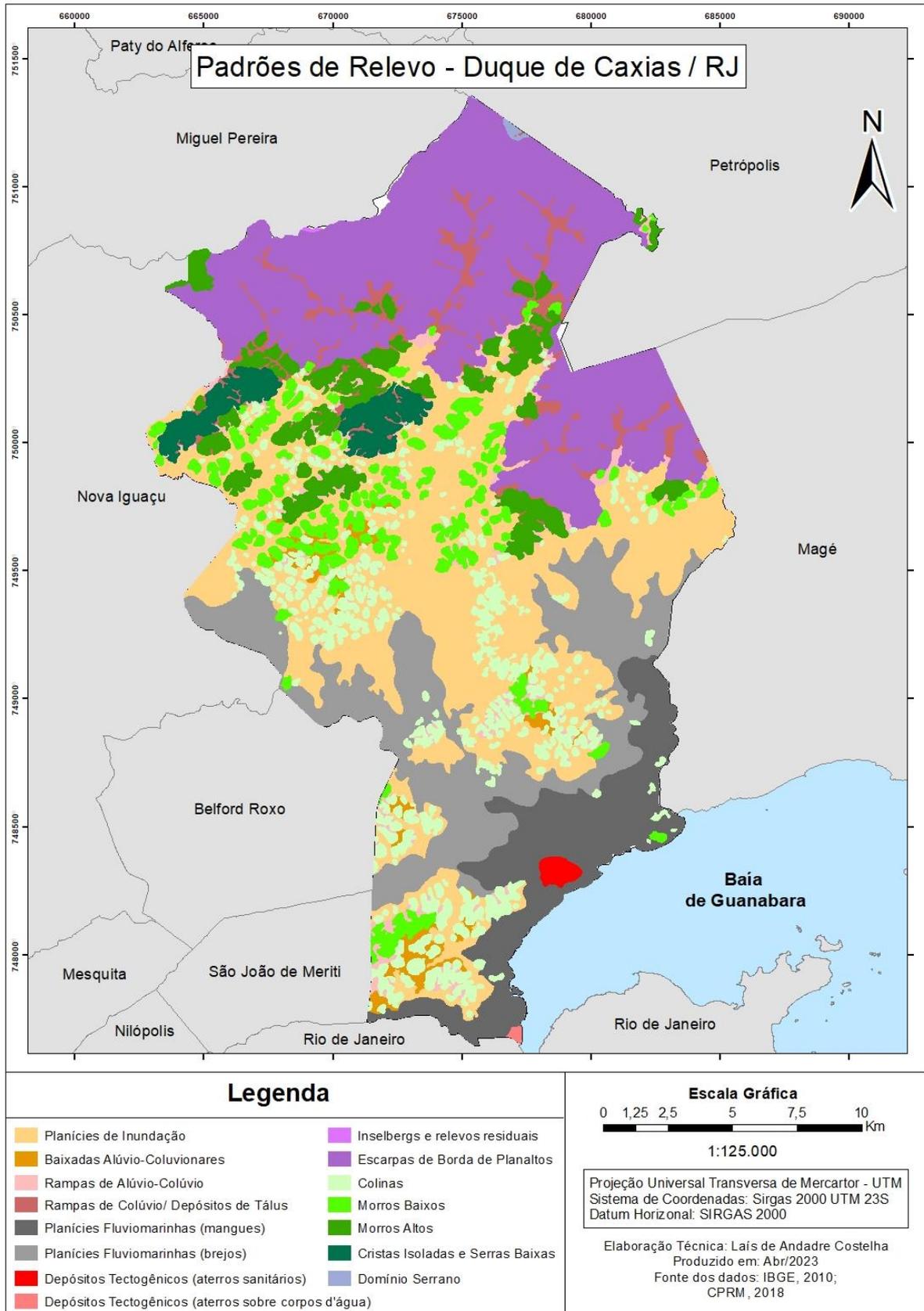
Rampas de Alúvio-Colúvio	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies deposicionais inclinadas; • Depósitos de encosta, areno-argilosos a argilo-arenosos, mal selecionados, em interdigitação com depósitos praticamente planos das planícies fluviais. • Ocorrem, de forma disseminada, em meio ao domínio de mares-de-morros. 	Variável	5-10
Rampas de Colúvio/Depósitos de Tálus	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies deposicionais fortemente inclinadas • Depósitos de encosta, de matriz areno-argilosa a argilo-arenosa, rica em blocos • Interdigitação com depósitos suavemente inclinados das rampas de alúvio-colúvio. • Ocorrem, de forma disseminada, nos sopés das vertentes íngremes das serras e escarpas. 	Variável	10-25
Planícies Fluviomarinhas (mangues)	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies planas; • Depósitos argilosos muito ricos em matéria orgânica de fundo de baías ou enseadas, ou deltas dominados por maré; • Terrenos periodicamente inundados, com padrão de canais bastante meandantes e divagantes, sob influência de refluxo de marés. 	Zero	Plano (0)
Planícies Fluviomarinhas (brejos)	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies planas; • Depósitos argilo-arenosos a argilosos, ricos em matéria orgânica; • Terrenos muito mal drenados, prolongadamente inundáveis, com padrão de canais meandantes e divagantes; • Baixadas litorâneas, em baixos vales dos principais rios que convergem para a linha de costa. 	Zero	Plano (0)
Depósitos Tecnogênicos (aterros sobre corpos d'água)	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies planas; • Produzido pela ação antrópica; • Resultantes de aterramento de antigas planícies fluviomarinhas (mangues ou brejos), ou mesmo, de parte do espelho d'água em áreas urbanas valorizadas pela intervenção do Estado e pelo capital imobiliário. 	Zero	Plano (0)
Depósitos Tecnogênicos (aterros sanitários)	<ul style="list-style-type: none"> • “Elevações artificiais”/ Produzido pela ação antrópica; • Requerem rígido controle e monitoramento ambiental; • Risco muito alto de combustão e de contaminação das águas (superficial e subterrânea) e dos solos. 	Variável	Variável

<p>Inselbergs e Outros Relevos Residuais (picos isolados, morros residuais, pontões, monolitos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Relevos residuais isolados, destacados na paisagem aplainada, remanescentes do arrasamento geral dos terrenos. 	50 a 500	25-45 Ocorrem paredes subverticais. 60-90
Colinas	<ul style="list-style-type: none"> • Colinas pouco dissecadas; • Vertentes convexas ou convexo-côncavas e topos amplos, de morfologia alongada ou arredondada, com vertentes de gradiente suave e baixas amplitudes de relevo. • Processos de pedogênese (formação de solos muito profundos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão); • Apresenta, em geral, baixa densidade de drenagem. 	20 a 50	3-10
Morros Baixos	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo típico do domínio de “mares de morros”, constituído de colinas dissecadas; • Vertentes convexo-côncavas e topos arredondados, com vertentes de gradiente suave a moderado; • Processos de pedogênese e morfogênese (formação de solos muito profundos e bem drenados, em geral, com moderada a alta suscetibilidade à erosão); • Moderada densidade de drenagem; • Ocorrências de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos, ravinas e voçorocas). 	50 a 120	5-20
Morros Altos	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de morros de geometria convexo-côncava, francamente dissecados. • Vertentes de gradientes médios a elevados e topos arredondados a aguçados; • Densidade de drenagem moderada a alta. • Processos de morfogênese (formação de solos pouco profundos em terrenos declivosos, em geral, com moderada a alta suscetibilidade à erosão); • Atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas) e ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. 	80 a 250	10-35

<p>Cristas Isoladas e Serras Baixas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo constituído por serras isoladas; • Vertentes retilíneas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados; • Amplitudes de relevo e gradientes elevados (superiores a 45°) e paredões rochosos subverticais (60 a 90°); • Processos de morfogênese (formação de solos pouco profundos em terrenos declivosos, em geral, com moderada a alta suscetibilidade à erosão); • Atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas) e ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. 	<p>100 a 300</p>	<p>20-45 Ocorrem paredões subverticais. 60-90</p>
<p>Domínio Serrano</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de aspecto montanhoso, muito acidentado; • Vertentes retilíneas a côncavas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e tálus; • Alta densidade de drenagem; • Predominam vertentes de gradientes elevados com ocorrência esporádica de paredões rochosos subverticais e pães-de-açúcar; • Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos acidentados, em geral, com alta suscetibilidade à erosão); • Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. 	<p>300</p>	<p>20-45 Ocorrem paredões subverticais 60-90</p>
<p>Escarpas de Borda de Planaltos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de aspecto montanhoso, extremamente acidentado; • Vertentes muito íngremes e dissecadas, retilíneas a côncavas, paredões rochosos e topos de cristas alinhadas ou aguçadas; • Alta densidade de drenagem; • Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos acidentados, em geral, com alta suscetibilidade à erosão); • Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa; • Geração de tálus e colúvios nas baixas vertentes. 	<p>> 700</p>	<p>30-45 Ocorrem paredões subverticais 60-90</p>

Fonte: Dantas e Renk (2018).

Figura 49 - Mapa de Critério para aplicação da Combinação linear Ponderada: Padrões de Relevo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3.1.2.4 Estradas não infraestruturadas

O termo estradas não infraestruturadas utilizado neste trabalho refere-se às vias que não atendem as premissas técnicas estabelecidas no planejamento e projeto de estradas, no que tange à drenagem, cortes, aterros e aspectos do traçado tais como valores máximos de suas rampas, raios mínimos de curva, larguras de pista e de acostamentos, distâncias de visibilidade etc. No geral, as estradas não infraestruturadas são representadas pelas estradas vicinais ou rurais que podem ser pavimentadas ou não-pavimentadas e normalmente são estradas de administração municipal e de função local (DER/SP, 2012). Segundo Santos et al. (2019), no Brasil 77% (1,4 milhões) das estradas de rodagem da rede são vicinais e rurais de terra.

As estradas vicinais são caracterizadas, em função das limitações econômicas, pelo aproveitamento de traçados existentes, presença de rampas bem inclinadas, curvas horizontais e verticais acentuadas, taludes de corte com alturas consideráveis, limitação da largura da plataforma e pavimentos de baixo custo (DER/SP, 2012). Diante disto, entre os problemas mais comuns encontrados nestas estradas de terra são a falta de capacidade de suporte do subleito, o mau desempenho da superfície de rolamento e a deficiência do sistema de drenagem, sendo este último problema o que mais colabora para o agravamento dos problemas, mesmo quando não são a sua causa natural (SANTOS et al., 2019). Kerniski e Cunha (2017) identificam, por exemplo, que as condições em que as estradas não pavimentadas foram construídas na bacia do Rio Guabiroba, no município de Guarapuava (Paraná), geraram problemas como rampas acentuadas de difícil trafegabilidade, encostas instáveis e de difícil manutenção, expondo, muitas vezes, perfis do solo suscetíveis à erosão.

Cunha (2016) afirma que as estradas não pavimentadas alteram consideravelmente as características naturais do terreno e interferem na circulação das águas, modificando o percurso natural do fluxo superficial e subsuperficial e, em alguns casos, concentrando águas advindas de áreas adjacentes, funcionando de maneira semelhante a um canal de drenagem, como uma rede hidrográfica acessória na bacia hidrográfica. Como consequência, desencadeia-se a ocorrência de erosões que afetam as pistas de rolamento, geram ravinas, voçorocas e assoreamento de rios e lagos (SANTOS et al., 2019).

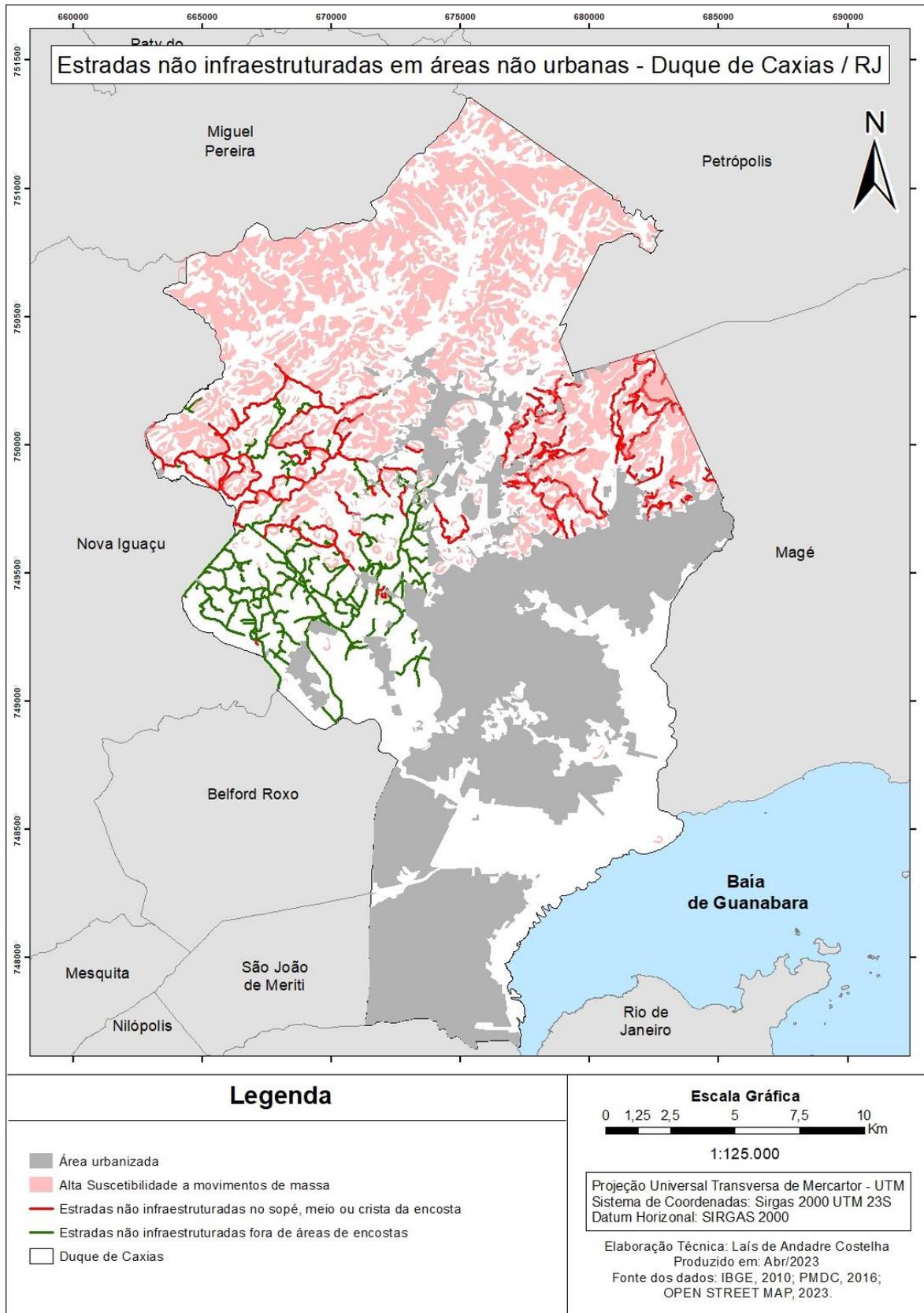
De acordo com Santos et al. (2019), os processos erosivos são maiores quanto maior for a energia das águas que escoam pelas estradas e quanto menor for a resistência dos solos locais à erosão. Cunha (2016) destaca ainda que a concentração marginal da água coletada ao longo do comprimento da estrada aumenta o risco de deslizamentos de terra. Diante disto, a presença de

sistemas de drenagem adequados é fundamental para a manutenção das estradas em boas condições de operação. Entre soluções de drenagem pode-se destacar a execução de drenos profundos no pé do talude, abaulamento transversal, construção de sarjetas, bigodes, dissipadores de energia, caixas de infiltração ou acumulação e técnicas de vegetação (KERNISKI, CUNHA, 2017; SANTOS et al., 2019).

Outro aspecto importante a ser considerado em estradas não infraestruturadas em encostas é a execução de cortes e aterros realizados na abertura das vias ou mesmo posteriormente pelas construções lindeiras. Conforme exposto por Santos et al. (2019), os cortes podem desestabilizar a encosta acima ou eles mesmos podem ser instáveis por não possuírem inclinação adequadas e nem sistemas de drenagem eficientes. Do mesmo modo, aterros mal executados, sem a devida compactação, escoramento e sistema de drenagem tornam essas estradas extremamente suscetíveis a escorregamentos.

Diante do exposto, este trabalho adotou o critério estradas não infraestruturadas (especializado no mapa da Figura 50), tendo em conta a influência deste tipo de intervenção na suscetibilidade das encostas. As classes definidas estão relacionadas à posição das estradas nas encostas: sopé da encosta, meio da encosta ou crista da encosta. Entende-se que esta localização pode ser um fator de menor ou maior influência na suscetibilidade.

Figura 50 - Mapa de Critério para aplicação da Combinação linear Ponderada: Estradas não Infraestruturadas em áreas não urbanas.



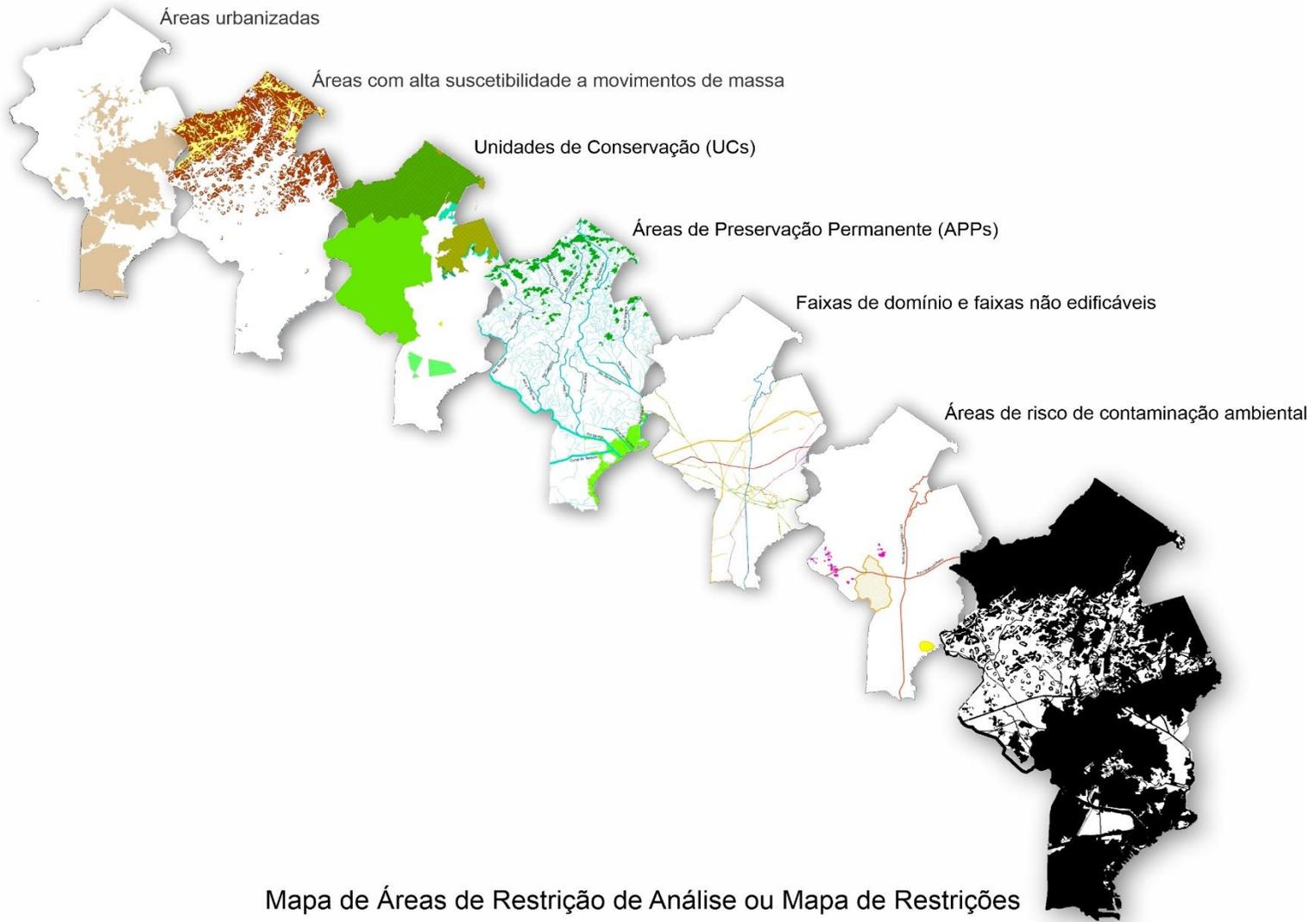
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3.2 Aplicação da lógica booleana

A aplicação da Lógica booleana consistiu na eliminação das regiões geográficas não adequadas para a análise pretendida, definidas pelas restrições anteriormente citadas (Quadro 17), seja por impossibilidades técnicas ou legais. Desse modo, para cada restrição foi confeccionado um mapa em formato Shapefile por meio do software ArcGis 10.8.

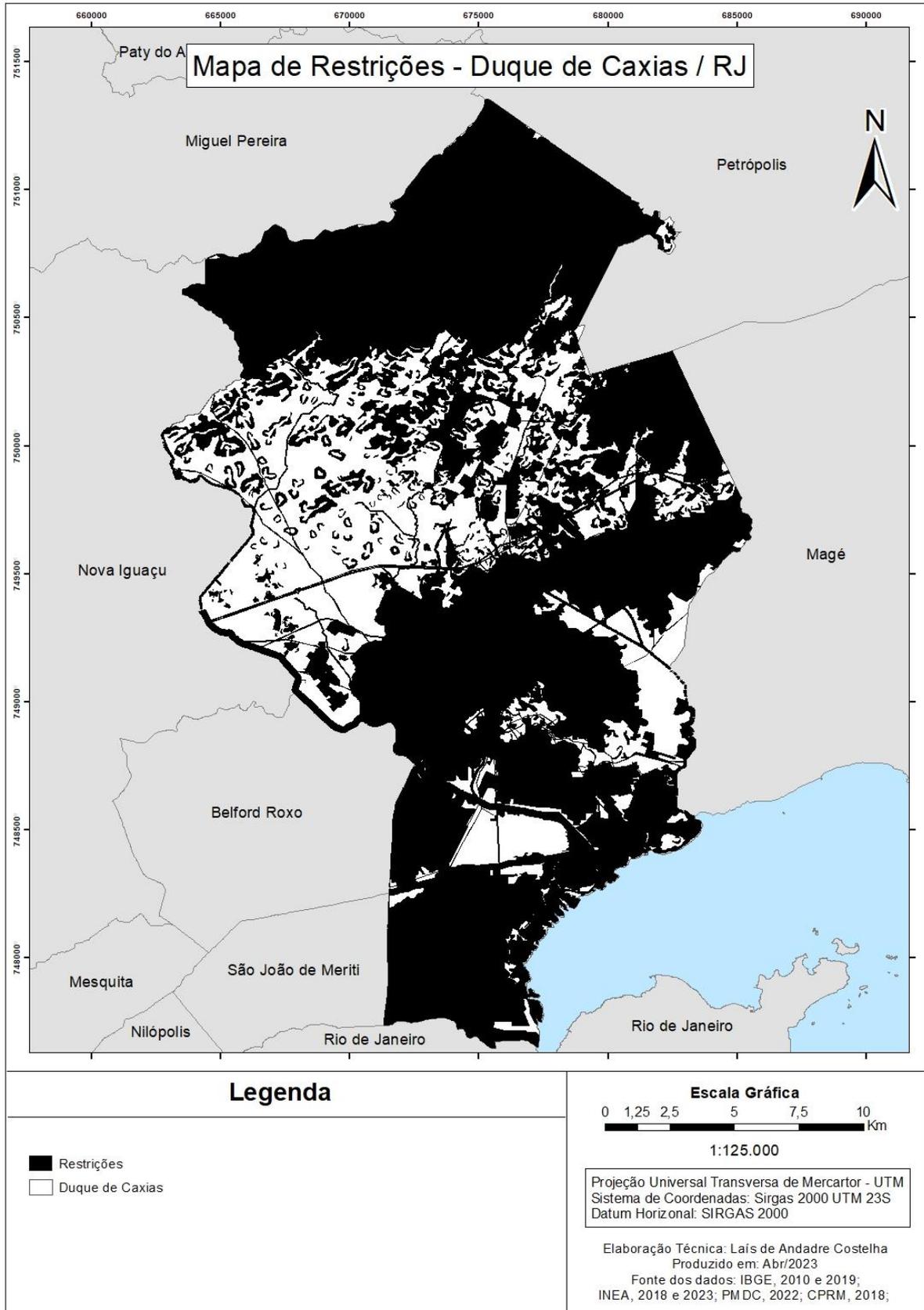
A combinação dos todos os mapas (Figura 51) foi realizada por meio da operação lógica do tipo A AND B, ou seja, o somatório de todos os elementos contidos na intersecção entre A e B, de modo análogo ao tradicional método de sobreposição empregado nas mesas de luz. Para tanto, utilizou-se uma das ferramentas de sobreposição (*Overlay toolset*) disponíveis no software, a ferramenta *Update*, ferramenta de sobreposição binária que calcula a intersecção geométrica entre os recursos de entrada (*Input*) e os recursos de atualização (*Update Features*), de forma que a geometria e os atributos dos recursos de entrada são atualizados pelos recursos de atualização no recurso de saída (*Output*). Deste modo, obteve-se o Mapa de Restrições (Figura 52) em formato Shapefile, posteriormente convertido para raster por meio da ferramenta “feição para raster” (*feature to raster*), de tal maneira que às áreas restritas foram atribuídos valores 0 (inapta a ocupação urbana) e para as áreas favoráveis valor 1 (perfeitamente apta à ocupação urbana), ou seja, obteve-se um mapa de saída binário onde cada ponto satisfaz ou não as condições da análise.

Figura 51 - Aplicação da Lógica booleana para análise em Duque de Caxias: sobreposição de mapas em ferramenta SIG.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 52 - Mapa de Áreas de Restrição de Análise: resultado da aplicação da Lógica Booleana.

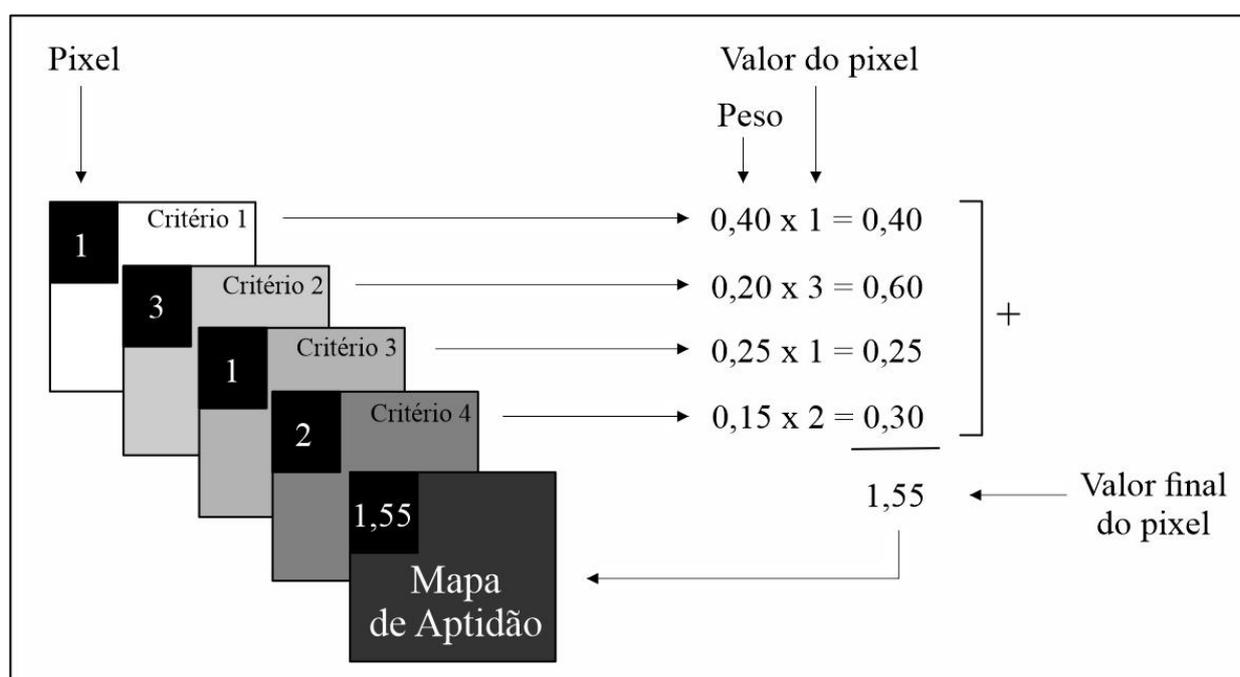


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3.3 Aplicação da Combinação Linear Ponderada (WLC)

Conforme já mencionado, para a aplicação da álgebra de mapas é necessário de cada mapa de entrada possua um peso, bem como contenha características semelhantes quanto ao seu retângulo envolvente, linhas e colunas, de modo que o software encontre relação numérica pixel a pixel de todas as camadas raster de entrada. A Figura 53 apresenta uma representação simplificada da Combinação Linear Ponderada Aplicada em SIG.

Figura 53 - Representação do Método de Combinação Linear Ponderada.



Fonte: Adaptado de Sartori et al. (2012).

A atribuição dos pesos dos critérios (Declividade, Uso e cobertura do solo, Padrões de Relevo e Estradas não infraestruturadas) foram realizados por meio do AHP com consulta a especialistas e os procedimentos estão descritos no item a seguir (item 4.3.3.1). Os mesmos procedimentos foram adotados para as classes de critério “Uso e cobertura do solo” e “Estradas não-infraestruturadas”, cujo grau de importância de suscetibilidade era desconhecido e necessitava ser também ponderado. Os procedimentos de definição dos pesos e padronização dos mapas são descritos nos itens a seguir.

4.3.3.1 Definição dos pesos dos critérios e classes de critérios / Resultados das avaliações dos especialistas

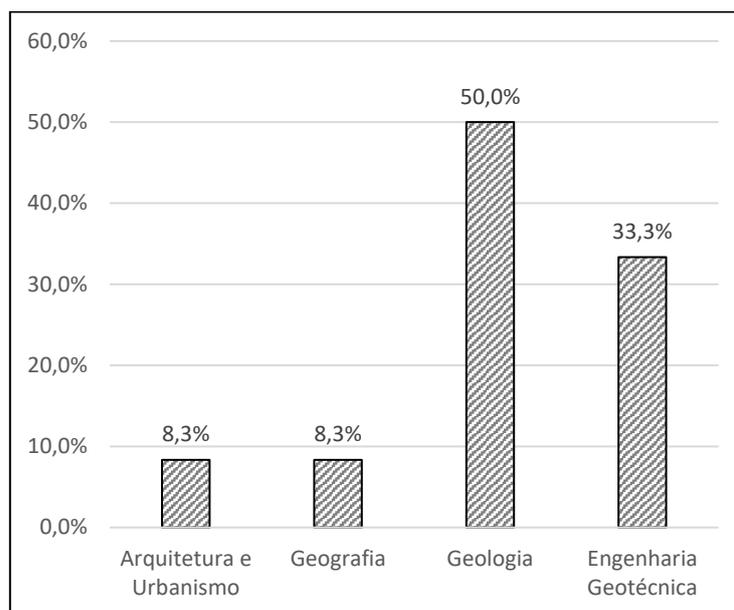
Para definição dos pesos dos critérios e das classes de critérios contribuintes para a suscetibilidade a movimentos de massa em Duque de Caxias empregou-se o AHP (item 2.3, APÊNDICE 5). A atribuição dos valores de cada comparação binária foi dada por especialistas, de acordo com a metodologia da Técnica Participatória.

Para a realização da Técnica Participatória, buscou-se inicialmente reunir o contato do maior número possível de especialistas com formação acadêmica e experiência nas áreas de geologia, engenharia geotécnica, geografia e urbanismo, com foco em temas como suscetibilidade a movimentos de massa, mapeamento geológico-geotécnico e escorregamentos. Foram selecionados 75 especialistas em todo o Brasil, a partir da pesquisa em plataformas de artigos acadêmicos publicados, busca em sites institucionais de universidades, órgãos públicos e empresas privadas. Realizou-se a consulta ao currículo lattes de todos os especialistas para realizar uma triagem definitiva dos nomes.

Para todos os especialistas selecionados foi enviado por e-mail um questionário elaborado no *Google forms* (APÊNDICE 6) com perguntas relativas às comparações paritárias de critérios (declividade, uso e cobertura do solo, padrões de relevo e estradas não infraestruturadas) e classes de critérios (uso e cobertura do solo e estradas não infraestruturadas). No questionário constam também as orientações para respostas e perguntas sobre formação e experiência do especialista. As opções de respostas das comparações foi baseada na Escala Fundamental de Saaty (1991) e os pesos atribuídos foram introduzidos nas matrizes paritárias de decisão AHP, estruturadas conforme os julgamentos dos especialistas.

Dos 75 especialistas contactados, obteve-se a resposta de somente 12. A Figura 54 mostra a porcentagem relativa à área de formação dos especialistas respondentes:

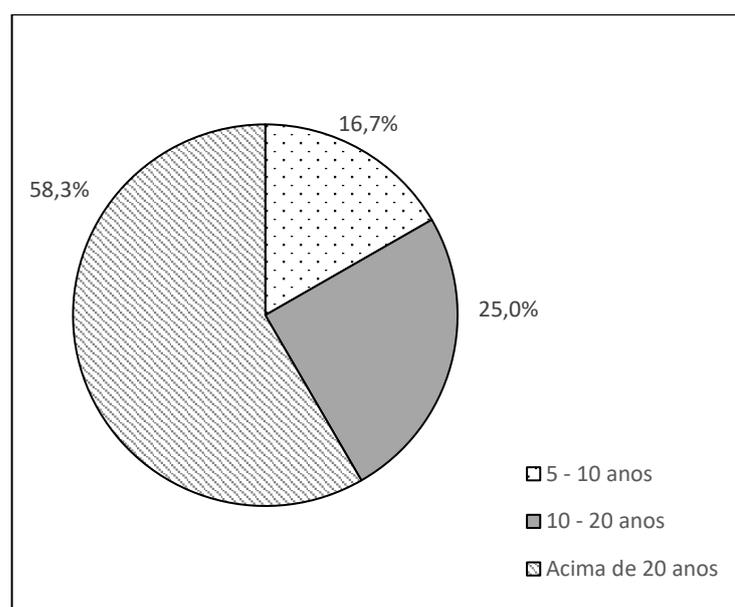
Figura 54 - Formação acadêmica dos especialistas respondentes do questionário do método AHP.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O Figura 55 apresenta a distribuição em porcentagem do tempo de experiência profissional dos especialistas e demonstra que a maioria dos respondentes (83,3%) possuem acima de 10 anos de experiência. Entre os especialistas participantes, encontram-se professores e pesquisadores das maiores universidades do país, funcionários de órgãos públicos como a GEO-RIO, da Prefeitura do Rio de Janeiro e consultores da área de interesse desta pesquisa.

Figura 55 - Tempo de experiência profissional dos especialistas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Cada especialista respondeu a 3 comparações: comparação entre critérios, comparação entre classe de critério “uso e cobertura do solo” e comparação entre classe de critério “Estradas não infraestruturadas”, o que gerou um total de 36 matrizes, sobre as quais foram aplicadas todas as etapas da metodologia AHP em planilhas de Excel® da Microsoft®. As planilhas da aplicação da metodologia AHP para as respostas de cada especialista estão apresentadas no Apêndice 7 deste trabalho.

Para a realização de cada comparação de critério e classe de critério apresentada nas planilhas, realizou-se o processo em 4 passos (ver APÊNDICE 7), com base nas etapas descritas por Malczewski (1999), descritas no APÊNDICE 5:

Etapa 1 - Desenvolvimento da matriz de comparação pareada (passo 1) - no primeiro passo ocorreu a inserção das respostas de cada especialista na matriz de comparação binária.

Etapa 2 - Matriz normalizada e cálculo dos pesos dos critérios (passos 2 e 3) - no passo 2 foi calculada a matriz de comparação normalizada e em seguida, no passo 3, foi calculado o peso relativo de cada critério comparado, denominado *eigenvector* normalizado.

Etapa 4 - Estimativa da razão de consistência (passo 4) – no quarto passo foi realizada a estimativa de consistência das respostas, constituída pela seguinte sequência: a- Vetor Soma Ponderada; b- Vetor de Consistência; c- Autovalor Máximo ($\lambda_{\text{máx}}$); d- Índice de Consistência (IC) e e- Razão de Consistência (RC).

Conforme mencionado, Saaty sugere que se o valor de RC de uma matriz for maior ou igual a 0,1, as suas avaliações deveriam ser revisadas pelos especialistas. Porém, em casos em que a avaliação dos itens é particularmente difícil ou complexa, pode-se adotar valores limites mais altos (0,2 ou 0,3, por exemplo) (APOSTOLOU, HASSELL, 1993; FOGLIATTO, ALBIN, 2003; GOEPEL, 2013). O próprio artigo do Saaty (1990) apresenta razões de consistência acima de 10%, o que demonstra o quão difícil é apresentar razão de consistência baixa. Diante disto, optou-se neste trabalho por estabelecer a $RC < 0,20$, sendo removidos da avaliação todos os julgamentos com razão de consistência acima de 20%, tanto para os critérios como para as classes de critérios.

Para a constituição dos resultados, utilizou-se a média aritmética do conjunto das respostas aptas ($RC < 0,20$) realizadas pelos especialistas. Os quadros e gráficos a seguir apresentam as médias dos resultados de cada comparação por cada área de formação com o peso final de cada critério (linha total geral) e os gráficos correspondentes.

Com relação a comparação entre os quatro critérios definidos, obteve-se como resultado da média de todos os especialistas que o critério declividade possui a maior importância na suscetibilidade a movimentos de massa (44%), seguido pelo critério de Padrões de Relevância (25%),

Uso e cobertura do solo (18%) e Estradas não infraestruturadas (13%) (Quadro 29). Esses valores são os adotados na Combinação Linear Ponderada para confecção do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana.

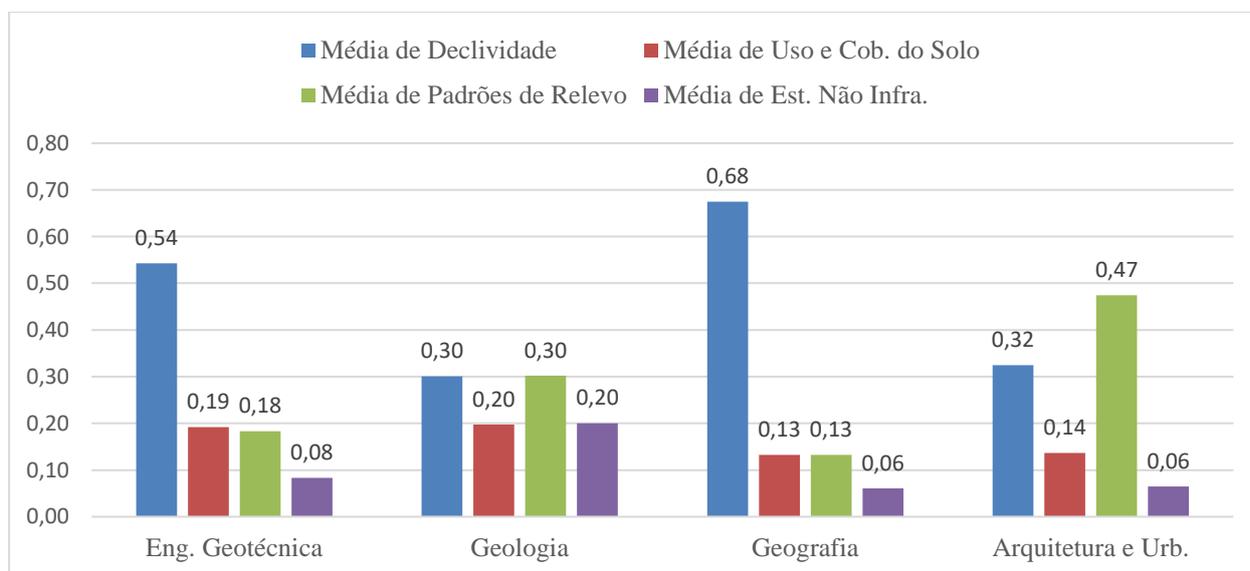
Quadro 29 - Média total e por formação do especialista dos pesos relativos de cada critério comparado.

Formação dos Especialistas	Média Declividade	Média Uso e Cob. do Solo	Média Padrões de Relevo	Média Estradas Não Infraestruturadas
Eng. Geotécnica	0,54	0,19	0,18	0,08
Geologia	0,30	0,20	0,30	0,20
Geografia	0,68	0,13	0,13	0,06
Arquitetura e Urbanismo	0,32	0,14	0,47	0,06
Total Geral	0,44	0,18	0,25	0,13

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Analisando os pesos dos critérios por área de formação por meio da Figura 56 é possível notar que o critério declividade obteve maior peso entre os especialistas de Engenharia geotécnica e Geografia, com 54% e 68%, respectivamente. Para os profissionais de Geologia o critério Declividade e Padrões de Relevo possuem o mesmo peso (30%), enquanto para Arquitetura e Urbanismo o critério Padrões de Relevo é ainda mais relevante (47%).

Figura 56 - Média por especialista dos pesos relativos de cada critério comparado.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No que diz respeito às classes de critério de Uso e cobertura do solo, os resultados (Quadro 30) mostram que a classe Áreas Antrópicas não agropastoris tem importância de 44%, seguida

pelas áreas Antrópicas não agropastoris (30%), Áreas Naturais não florestadas (14%) e Áreas Naturais Florestadas (12%), o que reforça a importância da influência da ação antrópica na suscetibilidade a movimentos de massa.

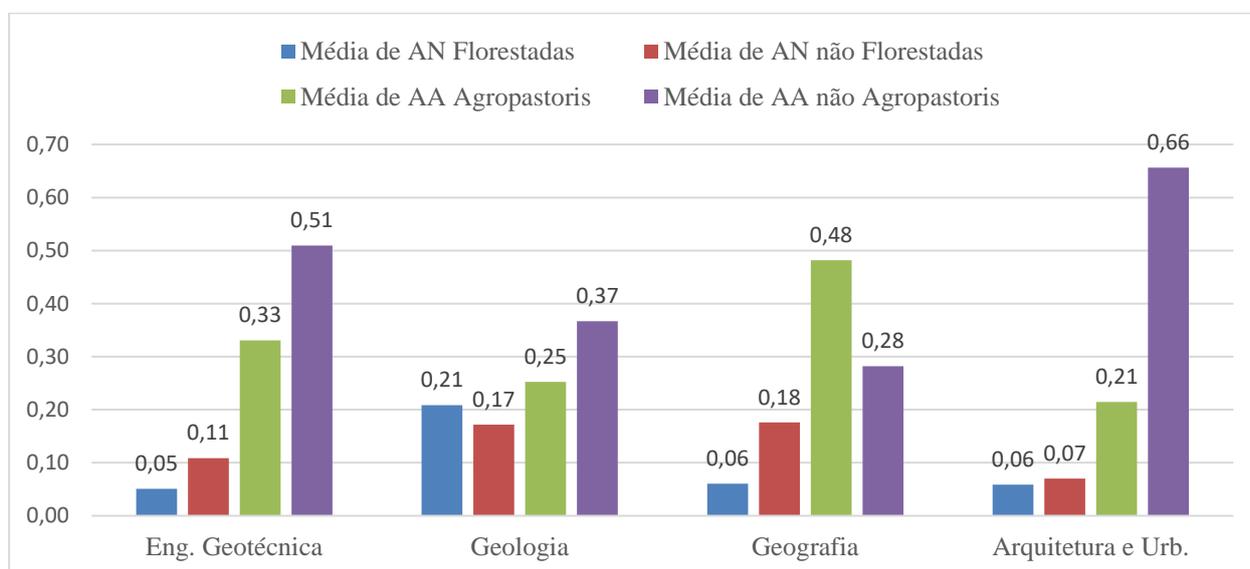
Quadro 30 - Média total e por formação do especialista dos pesos relativos de cada classe de critério de Uso e cobertura do solo comparada.

Formação dos Especialistas	Média AN Florestadas	Média AN não Florestadas	Média AA Agropastoris	Média AA não Agropastoris
Eng. Geotécnica	0,05	0,11	0,33	0,51
Geologia	0,21	0,17	0,25	0,37
Geografia	0,06	0,18	0,48	0,28
Arquitetura e Urbanismo	0,06	0,07	0,21	0,66
Total Geral	0,12	0,14	0,30	0,44

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Através da Figura 57 é possível notar que as Áreas Antrópicas não agropastoris e as Áreas Antrópicas agropastoris são reconhecidamente mais relevantes para a suscetibilidade a movimentos de massa entre todos os especialistas.

Figura 57 - Média por especialista dos pesos relativos de cada classe de critério de Uso e cobertura do solo comparada.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Quanto às classes de critério de Estradas não infraestruturadas, obteve-se como resultado da média das respostas de todos os especialistas que as estradas localizadas no sopé da encosta

possuem 41% de importância na suscetibilidade a movimentos de massa, enquanto as estradas localizadas no meio da encosta possuem importância de 32% e as localizadas na crista da encosta, 27% (Quadro 31).

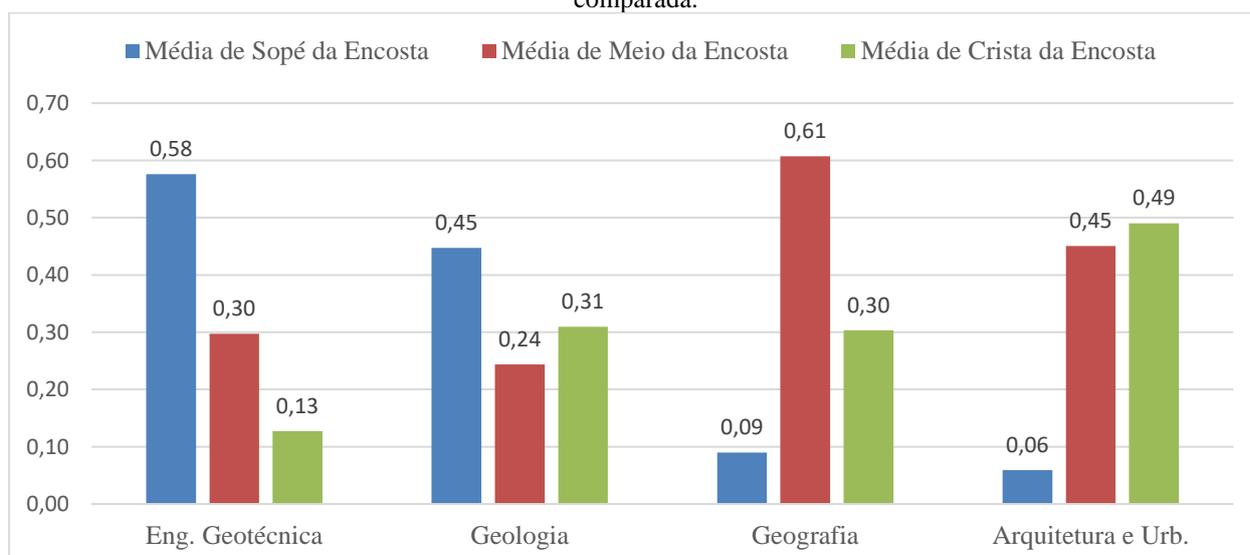
Quadro 31 - Média total e por especialista dos pesos relativos de cada classe de critério de Estradas não infraestruturadas comparada.

Formação dos Especialistas	Média de Sopé da Encosta	Média de Meio da Encosta	Média de Crista da Encosta
Eng. Geotécnica	0,58	0,30	0,13
Geologia	0,45	0,24	0,31
Geografia	0,09	0,61	0,30
Arquitetura e Urb.	0,06	0,45	0,49
Total Geral	0,41	0,32	0,27

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os resultados apresentados na Figura 58 demonstram que a classe de critério mais importante na média apresentou maior amplitude de variação de acordo com a área de formação. Para os profissionais de Engenharia Geotécnica e Geologia, as estradas no sopé da encosta são consideravelmente mais significativas, enquanto para os profissionais de Geografia a classe das estradas no meio da encosta alcança a maior porcentagem entre todas as avaliações (61%). Concluiu-se com estes resultados que este assunto pode ser mais explorado em novos estudos, tendo em vista a pouca quantidade de publicações a respeito e a divergência entre as respostas dadas.

Figura 58 - Média por especialista dos pesos relativos de cada classe de critério Estradas não infraestruturadas comparada.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os pesos atribuídos às classes de critério foram utilizados para a definição do grau de importância de cada classe dentro do critério correspondente, conforme descrito no item a seguir, informação posteriormente utilizada na aplicação da Combinação Linera Ponderada operada em SIG.

4.3.3.2 Padronização dos mapas de critérios

Os mapas de critérios foram padronizados de forma a permitir a análise comparativa pixel a pixel. Tendo em vista que cada camada de critério de entrada possui diferentes sistemas de numeração com diferentes faixas, para combiná-los em uma única análise cada célula de cada critério foi reclassificada em uma escala comum, de 1 a 3, sendo 1 o mais favorável a aptidão urbana, ou seja, o valor que menos influencia na suscetibilidade a movimentos de massa. Dessa forma, inicialmente, o mapa de critério de declividade apresentava-se em graus (quantitativo) e os demais mapas em unidades qualitativas, fazendo-se necessária a atribuição de valores numéricos às diferentes categorias dos critérios qualitativos. Em suma, foi implementada a uniformização da escala de variação dos valores dos mapas dos critérios de declividade, uso e cobertura do solo, padrões de relevo e estradas não infraestruturas, de tal forma que foram representados no intervalo de 1 a 3 (Quadro 32) a fim de posteriormente proceder-se o cruzamento de todos os mapas.

Quadro 32 - Correlação entre grau de influência na suscetibilidade a movimentos de massa e valor adotado.

GRAU DE INFLUÊNCIA NA SUSCETIBILIDADE	VALOR ADOTADO
Baixa	1
Média	2
Alta	3

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tendo em vista que era necessário conhecer o grau de influência na suscetibilidade a movimentos de massa de cada classe de critério para atribuir um valor correspondente, buscou-se diferentes procedimentos, de acordo com cada caso. Para uso e cobertura do solo e estradas não-infraestruturadas recorreu-se também ao AHP com consulta a especialistas, conforme visto no item anterior, uma vez que não foram encontrados precedentes na literatura para a mesma nomenclatura de classes utilizada neste trabalho. Já o grau de influência de cada classe de critério de declividade e padrões de relevo foi constituído com base na literatura, por diferentes razões. A declividade constitui-se num critério repetidamente utilizado em diversos trabalhos acadêmicos para avaliação

da suscetibilidade a movimentos de massa e, portanto, o grau de influência de cada classe de declividade é conhecido. Quanto ao critério de padrões de relevo, tendo em vista a especificidade e quantidade numerosa de classes, optou-se por buscar correlações das classes com o grau de influência na suscetibilidade com base em artigo já publicado e a partir da Carta Geotécnica de Suscetibilidade de Duque de Caxias.

O Quadro 33 apresenta o panorama dos procedimentos adotados para a padronização dos mapas de critérios.

Quadro 33 - Características dos critérios e processo de normalização dos dados.

MAPA DE CRITÉRIO	NATUREZA DOS DADOS	ETAPAS PARA PADRONIZAÇÃO
Mapa de declividade	quantitativo	Consulta à Literatura / Atribuição de valores de influência na suscetibilidade no intervalo de 1 a 3.
Mapa de uso e cobertura do solo	qualitativo	Consulta aos especialistas / Aplicação AHP/ Atribuição de valores de influência na suscetibilidade no intervalo de 1 a 3.
Mapa de padrões de relevo	qualitativo	Consulta à Literatura / Correlação com classes qualitativas/ Atribuição de valores de influência na suscetibilidade no intervalo de 1 a 3.
Mapa de estradas não-infraestruturadas	qualitativo	Consulta aos especialistas / Aplicação AHP / Atribuição de valores de influência na suscetibilidade no intervalo de 1 a 3.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para declividade, os graus de influência na suscetibilidade adotados (Quadro 34) são baseados em Faria e Augusto Filho (2013) e Torres (2014).

Quadro 34 - Classes de declividade a grau de influência na suscetibilidade adotado.

CLASSES	GRAU DE INFLUÊNCIA NA SUSCETIBILIDADE	VALOR ADOTADO
0° - 5°	Baixa	1
5° - 17°		
17 - 25°	Média	2
25 - 45°	Alta	3
>45°		

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para as classes de uso e cobertura do solo, recorreu-se à consulta aos especialistas e aplicação do método AHP de modo a obter a influência de cada classe na suscetibilidade. Os pesos obtidos (Áreas Naturais Florestadas - 12%; Áreas Naturais não florestadas - 14%; Áreas Antrópicas agropastoris -30%; Áreas Antrópicas não agropastoris - 44%) foram utilizados para a definição dos graus de influência na suscetibilidade a movimentos de massa conforme o Quadro 35:

Quadro 35 - Classes de Uso e cobertura do solo a grau de influência na suscetibilidade adotado.

CLASSES	GRAU DE INFLUÊNCIA NA SUSCETIBILIDADE	VALOR ADOTADO
Áreas Naturais Florestadas	Baixa	1
Áreas Naturais não Florestadas		
Áreas Antrópicas Agropastoris	Média	2
Áreas Antrópicas não agropastoris	Alta	3

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para a definição dos graus de influência na suscetibilidade a movimentos de massa das classes de padrões de relevo utilizou-se como base a metodologia de pesquisa desenvolvida por Noronha et al. (2015), que identificaram suscetibilidades baixa, média e alta para os padrões de relevo de 50 municípios dos estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), baseados em modelagem estatística que levou em conta os fatores predisponentes do terreno frente a movimentos de massas. Dessa forma, os autores detectaram os cenários geomorfológicos preferenciais à ocorrência a movimentos de massa a partir da frequência de ocorrência em cada classe, apoiados num processo de retroanálise na qual os produtos das cartas (classes de suscetibilidade) são usados para identificar os cenários geomorfológicos (padrões de relevo). Fundamentado neste procedimento, este trabalho realizou as correlações entre os padrões de relevo de Duque de Caxias e os graus de suscetibilidade predominantes para cada padrão de relevo a partir dos graus adotados para as cidades do RS e SC, bem como na análise da Carta Geotécnica de suscetibilidade (CGS) do município de Duque de Caxias produzida pelo CPRM (2013a). Nos casos em que um padrão de relevo contemplava duas classes de suscetibilidade com relevância semelhante, optou-se por atribuir a este padrão o maior grau de influência na suscetibilidade a movimentos de massa, em favor da segurança. Assim, por exemplo, o padrão de relevo “morros altos” contempla em Duque de Caxias áreas de “média” e de “alta” suscetibilidade, então adotou-se neste caso o grau de influência “alto” na suscetibilidade a movimentos de massa. Os resultados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 7 - Relação entre padrões de relevo e grau de influência na suscetibilidade para cidades do RS, SC e para o município do estudo: Duque de Caxias -RJ.

PADRÕES DE RELEVO	GRAU DE INFLUÊNCIA NA SUSCETIBILIDADE PREDOMINANTE CIDADES RS e SC (NORONHA ET AL., 2015)	GRAU DE INFLUÊNCIA NA SUSCETIBILIDADE PREDOMINANTE CGS DUQUE DE CAXIAS (CPRM, 2016)	GRAU DE INFLUÊNCIA NA SUSCETIBILIDADE PREDOMINANTE ATRIBUÍDO A DUQUE DE CAXIAS
Escarpas de Borda de Planaltos	Alta	Média/Alta	
Domínio Serrano	Alta	Média/Alta	
Inselbergs e Outros Relevos Residuais (picos isolados, morros residuais, pontões, monolitos)	-	Alta	Alta
Cristas Isoladas e Serras Baixas	-	Média/Alta	
Morros Altos	Média/Alta	Média/Alta	
Morros Baixos	Média	Média/Alta	
Colinas	Baixa	Baixa/ Média	
Rampas de Colúvio/ Depósitos de Tálus	-	Baixa/ Média	Média
Planícies de Inundação (Várzeas)	Baixa	Baixa	
Baixadas Alúvio-Coluvionares	-	Baixa	
Rampas de Alúvio-Colúvio	Baixa	Baixa	Baixa
Planícies Fluvio-marinhas (brejos)	Baixa	Baixa	
Depósitos Tecnogênicos (aterros sobre corpos d'água)	-	Baixa	
Planícies Fluvio-marinhas (mangues)	Baixa	Baixa	*
Depósitos Tecnogênicos (aterros sanitários)	-	Baixa	*

* Os padrões de relevo **Planícies Fluvio-marinhas (mangues)** e **Depósitos Tecnogênicos (aterros sanitários)** não foram considerados dentro deste critério para fins de cálculo, visto que foram elencados como **Restrições de ocupação** anteriormente.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Deste modo, o Quadro 36 sintetiza as classes de padrões de relevo presentes dentro do território de Duque de Caxias e seus respectivos graus de influência na suscetibilidade categorizados no intervalo de 1 a 3, já excluídas as restrições adotadas na Lógica Booleana (Planícies Fluvio-marinhas (mangues), definidas como APP de mangue; e Depósitos Tecnogênicos (aterros sanitários), definido como Área de risco de Contaminação Ambiental).

Quadro 36 - Classes de Padrões de Relevo e grau de suscetibilidade adotado.

CLASSES	GRAU DE INFLUÊNCIA NA SUSCETIBILIDADE	VALOR ADOTADO
Planícies de Inundação (Várzeas), Baixadas Alúvio-Coluvionares, Rampas de Alúvio-Colúvio,	Baixa	1

Planícies Fluvio-marinhas (brejos), Depósitos Tecnogênicos (aterros sobre corpos d'água)		
Colinas, Rampas de Colúvio/ Depósitos de Tálus	Média	2
Escarpas de Borda de Planaltos, Domínio Serrano, Inselbergs e Outros Relevos Residuais (picos isolados, morros residuais, pontões, monolitos), Cristas Isoladas e Serras Baixas, Morros Altos, Morros Baixos	Alta	3

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Quanto as classes de estradas não-infraestruturadas, utilizou-se consulta aos especialistas e aplicação do método AHP para definição do grau de influência na suscetibilidade. Os pesos obtidos (Crista da encosta - 27%; Meio da encosta - 32%; Sopé da encosta - 41%;) foram associados à influência baixa, média e alta na suscetibilidade, respectivamente, conforme o Quadro 37:

Quadro 37 - Classes de Estradas não infraestruturadas e grau de influência na suscetibilidade adotado.

CLASSES	GRAU DE INFLUÊNCIA NA SUSCETIBILIDADE	VALOR ADOTADO
Estrada não infraestruturada na CRISTA da encosta	Baixa	1
Estrada não infraestruturada no MEIO da encosta	Média	2
Estrada não infraestruturada no SOPÉ da encosta	Alta	3

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

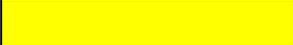
4.3.3.3 Sobreposição dos Mapas de critérios

Uma vez definidos os pesos dos critérios e os graus de influência na suscetibilidade de cada classe de critério, iniciou-se os procedimentos para a última etapa da Combinação Linear Ponderada, a sobreposição dos mapas de critérios (Figura 59), realizada neste trabalho por meio do software ArcGis 10.8.

Em cada mapa de critério foram excluídas as áreas de restrições do Mapa de Restrições obtido na etapa de Aplicação da Lógica Booleana, conforme exposto no item 4.3.2. Os mapas de critérios resultantes, já excluídas as áreas de restrição, foram todos criados com base no tamanho de célula do raster de declividade. Para a sobreposição dos rasters foi utilizada a ferramenta de Sobreposição Ponderada (*Weighted Overlay*), que por meio de álgebra simples permite sobrepor diversos arquivos em formato raster utilizando uma escala de medição comum e ponderar cada um

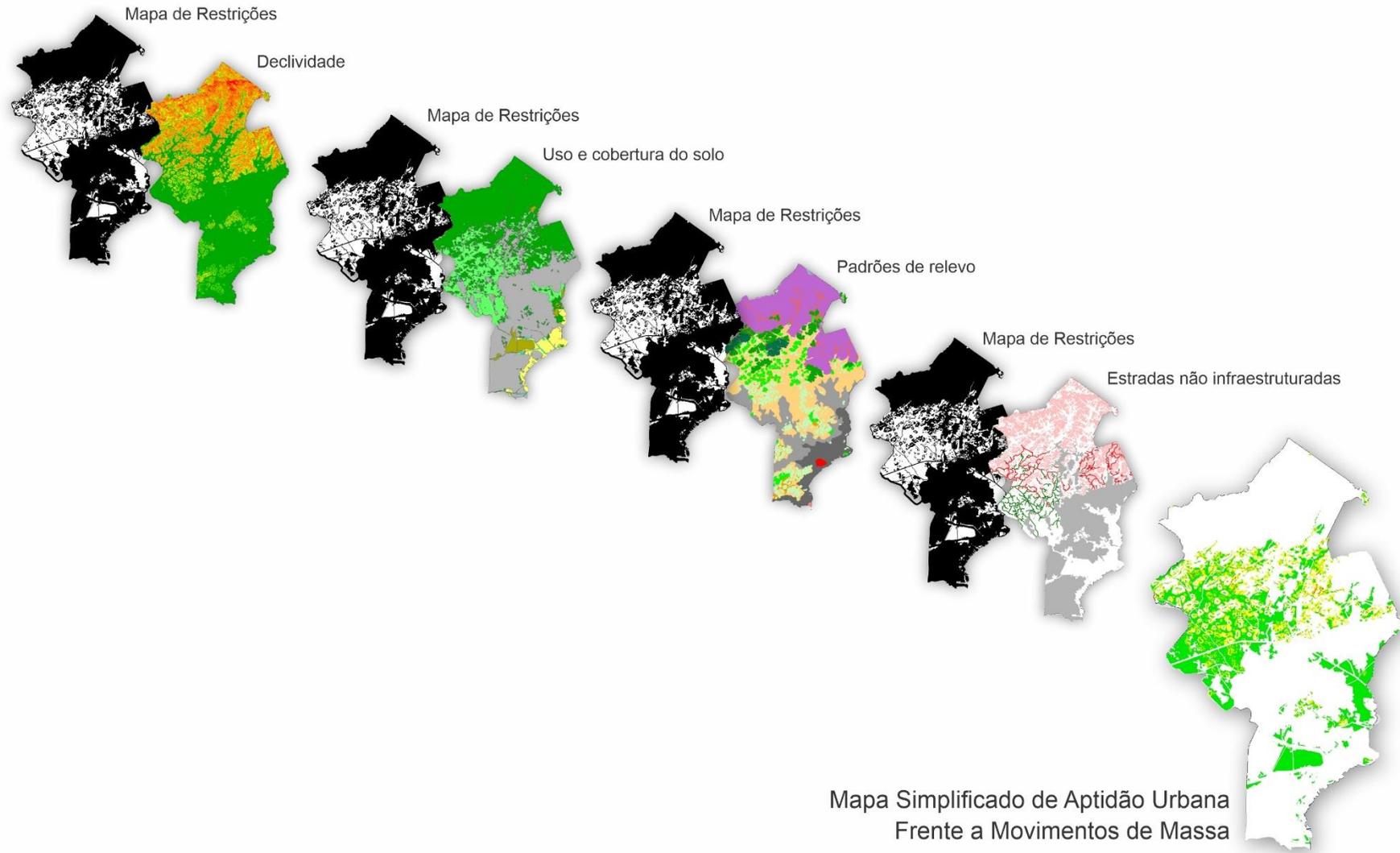
de acordo com a sua importância (as classificações de cada camada são multiplicadas pelo valor de ponderação dessa camada antes de serem somadas às outras camadas). Desse modo, a cada classe de critério foram atribuídos os valores definidos no item 4.3.3.2 e para cada mapa foi dado o peso obtido por meio do AHP, (procedimento descrito no item 4.3.3.1), de maneira que a soma da ponderação de todos os mapas é de 100%. O resultado da sobreposição é o Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa (Figura 60), classificado em três classes de aptidão, baixa, média e alta (Quadro 38):

Quadro 38 - Grau de aptidão urbana e cor de representação no mapa.

GRAU DE APTIDÃO URBANA	COR DE REPRESENTAÇÃO
Baixa Aptidão Urbana	
Média Aptidão Urbana	
Alta Aptidão Urbana	

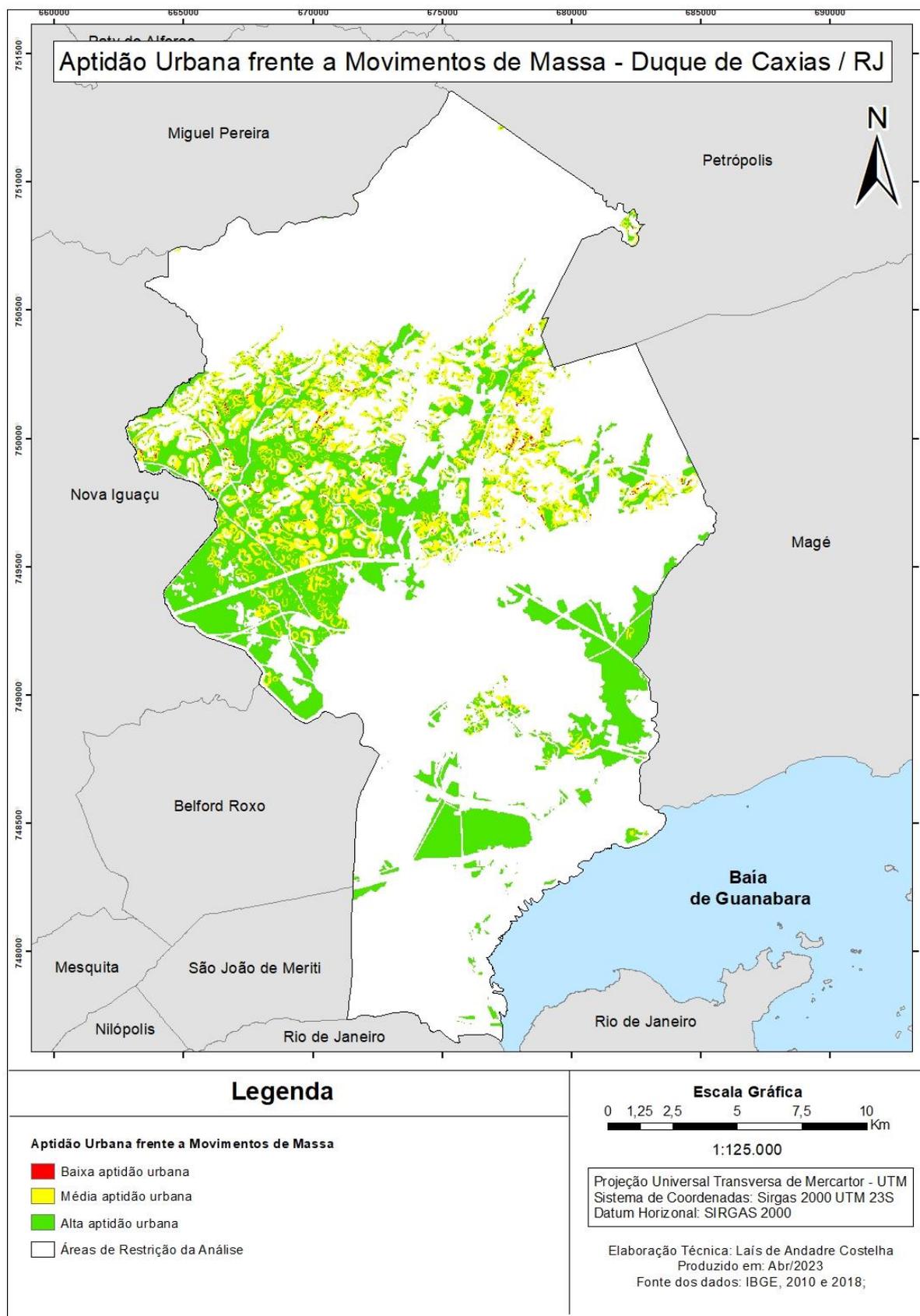
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 59 - Aplicação da Combinação linear ponderada para análise em Duque de Caxias: sobreposição de mapas em ferramenta SIG.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 60 - Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa de Duque de Caxias.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.4 DIRETRIZES PARA PLANEJAMENTO URBANO EM DUQUE DE CAXIAS COM BASE NAS INFORMAÇÕES DE APTIDÃO URBANA FRENTE A MOVIMENTOS DE MASSA.

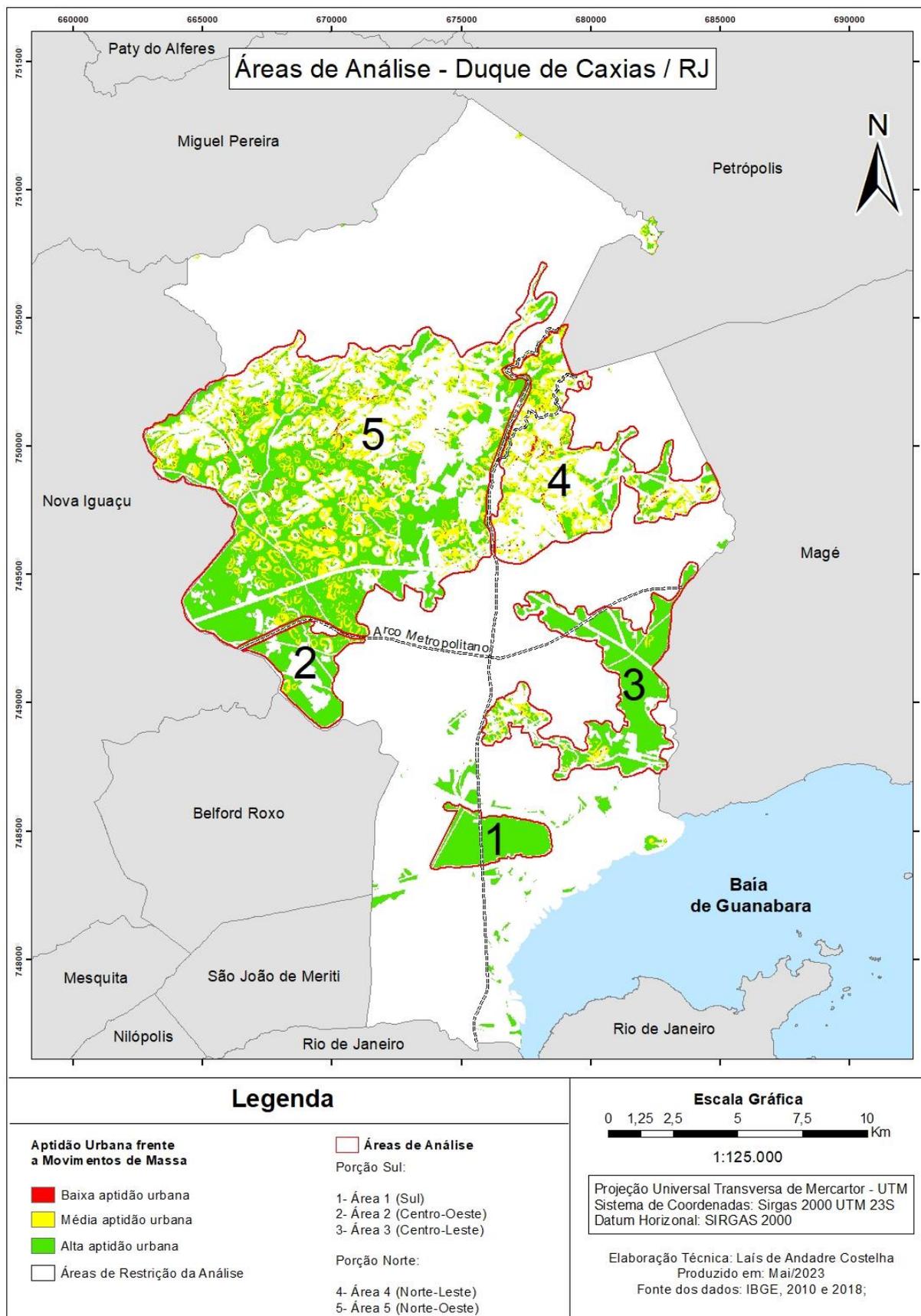
4.4.1 Considerações Iniciais

Neste tópico serão analisados os resultados do mapeamento de aptidão urbana de Duque de Caxias sob a ótica do planejamento urbano. Considerando que o processo de planejamento urbano e confecção da legislação urbanística do município não teve aporte de informações sobre suscetibilidade a movimentos de massa, pretende-se com este trabalho subsidiar a Revisão do Plano Diretor do município e a elaboração de suas leis complementares por meio da consideração das características do meio físico no direcionamento do seu crescimento urbano nos próximos anos. Desse modo, cabe a análise da ocupação urbana do município, suas áreas de expansão e a compreensão das áreas não ocupadas aptas a ocupação urbana do ponto de vista dos movimentos de massa.

Inicialmente, com base no Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa, dividiu-se a área analisada do território em duas porções e 5 áreas não ocupadas (Figura 61): I. Porção Sul, composta pelas áreas 1 (Sul), 2 (Centro-Oeste) e 3 (Centro-Leste), abaixo do Arco Metropolitano, majoritariamente apta à ocupação urbana sob o aspecto dos movimentos de massa, possuindo pontos isolados de média e baixa aptidão urbana. Esta porção é mais suscetível a eventos de inundação; II. Porção Norte, composta pelas áreas 4 (Norte-leste) e 5 (Norte-oeste), acima do Arco Metropolitano, é intercalada constantemente por áreas de média e baixa aptidão urbana e é mais suscetível a ocorrência de movimentos de massa. Na porção Norte, as escarpas de Serra do Mar, na divisa com os municípios à norte, atingem mais de 1.000m de altitude e apresentam as maiores declividades, com alto grau de instabilidade das encostas. Entre as escarpas e as áreas de planície encontra-se um relevo ondulado a fortemente ondulado de amplitude média, com padrões de morros baixos, morros altos e colinas isoladas, entremeados de várzeas. Quanto mais próximos à Serra os padrões de relevo apresentam maiores amplitudes e declividades. A porção Sul, formada majoritariamente por planícies que atuam como depósitos de sedimentos fluviais e marinhos, apresenta baixa declividade e é onde se concentra a maior parte da ocupação urbana. A conformação do relevo, combinada a diversos fatores como alta pluviosidade e temperaturas, conferem ao município grande instabilidade morfodinâmica, com processos de erosão nas encostas e inundações nas planícies.

Cada porção será analisada individualmente para que posteriormente seja traçado um panorama geral da expansão urbana do município.

Figura 61 - Mapa das áreas de análise na Porção Sul e Porção Norte do município.



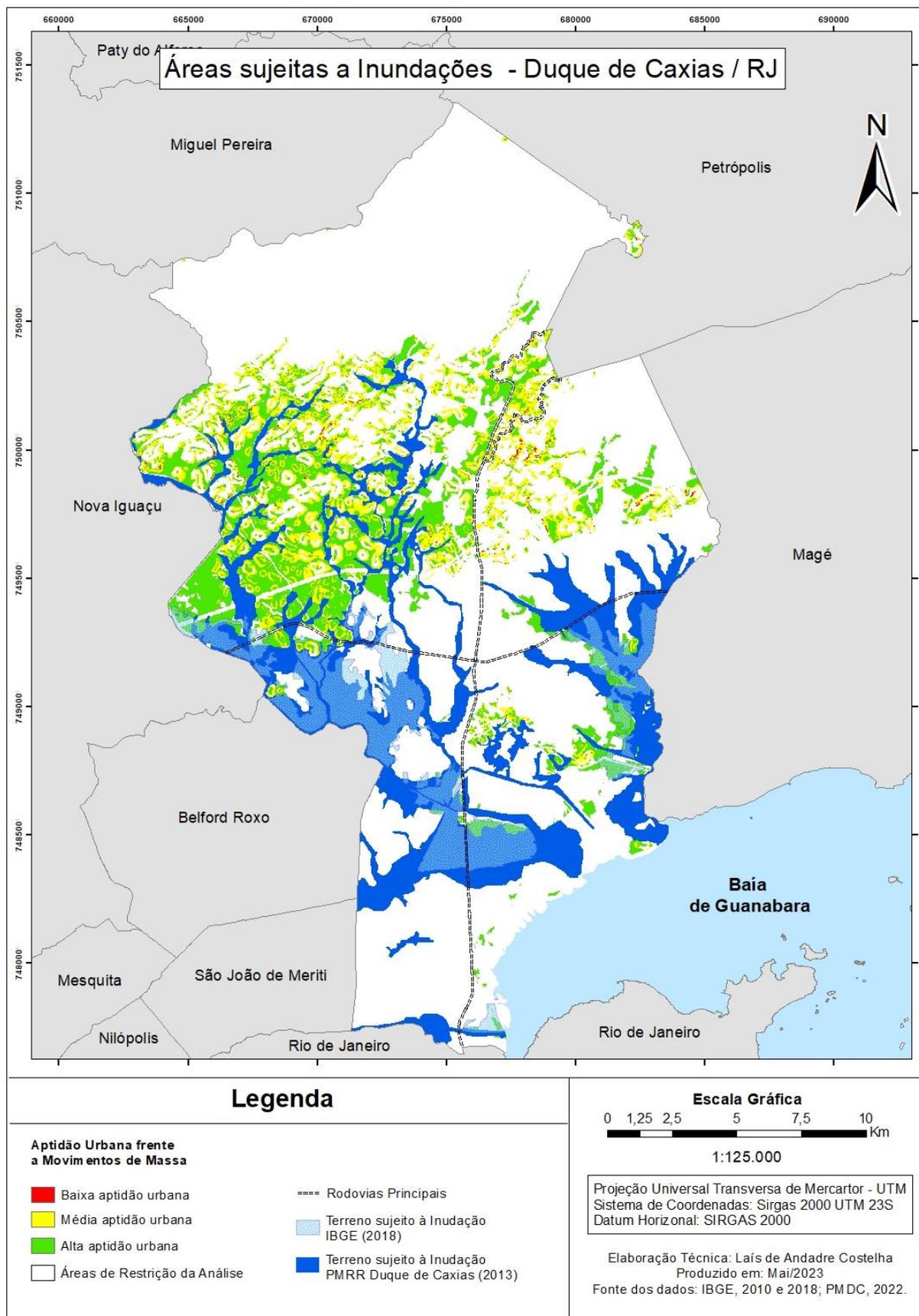
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.4.2 Diretrizes de Ocupação da Porção Sul (Áreas 1, 2 e 3)

De modo geral, a Porção Sul do território não apresenta impedimentos de ocupação quanto a suscetibilidade a movimentos de massas, com alguns pontos isolados a serem analisados em escala de detalhe. Cabe destacar que alguns trechos já ocupados desta porção, relativos a padrões de relevo de colinas e morros baixos considerados de baixa e média suscetibilidade pela Carta de Suscetibilidade (CPRM, 2016), configuram como áreas de risco pelo Plano Municipal de Redução de Riscos, principalmente em função de cortes e aterros executados sem projeto de engenharia, o que reflete a importância da forma de ocupação sobre a estabilidade das encostas.

Apesar da alta aptidão à ocupação urbana quanto a movimentos de massa em maior parte da porção sul, deve-se mencionar algumas particularidades da área quanto a questão das inundações. As áreas de planícies da região atuam como depositante de sedimentos, o que gera grandes áreas inundáveis. O processo de urbanização das planícies de inundação agravou o problema com as cheias, devido a fatores como a ocupação de áreas ribeirinhas e o carreamento de sedimentos e assoreamento dos cursos d'água provocados pela erosão das terras devido a remoção da vegetação original, abertura de estradas e ruas sem pavimentação, obras de terraplanagem e construção e extração mineral em encostas. Ademais, a impermeabilização do solo e a canalização de trechos de rios como o Iguaçu, o Sarapuí, o Tinguá, o Capivari e o Saracuruna também contribuem para o aumento da área de extravasamento das águas nos períodos chuvosos. Dessa forma, essa porção do território apresenta grande quantidade de áreas sujeitas a inundações, conforme mapa da Figura 62.

Figura 62 - Mapa das áreas sujeitas a inundação no município.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Área 1 (Sul), composta por trecho da APA São Bento e pelo território denominado Campo da Bomba 1, mantém-se não ocupada ainda hoje. Levando em consideração que a malha urbana do município se formou no sentido sul-norte, acompanhando a ferrovia e as margens da via de maior vulto (rodovia Rio - Petrópolis, hoje Av. Presidente Kennedy, e Rodovia Washington Luís - BR 040), seria natural a sua urbanização. Porém, trata-se de uma localidade constantemente sob a mira do Ministério Público e da sociedade civil organizada, em função da sua importância para o equilíbrio da macrodrenagem de Duque de Caxias e outros municípios da Baixada Fluminense.

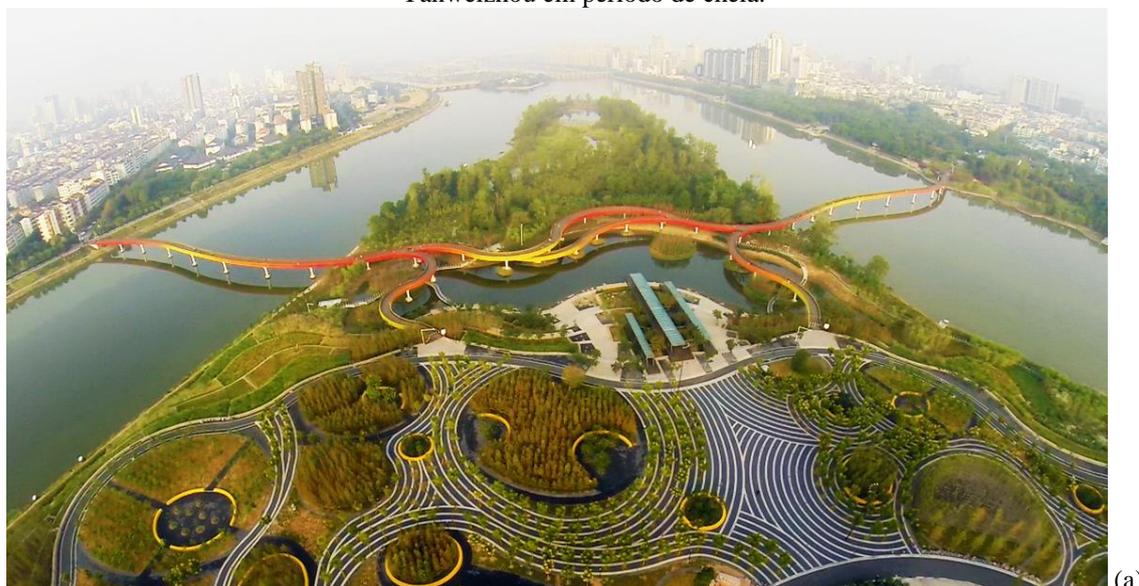
A APA São Bento foi prevista para o controle de inundações, conforme trecho do seu dispositivo de criação, Decreto Municipal nº 3.020/1997: “(...) considerando que grande parte da área é sujeita a inundações periódicas tornando-se naturalmente um ecossistema de suma importância por abrigar espécies raras ou ameaçadas de extinção e ser área de transbordamento de dois importantes rios (Sarapuí e Iguaçu) que percorrem o Município (...)”. Do mesmo modo, o Campo da Bomba 1, suprimido da APA São Bento pelo Decreto nº 2003 de 27 de outubro de 2006, também tem importância como amortecedor natural de inundações. Porém, este território é alvo de conflitos de interesses, visto que a Prefeitura Municipal de Duque de Caxias prevê o aterramento do terreno para concessão de uso pela Central de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro (CEARJ), enquanto a sociedade civil organizada luta contra esta implantação, atualmente aguardando decisão judicial (VEJARIO, 2021). Além disso, esta área sofre pressão de ocupação por meio da venda de terrenos em loteamentos irregulares por milícias (EXAME, 2019; O DIA, 2021).

Diante disto, entende-se a importância da Área 1 para o controle natural de inundações e recomenda-se soluções que integrem a questão da drenagem com o crescimento urbano e a paisagem urbana, de modo a minimizar os impactos no ciclo hidrológico natural, com base numa nova abordagem no campo da drenagem urbana (REZENDE, 2013). A proposta de criação de áreas com enfoque no uso de dispositivos mitigatórios em drenagem urbana tem sido a resposta urbanística e paisagística utilizada por diferentes cidades no mundo, por meio de técnicas como as bacias de retenção, biovaletas, reúso da água, hortas urbanas, jardins de chuva, entre outras. Desse modo, uma possível solução para a Área 1 poderia ser a criação de um parque urbano alagável, projetado para permanecer parcialmente alagado no período de cheias, quando ficaria transitável somente por passarelas suspensas, enquanto nos períodos de seca todas as partes poderiam ser utilizadas. Projetos desse tipo tem sido largamente implantados em diversos países, como é o caso da China, com exemplos como o Parque alagável Yanweizhou (Figura 63- a e 63-b), na cidade de Jinhua, (Zhejiang Province) e o Parque alagável de Qunli, na cidade de Harbin (Heilongjiang Province),

ambos projetados pelo escritório chinês Turenscape, do arquiteto fundador Kongjian Yu, importante arquiteto paisagista que introduziu o conceito de cidade-esponja na Ásia. Projetos dessa categoria geralmente contribuem não somente com a questão das cheias, mas também na conservação da biodiversidade e preservação do meio ambiente, bom funcionamento da infraestrutura convencional de drenagem urbana, além de qualificar o espaço urbano com oferta de áreas de lazer.

Ademais, áreas inundáveis como a da Área 1 em geral não exigem soluções técnicas complexas como as necessárias à resolução de áreas contaminadas (consideradas neste trabalho como áreas de restrição), que na maior parte dos casos demandam um alto custo de investimento em soluções de descontaminação antes da efetiva proposição de um projeto urbano.

Figura 63 - (a) Parque alagável Yanweizhou, na cidade de Jinhua, em período de seca (b) Parque alagável Yanweizhou em período de cheia.



Fonte: (a) e (b) Turenscape (2023).

A Área 2, adjacente ao Arco Metropolitano, é predominantemente sujeita a inundações, conforme dados do IBGE (2018) e do Plano Municipal de Redução de Riscos de Duque de Caxias (PMRR, 2013). Engloba os loteamentos Penha Caixão e 6ª gleba do núcleo colonial São Bento. As implicações da urbanização nesta área podem ser vistas nas constantes cheias que ocorrem no Bairro Amapá (Figuras 64-a, 64-b e 64-c). Portanto, a decisão de ocupação das áreas ainda não ocupadas deve ser avaliada em escala de detalhe.

Figura 64 - (a), (b) e (c) Enchentes no Bairro Amapá, registradas por moradores e publicadas na página “Amigo do bairro Amapá”, no Facebook.



Fonte: (a) (b) e (c) Facebook (2013).

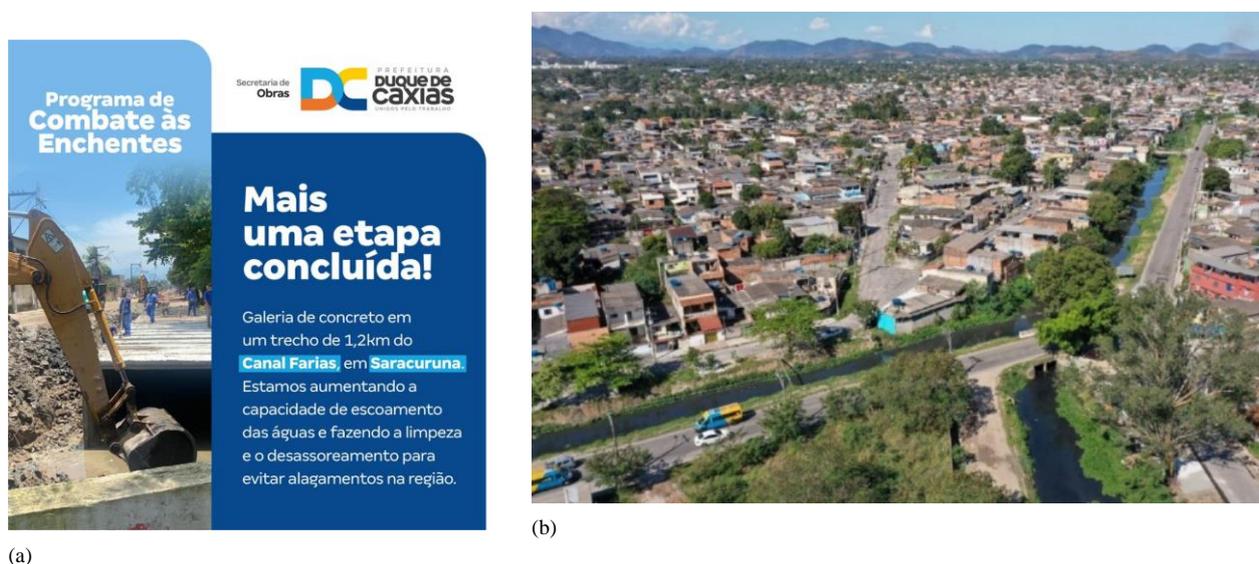
A Área 3, no entorno dos Rios Saracuruna e Roncador e adjacente à divisa com o município de Magé, está também englobada nas áreas sujeitas à inundações mapeadas pelo PMRR (2013) e pelo IBGE (2018). Abrange os bairros oficiais Cangulo, Parada Morabi, Saracuruna, Jardim Anhangá e Imbariê e a maior parte é correspondente ao loteamento Jardim Anhangá e Jardim Anhangá - 2º distrito (além de pequenos trechos dos loteamentos Parque da Estrela, Chácara Arcampo, Fazenda Cangulo e trechos sem loteamento).

Nas áreas inundáveis já ocupadas próximas aos Rios Saracuruna e Roncador há constantemente o problema com enchentes. Durante fortes chuvas que atingiram o município em março de 2013, o 3º distrito sofreu com inundações provocadas pelo transbordamento desses rios,

atingindo casas e lojas na região. De acordo com a Secretaria de Defesa Civil, na ocasião 12 famílias, totalizando 54 pessoas, ficaram desalojadas, com suas casas invadidas por até um metro de água (O GLOBO 2013).

Em 2022, a Prefeitura Municipal de Duque de Caxias iniciou obras de canalização do Rio Roncador (trecho de 2.150 metros) com a justificativa de minimizar o problema com enchentes nos bairros adjacentes (O DIA, 2022). Além disso, a prefeitura também mantém em funcionamento o “Programa de Combate às Enchentes” (Figura 65), iniciado em 2017, que nos 5 primeiros anos limpou e desassoreou mais de 300 quilômetros de rios e canais com o intuito de minimizar o impacto das chuvas (PREFEITURA DUQUE DE CAXIAS, 2022).

Figura 65 - Propaganda do “Programa de Combate às enchentes” veiculada pela Prefeitura Municipal de Duque de Caxias em sua página do Facebook, dia 14 de janeiro de 2021.



Fonte: (a) Facebook (2021); (b) Jornal da Hora (2022).

Entretanto, é importante ressaltar que tecnicamente a canalização e desassoreamento dos rios são medidas que não atingem a causa do problema de inundações. Como já mencionado, fatores como a impermeabilização do solo, a falta de cobertura vegetal, a expansão da mancha urbana de forma desordenada (a exemplo da ocupação sobre as áreas de várzeas ou margens dos rios) e as alterações nas vazões naturais dos rios devido as canalizações contribuem para a diminuição da capacidade de vazão dos sistemas de drenagem urbana, trazendo como consequência o aumento das inundações (SMITH et al., 2019). A abordagem tradicional da canalização tem sofrido mudanças desde a década de 70, quando medidas de reservação e infiltração surgiram como nova opção no final dos anos 70 (REZENDE, 2013). Diante disto,

observa-se que as ações ainda implementadas pelo poder público para a resolução das enchentes desconsidera a complexidade do problema e funciona somente como uma medida paliativa.

De acordo com as considerações acima expostas, entende-se que a ocupação da Área 3 da Porção Sul exige estudos em escala de detalhe quanto as questões de drenagem, a fim de garantir que problemas recorrentes com enchentes não se repitam nesta localidade, como vem acontecendo nas ocupações adjacentes.

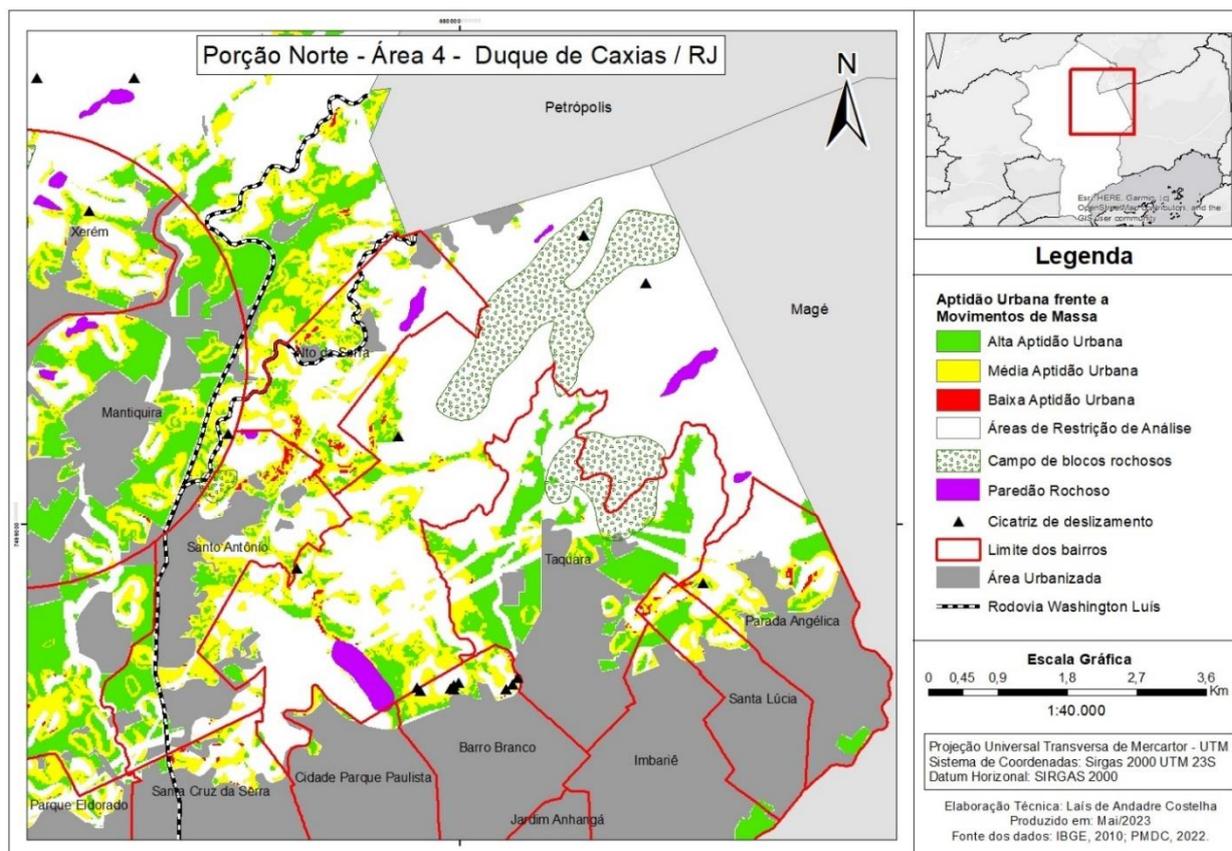
Vale ressaltar que não é o intuito deste trabalho aprofundar-se nos processos hidrológicos do município, sendo necessário um estudo específico para abordagem dessa temática. Nesta etapa limitou-se a indicar possíveis problemas da urbanização das áreas não ocupadas da Porção Sul (áreas 1, 2 e 3), que embora sejam aptas a ocupação com relação a movimentos de massa, demandam análises aprofundadas quanto às inundações. Para a determinação da aptidão à urbanização em relação a processos hidrológicos, deve-se executar a simulação dos cenários atuais e tendenciais de inundação viabilizando, desse modo, a concepção dos diferentes cenários do planejamento urbano, seja tornando as áreas de análise inaptas a ocupação, seja por meio da proposição de intervenções para que as áreas sejam classificadas como aptas com restrições.

4.4.3 Diretrizes de Ocupação da Porção Norte (Áreas 4 e 5)

Na Porção Norte do município predominam as áreas não ocupadas de maior suscetibilidade a movimentos de massa. Embora a ocupação urbana esteja concentrada nas regiões de planície da Porção Sul do município, em bairros da Porção Norte como Alto da Serra, Santo Antônio, Xerém e Mantiqueira existem ocupações em encostas, em alguns casos consideradas como áreas de risco no Plano Municipal de Redução de Riscos. Entende-se que o adensamento e crescimento desses bairros nas áreas consideradas de média e alta suscetibilidade poderá elevar o número de áreas risco e aumentar os índices do histórico de desastres associados a movimentos de massa do município.

Na área 4 (Figura 66), destacam-se as ocupações em áreas de encostas nos bairros Alto da Serra e Santo Antônio. São os maiores trechos ocupados de escarpas em Duque de Caxias, padrão de relevo que apresenta alta ocorrência de movimentos de massa. Em ambos os bairros existem loteamentos com áreas ainda não ocupadas, principalmente de média aptidão a ocupação urbana. Diante disto, traçou-se um panorama geral da aptidão a ocupação urbana e movimentos de massas para os bairros da Área 4, com destaque para os bairros Alto da Serra e Santo Antônio:

Figura 66 - Mapa de análise da Área 4 da Porção Norte do município.



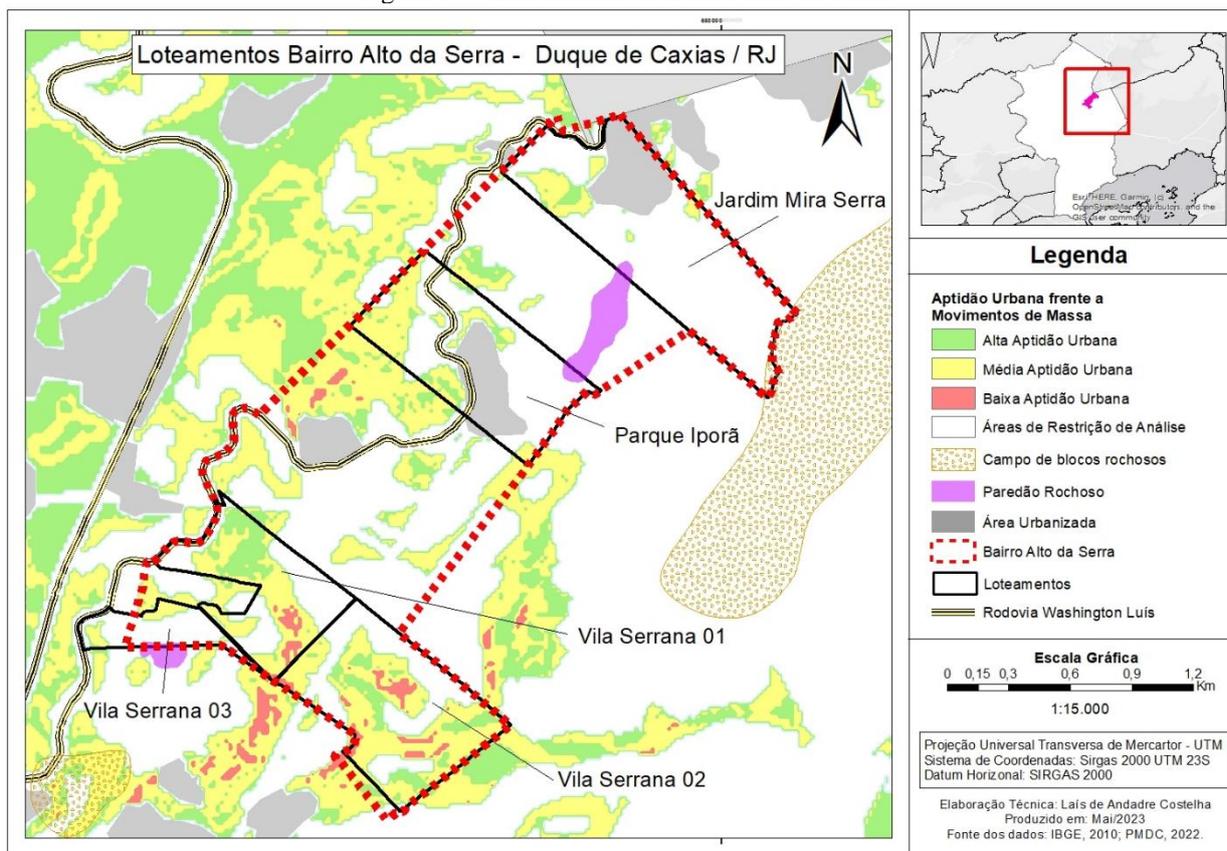
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

1. Alto da Serra:

As áreas não loteadas do bairro apresentam muitos trechos de alta suscetibilidade a movimentos de massa e foram consideradas como áreas de restrição, não sendo recomendada a ocupação. Existem trechos de média e alta aptidão urbana não loteados, adjacentes à Rodovia Washington Luís na subida da serra, porém recomenda-se a análise em escala de detalhe no caso de parcelamento da área.

O bairro engloba além de áreas não loteadas, os loteamentos Vila Serrana 01, 02 e 03, Parque Iporã e Jardim Mira Serra (Figura 67).

Figura 67 – Loteamentos do Bairro Alto da Serra.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os Loteamentos Vila Serrana 01 e 02 apresentam grandes porções de áreas de média e baixa aptidão urbana.

O Loteamento Vila Serrana 03 está praticamente todo dentro de área de alta suscetibilidade a movimentos de massa, sendo considerado não apto à ocupação urbana.

O Loteamento Parque Iporã possui pequeno trecho já urbanizado. Nas áreas não ocupadas, há trechos de média aptidão urbana e trecho com restrição de ocupação, devido à alta suscetibilidade a movimentos de massa. Destaca-se também que parte do loteamento está inserida dentro da Reserva Estadual Refúgio de Vida Silvestre da Serra da Estrela.

O Loteamento Jardim Mira Serra também possui pequeno trecho já urbanizado adjacente a áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa e possui considerável porção com restrição de ocupação devido à alta suscetibilidade a movimentos de massa. Também possui parte considerável da área dentro da Reserva Estadual Refúgio de Vida Silvestre da Serra da Estrela. Cabe ressaltar ainda sua adjacência à área de campo de blocos rochosos, suscetível a quedas, rolamentos ou tombamentos.

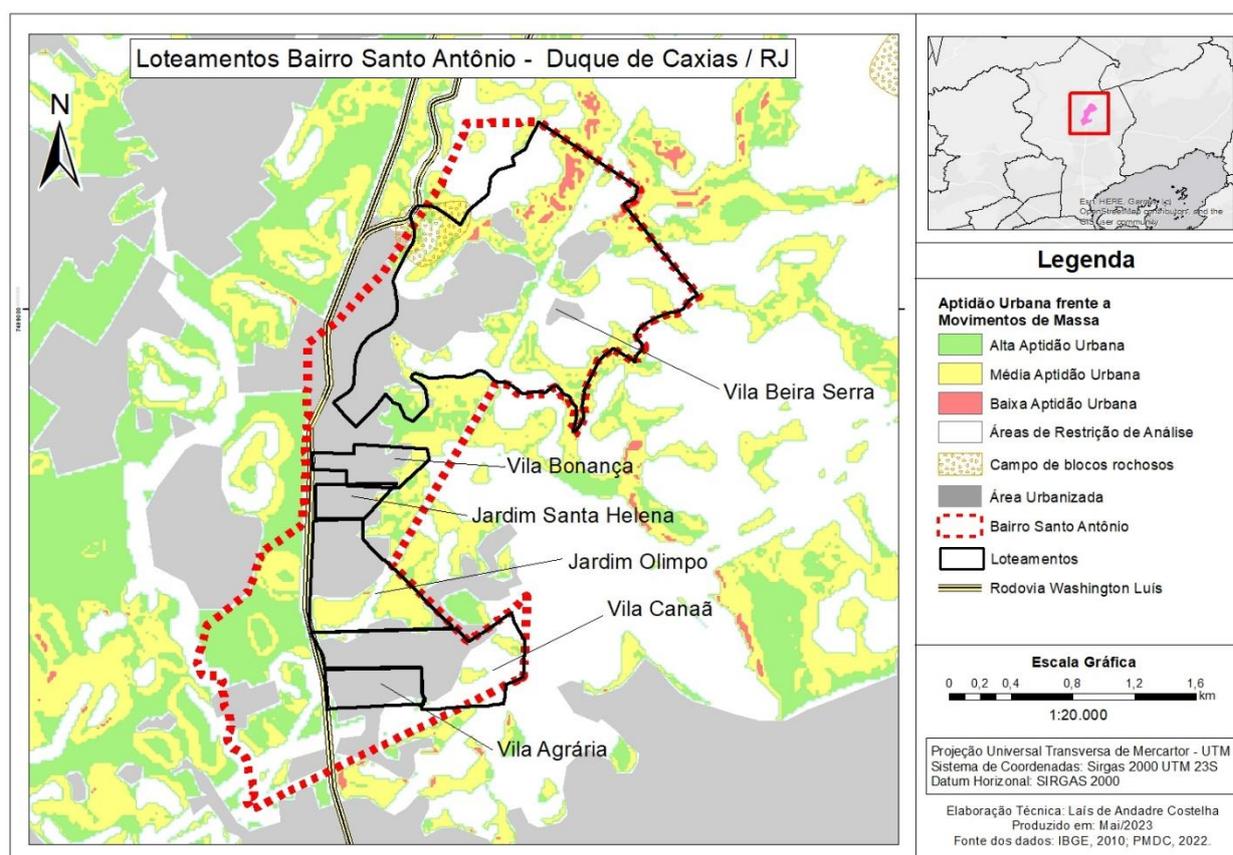
Destaca-se que a Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000 estabelece no § 1º do artigo 13 que “o Refúgio de Vida Silvestre pode ser constituído por áreas particulares, desde que seja

possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários”. Desse modo é importante que a Prefeitura Municipal avalie o licenciamento de projetos para a área em consonância com o disposto na lei. Assim, o § 2º do mesmo artigo determina que “havendo incompatibilidade entre os objetivos da área e as atividades privadas ou não havendo aquiescência do proprietário às condições propostas pelo órgão responsável pela administração da unidade para a coexistência do Refúgio de Vida Silvestre com o uso da propriedade, a área deve ser desapropriada”.

2. Santo Antônio:

O bairro engloba além de áreas não loteadas, os loteamentos Vila Beira Serra, Jardim Olimpo, Jardim Santa Helena, Vila Bonança, Vila Canaã e Vila Agrária, todos pertencentes ao 4º distrito (Figura 68).

Figura 68 - Loteamentos Bairro Santo Antônio.



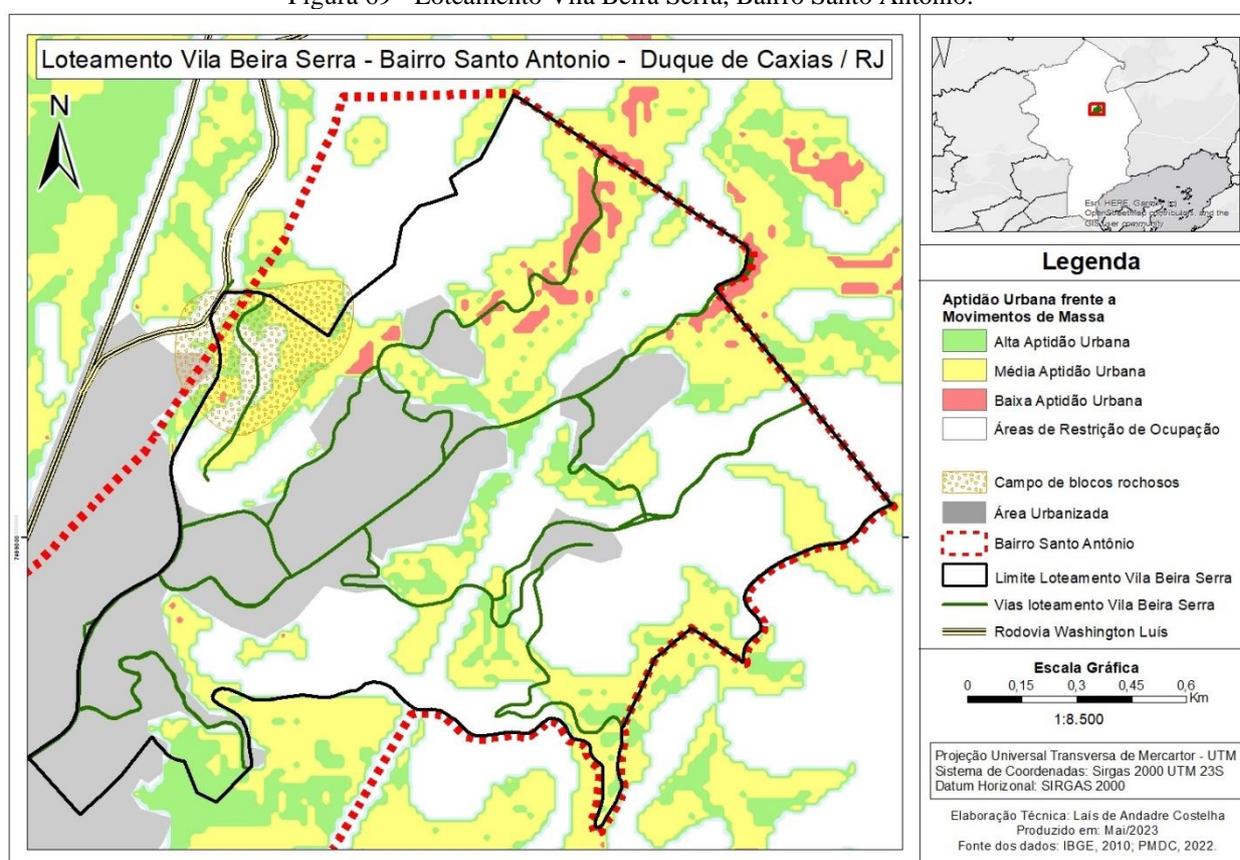
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os loteamentos Jardim Santa Helena, Vila Canaã e Vila Agrária possuem quase a totalidade dos seus territórios urbanizados.

O loteamento Jardim Olimpo possui pequeno trecho a ser urbanizado, com média aptidão urbana.

O loteamento Vila Beira Serra (Figura 69), considerável o maior em relação aos demais do bairro, possui grandes porções em áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa, já consideradas como restrição no Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa (cor branca). As áreas não ocupadas são majoritariamente de média aptidão a ocupação urbana, mas existem também trechos de baixa aptidão urbana. Destaca-se também trecho de campo de blocos rochosos, suscetível a quedas, rolamentos ou tombamentos.

Figura 69 - Loteamento Vila Beira Serra, Bairro Santo Antônio.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3. Demais bairros:

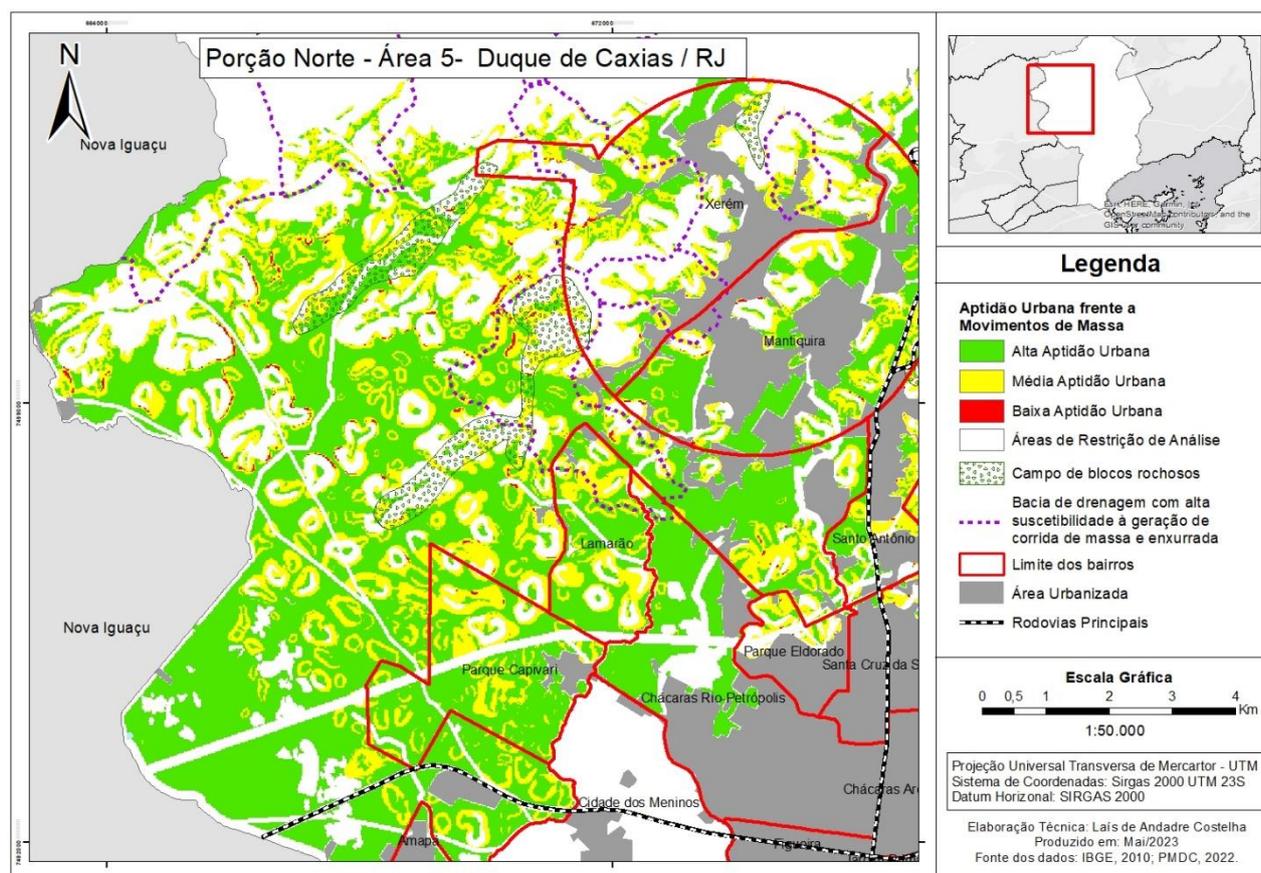
Quanto aos demais bairros da Área 4, vê-se que possuem crescimento limitado pelas Unidades de Conservação à norte. Os loteamentos estão em sua maior parte urbanizados, e os trechos que ainda não estão ocupados abrangem terrenos adjacentes ao sopé das encostas das áreas de preservação, de modo geral com boa e média aptidão a urbanização, sendo recomendada a

implementação das boas práticas da engenharia para a manutenção das condições de estabilidade dos terrenos.

Os loteamentos com áreas não ocupadas são Vila Santa Cruz, no bairro Santa Cruz da Serra; Jardim Rotsen, no bairro Barro Branco; Vila Bernadete, no bairro Parada Angélica e Parque Santo Antônio, no bairro Santa Lúcia. No loteamento Jardim Rotsen observa-se muitas cicatrizes de deslizamento em áreas de alta suscetibilidade e em trecho de baixa aptidão urbana, de acordo com informações extraídas do CPRM (2013a). Nos loteamentos Santo Antônio e Vila Bernardete também se observa áreas de alta suscetibilidade. Diante disso, recomenda-se a análise dessas áreas não ocupadas em escala de detalhe, de modo a reavaliar as recomendações de ocupação.

Quanto a Área 5, abrange os bairros Lamarão, Parque Capivari, Parque Eldorado, Chácaras Rio-Petrópolis, Mantiqueira, Xerém e parte dos bairros Cidade dos Meninos, Santo Antônio, Santa Cruz da Serra e Figueira (Figura 70). O trecho leste ao longo da Rodovia Washington Luís e no cruzamento desta com o Arco Metropolitano é o mais urbanizado, delimitado à oeste pela Av. Gen. Isidoro Lopes, lindeira ao rio Pilar. Trata-se de uma ocupação de baixa densidade urbana e médio padrão, constituída por muitos lotes ainda vazios e alguns estabelecimentos industriais, principalmente no bairro Figueira. Já o trecho oeste é formado por grandes porções não urbanizadas, concebidas como territórios rurais, ainda que a definição do limite entre urbano e rural não esteja muito clara na legislação do município, conforme será analisado mais adiante. A ocupação desta porção é caracterizada pela atividade agrícola, com áreas de pastagem e culturas, permeada por fragmentos de mata. Conforme já abordado no tópico 4.3.1.1.5, nas áreas não-urbanizadas da Área 5 também se concentram as lagoas resultantes de processos de extração de areia e áreas de minerações ainda ativas, algumas inseridas dentro do bairro Chácaras Rio-Petrópolis.

Figura 70 - Porção Norte - Área 5.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Essa área caracteriza-se pela transição entre o relevo plano e as escarpas, com a presença de padrões de relevo de colinas, morros baixos, morros altos, cristas isoladas e serras baixas, que em geral apresentam alta suscetibilidade a movimentos de massa em seus topos, consideradas como restrições. Destaca-se ainda como áreas de atenção as porções estabelecidas pelo CPRM (2013a) como áreas de enxurradas (bacia de drenagem com alta suscetibilidade à geração de corrida de massa e enxurrada, que pode atingir trechos planos e distantes situados à jusante, induzindo, ainda, solapamento de talude marginal) e de campos de blocos rochosos suscetíveis a quedas, rolamentos ou tombamentos. Sugere-se que seja realizado o mapeamento da área em escala de detalhe, haja vista o desastre ocorrido em Xerém em 2013.

Os demais trechos da área 5 são em sua maioria de média a alta ocupação urbana frente a movimentos de massa, com pontos isolados de baixa aptidão, formados principalmente pelas localidades onde existem estradas não infraestruturadas. Vale ressaltar que nas áreas de alta aptidão urbana estão desconsiderados os eventuais processos de inundação que os terrenos estão sujeitos (rever Figura 62), visto que não são o foco deste trabalho.

É importante ressaltar a pressão imobiliária exercida sobre a área 5, principalmente após a abertura do Arco Metropolitano. Essa tendência de crescimento populacional reflete o dinamismo econômico do município de Duque de Caxias, cujos vetores de crescimento e ocupação tendem a seguir os eixos já existentes, assim como se deu o crescimento urbano do restante do município. Destaca-se neste contexto as principais rodovias de acesso (Arco Metropolitano e Washington Luís) e a Estrada do Rio D'ouro (estadual). Em 2016 já tramitava junto ao INEA processo para licenciamento ambiental de um loteamento residencial denominado Terras Alpha Arco Metropolitano, do Grupo Alphaville, cortado pelo Arco Metropolitano e adjacente à Estrada do Rio D'ouro (Figura 71) na área desmembrada da Fazenda Penha Caixão. A área deste empreendimento está inserida por completo dentro da Zona de Ocupação Preferencial do Plano Diretor (artigos 45 e 46, cuja diretriz é a intensificação de ocupação) e na área da APA Alto Iguaçú.

Figura 71 - Localização do empreendimento do Grupo Alphaville, elaborado pelo empreendedor.



Fonte: PMDC (2022).

É importante ressaltar que quase todo território da área 5 está inserido dentro do limite da APA Alto Iguaçú, que foi concebida com intuito de remediação das cheias enfrentadas na baixada,

funcionando como zona de infiltração pluvial, principalmente nos períodos de precipitação intensa. Sua proposta de criação surgiu em 2007 no contexto da atualização do Projeto Iguazu¹⁵ e buscou conceber novas estratégias de planejamento do uso do solo em bases sustentáveis, que permitissem o controle de inundações num horizonte de longo prazo, além da readequação dos projetos estruturais à atual realidade urbana da Baixada Fluminense (INEA, 2019). Além disso, a APA sobrepõe e conecta Unidades de Conservação, estabelecendo continuidade entre fragmentos florestais e constituindo-se num trecho de paisagem que funciona como um cinturão agroecológico de relevância ambiental entre a área urbana e as áreas de preservação integral.

Além disso, a área também pode ser avaliada sob a perspectiva do Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI-RMRJ), iniciativa do Governo do Estado, por meio da Câmara Metropolitana, financiada pelo Banco Mundial e executada entre 2015 e 2018 por um consórcio formado pelas empresas Quanta Consultoria e Jaime Lerner Arquitetos Associados, com a efetiva participação de técnicos de todos os municípios da RM do Rio de Janeiro. No macrozoneamento do PDUI o território correspondente à Área 5 está inserido dentro da “Macrozona Ecológica e de Contenção”, que tem por objetivo a manutenção das terras com o uso rural, evitando o espraiamento descontrolado da mancha urbana sem infraestrutura adequada, possibilitando a implantação de atividades sustentáveis compatíveis com o ambiente, como a produção rural agroecológica e orgânica, agroindústria e o turismo rural. O intuito é oferecer maiores condições de sustentabilidade econômico e social para a população dessas regiões a fim de reduzir a dependência da Região Metropolitana das economias externas e ampliar a circulação de mercadorias e serviços na própria região (RIO DE JANEIRO, 2018).

Diante disso, afirma-se a importância desse território dentro do contexto municipal e metropolitano e o quanto é significativo alinhar as estratégias municipais com as estratégias desenvolvidas pelo Governo do Estado. Deve-se considerar a integração entre o zoneamento da APA Alto Iguazu elaborado no Plano de Manejo, o macrozoneamento estabelecido pelo PDUI-RMRJ e o macrozoneamento a ser proposto na revisão do Plano Diretor de Duque de Caxias, de modo a compatibilizar todas as diretrizes abrangidas por esses planos.

Dada a vocação rural da área, sua suscetibilidade a processos do meio físico, sua condição de preservação ambiental em grandes trechos e a sua inclusão como área rural no Plano Municipal de Agricultura desenvolvido em 2016 pela então Secretaria Municipal de Meio Ambiente,

¹⁵ Plano diretor de recursos hídricos da bacia dos rios Iguazu/Sarapuá, elaborado em 1993 pela Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) com ênfase no controle de inundações.

Agricultura e abastecimento (SMMAAA), recomenda-se neste trabalho sua manutenção como Macrozona rural, território de transição entre a Macrozona urbana e a Macrozona Ambiental (Unidades de Conservação), com usos predominantemente voltados às atividades relacionadas com a produção rural, tais como agricultura, pecuária e silvicultura, e a atividades complementares, como o turismo rural. Esse entendimento vai ao encontro da proposta da área como parte integrante do Cinturão Agroecológico sugerido pelo PDUI, aos moldes do “Projeto Cinturão Verde” desenvolvido no Estado de São Paulo. Os chamados projetos de cinturão agroecológico ou cinturão verde funcionam como barreiras à expansão urbana por meio das áreas situadas nas franjas periurbanas, ou seja, ao redor dos centros urbanos, que são destinadas à produção de alimentos de forma sustentável, com base em princípios agroecológicos. Trata-se de uma estratégia que busca promover a segurança alimentar, a preservação ambiental e a proximidade entre a produção e o consumo de alimentos. Ao limitar-se o crescimento urbano além do cinturão verde, contém-se o espraiamento territorial e estimula-se a cidade compacta.

4.4.4 Diretrizes para revisão da legislação urbana de Duque de Caxias com base no Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa.

Com base na análise das áreas da porção norte e da porção sul do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana, este trabalho propõe diretrizes para a revisão da legislação urbana articuladas com a Gestão de Riscos de Desastres no município de Duque de Caxias. Primeiramente, são propostas diretrizes para a revisão do Plano Diretor, visto que este é um instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana e desempenha papel estruturador no ordenamento territorial e urbano. Ao plano diretor estão subordinados os demais instrumentos de planejamento e gestão, incluso as leis urbanísticas (leis de uso e ocupação do solo urbano, ou de zoneamento, de parcelamento do solo urbano, de criação das Zonas Especiais, como as Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS), que devem ser coerentes e compatíveis com o Plano Diretor, bem como aprofundar e detalhar as suas diretrizes, transformando-as em ações concretas e executáveis (DUTRA, 2013). Para estas leis mais específicas, as leis complementares, busca-se também traçar recomendações relacionadas a prevenção e mitigação dos riscos relacionados a movimentos de massa, por meio de diretrizes para o planejamento de ocupação de encostas, que devem ser observadas no conteúdo destas leis. Cabe destacar que este trabalho não pretende esgotar todo o conteúdo que abrange a revisão da legislação urbana do município de Duque de Caxias, que sabidamente é um trabalho complexo, interdisciplinar e que demanda a participação da população, mas apenas pontuar alguns dos aspectos fundamentais a serem reavaliados na

revisão da legislação urbana para a Gestão de Riscos de Desastres com foco nos movimentos de massa.

4.4.4.1 Diretrizes para Revisão do Plano Diretor Urbano de Duque de Caxias

O Plano Diretor Urbanístico de Duque de Caxias, Lei Complementar nº 1, de 31 de outubro de 2006, estabelece diretrizes e normas para o ordenamento físico-territorial e urbano do município. O Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), no § 3º do seu artigo 30, determina que, pelo menos, a cada 10 (dez) anos, os planos diretores devem ser revistos. Com isso, o Plano Diretor de Duque de Caxias deveria ter sido revisto em 2016, no entanto continua sem nova edição. Entretanto, apesar da revisão não ter acontecido, o município vem aprovando leis que alteram o Plano Diretor, sendo a última modificação realizada em 2022 (Quadro 39).

Quadro 39 - Leis que alteram a Lei Complementar nº 1, de 31 de outubro de 2006 até mai/2023.

Leis que alteram o Plano Diretor Urbanístico de Duque de Caxias	Alterações realizadas
Lei nº 2.099 de 21 de dezembro de 2007	Altera o Anexo II- Hierarquia Viária, Anexo IV – Sistema de Classificação Viária, anexo VI - Zonas de Ocupação e o anexo VII - Zonas Especiais [Modificações: inserção via planejada PD-09/ transforma parte da Zona de Ocupação Controlada (ZOC) e da Zona Especial de Negócios Rurais (ZEN-Rural) em zona de Ocupação Preferencial (ZOP) no entorno do Arco Metropolitano].
Lei nº 2.241 de 03 de abril de 2009.	Altera o Artigo 17 [Modificação: altera o órgão municipal competente do Fundo Municipal de Habitação Social, de urbanismo para habitação].
Lei nº 2.943 de 10 de abril de 2019	Define os Parâmetros Urbanísticos para as Áreas 3 e 6 desmembradas da Fazenda Penha Caixão, localizadas na Zona de Ocupação Preferencial (ZOP), a que se refere a Lei Complementar nº 1, de 31 de outubro de 2006.
Lei Complementar nº 02 de 19 de maio de 2011	Altera os artigos 50 e 131 [Modificações: insere o inciso II no artigo 50, permitindo a designação de Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS pelo Chefe do Executivo Municipal, por meio de Decreto, para produção de habitação popular de interesse social / Faz uma ressalva no artigo 130 quanto a vedação da doação de terras públicas, permitindo os casos previstos no Artigo 167 da Lei Orgânica Municipal].
Lei Complementar nº 03 de 07 de março de 2016	Altera o anexo VI - Zonas de Ocupação [Modificações: Altera o macrozoneamento da Zona Especial de Interesse Ambiental – ZEIA 9 (Área do Comando da Força de Fuzileiros da Esquadra da Marinha do Brasil, localizada nos Bairros Jardim Vinte e Cinco de Agosto e Parque Duque), que passa a ser denominada “Zona de Ocupação Preferencial – ZOP”].

Lei Complementar nº 04 de 05 de junho de 2019	Altera o anexo VI - Zonas de Ocupação, o anexo VII - Zonas Especiais, o artigo 68 [Modificações: suprime parte (área definida A) das Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA): ZIA Cidade dos Meninos (nº 14) e ZIA do Rio Pilar (nº 7) e transforma em Zona de Ocupação Controlada (ZOC) / Suprime parte (área definida B) das Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA): ZIA Cidade dos Meninos (nº 14) e ZIA do Rio Pilar (nº 7) e transforma em Zona de Ocupação Básica (ZOB) / Suprime parte da ZEIA: ZIA APP do Mangue (nº 13) e transforma em Zona Especial de Negócios (ZEN): ZEN III de Campos Elíseos / altera artigo 68 sobre Comissão Permanente de Análise de Estudo de Impacto de Vizinhança].
Lei Complementar nº 05 de 02 de setembro de 2019	Altera o anexo VI - Zonas de Ocupação [Modificações: modifica os limites da Zona de Ocupação Controlada (ZOC), localizada em Piranema, 4º Distrito e estabelece que pertencerá ao zoneamento Área de Expansão Urbana (AE), conforme estabelecido pelo Decreto nº 4.590, de 14 de março de 2005].
Lei Complementar nº 06 de 10 de outubro de 2019	Altera o Artigo 7 e o Anexo II - Hierarquia Viária e o anexo VII - Zonas Especiais [Modificações: altera a cota 50 de preservação ambiental para cota 75 nas ZOPs / altera a categoria da Via Planejada PD-08 para Via Coletora tipo 01 / Suprime parte da Zona Especial de Interesse Ambiental (ZEIA): ZIA de Xerém (área definida A) e transforma em Zona Especial de Negócios Rurais (ZEN-Rural)].
Lei Complementar nº 07 de 30 de dezembro de 2019	Altera o anexo VI - Zonas de Ocupação, o anexo VII - Zonas Especiais e o Artigo 7 [Modificações: modifica os limites da Zona de Ocupação Controlada (ZOC), localizada em Piranema, 4º Distrito / delimita as coordenadas da ZEN XII e da ZEN XIII e seus respectivos parâmetros urbanísticos/ altera a cota 50 de preservação ambiental para cota 100 na ZEN XII e na ZEN XIII (art. 7)].
Lei Complementar nº 11 de 21 de outubro de 2020	Altera o Anexo II- Hierarquia Viária e o Anexo IV – Sistema de Classificação Viária [Modificações: retira do Sistema de Classificação Viária a Estrada de Xerém, que passa a ser categorizada como Avenida Perimetral].
Lei Complementar nº 12 de 30 de março de 2021	Altera o anexo VI - Zonas de Ocupação e o anexo VII - Zonas Especiais [Modificações: substitui parte da Zona de Interesse Ambiental 3 (ZIA 3) – Sacacuruna e de áreas acima da cota de 50m (identificadas pelas áreas A, B e C) por Zona de Ocupação Controlada (ZOC)].
Lei Complementar nº 13 de 12 de abril de 2021	Altera o anexo VII - Zonas Especiais [Modificações: altera as áreas da Zona Especial de Negócios (ZEN): ZEN VII de Campos Elíseos e das ZEIAS: ZIA Rio Sarapuí (nº 8) e ZIA APA São Bento (nº 12)].
Lei Complementar nº 14 de 05 de julho de 2021	Altera o anexo VI- Zonas de Ocupação, VII- Zonas Especiais e VIII – Diretrizes de Zonas Especiais [Modificações: cria a Zona Especial de Interesse Ambiental (ZEIA): ZEIA nº 2 – ZIA da Mantiqueira / Delimita a Zona de Ocupação Controlada (ZOC), localizada no entorno da ZIA da Mantiqueira / Atualiza as delimitações das Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIAS) do Anexo VII].
Lei Complementar nº 15 de 29 de agosto de 2022	Altera a redação do artigo 7 [Modificações: altera a cota de área de preservação para áreas acima da cota 100 na Zona de Ocupação Controlada (ZOC I), localizada em Piranema, 4º Distrito (descrita no art. 1º da Lei Complementar nº 007, de 30 de dezembro de 2019)].

Lei Complementar nº 16 de 11 de novembro de 2022	Altera o anexo VI- Zonas de Ocupação e o anexo VII - Zonas Especiais [define a área Zona Especial de Negócios (ZEN XIV), sendo suprimidas as seguintes macrozonas: a Zona de Ocupação Controlada (ZOC) e a Zona Especial de Interesse Ambiental (ZEIA) 03 – Rio Saracuruna].
--------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A análise das alterações realizadas de 2007 até 2022, num total de 15 leis, permite concluir que a Lei Complementar nº 1, de 31 de outubro de 2006 foi significativamente modificada em questões estruturantes para o ordenamento territorial e urbano de Duque de Caxias (Figura 72). Além disso, pode-se verificar que as alterações realizadas atuam pontualmente sobre o território, muitas vezes desconsiderando a lógica norteadora da lei original e a visão abrangente necessária para o crescimento urbano sustentável do município. Em nenhuma das alterações são apresentadas modificações concernentes à Gestão de Riscos de Desastres, mesmo após a promulgação das exigências estabelecidas pela lei federal nº 12.608/2012 e incluídas no texto do Estatuto das Cidades. Neste processo, perdeu-se também o caráter participativo adequado à confecção do plano, da efetiva participação de todos os cidadãos. Embora a promulgação das leis que modificaram a lei de 2006 tenham ocorrido por meio da aprovação na Câmara Municipal, o Estatuto da Cidade determina que o Plano Diretor deve ser objeto de controle social e deve ser garantida a participação das comunidades, movimentos e entidades da sociedade civil. Portanto, é um processo que deve ser conduzido pelo poder Executivo, articulado com os representantes no poder Legislativo e com a sociedade civil.

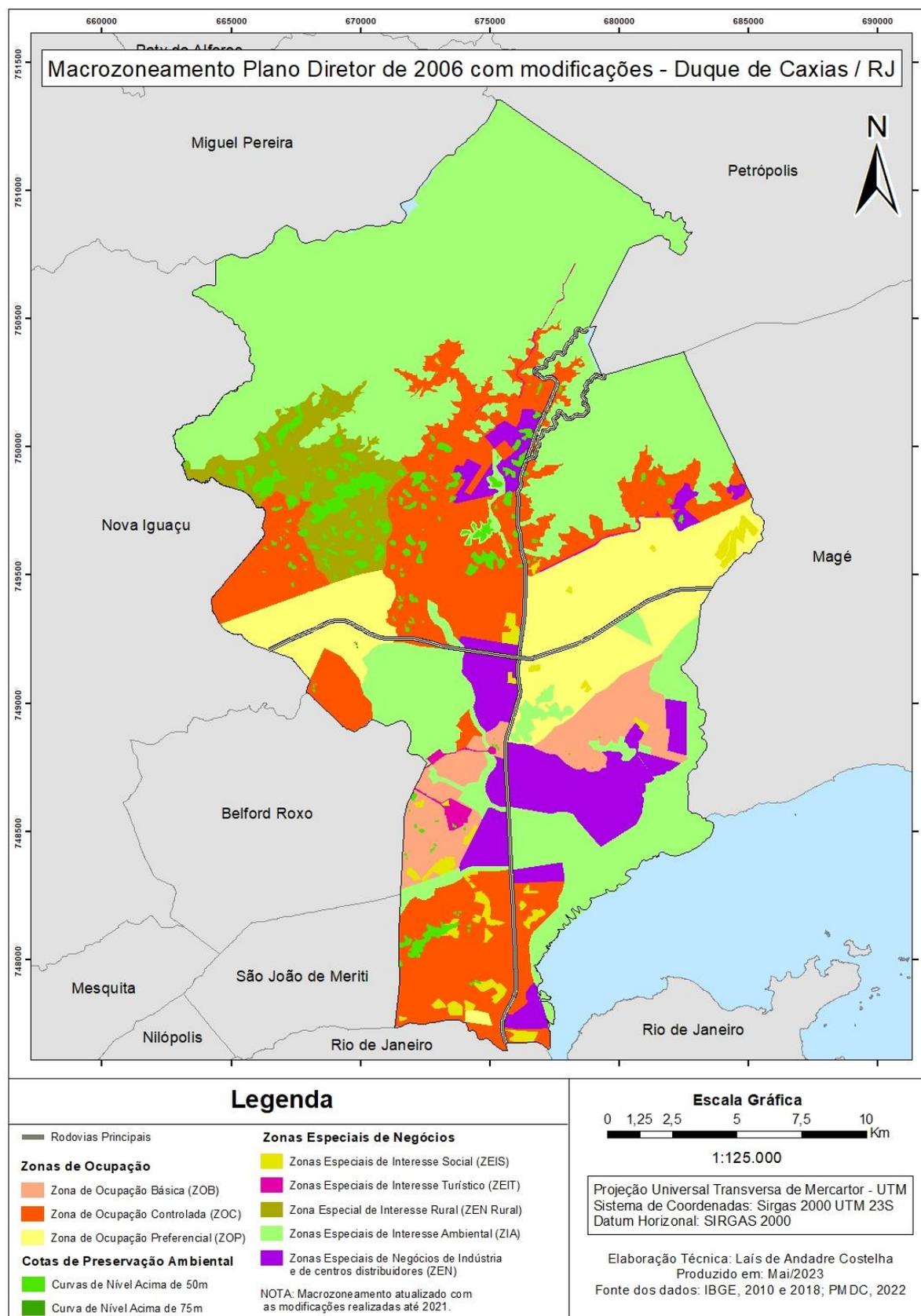
Cabe ainda ressaltar que o Plano diretor de 2006 foi elaborado por consultoria especializada sem a efetiva participação do corpo técnico da prefeitura e da população. Portanto, trata-se de um instrumento inadequado à gestão e planejamento municipal (Oscar Júnior, 2014). Somado a esse problema existe a não regulamentação das leis complementares (uso e ocupação do solo, parcelamento urbano, entre outras), obrigando o uso de decretos e leis promulgados nas décadas anteriores, o que gera incongruências entre o ordenamento proposto pelo Plano Diretor e o restante da legislação urbanística.

Diante disso, é notória a urgência da revisão do plano diretor de Duque de Caxias com a participação de todas as partes interessadas e a inclusão da temática da Gestão de Riscos de Desastres de maneira efetiva, aos moldes da lei nº 12.608/2012. Do mesmo modo, é fundamental a elaboração das leis complementares ao plano diretor em consonância com as suas premissas, de maneira que a legislação urbana do município se apresente de forma consolidada e atenda às necessidades da população e do desenvolvimento do município de maneira sustentável.

Para tanto, a seguir estão apresentadas algumas diretrizes para a revisão do plano diretor, com base no Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa e dando ênfase aos aspectos já apontados nas diretrizes para porções norte e sul, áreas não ocupadas do território, foco deste trabalho. Tendo em vista que a maior parte das áreas ainda não ocupadas possuem estreita relação com fatores relacionados ao risco de inundações ou movimentos de massa caso sejam urbanizadas, é de suma importância que a expansão urbana para essas áreas seja avaliada com cautela. Por este motivo, serão aqui adotados dois grandes eixos de diretrizes para a revisão:

1. a questão do macrozoneamento e
2. a questão das centralidades urbanas.

Figura 72 - Mapa do Macrozoneamento do PD (Lei Complementar nº 1, de 31 de outubro de 2006) com modificações realizadas até 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

1. O macrozoneamento: o que é rural, o que é urbano?

Diretriz: Definição de novo macrozoneamento para o município.

Relação com Gestão de Riscos de Desastres: A área denominada neste trabalho de Área 5 da Porção Norte, que hoje apresenta vocação rural, tem sofrido pressão para ocupação, porém possui papel importante tanto para o equilíbrio hidrológico do município como é também entremeada por áreas de encostas com média aptidão a ocupação urbana e bacias de drenagem com alta suscetibilidade à geração de corrida de massa e enxurrada que, se não reguladas, poderão ser ocupadas e constituir-se em áreas de risco de movimentos de massa.

Justificativa: O atual Plano Diretor apresenta imprecisão quanto aos conceitos de macrozoneamento e zoneamento, que se confundem no texto da lei. Como consequência, ainda hoje é inconsistente a visão do que é rural e urbano, e diante deste cenário a expansão urbana acontece à despeito da vocação rural do território e de sua importância para o equilíbrio hidrológico e ecossistêmico do município de Duque de Caxias e entorno.

Enquanto o macrozoneamento é aplicável na escala do território municipal e distingue as áreas passíveis de urbanização das áreas rurais e de proteção ambiental, o zoneamento urbano é aplicável dentro da área urbana (macrozona urbana), área onde estabelecem-se os índices urbanísticos tais como: tipo de uso (comercial, industrial de serviços, mistos); densidade de ocupação (coeficiente de ocupação, taxa de utilização); recuos, afastamentos, alinhamento das edificações; índice de permeabilidade, entre outros (DUTRA, 2013). Já o zoneamento rural deve ser estabelecido pela Lei de zoneamento rural para a área correspondente à macrozona rural.

No Plano Diretor de Duque de Caxias não são estabelecidos os limites entre as macrozonas rural e urbana, como também não foi editada lei de perímetro urbano. O que seria o zoneamento do município é chamado de macrozoneamento (Título IV) e praticamente todo o território do município é abrangido por zonas de ocupação e zonas especiais (artigo 34) (Figura 75), a saber:

- Zonas de ocupação: Zona de ocupação controlada (ZOC); Zona de ocupação básica (ZOB); Zona de ocupação preferencial (ZOP);
- Zonas Especiais: Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS); Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA); Zonas Especiais de Negócios (ZEN); Áreas de Reserva (AR).

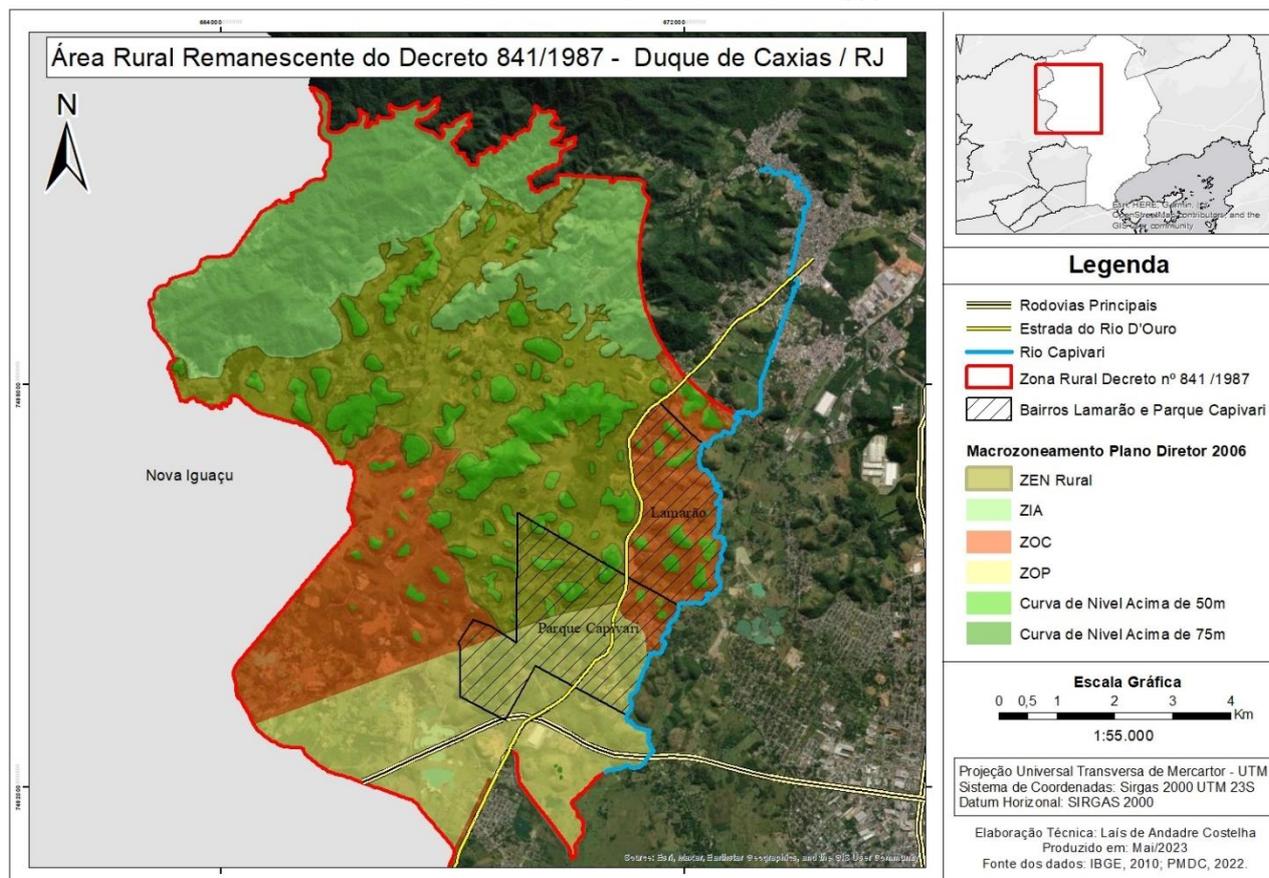
Desse modo, de acordo com a descrição do texto da lei, Zonas Especiais de Negócios (ZEN)

Observa-se no município uma grande área com características de uma macrozona rural, com atividades notadamente focadas nas práticas agrícolas e na noção de ruralidade (correspondente a boa parte da Área 5 - porção norte deste trabalho), porém nomeada no Plano diretor como ZEN - Zona Especial de Negócios de interesse rural, que de acordo com o artigo 61 são destinadas “ao turismo rural, a sítios de recreio, a atividades econômicas de caráter rural, aos negócios extrativistas, à manutenção de pequenas propriedades rurais cooperativadas, à piscicultura, e às pequenas manufaturas de produtos rurais”. Além da falta de clareza se esta ZEN é considerada urbana ou rural, essa área tem sofrido reduções com as promulgações das leis que modificam o Plano Diretor e o trecho próximo ao Arco Metropolitano já foi todo transformado em zona de ocupação.

Logo, considerando que o Plano Diretor não apresentou proposta de macrozoneamento que delimitasse uma macrozona rural, mas sim uma Zona Especial de Negócios Rurais, configurada na categoria de macrozoneamento, mas por definição melhor categorizada dentro de zoneamento, entende-se que para a configuração das áreas consideradas como rurais é necessário recorrer à análise conjunta tanto do próprio Plano Diretor, como de lei anterior a ele, a Lei municipal 841, que fixou zonas rurais e urbanas do Município.

Na Lei nº 841, de 28 de dezembro de 1987, são consideradas zonas urbanas as áreas dos 1º e 2º Distritos e os bairros e localidades que especifica nos 3º e 4º Distritos. No 4º Distrito também são consideradas urbanas as áreas a leste do rio Capivari e são rurais os bairros de Parque Capivari e Lamarão e as áreas a oeste do rio Capivari, excetuando-se os bairros de Mantiquira e Xerém. Essas áreas abrangem um território bem superior ao tamanho da ZEN-Rural estabelecida no Plano diretor e, portanto, a área hoje considerada rural, propriamente dita, é a área remanescente da subtração entre Área Rural estabelecida em 1987 e a áreas transformadas em ZOC, ZOP e ZIA, restando a área da Zen-Rural (consideradas as modificações realizadas no PD desde 2006) (Figura 73).

Figura 73 - Área Rural Remanescente: sobreposição entre a Área Rural do Decreto nº 841 de 1987 e o Macrozoneamento do Plano Diretor de 2006.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Por fim, diante do exposto, constata-se a necessidade da adequação do macrozoneamento na revisão do PD, para que o município possa reavaliar os rumos das áreas não ocupadas do 4º distrito, tendo como base a cartografia geológico-geotécnica produzida após 2006 e o conhecimento das graves consequências que desastres socioambientais como o ocorrido em Xerém em 2013 podem gerar. Manter como Macrozona Rural a área prevista como rural pelo Decreto 841 parece não se adequar aos interesses econômicos do município, por outro lado, há que se compatibilizar tais interesses com a própria vocação rural da área e as questões do meio físico associadas a movimentos de massa e inundações, que melhor conversam com a ocupação esparsa e com pouca ou nenhuma pavimentação, característica das Macrozonas Rurais.

2. Centralidades urbanas: expandir ou adensar?

Diretriz: Desenvolvimento das centralidades existentes.

Relação com Gestão de Riscos de Desastres: o desenvolvimento das centralidades já infraestruturadas reduz a pressão sobre áreas não ocupadas do município que possuem baixa ou nenhuma aptidão à ocupação urbana em detrimento de suscetibilidade associada a movimentos de massa ou inundações.

Justificativa: Em todos os distritos de Duque de Caxias podem ser identificadas áreas que se conformam como centros de bairro ou subcentros bastante caracterizados e de dinâmica própria, o que evidencia o processo de crescimento urbano do município por meio de um sistema policêntrico, sob a lógica da expansão urbana espraiada e de baixa densidade habitacional.

O Plano Diretor Urbanístico do município em 2006 já observava essa tendência de crescimento do município e estabeleceu como objetivo estratégico a urbanização compacta por meio da centralidade e o incentivo à estruturação de novas centralidades para o desenvolvimento econômico, conforme o artigo 6 e inciso VI do artigo 19, a seguir, com grifos da autora:

“CAPÍTULO II - DOS OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

Art. 6º. Constituem objetivos estratégicos desta Lei:

Induzir a estruturação do processo de urbanização de **forma compacta e racional**, aproveitando a disponibilidade, a **centralidade**, a potencialidade de terrenos dotados de infraestrutura, em conformidade com os vetores adequados de expansão urbana;”

“CAPÍTULO III – DAS POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

Art. 19. São diretrizes das Políticas de Desenvolvimento Econômico do Município:

VI. Promover a distribuição espacial equilibrada e a qualidade das atividades comercial varejista e de serviços no território municipal, de produtos ofertados, incentivando a **estruturação de novas centralidades** regionais urbanas para atender à população local e atrair consumidores de outros municípios metropolitanos;”

Na tabela 3 do Anexo VIII do Plano Diretor (“Diretrizes de Zonas Especiais”) também são apresentados os objetivos estratégicos e diretrizes de uso e intervenção para as centralidades, denominadas como Zonas Especiais de Centros (Quadro 40). A espacialização dessas centralidades consta no “ANEXO VII – Zonas Especiais” do Plano Diretor (ver ANEXO B deste

trabalho), onde encontram-se as seguintes ZECs: A- Centro de Duque de Caxias; B- Parque Fluminense; C- Campos Elíseos; D- Jardim Primavera; E- Imbariê; F- Parada Angélica; G- Santa Cruz da Serra e H- Xerém.

Quadro 40 - Diretrizes de Zonas Especiais (Zonas Especiais de Centros).

DENOMINAÇÃO	OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	DIRETRIZES DE USO E INTERVENÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> ZEC Centros 	<ul style="list-style-type: none"> Fortalecimento de novas centralidades urbanas; Revitalização das áreas centrais. 	<ul style="list-style-type: none"> Requalificação urbanística dos logradouros públicos e fachadas das construções; Incentivo ao comércio varejista e serviços para população nas áreas de influência de cada ZEC; Elaboração de projetos de reabilitação urbanística e arborização de logradouros públicos; Priorizar as condições de mobilidade de pedestres.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Apesar das propostas estabelecidas no Plano Diretor de 2006, não se observou nos anos seguintes políticas que corroboraram o objetivo estratégico de desenvolvimento das centralidades. Ademais, a edição de leis que modificaram o Plano Diretor apontam para uma tendência política de espraiamento da cidade, acrescendo as áreas de Zona de Ocupação, principalmente no 4º distrito, impulsionada pela abertura do Arco Metropolitano. Entretanto, essa visão é oposta às estratégias traçadas não somente pelo Plano Diretor do município em 2006, como também pelo Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI-RMRJ), que apresenta entre suas diretrizes “formatar uma estrutura policêntrica com o fortalecimento das centralidades urbanas secundárias”. Entre as centralidades metropolitanas apresentadas no PDUI, Duque de Caxias aparece com três delas: Centro e Gramacho, no 1º distrito, e Jardim Primavera, no 2º distrito, onde se encontra a sede da Prefeitura Municipal.

Recomenda-se que o Plano Diretor instrua o adensamento das áreas já ocupadas do território, de modo a minimizar a pressão sobre áreas não adequadas à ocupação. Dessa forma, acredita-se que o fortalecimento da rede de centralidades do município por meio de políticas públicas que incentivem investimentos em infraestrutura econômica, urbana e social é um caminho que favorece a diversificação do uso do solo e oferta de serviços, bem como promove o aumento

da densidade habitacional, reduzindo conseqüentemente a necessidade de deslocamentos ao centro regional (Centro de Duque de Caxias).

Outro aspecto a ser abordado para o fortalecimento das centralidades é a regulamentação dos instrumentos do Estatuto da Cidade (Parcelamento, Edificação e Utilização Compulsórios (PEUC), Outorga Onerosa do Direito de Construir, entre outros) na legislação urbana do município, com o intuito promover o adensamento das áreas já infraestruturadas. Destaca-se nesse sentido o instrumento de Parcelamento, Edificação e Utilização Compulsórios (PEUC), que permite que o poder público intervenha sobre os vazios urbanos (glebas, terrenos, lotes ou edifícios sem uso, ocupação ou subutilizados inseridos em terra urbana e/ou urbanizada), que além de não cumprirem a função social da propriedade, trazem como consequência a fragmentação e espraiamento do território.

Acredita-se ainda que a política urbana focada do desenvolvimento das centralidades resultará na melhoria da mobilidade urbana local, desenvolvimento econômico descentralizado e redução da desigualdade socioespacial. Com isso, é de fundamental importância a sistematização de todos estes conceitos na revisão do plano diretor de modo a organizar estrategicamente o crescimento urbano do município.

Com base nos conceitos expostos e nas centralidades já estabelecidas no Plano Diretor de Duque de Caxias e no PDUI/RMRJ, o mapa da Figura 74 apresenta as centralidades do município de Duque de Caxias hierarquizadas. Definiu-se três classificações:

1. Centro Regional (letra A no mapa), representado pelo Centro do município e adjacências, no 1º distrito. Esta área apresenta caráter regional porque além de atender a população caxiense, possui alcance metropolitano;

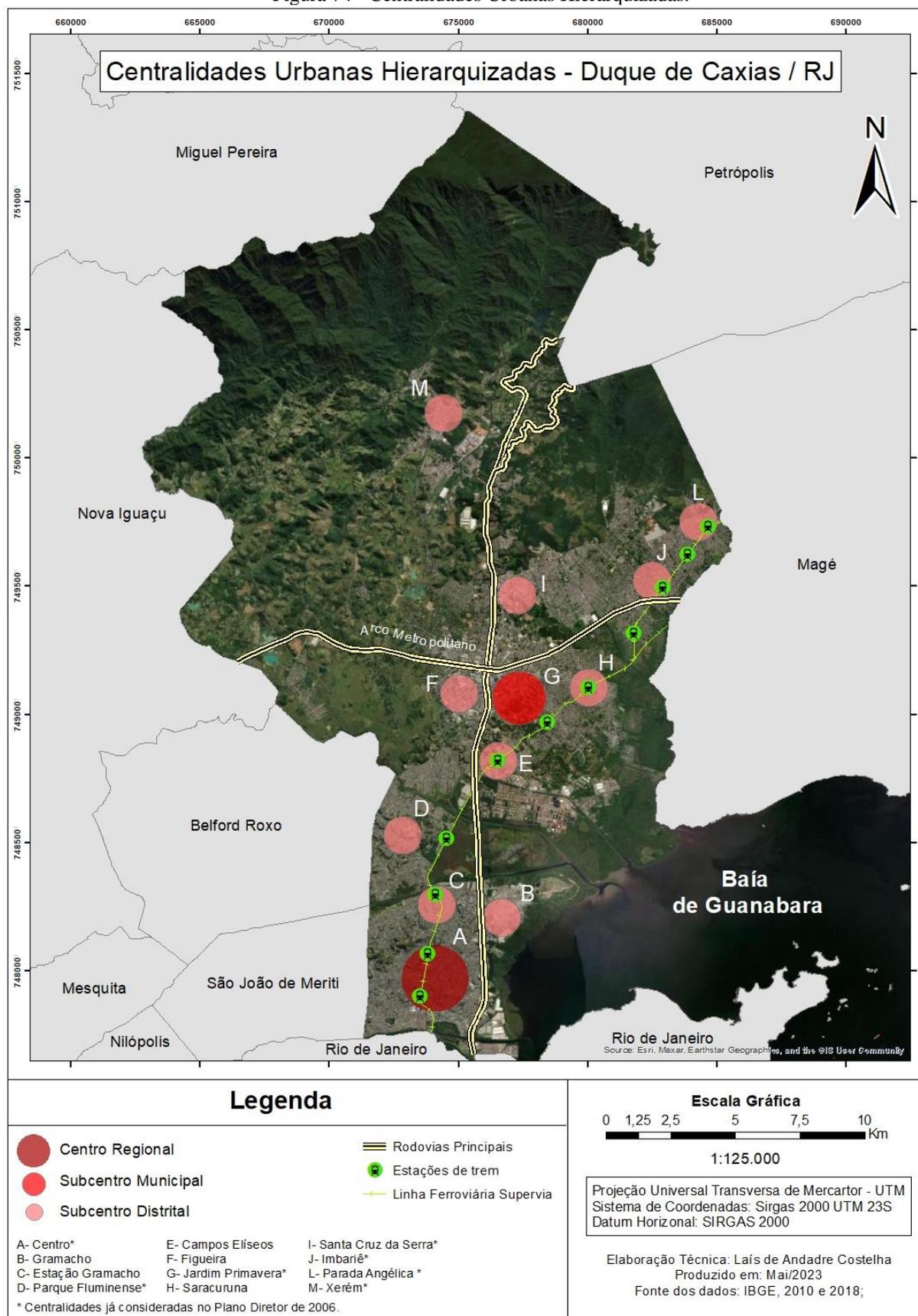
2. Subcentro municipal (letra G no mapa), representado por Jardim Primavera, onde localiza-se a sede da Prefeitura Municipal de Duque de Caxias, que atende a todos os distritos do município;

3. Subcentros distritais (demais letras no mapa), que possuem importância dentro do distrito. São representados por todas as centralidades desenvolvidas no entorno de estações de trem, bem como pela proximidade com vias de importância.

As centralidades de Figueira (F) e Santa Cruz da Serra (I) desenvolveram-se principalmente em função da proximidade com a Rodovia Washington Luís, esta última também desenvolvida em função da Av. Automóvel Clube, via arterial do 3º distrito. A centralidade Gramacho (B) desenvolveu-se principalmente em função do Aterro Sanitário de Gramacho, que atendeu a Região Metropolitana por décadas. Embora o aterro esteja desativado, essa área possui

potencial de crescimento tanto em função da proximidade com a Rodovia Washington Luís como pela proximidade com a Baía de Guanabara. A centralidade Estação Gramacho (D) desenvolveu-se tanto pela proximidade com a estação de trem como por ser cortada pela Av. Governador Leonel de Moura Brizola (antiga Av. Presidente Kennedy), RJ-101, que cruza o município desde a sua divisa com o Rio de Janeiro até a Rodovia Washington Luís, na altura do bairro Pilar. Por fim, a centralidade Xerém (M), que se desenvolveu principalmente devido a instalação da Fábrica Nacional de Motores (FNM), em 1942, e da criação do Distrito Industrial de Duque de Caxias por meio da CODIN - Companhia de Distritos Industriais (Lei Estadual nº 5.969, de 28 de novembro de 1967).

Figura 74 - Centralidades Urbanas Hierarquizadas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.4.4.2 Diretrizes para leis complementares: o planejamento da ocupação de encostas em Duque de Caxias

Considerando as características topográficas e territoriais recorrentes nos municípios sujeitos a movimentos de massa, como é o caso de Duque de Caxias, é fundamental indicar na legislação urbana as medidas necessárias para a prevenção e mitigação dos riscos de desastres associados a movimentos de massa. Diante disto, o mapeamento geológico-geotécnico apresenta papel ímpar na definição da implantação de vias, lotes e edificações, localização de equipamentos públicos, áreas verdes e de lazer, como também, a estruturação do sistema de rotas de fuga (BRASIL, 2018).

Com base no Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa em escala de planejamento (1:25.000), pode-se avaliar as áreas quem demandam análises em escala de detalhe (1:10.000) para fins de parcelamento. Recomenda-se que na escala de detalhe sejam consideradas as zonas de influência de eventuais processos de movimentos de massa, como é o caso da trajetória de blocos de rocha que possam vir a rolar (CUNHA, 1991). Com isso, definem-se as áreas de encostas passíveis de serem ocupadas, com alta e média aptidão à ocupação urbana. Para tanto, é importante salientar que diretrizes técnicas de ocupação devem ser estabelecidas na legislação urbana, de modo que a ocupação não gere processos de instabilização dessas encostas inicialmente aptas à ocupação. Do mesmo modo deve-se intensificar o trabalho da fiscalização nas áreas suscetíveis a movimentos de massa, a fim de evitar as construções irregulares e garantir a segurança das encostas.

Assim, para revisão da legislação urbana de Duque de Caxias, recomenda-se a inserção de diretrizes para o projeto urbanístico, que podem ser adotadas pela lei de parcelamento do solo e diretrizes para ocupação do lote, a serem consideradas na lei de uso e ocupação do solo e no Código de Obras e Edificações. Além disso, à medida que os lotes forem sendo ocupados, mediante ou não ter sido iniciado processo de licenciamento da edificação junto a Prefeitura, é dever do setor de fiscalização urbana do município acompanhar as novas transformações ocorridas no terreno como medida preventiva da estabilidade da encosta.

O projeto urbanístico para áreas de encostas deve atender a diferentes variáveis quanto ao posicionamento dos lotes, sistemas viários, drenagem superficial, entre outros, que implicarão tantos nos custos como na estabilidade da encosta. Deve-se buscar ao máximo preservar a forma original dos terrenos, observando-se o traçado natural das drenagens, a presença da vegetação associada à contenção natural do terreno e os ângulos e alturas máximos de cortes e taludes de

aterro adotados, para que não haja necessidade de obras suplementares que elevam o custo de implantação do projeto, a exemplo de cortinas, muros de contenção etc. (CUNHA, 1991).

Neste trabalho serão apontadas recomendações gerais para projetos urbanos em áreas de encostas. Para maiores detalhes, recomenda-se a leitura de CUNHA (1991), MASCARÓ (2005), MORETTI (1997), ALHEIROS et al. (2003) e BRASIL (2018).

1. Sistema Viário

Além das condicionantes naturais a qualquer projeto de sistema viário, como a conectividade com o sistema urbano existente, no projeto de sistema viário em encostas deve-se atentar-se aos seguintes aspectos:

- Hierarquização das vias: é recomendada sempre que possível a implantação de dois tipos básicos de vias, as coletoras e locais, em contraposição ao sistema convencional (vias expressas, vias arteriais, vias coletoras e vias locais). Isso se dá devido a grande movimentação de terra que vias de maior porte demandariam, devido ao maior número de faixas de rodagem.
- Declividades: o perfil longitudinal da via deve ter declividades que permitam o escoamento das águas das chuvas de forma superficial sem produzir erosão no pavimento (Quadro 41). Além disso, recomenda-se que as declividades sejam compatíveis com as características de cada via, a fim de não dificultar o tráfego (Coletoras - declividade máxima recomendada: 7% / Locais - declividade máxima recomendada: 15%) (MASCARÓ, 2005). Para as vias e rampas de pedestres, atentar-se às questões de acessibilidade de acordo com a NBR 9050.

Quadro 41 - Declividades longitudinais das vias que asseguram o escoamento das águas sem produzir erosão no pavimento.

Tipo de pavimento	Declividades (%)	
	Mínima	Máxima
Concreto de cimento moldado “in loco” e acabado com cuidado	0,3 a 0,4	10 a 20
Asfalto com guias e sarjetas pré-moldadas	0,4 a 0,5	10 a 20
Blocos articulados de concreto ou paralelepípedos regulares	0,5 a 0,6	8 a 12
Pedra irregular acomodada a mão	0,6 a 0,8	8 a 12
Pedrisco sem penetrar	0,6 a 0,8	6 a 8

Fonte: Mascaró (2005).

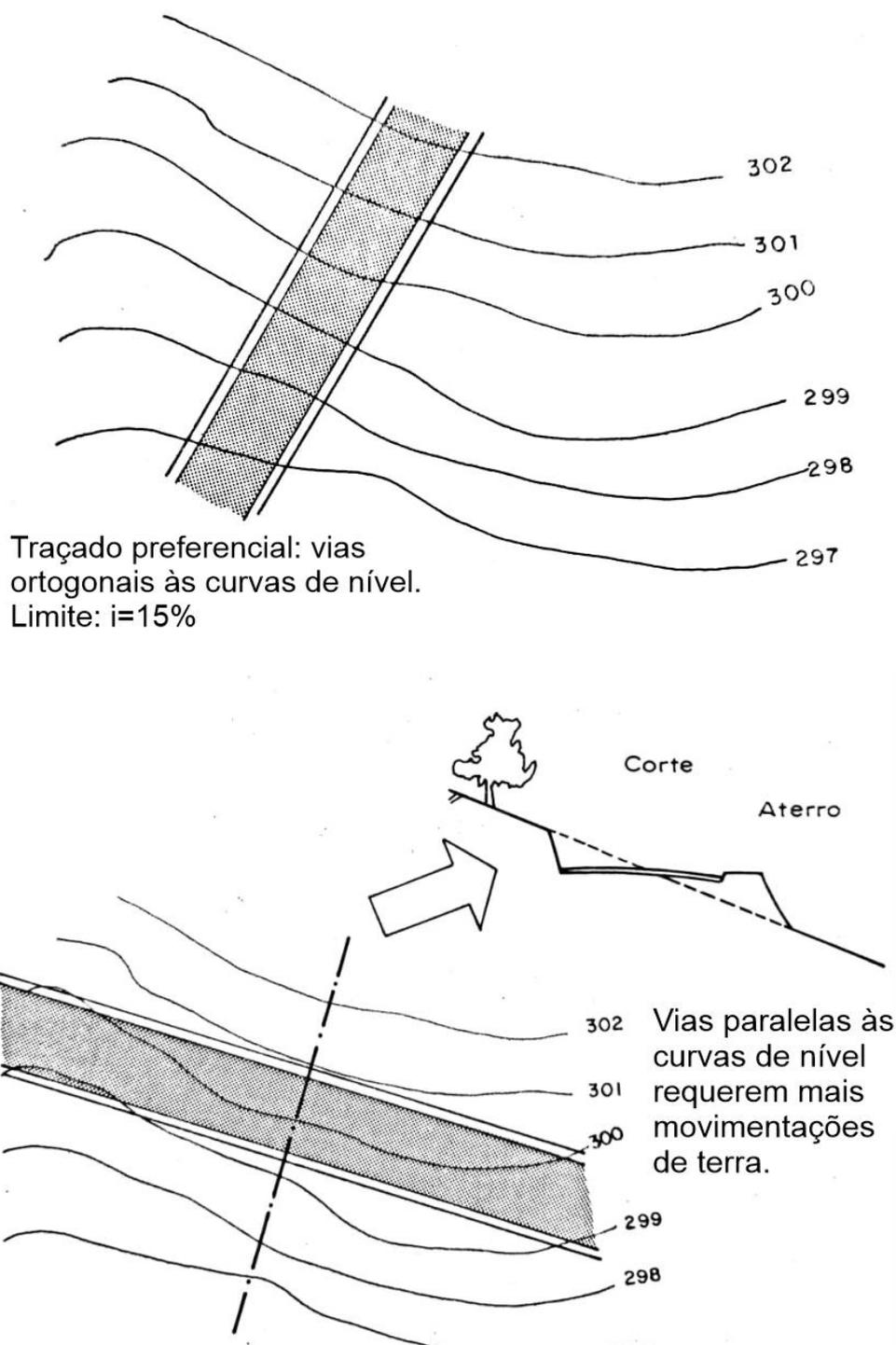
- Traçados: quanto a orientação da via com relação à curva de nível, estas podem ser ortogonais, paralelas (Figura 75) ou oblíquas. Para evitar ao máximo a movimentação de terra, o traçado deve acompanhar as características naturais do terreno. O Quadro 42 apresenta as vantagens e desvantagens de cada tipo de via em relação à topografia

Quadro 42 - Vantagens e desvantagens dos traçados dos sistemas viários.

Orientação da via com relação à curva de nível	Vantagens	Desvantagens
Vias ortogonais (perpendiculares)	<ul style="list-style-type: none"> • Demandam menos movimentações de terra, desde que o terreno não apresente variações abruptas de inclinação; • Adequadas para vias de acesso, que são mais largas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação limitada, adequando-se a inclinações de até no máximo 15%; • Dificultam a circulação de veículos pesados, como ônibus.
Vias Paralelas	<ul style="list-style-type: none"> • Adequadas a terreno com declividades mais altas; • Adequadas para acessos estreitos (vias locais). 	<ul style="list-style-type: none"> • Exigem cortes e aterros que implicam maiores movimentos de terra, bem como obras de contenção lateral. • De maneira geral os cortes e aterros prejudicam o acesso aos lotes adjacentes e o seu aproveitamento.
Vias Oblíquas	<ul style="list-style-type: none"> • Viabilizam o acesso de veículos ao topo da encosta, com declividade acima de 30%, constituindo-se uma tipologia intermediária entre as demais alternativas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exigência de cortes e aterros que implicam movimentos de terra e dificultam o aproveitamento dos lotes adjacentes.

Fonte: Cunha (1991) e Alheiros et al. (2003).

Figura 75 - Vias ortogonais e paralelas às curvas de nível.



Fonte: Cunha (1991).

2. Sistema de Drenagem

A água acelera a deterioração dos pavimentos e taludes e o escoamento das águas pluviais está relacionado com as diferentes declividades. De acordo com Mascaró (2005), as declividades ideais para a rede de drenagem pluvial situam-se entre 2 e 6%.

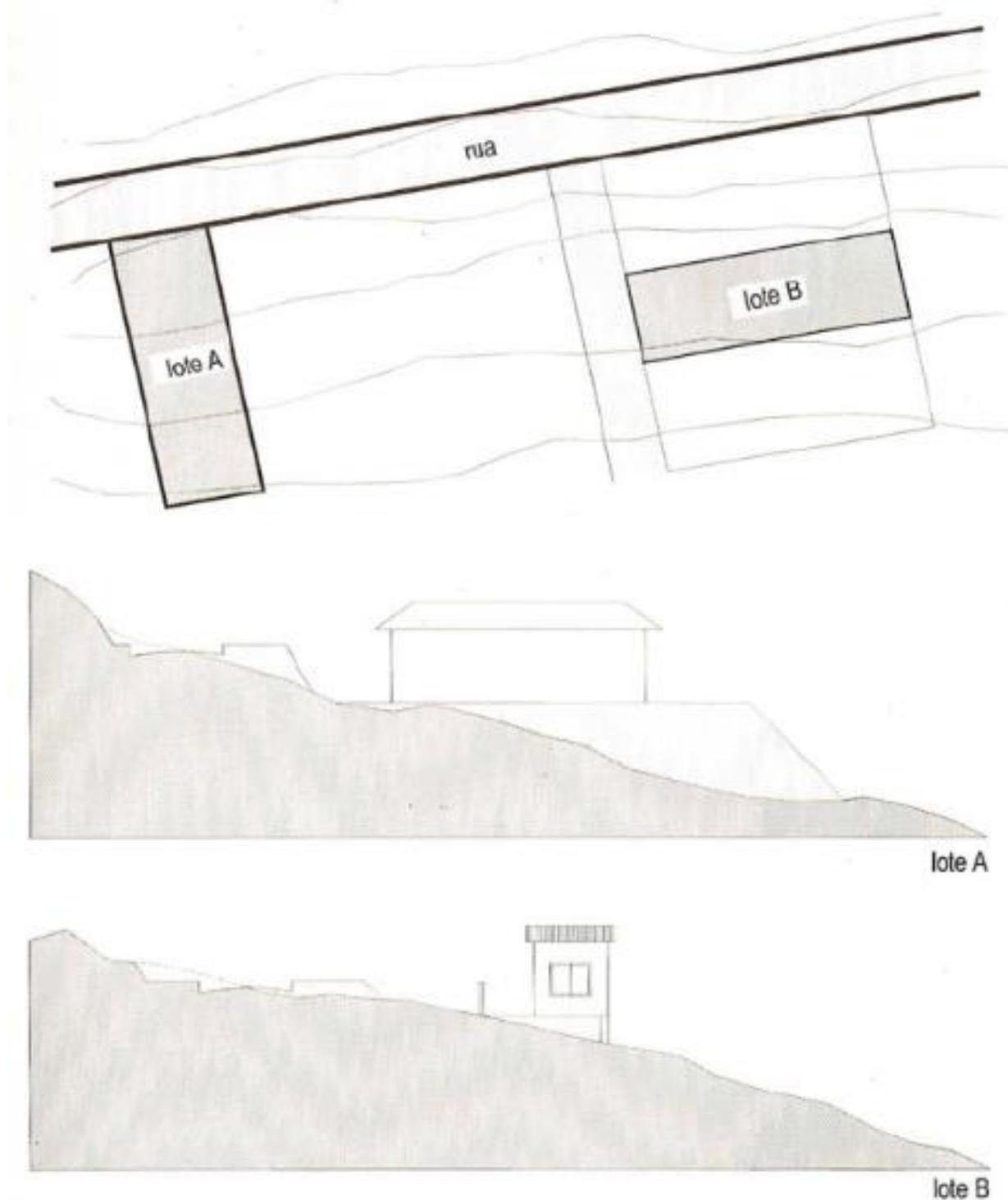
É possível determinar como é o escoamento da água da chuva pela superfície do terreno interpretando adequadamente suas curvas de nível. Junto a isso também é possível obter a vazão de drenagem que chegará a um determinado ponto através do dimensionamento hidráulico por meio da área da bacia, declividade média, revestimento e natureza do solo (DER/SP, 2012). Com base nessas informações também devem ser pensadas as vias: as águas descem nos locais onde a curva de nível se fecha e a água se concentra, os complúvios, então é importante que nessa área ou próximo a ela seja criada uma via para facilitar o escoamento. Por outro lado, quando o sistema viário cruzar linhas de drenagem, deve-se executar galerias de águas pluviais ou o desvio para canaletas e sarjetas da própria via. Portanto, entende-se que o sistema viário constitui, normalmente, parte integrante do sistema de drenagem e o entendimento da lógica hidrológica da bacia facilita o seu zoneamento (CUNHA, 1991; MASCARÓ, 2005).

3. Concepção de loteamentos e edificações

Em áreas de acentuada declividade, são recomendados lotes com testadas maiores que a profundidade, paralelamente às curvas de nível, de modo que possibilitem a implantação das edificações também paralelas às curvas de nível, diminuindo a movimentação de terra (Figura 76). Quando os lotes possuem testada menor e profundidade maior, seu eixo longitudinal acompanha a linha de maior declive do terreno, resultando em grande desnível entre a sua frente e o seu fundo. Isso normalmente obriga a execução de grandes cortes e aterros para a implantação da edificação, que fragilizam o solo e podem agravar as situações de risco (CUNHA, 1991; MORETTI, 1997).

Para lotes implantados ortogonalmente à rua, ou de forma oblíqua, recomenda-se soluções arquitetônicas para as edificações que minimizem os cortes na encosta, como é o exemplo de lajes apoiadas sobre pilotis, elevando-as do solo (Figura 77). Projetos de arquitetura podem apresentar soluções desse tipo de baixo a alto padrão.

Figura 76 - Comparação entre implantação de lotes paralelos ou ortogonais em relação às curvas de nível.

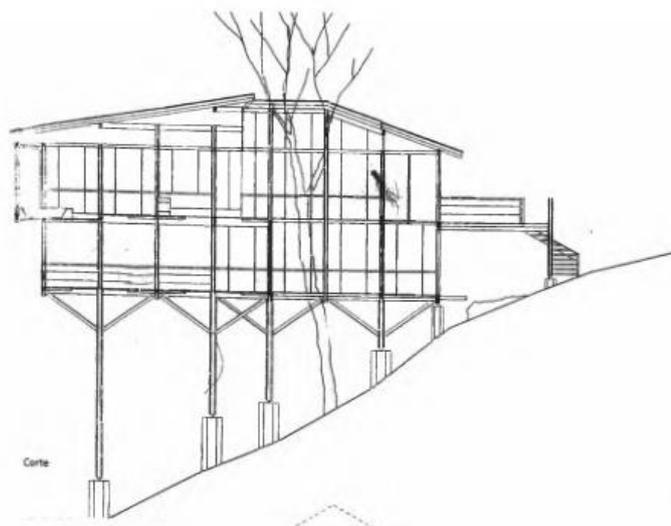


Fonte: Moretti (1997).

Destaca-se a importância que deve ser dada à situação econômica da população a ser atendida pelo loteamento. Determinadas decisões relativas à sua implantação podem onerar não somente o custo do loteamento, como também o custo da construção a ser implantada no lote, em função da necessidade, por exemplo, de obras de contenção (BRASIL, 2018). Neste contexto, cabe

ressaltar a relevância da existência de programas de iniciativa municipal (ou estadual) para a assistência à população de baixa renda no desenvolvimento de projetos para edificações em acordo com as boas práticas de engenharia e arquitetura. Recentemente o Governo do Estado do Rio de Janeiro, por meio da Secretaria de Infraestrutura e Obras em parceria com a Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), lançou o projeto ‘Na régua – Arquitetura acessível, moradia digna’, que faz parte do Programa Casa da Gente e disponibiliza assistência técnica de arquitetos, engenheiros e assistentes sociais sem custo para famílias com renda de até três salários mínimos. Porém, a proposta do programa é limitada a requalificação e melhoria das condições das casas já construídas (SEHIS, 2022).

Figura 77 - Projeto do arquiteto Marcos Acayaba em terreno acidentado, estruturado sobre pilotis que interfere minimamente no solo e no componente paisagístico.



Fonte: Segawa (1996) *apud* Afonso (2001).

Por fim, enfatiza-se também a devida importância que deve ser dada nos projetos de loteamento e edificações com relação as condições de circulação dos pedestres, garantindo a acessibilidade de todos, incluso os de mobilidade reduzida. Para tanto, existem parâmetros técnicos, tanto urbanísticos como edilícios, que devem ser atendidos, tais como inclinações máximas, escolha de materiais dos pavimentos etc. O município de Duque de Caxias conta com o Manual de Calçadas Acessíveis, aprovado por meio do Decreto nº 7.026, de 03 de julho de 2018, que estabelece padrões para calçadas e vias exclusivas para pedestres e determina que os projetos aprovados e obras licenciadas posteriores ao decreto deverão observar as orientações contidas no manual.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temática dos desastres socioambientais vem ganhando crescente relevância nas últimas décadas, tanto no âmbito das pesquisas acadêmicas como nas políticas públicas. No Brasil, os desastres catastróficos ocorridos em Santa Catarina em 2008, na Região Serrana em 2011 e outros eventos similares não apenas alarmaram e comoveram a população e as autoridades, mas também motivaram um aprimoramento da política de Gestão de Riscos de Desastres (GRD) pelo Governo Federal. Ainda que o enfoque na resposta aos desastres seja predominante na abordagem adotada pelas defesas civis municipais, a política de redução de riscos tem gradualmente adquirido uma perspectiva voltada para a prevenção, que perpassa pelo planejamento urbano, considerando que o crescimento acelerado e desordenado das cidades amplia as áreas de risco.

A Lei 12.608/2012 representou um avanço legal na incorporação da temática da Gestão de Riscos de Desastres no campo do planejamento urbano e gestão pública do território, dada sua abordagem sistêmica, priorização das ações preventivas e inclusão do meio físico nas análises de planejamento urbano. Notavelmente, essa lei tornou obrigatório o mapeamento geológico-geotécnico, incorporando essas informações às modificações realizadas no Estatuto da Cidade (Lei Federal n.º 10.257, de 10 de julho de 2001), base para a construção dos planos diretores municipais.

Contudo, apesar das leis e diretrizes formuladas para promover a GRD, sua implementação ainda é incipiente em muitos municípios brasileiros, principalmente devido a fragilidade institucional, técnica e econômica, especialmente nos municípios de menor porte. Uma parcela considerável desses municípios ainda não possui cartografia geotécnica como fonte efetiva de informações para a elaboração de planos urbanos, e suas legislações urbanas não foram adequadamente adaptadas à temática da prevenção e mitigação dos riscos. De fato, apenas 11% dos municípios brasileiros possuem Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade (CGS) e somente 0,5% possuem Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbana (CGAU). Esses números evidenciam o descompasso entre o rápido processo de urbanização e a capacidade do poder público em produzir informações técnicas que embasem as decisões de ocupação do território.

Diante deste cenário, o objetivo principal deste trabalho foi propor uma metodologia para o planejamento territorial urbano com foco nos movimentos de massa, que pudesse ser facilmente aplicável aos municípios brasileiros, mesmo aqueles de menor porte. Levando em conta a realidade de recursos limitados e a escassez de dados cartográficos em muitos municípios, especialmente os menores, a metodologia proposta tem como principal produto para execução da análise urbana o Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa em escala 1:25.000. Esse

mapa é uma ferramenta de simples aplicação e fácil interpretação por meio da leitura direta das informações nele contidas: de forma bem prática pode-se visualizar as áreas não aptas a ocupação e as demais áreas conforme grau de adequabilidade de ocupação (baixa, média e alta aptidão a ocupação urbana). A ideia é que esse mapa possa ser incorporado à revisão da legislação urbana, em especial o Plano Diretor e suas leis complementares, norteando o ordenamento territorial e expansão urbana dos municípios.

Para demonstrar a eficácia da metodologia proposta, utilizou-se como estudo de caso o município de Duque de Caxias, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Embora seja um dos municípios mais populosos do Brasil e possua áreas de riscos associados a movimentos de massa e inundações, ainda não regulamentou a Gestão de Riscos de Desastres com base nos preceitos da lei 12.608/2012. A aplicação da metodologia proposta, com a confecção do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa de Duque de Caxias, permitiu o estabelecimento de diretrizes para direcionamento do crescimento urbano do município, bem como para a reconfiguração da legislação urbana municipal, incluso o Plano Diretor, cuja revisão está pendente desde 2016 e deve ocorrer nos próximos anos.

Ressalta-se que a metodologia proposta foca no conhecimento da suscetibilidade a movimentos de massa para evitar os riscos de desastres em áreas não ocupadas, principalmente porque essa questão é normalmente negligenciada pela gestão pública e pelo próprio planejamento urbano aplicado nos municípios, que costuma enfatizar a criação de instrumentos de intervenção tradicionais, como os parâmetros de ocupação e uso do solo (índices de aproveitamento, gabarito e outros). No entanto, salienta-se que o produto Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa ou a própria Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização (CGAU) que vem sendo elaborada pelo CPRM não devem ser utilizados como ferramentas únicas de definição de diretrizes e tomada de decisão, visto que a aptidão urbana abrange diferentes critérios de análise e complexidade não alcançados por ferramentas ou instrumentos isolados. Sendo assim, a proposta metodológica apresentada não engloba todas as variáveis necessárias para o planejamento territorial e urbano, mas busca oferecer uma abordagem prática para a inserção da temática dos riscos de desastres nesse processo. Além disso, cabe destacar que, embora não seja o foco deste trabalho a avaliação de áreas já ocupadas, é de extrema relevância a atuação do poder público sobre estas áreas por meio de intervenções estruturais e não estruturais que minimizem os riscos de desastres.

É importante reconhecer que a aplicação da metodologia possui algumas limitações, especialmente em relação à dependência da existência de Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade,

o que pode ser um desafio para municípios que ainda não possuem esse mapa. Apesar disso, é relevante lembrar que a avaliação multicriterial descrita neste trabalho (APÊNDICE 5) para a execução da cartografia de aptidão urbana na escala de planejamento também pode ser aplicada na cartografia de suscetibilidade, com critérios variando conforme o objetivo da carta, disponibilidade de informações e particularidades de cada município. Dessa forma, os técnicos do planejamento urbano e ambiental podem seguir o passo a passo apresentado neste estudo e consultar a literatura especializada indicada ao longo do trabalho para desenvolver todas as etapas da metodologia.

Além disso, é relevante mencionar que a escala de mapeamento adotada na metodologia é de 1:25.000, adequada para o planejamento urbano, mas que não atende a demandas específicas relacionadas ao parcelamento do solo, que devem ser avaliadas na escala 1:10.000 ou maior. Portanto, é fundamental compreender as características, limitações e potencial de cada instrumento da cartografia geotécnica para a Gestão de Riscos de Desastres, de acordo com a escala de confecção do produto e sua aplicabilidade. As Cartas de Risco Geológico, por exemplo, embora não apresentem informações sobre áreas não ocupadas do território, podem antecipar um panorama de como a ocupação urbana de determinados padrões de relevo ou declividades do município se comportam diante da ocupação não planejada.

Outra questão a ser considerada é a falta de uma etapa voltada para trabalhos de campo de cunho geológico-geotécnico, como considerado em trabalhos semelhantes já desenvolvidos. Argumenta-se, entretanto, que esta pode não ser uma prática facilmente adotada pela maioria dos municípios brasileiros, devido a diversos problemas, como a falta de recursos para deslocamentos, como automóveis, e a carência de profissionais especializados nesse tipo de serviço dentro do corpo técnico das prefeituras, como geólogos e engenheiros geotécnicos. Em Duque de Caxias, por exemplo, há apenas um profissional da área de Geologia atuando na Prefeitura na Secretaria de Meio Ambiente e com passagem anterior pela Secretaria de Defesa Civil. Todavia, para prefeituras que disponham de recursos apropriados, recomenda-se a inclusão desta etapa a fim de garantir maior robustez aos resultados.

É essencial destacar que, embora a metodologia proposta busque facilitar a incorporação do conhecimento de riscos no planejamento urbano e disseminar a confecção do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa nos municípios brasileiros, especialmente os de pequeno porte, verificou-se por meio desta pesquisa que algumas das maiores cidades brasileiras já possuem cartografia geotécnica para avaliar os riscos de desastres associados a movimentos de massa. No entanto, esses documentos são, em grande parte, subutilizados na

gestão do território, haja vista as poucas referências brasileiras de boas práticas de gestão de riscos de desastres integradas ao planejamento urbano. Identificou-se o problema de governança e intersectorialidade nos municípios como justificativa para esta situação, o que compromete a implementação da GRD. Nesse sentido, é fundamental entender que a atuação isolada do planejamento urbano e o conhecimento sobre os riscos, mesmo quando incorporados à legislação urbana, não são suficientes para conter a ocupação de áreas impróprias e modificar o cenário de crescimento desordenado das cidades. É necessário um esforço conjunto da fiscalização urbana para deter o crescimento em áreas de risco, assim como maiores investimentos do poder público nesse setor. Quanto ao papel do licenciamento urbano, em parceria com a fiscalização urbana, deve-se garantir que novos loteamentos e obras em encostas cumpram os requisitos instituídos no que se refere a diretrizes específicas para ocupação dessas áreas, em relação ao sistema viário, sistema de drenagem e concepção de loteamentos e edificações. Ademais, para áreas de alto risco já ocupadas, é de extrema importância que os programas do poder público estabeleçam parcerias entre defesa civil, planejamento urbano, fiscalização urbana e assistência social para a remoção da população, proporcionando moradia digna e impedindo a reocupação dessas áreas. Conclui-se, portanto, que a implementação da Gestão de Riscos de Desastres requer a atuação conjunta de diferentes áreas para efetivamente reduzir as áreas de riscos de desastres.

A pesquisa também ressalta a importância de ampliar a participação da população não apenas no processo de planejamento urbano, mas também em ações da defesa civil em áreas de risco, por meio do envolvimento das escolas locais no processo de observação da cidade, educação participativa sobre desastres, participação voluntária na separação e remoção de detritos e realização de simulações regulares de desastres, como ocorre no Japão.

Por fim, espera-se que os resultados deste estudo sejam utilizados na revisão da legislação urbana do município de Duque de Caxias, bem como que a metodologia proposta seja eficaz na aplicação em outros municípios, contribuindo assim para o conhecimento da Gestão dos Riscos de Desastres no Planejamento urbano não somente no campo acadêmico, mas na efetiva gestão urbana dos municípios brasileiros. Busca-se dessa forma garantir que os gestores disponham de subsídios técnicos para a incorporação da Gestão de Riscos de Desastres na pauta do planejamento estratégico do território com base numa visão sistêmica. Cabe aos tomadores de decisão, de posse das informações geradas pelas inúmeras pesquisas realizadas regularmente, o desenvolvimento de políticas públicas que visem o desenvolvimento territorial e urbano sustentável das cidades, resultando na diminuição dos episódios de desastres socioambientais ocorridos anualmente e erroneamente justificados como casos fortuitos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme abordado anteriormente, a falta dados cartográficos em escala adequada ao trabalho foi uma dificuldade em Duque de Caxias e é uma realidade na maior parte dos municípios brasileiros. Portanto, recomenda-se fortemente o desenvolvimento de trabalhos neste sentido, de modo que tais informações servirão de base para a outras pesquisas. Diante disso, sugere-se os seguintes temas para trabalhos futuros:

- Elaboração de material cartográfico temático de todo o município de Duque de Caxias em escala de detalhe (ex.: geologia, geomorfologia);
- Elaboração de Carta de Aptidão Urbana frente a movimentos de massa para Duque de Caxias na escala 1:10.000 (aplicação no parcelamento do solo) nas áreas passíveis de expansão urbana;
- Estudo de aptidão urbana no município de Duque de Caxias considerando a suscetibilidade a processos de inundações, com elaboração de Carta de Aptidão Urbana frente a inundações, na escala 1:10.000 (aplicação no parcelamento do solo).
- Estudos quantitativos sobre a influência do posicionamento de estradas não-infraestruturadas nas encostas com média e alta suscetibilidade a movimentos de massa.
- Aplicação da metodologia simplificada proposta neste trabalho em outros municípios do Brasil que já possuam a Carta Geotécnica de Suscetibilidade.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABARQUEZ, I; MURSHED, Z. **Field Practitioners' Handbook**. Bangkok: Asian Disaster Preparedness Center (ADPC), 2004.

ABNT NBR 5422:1985. **Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica**. Rio de Janeiro, 1985.

AFONSO, S. **Urbanização de encostas: projetando a arquitetura da paisagem**. Paisagem e Ambiente, (14), 43-78. São Paulo, 2001.

AGEVAP- Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Atlas da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá**. Org. João Paulo Paulino Coimbra. 1ª edição. Resende, 2021. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Atlas_CBH-BG.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2023.

ALHEIROS, M. M. **Plano Municipal de Redução de Risco**. Capítulo 5. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 58-75. Disponível em: <<http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/prevencaoriscos.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

ALHEIROS, M. M.; SOUZA, M. A. A.; BITOUN, J.; MEDEIROS, S. M. G. M.; AMORIM JÚNIOR, W. M. **Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife**. Recife: Programa Viva o Morro, 147, 2003. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/institucional/136-secretaria-nacional-de-programas-urbanos/prevencao-e-erradicacao-de-riscos/1854-manual-de-ocupacao-de-morros-na-regiao-metropolitana-de-recife>>. Acesso em 25 de abr. 2023.

ALLEN, S. K.; RASTNER, P.; ARORA, M.; HUGGEL, C.; STOFFEL, M. **Lake outburst and debris flow disaster at Kedarnath, June 2013: hydrometeorological triggering and topographic predisposition**. Landslides, 13(6), 1479–1491. Berlin, 2015.

ALMEIDA, E. P de. **A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil: os desastres como problema político**. 1º Seminário Internacional de Ciência Política-Estado e Democracia em Mudança no Século XXI, 2015.

ALMEIDA, T. M. S. A. **Por “Trilhas, roteiros e legendas de uma cidade chamada Duque de Caxias: memórias e representações de Francisco Barboza Leite (1950-1990)**. 299 f. Tese (Doutorado em Humanidades, Culturas e Artes) – Universidade do Grande Rio – Prof. José de Souza Herdy, Duque de Caxias, 2017.

ANDRESSEN, R; PULWARTY, R. **Análisis de las lluvias excepcionales causante de la tragedia del estado vargas, Venezuela, em diciembre de 1999**. En: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE DESARROLLO SUSTENTABLE, p. 148-167. Mérida, 2001.

ANP – Agência Nacional de Petróleo. **Portaria ANP nº 125 de 05/08/2002**. Dispõe sobre a execução de Obras com Interferência em dutos de petróleo e derivados. Diário Oficial da União, 6 agosto de 2002. Disponível em: < <https://atosoficiais.com.br/anp/portaria-tecnica-n-125-2002-dispoe-sobre-os-procedimentos-de-natureza-preventiva-a-serem-adotados-no-acompanhamento-de-obras-com-interferencia-em-faixa-de-dominio-de-dutos-de-petroleo-seus-derivados-ou-gas-natural>>. Acesso em: 25 jan. 2023.

APOSTOLOU, B.; HASSELL, J. **An empirical examination of the sensitivity of the analytic hierarchy process to departures from recommended consistency ratios**. Mathematical and computer modelling, v. 17, n. 4-5, p. 163-170, 1993. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/089571779390184Z>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

ARSLAN, H. M. **Current classification of multi criteria decision analysis methods and public sector implementations**. Current Debates in Public Finance Public Administration and Environmental Studies, 13(13), 242, 2018.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, LE da S.; AMENOMORI, C. J. **Riscos geológicos: aspectos conceituais**. Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano. São Paulo: ABGE. p.334-341, 1990.

BANA e COSTA, C. A.; STEWART, T. J.; VANSNICK, J.C. **Multicriteria decision analysis: Some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings**. European Journal of Operational Research, v. 99, n. 1, p. 28-37, 1997.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Santa Catarina** - Novembro de 2008. Brasília, 2012.

BANCO MUNDIAL (b). **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro de 2011**. Brasília, 2012.

BARCELLOS, P. D. C. L.; SILVA, F.; VISSIRINI, F. S. B.; MAGALHÃES, C. A.; TERRA, J. M.; DUTRA, M. R. F.; AMARAL, I. C. F. **Diagnóstico Meteorológico dos desastres naturais ocorridos nos últimos 20 anos na cidade de Duque de Caxias**. Rev. Bras. Meteorol, 31(3), 319-329, 2016.

BARROSO, J. A.; CABRAL, S. **30 anos de geologia de engenharia na UFRJ: visões do passado e do futuro**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 20, p. 163-174, 1997.

BATISTA, P. H. L.; ALMEIDA, J.P.; CABRAL, P. R. C.; GALVÃO, Thiago. **Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres: instrumento de suporte ao planejamento territorial com apoio do Ministério das Cidades**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15, Bento Gonçalves, RS. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015.

BELOCH, I. **Capa preta e Lurdinha: Tenório Cavalcanti e o povo da Baixada**. Editora Record, 1986.

BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer Science e Business Media, 2002.

BITAR, O.Y., CERRI, L.E.S., NAKAZAWA, V.A. **Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil.** In: Simpósio Latino Americano Sobre Risco Geológico Urbano, 2, Pereira. Atas, v. 1, p.35-41. 1992.

BITAR, O. Y.; FREITAS, CGL; MACEDO, E. S. **Guia Cartas geotécnicas: orientações básicas aos municípios.** São Paulo: IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2015.

BLUMENAU. **Decreto nº 9853, de 19 de novembro de 2012. Dispõe sobre as áreas com restrição de uso e ocupação do solo e dá outras providências.** Disponível em:<<https://leismunicipais.com.br/a/sc/b/blumenau/decreto/2012/985/9853/decreto-n-9853-2012-dispoe-sobre-as-areas-com-restricao-de-uso-e-ocupacao-do-solo-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

BLUMENAU. **Lei Complementar nº 1181, de 02 de abril de 2018. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Blumenau.** Disponível em:<<https://leismunicipais.com.br/a/sc/b/blumenau/lei-complementar/2018/118/1181/lei-complementar-n-1181-2018-dispoe-sobre-o-plano-diretor-do-municipio-de-blumenau>>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

BLOOM, A.L. **Superfície da terra.** Edgard Blucher/Edusp. São Paulo, 1988.

BRASIL. **Lei Federal Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Diário Oficial da União, p. 19457-19457, 1979.

BRASIL. Secretaria de Defesa Civil, Ministério da Integração Nacional (SEDEC/MI). **Política Nacional de Defesa Civil.** Brasília, 2000.

BRASIL. **Lei Federal Nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Estatuto da Cidade; Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União, 11 de julho de 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. Departamento de Ciência e Tecnologia em Saúde. **Atuação do Ministério da Saúde no Caso de Contaminação Ambiental por Pesticidas Organoclorados, na Cidade dos Meninos, Município de Duque de Caxias, RJ.** Brasília: Ministério da Saúde, 2003.

BRASIL. **Lei Federal Nº 10.932, de 03 de agosto de 2004.** Altera o art. 4º da Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que "dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências". Diário Oficial da União, 04 de agosto de 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Programas Urbanos. **Orientação Operacional Nº. 01/2011.** Brasília, 2011. Disponível em:<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Orientacao_operacional_Prevencao_de_Riscos_SNPU_16-06.pdf> Acesso em: 23 abr. 2023.

BRASIL. **Lei Federal Nº 12.608, de 10 de abril de 2012.** Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC. Diário Oficial da União, 12 abril de 2012.

BRASIL. **Instrução Normativa n. 2, de 20 de dezembro de 2016**. Diário Oficial da União. Seção 1, n. 245, quinta-feira, 22 de dezembro de 2016. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://www.lexeditora.com.br/legis_27252328_INSTRUCAO_NORMATIVA_N_2_DE_20_DE_DEZEMBRO_DE_2016.aspx>. Acesso em: 5 de setembro de 2019.

BRASIL. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Ministério da Integração Nacional. **Manual de Proteção e Defesa Civil: Glossário de Proteção e Defesa Civil**. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano. **Manual Técnico para Redução de Riscos de Desastres Aplicado ao Planejamento Urbano – Volume 6**. Projeto GIDES. 2018. Disponível em: <<https://www.jica.go.jp/brazil/portuguese/office/publications/c8h0vm000001w9k8att/volume6.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2022

BRASIL. **Lei Federal Nº 13.913, de 25 de novembro de 2019**. Altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, para assegurar o direito de permanência de edificações na faixa não edificável contígua às faixas de domínio público de rodovias e para possibilitar a redução da extensão dessa faixa não edificável por lei municipal ou distrital. Diário Oficial da União, Seção 1, 26 de novembro de 2019

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais>. Acesso em: 25 abr. 2023.

BRASIL. **Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização: Um instrumento para prevenção de riscos e desastres naturais**. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/acoes-e-programas/cartas-geotecnicas-de-aptidao-a-urbanizacao-um-instrumento-para-prevencao-de-riscos-e-desastres-naturais>>. Acesso em: 06 de março de 2023.

BRAZ, A. A.; ALMEIDA, T. M. A. **De Merity a Duque de Caxias: encontro com a história da cidade**. Duque de Caxias, RJ, APPH-CLIO, 2010.

BUSCH, A.; AMORIM, S. **A tragédia da região serrana do Rio de Janeiro em 2011: procurando respostas**. 2011. ENAP: Casoteca de Gestão Pública. Disponível: <<http://casoteca.enap.gov.br/>>. Acesso em: 29 de maio de 2015.

CARMO, R.L.; ANAZAWA, T.M. **Mortalidade por desastres no Brasil: o que mostram os dados**. Ciênc. saúde coletiva [online]. vol.19, n.9. Campinas, pp.3669-3681, 2014.

CARVALHO, D. W. **Instrumentos de prevenção a desastres: as medidas não estruturais e a construção de cidades resilientes**. Revista Novos Estudos Jurídicos – Eletrônica, vol. 20, n. 1, jan-abr 2015.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. **Ação do ministério das cidades de apoio à prevenção de riscos geotécnicos em assentamentos precários**. SEFE V, 2004. Disponível em:<<https://antigo.mdr.gov.br/dadosabertos/136-secretaria-nacional-de-programas->

urbanos/prevencao-e-erradicacao-de-riscos/1851-acao-do-ministerio-das-cidades-de-apoio-a-prevencao-de-riscos-em-assentamentos-precarios>. Acesso em: 23 abr. 2023.

CASTRO, A.L.C. **Glossário de defesa civil: estudos de riscos e medicina de desastres**. Ministério do Planejamento e Orçamento, Departamento de Defesa Civil. Brasília, 1998.

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres - UFSC. **Resposta ao desastre em Santa Catarina no ano de 2008: avaliação das áreas atingidas por movimentos de massa e dos danos em edificações durante o desastre**. Florianópolis, 2009.

CERRI, L.E.S. **Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras**. In: ABGE Cong. Bras. Geologia de Engenharia, 6, Salvador, Anais p.309-317, 1990.

CERRI, L. E. S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINE, J. E. **Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo**. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: ABGE, 1996, v.2, p. 537-548.

CERRI, L. E. S; AMARAL, C. P. **Riscos Geológicos**. In: BRITO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo, p. 301-310, 1998.

CERRI, L. E. S; NOGUEIRA, F. R. **Mapeamento e gestão de riscos de escorregamentos em áreas de assentamentos precários**. In: Gestão de Áreas de Riscos e Desastres Ambientais. 1ª edição. Rio Claro: IGCE/UNESP/RIO CLARO, 2012. Disponível em:<
http://www1.rc.unesp.br/igce/newpos/new_geo/downloads/livrospos/gestao/gestao_de_areas.pdf
>. Acesso em: 23 de abr. 2023.

CETESB. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas** / CETESB, GTZ - Projeto de Cooperação Técnica Brasil – Alemanha. 2.ed. São Paulo, 2001.

CETESB. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas** [recurso eletrônico] / CETESB; Organizadores [e] revisores Elton Gloeden, André Silva Oliveira, Fernando Ricardo Scolamieri Pereira. 3.ed. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/>> Acesso em: 09 de fevereiro de 2023.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL GRANDE ABC. **Plano Diretor Regional do Grande ABC**. Relatório final. PDR: Diretrizes, Macrozoneamento, Instrumentos e Programas Territoriais Estratégicos. 167 p., 2016. Disponível em:
<<http://consorcioabc.sp.gov.br/imagens/noticia/Plano%20Diretor%20Regional.pdf>>. Acesso em: 23 de novembro de 2019.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - Serviço Geológico do Brasil. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Duque de Caxias**. RJ, 2013a. Disponível em:
<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Rio-de-Janeiro-5082.html>>. Acesso em: 30 mar 2023.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - Serviço Geológico do Brasil. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Magé**. RJ, 2013b. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Rio-de-Janeiro-5082.html>>. Acesso em: 30 mar 2023.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização frente a desastres naturais: município de Magé**. RJ, 2015. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Produtos-por-Estado---Cartas-Geotecnicas-de-Aptidao-a-Urbanizacao-5370.html>>. Acesso em: 30 mar 2023.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - Serviço Geológico do Brasil. **Carta de padrões de relevo: município de Duque de Caxias, RJ**. RJ, 2018. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Cartas-Municipais-para-Download---Cartas-Geomorfologicas-Municipais-5426.html>>. Acesso em: 30 mar 2023.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geotécnica de Teresina – PI**. Projeto Café Geológico S01E03, 08 de maio de 2020. Palestrantes: José Sidney Barros e José Milton de Oliveira Filho, pesquisadores do CPRM, Departamento de Gestão Territorial. Disponível em: <<https://eduplay.rnp.br/portal/video/114381>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - Serviço Geológico do Brasil. Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial. Volume 4 – Versão 1. **Cartas de Padrões de Relevo Municipais Escala 1:25.000**. Brasília: 2021. Disponível em: < <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22273>>. Acesso em: 30 mar 2023.

CROZIER, M. J.; GLADE, T. **Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach**. Landslide hazard and risk, p. 1-40, 2005.

CRUDEN, D. M. **A simple definition of a landslide**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 43, n. 1, p. 27-29, 1991.

CRUDEN, D. M. **The first classification of landslides?** Environmental e Engineering Geoscience, v. 9, n. 3, p. 197-200, 2003.

CUCCO, J. **Gestão territorial em faixas de servidão de linhas de transmissão propensas à invasão utilizando lógica difusa**. Florianópolis, 2011. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95173/300098.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2023.

COSTA, E. B.; FERREIRA, T.A. **Planejamento urbano e gestão de riscos - vida e morte nas cidades brasileiras**. OLAM-Ciência e Tecnologia, v. 10, n. 2, 2010.

CUI, P., ZHOU; G. G.; ZHU, X. H.; ZHANG, J. Q. **Scale amplification of natural debris flows caused by cascading landslide dam failures**. Geomorphology, 182, 173-189. 2013.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X12005296>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

CUNHA, M. A. (Coord.) Manual de Ocupação de Encostas. São Paulo: IPT, 1991.

DA SILVEIRA, L. A.; RIBEIRO, M. A. **Situando Duque de Caxias no contexto metropolitano da Baixada Fluminense: de cidade dormitório a cidade plena.** In: MARAFON, G.J; RIBEIRO, M.A (Org.) Revisitando o Território Fluminense. Rio de Janeiro: FAPERJ, 2017.

DANTAS, M. E. **Análise de padrões de relevo: um instrumento aplicado ao mapeamento da geodiversidade.** In: BANDEIRA, I. C. N. (org.). Geodiversidade do estado do Maranhão. Teresina: CPRM, 2013. p.133-140. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14761>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

DANTAS, M. E.; RENK, J. F. C. **Carta de padrões de relevo: município de Duque de Caxias, RJ.** [Rio de Janeiro]: CPRM, 2018. 1 mapa, color. Escala 1:60.000. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/19418?mode=full>>. Acesso em: 27 nov. 2022.

DAVIS, B.E. **GIS: A visual approach.** Cengage Learning, 2001.

DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA, Grupo Reação. **Santa Catarina – o Maior Desastre de sua História.** Disponível em: <www.slideshare.net/comissaosantacatarina/defesacivil-sc>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

DE OLIVEIRA FILHO, G. R. **Os movimentos de massa na região serrana do estado do Rio de Janeiro em 2011: diagnóstico e proposição de medidas para enfrentamento de desastres ambientais.** CES Revista, 26(1), p. 149-164, 2012.

DE OLIVEIRA SILVA, L.; DE MELLO BANDEIRA, R. A.; CAMPOS, V. B. G. **Procedimento para estruturação da rede de distribuição de ajuda humanitária: o caso da enchente de duque de Caxias-RJ, 2013.** TRANSPORTES, 27(1), 16-30, C170. 2019.

DIAS, M. A. F. S. (Org.) **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos.** 2009.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Resolução nº7, de 02 de março de 2021.** Dispõe sobre o uso das faixas de domínio de rodovias federais sob circunscrição do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio/regulamentacao-atual/copy_of_resolucao72021.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2023.

DINIZ, N.C. **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental.** Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2v, 1998.

DINIZ, N. C. **Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão.** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, n. 2, p. 29-78, 2012.

- DINIZ, N. C.; FREITAS, C. G. L. **Cartografia geotécnica**. COUTINHO, RQ (coord. geral e org.). Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. Brasília, Ministério das Cidades/GEGEP/UFPE, 2013.
- DOBHAL, D. P.; GUPTA, A. K.; MANISH, M.; KHANDELWAL, D. D. **Kedarnath disaster: Facts and plausible causes**. Current Science, v. 105, n. 2, p. 171-174, 2013.
- DOGSON, J. S.; SPACKMAN, M., PEARMAN, A.; PHILLIPS, L. D. **Multi-criteria analysis: a manual**. Communities and Local Government. London, 2009.
- DOURADO, F; ARRAES, T; FERNANDES; SILVA, M. **O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, Vol. 35 - 2. Rio de Janeiro, p.43-5, 2012.
- DRM. Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro – NADE/DRM-RJ. **O Fluxo Torrencial ou Concentrado ou A Corrida do Capivari, em Xerém**. 2013. Disponível em <<http://www.drm.rj.gov.br/>>. Acesso em: 05 de novembro de 2019.
- DUQUE DE CAXIAS. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Duque de Caxias**. 2017. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/88260870-Plano-municipal-de-saneamento-basico-do-municipio-de-duque-de-caxias.html>>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- DUTRA, C. **Gestão de riscos e a legislação urbanística municipal**. Consultoria jurídica. 2013.
- EASTMAN, J. R. **Guide to GIS and image processing**. Clark University, USA, 2, 144, 2001.
- EINSTEIN, H.H. **Landslide risk assessment procedure**. 4th International symposium on Landslides. Lausanne, 1987.
- EVANS, S. G.; DEGRAFF, J. V. (Ed.). **Catastrophic landslides: effects, occurrence, and mechanisms**. Geological Society of America, 2002.
- EXTRA. **Maior tragédia natural da história do país, com 1.700 mortos no Rio, completa 50 anos**. 31 de julho de 2017. Disponível em: <<https://extra.globo.com/noticias/rio/maior-tragedia-natural-da-historia-do-pais-com-1700-mortos-no-rio-completa-50-anos-21649727.html>>. Acesso em: mai. de 2019.
- FACEBOOK. **Amigo do bairro Amapá. Enchentes no bairro do amapá - Duque de caxias – RJ**. 5 de janeiro de 2013 . Disponível em: <<https://www.facebook.com/media/set/?set=a.542118845813040&type=3>>. Acesso em: 15 mai. 2023.
- FACEBOOK. Prefeitura de Duque de Caxias. **Programa de combate às enchentes**. 14 de Janeiro de 2021. Disponível em: <<https://www.facebook.com/prefeituraduquedecaxias/photos/a.1232399213462447/3625919664110378/?type=3>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

FARIA, D. G. M.; AUGUSTO FILHO, O. **Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas.** Revista do Instituto Geológico, 34(1), 23-44. 2013. Disponível em: <<https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/8945/0>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. **Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning.** Engineering Geology, v. 102, n. 3-4, p. 99-111, 2008.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. **Movimentos de Massa: uma abordagem Geológico-Geomorfológica.** Cap. 3. In: GUERRA, A.J.T. (org.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, Ed. 3, p. 123-194, 2000.

FIGUEIREDO, A. C. R.; MENDONÇA, M. B.; AVELAR, A. S. (2017). **As influências das ações antrópicas na estimativa da suscetibilidade a movimentos de massa em uma comunidade em Niterói, RJ.** In: II Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres, Rio de Janeiro, 2017.

FLORES, J.A.A.; PELLERIN, J. R. G. M.; ÉGAS, H. M. **Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de Gaspar, Vale do Itajaí, SC, na catástrofe de novembro de 2008. Caracterização dos processos por critérios geomorfológicos, geológicos e pedológicos.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

FOGLIATTO, F. S.; ALBIN, S. L. **An AHP-based procedure for sensory data collection and analysis in quality and reliability applications.** Food Quality and Preference. v. 14, p. 375 – 385. 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950329303000065>>. Acesso em: 25 abr. 2023.

FRANCIK, S., PEDRYCZ, N., KNAPCZYK, A., WÓJCIK, A., FRANCIK, R., e LAPCZYNSKA-KORDON, B. **Bibliometric analysis of multiple criteria decision making in agriculture.** Technical Sciences/University of Warmia and Mazury in Olsztyn. (2017).

G1. **Especialistas divergem sobre maior tragédia climática da história do país.** 17 de janeiro de 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/chuvas-no-rj/noticia/2011/01/especialistas-divergem-sobre-maior-tragedia-climatica-da-historia-do-pais.html>> Acesso em: abr. de 2019.

GANEM, R.S. **Gestão de desastres no Brasil.** Estudo. Consultoria Legislativa, Câmara dos deputados. Brasília, DF, 2012.

GEBRE, S. L.; CATTRYSSSE, D.; VAN ORSHOVEN, J. **Multi-criteria decision-making methods to address water allocation problems: A systematic review.** Water, v. 13, n. 2, p. 125, 2021.

GENATIOS, C. **Vargas, desastre, proyecto y realidad.** Trabajo de ingreso a la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat como miembro correspondiente. 2010.

GENEVOIS, R.; GHIROTTI, M. **The 1963 vaiont landslide**. *Giornale di Geologia Applicata*, v. 1, n. 1, p. 41-52, 2005.

GERSCOVICH, D. M. S. **Apostila Estabilidade de Taludes**. Faculdade de Engenharia/UERJ. Departamento de Estruturas e Fundações. Rio de Janeiro, 2009.

GOEPEL, K. D. **Implementing the analytic hierarchy process as a standard method for multi-criteria decision making in corporate enterprises—a new AHP excel template with multiple inputs**. In *Proceedings of the international symposium on the analytic hierarchy process* (Vol. 2, No. 10, pp. 1-10). Kuala Lumpur, Malaysia: Creative Decisions Foundation Kuala Lumpur. 2013. Disponível em: < https://bpmsg.com/wordpress/wp-content/uploads/2013/06/ISAHP_2013-13.03.13.Goepel.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2023.

GÓMEZ DELGADO, M.; BARREDO CANO, J.I. **Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio**. 2ª. Ed. México, 2005.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis I; FERRER, M.; ORTUÑO, L.; OTEO, C. **Ingeniería geológica**. Pearson Education, Madrid, 2002.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. Editora Edgard Blücher. 2ª. Ed. São Paulo, 1984.

GUTIÉRREZ, M. **Geomorphology**. CRC Press, 2012.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Grupo Reação. **Santa Catarina, o maior desastre de sua história. 27 slides**. Sem data. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/10106734-Governo-do-estado-de-santa-catarina-grupo-reacao-santa-catarina-o-maior-desastre-de-sua-historia.html>>. Acesso em: mai. de 2019.

HASSAN, V. V.; BARCELLOS, P. D. C. L. SILVA, J. C. **Método Preditivo para Acionamento das Sirenes nas Comunidades Vulneráveis a Escorregamentos no Município de Duque de Caxias, Estado do Rio de Janeiro, Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências, 40(1), 127-134, 2017.

HUNGR, O.; LEROUEIL, S.; PICARELLI, L. **The Varnes classification of landslide types, an update**. *Landslides*, v. 11, n. 2, p. 167-194, 2014.

HWANG, C. L.; YOON, K.; HWANG, C. L.; YOON, K. **Methods for multiple attribute decision making. Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey**. 58-191, 1981.

IAEG - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. Commission on engineering geological maps. **Engineering geological maps: A guide to their preparation**. Paris, Unesco Press, 1976.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades: Panorama de Duque de Caxias**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/duque-de-caxias/panorama>>. Acesso em: 09 mai. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas urbanizadas**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?et=acesso-ao-produto>> Acesso em: 15 abr. 2023.

IGEOLÓGICO. **Movimentos de massa: tombamento de blocos, rastejo**. 2022. Disponível em: <<https://igeologico.com.br/processos-de-dinamica-superficial-movimentos-de-massa/>>. Acesso em: 01 jun. 2023.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. **Monitoramento e cobertura**. Rio de Janeiro: INEA, 2023. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/monitoramentousocobertura/>> Acesso em: 31 mar. 2023.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. **Mapeamento de Uso do Solo e Cobertura Vegetal da RH V - Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro: INEA, 2021. Disponível em: <<https://inea.maps.arcgis.com/home/item.html?id=3285068c8b5e4e9aac5a35ba529b71d9>> Acesso em: 31 mar. 2023.

INFANTI JR, N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos de dinâmica superficial**. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, p. 131-152, 1998.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mineração e Município: Bases para planejamento e gestão de recursos minerais**. Coordenadores: Luiz Carlos Tanno e Ayrton Sintoni. São Paulo: 2003. Disponível em: <<http://web.eep.br/~phlbiblio/10018744.pdf>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2023.

JACOBI, P. **O Globo**, Rio de Janeiro, 04 jan. 2013. Caderno Rio. p.9, fotografia colorida. Disponível em: <<https://acervo.oglobo.globo.com/>>. Acesso em: 07 agosto de 2019.

JAKOB, M.; HUNGR, O. **Debris-flow hazards and related phenomena**. Berlin: Springer, p.35, 2005.

JANSEN, G. R.; VIEIRA, R. **Resiliência Urbana: o Plano de Reconstrução Sustentável de Constituição e a Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí**. Anais ENANPUR, v. 17, n. 1, 2017. Disponível em: <<http://anais.anpur.org.br/index.php/anaisenanpur/article/view/1967>>. Acesso em: 02 de outubro de 2019.

JONES, F. **Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras Escarpment, Brazil**. U.S. Geological Survey Prof Paper, 697p.42. 1973.

JANSEN, G. R.; VIEIRA, R. **A construção de políticas urbanas e os desastres: a Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-SC**. In: VIII Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Balneário Camboriú, Junio 2016. Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Universitat Politècnica de Catalunya.

JORNAL DA HORA. **Prefeitura de Duque de Caxias e Governo do Estado anunciam a canalização do Rio Roncador, em Nova Campinas. 20 de Janeiro de 2022**. Disponível em: <<https://dahorajornal.com.br/2022/01/21/prefeitura-de-duque-de-caxias-e-governo-do-estado-anunciam-a-canalizacao-o-rio-roncador-em-nova-campinas-20-01-22/>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

JORNAL GGN. **Milícias avançam sobre reserva ambiental no Rio de Janeiro**. 03 de julho de 2019. Disponível em: <<https://jornalgggn.com.br/seguranca-publica/milicias-avancam-sobre-reserva-ambiental-no-rio-de-janeiro/>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

JOSEPH, S.; SAHAI, A. K.; SHARMILA, S., ABHILASH, S.; BORAH, N.; CHATTOPADHYAY, R.; PILLAI, P.A.; RAJEEVAN, P.; KUMAR, A. **North Indian heavy rainfall event during June 2013: diagnostics and extended range prediction**. *Climate Dynamics*, 44(7-8), 2049–2065. 2014.

JTC-1. **Manual para o zoneamento de susceptibilidade de perigo e risco de escorregamento para o planejamento de uso do solo**. Joint Technical Committee 1 – Landslides and Engineered Slopes, da ISSMGE, IAEG e ISRM, 2008.

KORMANN, T. C.; ROBAINA, L. E. S. **Ocupação das encostas e a formação das áreas de risco a movimentos de massa em Blumenau - SC**. *Geo UERJ*, n. 28, p. 269-290, 2016.
MADER, G. G. **A model of effective use of geology in planning, Portola Valley, California**. SCHWAB, J.C; GORI, P.L; JEER, S (Org.). *Landslide Hazards and Planning*. American Planning Association, n. 533-534, p. 96-112, 2005.

LIMA, R. R. (2016). **Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais e induzidos elaborada para o município do Ipojuca-PE na escala de planejamento (1: 25.000)**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/24522/1/TESE%20Robson%20Ribeiro%20Lima.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

LIN, Q.; WANG, Y.; GLADE, T.; ZHANG, J.; ZHANG, Y. **Assessing the spatiotemporal impact of climate change on event rainfall characteristics influencing landslide occurrences based on multiple GCM projections in China**. *Climatic Change*, 162, 761-779. 2020.

MADER, G. G. **Connections: The EERI Oral History Series – George G. Mader (Laurie Johnson, interviewer)**. Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, 2014. Vol. 22. p. 21-30. Disponível em: <https://www.eeri.org/monographs-and-oral-histories/oral-history-series/>. Acesso em: 22 de outubro de 2019.

MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. John Wiley e Sons, New York, 1999.

MARICATO, E. **Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana**. 7. Ed. – Petrópolis, RJ: Vozes, 2013.

MARTHA, T. R.; ROY, P.; GOVINDHARAJ, K. B.; KUMAR, K. V.; DIWAKAR, P. G.; DADHWAL, V. K. **Landslides triggered by the June 2013 extreme rainfall event in parts of Uttarakhand state, India**. *Landslides*, 12(1), 135–146. Berlin, 2014.

MASCARÓ, J. L. **Loteamentos Urbanos**. 2ª ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2005.

MCGUIRE, B.; BURTON, P.; KILBURN, C. R.; WILLETTS, O. **World Atlas of Natural Hazards**. Oxford University Press. London: Arnold, 2004.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo**. Estudos Avançados, [S. l.], v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10475>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2023.

MENDONÇA, M.B. **Gestão de riscos e desastres associados a movimentos de massa**. Notas de aula. Programa de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MENDONÇA, M.B.; GUERRA, A.T. **A Problemática dos Processos Geodinâmicos frente a Ocupação de Encostas**. In: Proceedings of the 2nd Panamerican Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, vol 2, pp 935–940, 1997.

MIZUYAMA, T. **Sediment hazards and SABO works in Japan**. International Journal of Erosion Control Engineering, v. 1, n. 1, p. 1-4, 2008.

MONTGOMERY, C.W. **Environmental geology**. 3ª ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 465p., 1992.

MORETTI, R.S. **Normas urbanísticas para habitação de interesse social: recomendações para elaboração**. São Paulo: IPT FINEP, 1997.

NAVARRO, L. F. C.; JACKSON JR, L. E. **Evolution of landslide activity, and the origin of debris flows in the el niño affected payhua creek basin, matucana area, huarochiri, peru**. 2006.

NILSEN, T.H; WRIGHT, R.H; VLASIV, T.C; SPANGLE, W.E. **Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region, California**. Geological Survey Professional paper 944. United States Government Printing Office, 1979.

NOGUEIRA, F. R. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 260 p. São Paulo, 2002.

NOGUEIRA, F; CANIL, K. **Metodologia e procedimentos para a elaboração de cartas de aptidão à urbanização nos municípios de São Bernardo do Campo e Rio Grande da Serra, Região do Grande ABC, SP**. In: 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015, Cuiabá. Anais do 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015.

NOGUEIRA, F; CANIL, K. **Cartas geotécnicas de aptidão a urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres e para a gestão do uso do solo**. In: XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 2017, São Paulo, SP. Anais do XVII ENANPUR. Desenvolvimento, crise e resistência: quais os caminhos do Planejamento Urbano e Regional?. São Paulo, SP: FAU-USP, v. 1. p. 1-15, 2017.

NOGUEIRA, F. R.; OLIVEIRA, V. E.; CANIL, K. **Políticas públicas regionais para gestão de riscos: o processo de implementação no ABC, SP**. Ambiente e Sociedade, 17(4), p. 177-194, 2014.

NUNES, A.L.L.S.; SAYÃO, A.S.F.J. **Debris Flows e Técnicas de Mitigação e Convivência**. 14CNG – Congresso nacional de Geotecnia. Geotecnia nas infraestruturas, Covilhã, Portugal, pp. 83 – 123, 2014. Disponível em: < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/27828/27828_3.PDF>. Acesso em: 25 de julho de 2019.

O DIA. **MPF requisita investigação de crime ambiental em área de proteção em Caxias**. 16 de março de 2021. Disponível em: < <https://odia.ig.com.br/duque-de-caxias/2021/03/6105910-mpf-requisita-investigacao-de-crime-ambiental-em-area-de-protecao-em-caxias.html>>. Acesso em: 15 mai. 2023

O GLOBO. **Os seis piores deslizamentos de terra do mundo**. Sem data. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/mundo/os-seis-piores-deslizamentos-de-terra-do-mundo-14397154>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

OJEDA, J.; DONNELLY, L. **Landslides in Colombia and their Impact on Towns and Cities**. IAEG Paper, v. 112, p. 1-13, 2006.

OLIVEIRA FILHO, I. B. de. **Carta geotécnica de aptidão à urbanização em ambiente cárstico - Lapão – BA**. 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

OLIVEIRA, R. M. **Cidade dos meninos, Duque de Caxias, RJ, linha do tempo sobre a contaminação ambiental e humana**. Rio de Janeiro, 2008.

PAL, R.; BISWAS, S. S.; MONDAL, B.; PRAMANIK, M. K. **Landslides and floods in the Tista Basin (Darjeeling and Jalpaiguri Districts): historical evidence, causes and consequences**. Journal of Geophysics Union, v. 20, n.2, p. 209-215, 2016.

PARKASH, S. **Earthquake related landslides in the Indian Himalaya: experiences from the past and implications for the future**. In: Landslide Science and Practice. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 327-334, 2013.

PEARCE, L. **Disaster management and community planning, and public participation: how to achieve sustainable hazard mitigation**. Natural hazards, v. 28, n. 2-3, p. 211-228, 2003.

POKHAREL, G.; DHAKAL, A. S.; BHATTARAI, K. K. **Rainfall induced disaster and landslides of 1993 in Nepal in geotechnical engineering perspectives**. In: Proceedings of the internacional conference on soil mechanics and foundation engineering. Balkema, p. 2023-2026, 1997.

POHLMANN, P.; PICCININI, L.; DA SILVA FILHO, L. **Gerenciamento de riscos: qual é o papel do planejamento urbano?** Em: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Avanços no Desempenho das Construções - Pesquisa, Inovação e Capacitação Profissional. Maceió/AL, 2014.

PETROBRÁS, 2023. **Terminal Campos Elíseos**. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/terminais-e-oleodutos/terminal-campos-eliseos.htm>>. Acesso em: 6 de jan. de 2023.

PRANDINI, F.L., NAKAZAWA, V.A., FREITAS, C.G.L. e DINIZ, N.C. **Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais**. In: O.Y. BITAR (coord.). 1995. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE/IPTDIGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente, p.187-202, 1995.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU (PMB). **Blumenau 2050**. Cidade de Blumenau. Revista de divulgação do Programa de Desenvolvimento Urbano de Blumenau, ano I, n.1, 2008. Disponível em: <http://www.blumenau.sc.gov.br/downloads/seplan/revista_blumenau_2050.pdf>. Acesso em: 30 de setembro de 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU (PMB). **Blumenau 2050**. Cidade de Blumenau. Revista de divulgação do Programa de Desenvolvimento Urbano de Blumenau, ano II, n.2, 2011. Disponível em: <http://www.blumenau.sc.gov.br/downloads/seplan/revista_2050_2.pdf>. Acesso em: 30 de setembro de 2019.

PROIN/CAPEs e UNESP/IGCE. **Material didático: arquivos de transparências (CD)**. Rio Claro: Departamento de Geologia aplicada, 1999. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09a.html>>. Acesso em: 24 de julho de 2019.

REUTERS. **Nearly 6,000 missing after floods in Uttarakhand**. 15 de julho de 2013. Disponível em: <<https://in.reuters.com/news/picture/uttarakhand-flood-crisis-idINRTX10Y6W>>. Acesso em jun. 2019.

REZENDE, O. M.; MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. **Manejo de águas urbanas e sua relação com o desenvolvimento urbano em bases sustentáveis integradas: estudo de caso dos Rios Pilar-Calombé, em Duque de Caxias/RJ**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 18(2), 149-163. 2013.

RIBEIRO, G. F.; BASSETTO, P.; DA ROCHA, R. P., KACHBA, Y. R.; JUNIOR, A. B. **Classificação multicritério: aplicação do Electre TRI aos métodos de previsão de demanda para novos produtos**. Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa, 20(3), 166-195, 2021.

RIO DE JANEIRO (ESTADO). CÂMARA METROPOLITANA. **Modelar a Metrópole - Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - PEDUI**. Produto 14 – Relatório de Propostas Detalhadas. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://www.modelarametropole.com.br>> Acesso em: 24 mai 2023.

ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo**. Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP, n. ° 6, 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S.; GOUVEIA, I. C. M.-C. **A taxonomia do relevo e a cartografia geomorfológica regional, capítulo 25**. In: Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira, 2022 (org. Carvalho junior, O.A.; Gomes, A.C.V.; Guimarães, R.F.; Gomes, R.A.T). Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/livros>>. Acesso em: 23 jan. 2023

SALCEDO, D.A. **Los flujos torrenciales catastróficos de Diciembre de 1999, en el estado Vargas y en Caracas: Características y lecciones aprendidas.** Memorias XVI Seminario Venezolano de Geotecnia, p. 128-175. Caracas, 2000.

SALDAÑA, R. **Modelo de apoio ao processo decisório para gerar oportunidades de aperfeiçoamento ao Centro de Informática da Universidade Católica de Pelotas.** 1999.

SANCHEZ, L. E. **Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais.** Edusp, 2001.

SANTOS, A. dos. **Extração mineral de areias e seus impactos na territorialidade socioambiental: O caso de feira de Santana - BA.** Seminário Internacional "dinâmica territorial e desenvolvimento socioambiental" terra em transe. v. 7, p. 1-20, 2015. Disponível em: <<http://noosfero.ucsal.br/articles/0009/2488/extra-o-mineral-de-areias-e-seus-impactos-na-territorialidade-socioambiental.pdf>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2023.

SANTOS, A. D.; PASTORE, E. L.; JÚNIOR, F. A.; CUNHA, M. A. **Estradas vicinais de terra: Manual técnico para conservação e recuperação.** 3. ed. rev. São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2019.

SANTOS, J. **QGIS 2.8 + SAGA GIS: álgebra de mapas para substituição de pixels negativos no MDE Topodata. Processamento Digital e Geotecnologias e Software livres.** 2015. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/JorgeSantos30/qgis-28-substituio-de-pixels-negativos-no-mde>>. Acesso em: 10 de março de 2023.

SANTOS, T.C. **Transpetro - Gerência de Manutenção de Oleodutos e Faixa de SP e CO – MNOLSPCO.** 06 de dezembro de 2013. Apresentação de Power Point. Disponível em: <<https://acervo.fortaleza.ce.gov.br/download-file/documentById?id=7269ff17-d729-43cb-9bd3-13541c0de2c9>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

SARTORI, A. A. D. C.; SILVA, R. F. B. D., e ZIMBACK, C. R. L. **Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG.** Revista *Árvore*, 36, 1079-1090. 2012. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/488/48825247009.pdf>>. Acesso em 03 mai. 2023.

SCHUSTER, R. L.; HIGHLAND, L. **Socioeconomic and environmental impacts of landslides in the western hemisphere.** Denver (CO): US Department of the Interior, US Geological Survey, 2001. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0276/>>. Acesso em: 08 de julho de 2019.

SHAW, R. (Ed.). **Community practices for disaster risk reduction in Japan.** Springer Science e Business Media, 2014.

SIEBERT, C.; LAPOLLI, A. **Lotes Coloniais e Loteamentos.** *Dynamis - Revista Técnico-Científica*, Blumenau, v. 7, n. 27, p. 78-88, 1999.

SILVEIRA, R.M. **Comportamento Geotécnico das Encostas**. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar, CREA-PR, 2016.

SMITH, W. S.; SILVA, F. L. D.; BIAGIONI, R. C. **Desassoreamento de rios: quando o poder público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência**. Ambiente e Sociedade, 22. São Paulo, 2019.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. **Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, p. 79-97, 2012.

SOUZA, L. A. **Cartografia Geoambiental e Cartografia Geotécnica Progressiva em Diferentes Escalas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo, Município de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Ouro Preto, 2015.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G. **Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais**. Brasília (DF), 2014.

SOUZA, M. S. **Escavando o passado da cidade. Duque de Caxias e os projetos de poder político**. Dissertação de mestrado. Niterói: Programa de Pós-Graduação em História/UFF, 2002.

TANG, C.; RENGERS, N. V.; VAN ASCH, T. W.; YANG, Y. H.; WANG, G. F. **Triggering conditions and depositional characteristics of a disastrous debris flow event in Zhouqu city, Gansu Province, northwestern China**. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 2903–2912. China, 2011.

TCE-RJ. **Estudo socioeconômico dos municípios do estado do Rio de Janeiro, 2018: Duque de Caxias**. Rio de Janeiro: TCE-RJ, 2018.

TERRA. **RJ: usina com gás de ex-lixão pode criar novo viés energético para o Brasil**. 7 de junho de 2013. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/planeta/sustentabilidade/rj-usina-com-gas-de-ex-lixao-pode-criar-novo-vies-energetico-para-o-brasil,34e62ea228f1f310VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html>>. Acesso em: 15 mai 2023.

TIANCHI, L. **Landslide disasters and human responses in China**. Mountain Research and Development, p. 341-346, 1994.

TIGA ENTRALGO, J.F. **Análise Espacial e Estatística dos Movimentos de Massa Deflagrados pelas Chuvas dos dias 11 e 12 de janeiro de 2011 na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil**. Distrito Federal, 2013.

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. **Natural hazards: explanation and integration**. New York: The Guilford Press, 388p., 1997.

TORRES, F. S. M. **Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do Município de Ipojuca - PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46379>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

TSUNAKI, R. **Landslides in Japan**. Japan Landslide Society, 6^a ed., 2002. Disponível em: <<https://japan.landslide-soc.org/wp19/wp-content/uploads/2019/05/2002.pdf>> Acesso em: 11 de outubro de 2019.

TURENSCAPE. **Jinhua Yanweizhou Park**. 2023. Disponível em: <<https://www.turenscape.com/en/project/detail/4629.html>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

UCHIDA, T; NISHIMOTO, H; OSANAI, N; SHIMIZU, T. **Countermeasures for sediment-related disasters in Japan using hazard maps**. International Journal of Erosion Control Engineering, v. 2, n. 2, p. 46-53, 2009.

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives**. Genebra, Suíça, 2004. Disponível em: <<http://www.unisdr.org>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2019.

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Genebra, Suíça, 2009. Disponível em: <<https://www.unisdr.org/we/inform/publications/7817>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2019.

UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Terminology**. Disponível em: <<https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>>. Acesso em: 19 de novembro de 2019.

VASCONCELOS, V. V.; MOMM, S.; CANIL, K.; NOGUEIRA, F. R. **Gestão de risco de desastres e análise de bacias hidrográficas: a carta geotécnica de aptidão à urbanização de Itapevi-SP, Brasil**. Cadernos Metrópole, 20(42), 371-398, 2018.

VEJA RIO. **As batalhas por trás do aterramento do Campo do Bomba**. 14 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://vejario.abril.com.br/puc-rio/aterramento-campo-do-bomba>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

VIA040. Invepar Rodovias. **Retificação de área**. Disponível em: <<http://via040.invepar.com.br/pages/retificacao-de-area>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023

VIEIRA, R; JANSEN, G. R. **Blumenau: Contribuição para a gestão de riscos no Brasil**. In: SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P. R. (Org.). Melhor prevenir: Olhares e saberes para a redução de risco de desastre. São Paulo: IEE-USP, 2018.

VILLELA, R. J. **Uso de Barreiras Flexíveis para o Controle de Quedas de Blocos de Rocha**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

VITRUVIUS. **Lembretes aos irresponsáveis participantes da tragédia no Rio de Janeiro**. Março de 2011. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/11.128/3770>>. Acesso em: mai. de 2019.

VITRUVIUS. **Redução de riscos de desastres naturais - a construção de políticas públicas em Blumenau SC**. Janeiro de 2016. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.188/5915>>. Acesso em: jun. de 2019.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. 149 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2000.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras**. São Carlos. 3v. Tese de doutorado – EESC-USP, 1987.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos São Carlos, USP, 2v, 1993.

ZUQUETTE, L. V; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. Oficina de Textos, 2004.

ZUQUETTE, L. V. **Riscos, desastres e eventos naturais perigosos: Fontes de eventos perigosos**. Elsevier Brasil, 2018

APÊNDICE 1 - Maiores desastres associados a movimentos de massa ocorridos no Século XX com mais de 500 mortes.

LOCAL	TIPOS DE MOVIMENTO DE MASSA	AGENTE DEFLAGRADOR	DATA	N. ° DE MORTES	FONTES
China (Província de Yunnan)	Rockslide	N.I	1917	1.800	TIANCHI (1994).
China (Província de Ningxia)	Deslizamento	Terremoto	1920	100.000	TIANCHI (1994); MCGUIRE et al. (2004) <i>apud</i> GUTIERREZ (2012).
China (Província de Sichuan)	Deslizamento	Terremoto	1933	2.429	TIANCHI, (1994); MCGUIRE et al. (2004) <i>apud</i> GUTIERREZ (2012); CROZIER e GLADE (2004).
Peru (Huaraz)	Fluxo de detritos	GLOF ¹	Dezembro de 1941	5.000	EM-DAT; SCHUSTER e HIGHLAND (2001); EVANS e DEGRAFF (2002); CROZIER e GLADE (2004).
Índia (Assam)	Deslizamento	N.I	Setembro de 1948	500	EM-DAT; Jornal: Reuters.
Tajiquistão, antiga União Soviética (Distrito de Hoyt)	Deslizamento	Terremoto	Julho de 1949	12.000	EM-DAT; MCGUIRE et al. (2004) <i>apud</i> GUTIERREZ (2012); CROZIER e GLADE (2004).
Peru (Nevados Huascarán)	Fluxo de detritos	Ruptura em geleira	Janeiro de 1962	2.000	EM-DAT; SCHUSTER e HIGHLAND (2001); EVANS e DEGRAFF (2002); Jornal: BBC News.
Itália (Longarone)	Deslizamento	Precipitação e elevação do nível do reservatório da Barragem de Vaiont	Outubro de 1963	1.917	EM-DAT; GENEVOIS e GHIROTTI (2005); MCGUIRE et al. (2004) <i>apud</i> GUTIERREZ (2012); CROZIER e GLADE (2004).
Índia (Darjeeling town, Manipuri, TistaBazar, Lebongand Kalimpong)	Deslizamento	Precipitação	Outubro de 1968	1.000	EM-DAT; PAL et al. (2016).

Peru (Nevados Huascarán / Cidades de Yungay e Ranrahirca)	Avalanche de detritos	Terremoto	Maio de 1970	18.000	EM-DAT; SCHUSTER e HIGHLAND (2001); MCGUIRE et al. (2004) <i>apud</i> GUTIERREZ (2012); CROZIER e GLADE (2004).
Peru (Pasco)	Avalanche de rochas	N.I	Março de 1971	600	EM-DAT; SCHUSTER e HIGHLAND (2001).
Honduras (Choloma)	Deslizamento	N.I	Setembro de 1973	2.800	EM-DAT; CROZIER e GLADE (2004).
Peru (Mayunmarca)	Deslizamento de rochas e fluxo de detritos	N.I	Abril de 1974	500	EM-DAT; SCHUSTER e HIGHLAND (2001).
Peru (Matucana)	Fluxo de detritos	Precipitação	Março de 1983	596	EM-DAT; NAVARRO e JACKSON JR (2006).
Colômbia (Medellín)	Deslizamento	Vazamento de água de um pequeno canal artificial localizado na parte superior da montanha.	Setembro de 1987	653	EM-DAT; ReliefWeb; OJEDA e DONNELLY (2006).
Tajiquistão (Gissar)	Deslizamento	Terremoto	Janeiro de 1989	10.000	ReliefWeb; CROZIER e GLADE (2004).
Índia (Bihar) e Nepal	Deslizamento	Terremoto e precipitação	Agosto de 1988	505	EM-DAT; PARKASH (2013); Jornal: NY Times.
Nepal (36 distritos)	Deslizamento e fluxo de detritos	Precipitação	Julho de 1993	972	ReliefWeb; POKHAREL et al. (1997).
China (Lijiang, Yunnan)	Deslizamento	Terremoto	Fevereiro de 1996	531	EM-DAT.
Venezuela (Estado de Vargas) *	Fluxo de detritos	Precipitação	Dezembro de 1999	30.000	MCGUIRE et al. (2004) <i>apud</i> GUTIERREZ (2012).

Legenda:

N.I = Não Informado.

* Desastre abordado no item 2.1.4.1 desta dissertação.

APÊNDICE 2 - Principais desastres por movimentos de massa ocorridos no mundo no Século XXI com mais de 5 mortes (excluído o Brasil).

LOCAL	DATA	N. ° DE MORTES	FONTES
Indonésia (Ilha de Sumatra)	Dezembro de 2002	11	GLIDE
Indonésia (Garu)	Janeiro de 2003	58	GLIDE
Indonésia (Ende)	Março de 2003	50	GLIDE
Bolívia (Chima)	Março de 2003	21	GLIDE / ReliefWeb
Indonésia (Ilha de Flores)	Abril de 2003	27	GLIDE / ReliefWeb
Guatemala (San Pedro Sacatepequez)	Abril de 2003	10	GLIDE / ReliefWeb
Quirguistão (Sogot, Região de Uzgen)	Abril de 2003	38	GLIDE / ReliefWeb
Papua-Nova Guiné (Província de Southern Highlands)	Mai de 2003	13	GLIDE / ReliefWeb
Camarões (Distrito de Wabane)	Julho de 2003	20	GLIDE / ReliefWeb
Filipinas (Visayas e Mindanao)	Dezembro de 2003	200	GLIDE / ReliefWeb
Quirguistão (Província de Osh)	Abril de 2004	33	GLIDE / ReliefWeb
Indonésia (Pasaman)	Abril de 2004	43	GLIDE
China (Província de Guizhou)	Dezembro de 2004	23	GLIDE
Indonésia (Cimahi)	Fevereiro de 2005	19	GLIDE
China (Shanxi)	Mai de 2005	24	GLIDE
Índia (Estado de Nagaland)	Mai de 2005	10	GLIDE
Indonésia (Município de Pandang)	Setembro de 2005	16	GLIDE / ReliefWeb
Mianmar (Kyaung kaw)	Setembro de 2005	30	GLIDE
Indonésia (Distrito de Aceh Tenggara e Malang)	Outubro de 2005	6	GLIDE / ReliefWeb
Iémen (Distrito de Bani Matar)	Dezembro de 2005	30	GLIDE / ReliefWeb
Indonésia (Província de Java)	Janeiro de 2006	16	GLIDE / Jornal: Aljazeera
Filipinas (Província de Leyte)	Fevereiro de 2006	23	GLIDE / Jornal: Nbc News
Indonésia (Trenggalek)	Abril de 2006	18	GLIDE / Jornal: Estadão
Indonésia (Bandung)	Mai de 2006	11	GLIDE
Paquistão (Caxemira – Região de Chahla)	Julho de 2006	12	GLIDE
Nepal (Distrito de Kaski)	Julho de 2006	17	GLIDE / Jornal: Bbc news
Filipinas	Setembro de 2006	14	GLIDE
Indonésia (Muarasipongi)	Dezembro de 2006	21	GLIDE
Filipinas (Província de Nothern Samar)	Janeiro de 2007	5	GLIDE
Indonésia	Janeiro de 2007	16	GLIDE
Indonésia (Magelang)	Fevereiro de 2007	7	GLIDE
Indonésia (Ilha de Flores)	Março de 2007	34	GLIDE / ReliefWeb
Paquistão (Distrito de Bagh)	Março de 2007	40	GLIDE / ReliefWeb
China (Província de Sichuan)	Mai de 2007	43	GLIDE
Paquistão	Julho de 2007	22	GLIDE
Nepal (Distrito de Baglung)	Julho de 2007	21	GLIDE / ReliefWeb
Quênia (Distrito de Lugari)	Agosto 2007	20	GLIDE / ReliefWeb

China (Jiangxi, Fujian, Zhejiang)	Agosto 2007	17	GLIDE
Indonésia (Província de Papua)	Janeiro de 2008	10	GLIDE / Jornal: Reuters
Indonésia (Distrito de Timika)	Maio de 2008	19	GLIDE
Guatemala (Zacapa)	Julho de 2008	21	GLIDE / ReliefWeb
Filipinas (Maco)	Setembro de 2008	9	GLIDE
Egito (Cairo)	Setembro de 2008	98	GLIDE / ReliefWeb
Indonésia (Nyalindung village)	Novembro de 2008	15	GLIDE / ReliefWeb
China (Província de Yunnan)	Novembro de 2008	22	GLIDE / ReliefWeb
Guatemala (San Cristóbal Verapaz)	Janeiro de 2009	36	GLIDE / ReliefWeb
Peru (Província de Carabaya)	Março de 2009	13	GLIDE
Papua-Nova Guiné (Província de Morobe)	Maio de 2009	19	GLIDE
Mianmar (Estado de Kachin)	Julho de 2009	24	GLIDE / ReliefWeb
Indonésia (Província de Sulawesi)	Novembro de 2009	14	GLIDE / ReliefWeb
Tanzânia (Goha Village)	Novembro de 2009	20	GLIDE
Paquistão (Distrito de Gilgit-Baltistan)	Janeiro de 2010	10	GLIDE
Uganda (Distrito de Bududa)	Março de 2010	350	GLIDE / Jornal: Bbc news
China (Província de Shaanxi)	Março de 2010	26	GLIDE
Peru (Região de Huanuco)	Abril de 2010	20	GLIDE
República Democrática do Congo (Província de Kivu)	Maio de 2010	46	GLIDE
China (Província de Gansu) **	Agosto de 2010	1478	LIU et al. (2012)
Turquia (Província de Rize)	Agosto de 2010	11	GLIDE / Jornal: G1
Indonésia (Distrito South Baru)	Julho de 2010	18	GLIDE
Colômbia	Setembro de 2010	30	GLIDE
Indonésia (Distrito de Morowali)	Outubro de 2010	11	GLIDE
Malásia (Kuala Lumpur)	Maio de 2011	15	GLIDE
Nepal	Julho de 2011	6	GLIDE
Equador (Província de Sucumbíos)	Julho de 2011	7	GLIDE
Papua Nova Guiné (Nogoli)	Janeiro de 2012	40	Jornal: G1
Uganda (Distrito de Bududa)	Junho de 2012	18	GLIDE
Índia (estado de Uttarakhand) ***	Junho de 2013	6000	ALLEN et al. (2015)
Tadjiquistão (aldeia Odinaboi)	Abril de 2014	13	Jornal: G1
Afganistão (Província de Badakhshan)	Maio de 2014	350	Jornal: G1
Indonésia (Bogobaida)	Julho de 2014	9	GLIDE
Índia (distrito de Pune)	Julho de 2014	25	GLIDE
Nepal (distrito Sindihupalchowk)	Agosto 2014	8	GLIDE / Jornal: Reuters
Japão (Hiroshima)	Agosto 2014	36	GLIDE
Sri Lanka (distrito de Badulla)	Outubro de 2014	100	GLIDE
Indonésia (Vilarejo de Jemblung)	Dezembro de 2014	56	GLIDE
Burundi (Comuna Muhuta)	Março de 2015	18	G1
Nepal (distrito de Taplejung)	Junho de 2015	21	JN
Nepal (distritos de V e Myagdi)	Julho de 2015	30	GLIDE
Sri Lanka	Setembro de 2015	7	GLIDE
Guatemala (Cidade da Guatemala)	Outubro de 2015	131	Jornal: Bbc news
China (Província de Fujian)	Maio de 2016	41	GLIDE
Indonésia (Sibolangit)	Maio de 2016	15	GLIDE

Colômbia (Mocoa)	Abril de 2017	254	Jornal: O Globo
Bangladesh	Junho de 2017	107	GLIDE
China (Província de Sichuan)	Junho de 2017	120	GLIDE
República Democrática do Congo (Província de Ituri)	Agosto de 2017	150	GLIDE
Índia (Mizoram)	Maio de 2018	10	GLIDE
Uganda (Distrito de Bududa)	Outubro de 2018	40	Jornal: Exame
Colômbia (Província de Cauca)	Abril de 2019	28	Jornal: G1
Nepal (45 distritos)	Agosto a dezembro de 2020	136	ERCC (DG ECHO)
Indonésia (Província North Kalimantan)	Setembro de 2020	11	ERCC (DG ECHO)
Paquistão (Gilgit-Baltistan)	Outubro de 2020	16	ERCC (DG ECHO) / Jornal: The times of India
El Salvador (Nejapa)	Outubro de 2020	42	ERCC (DG ECHO)
Colômbia (Antioquia)	Novembro de 2020	18	ERCC (DG ECHO)
Papua Nova Guiné (Província Central)	Dezembro de 2020	13	ERCC (DG ECHO) / Jornal: Reuters
Quirguistão e Uzbequistão	Julho de 2021	15	GLIDE / ReliefWeb
Myanmar (Mandalay)	Agosto de 2021	11	GLIDE
República Democrática do Congo	Abril de 2022	8	GLIDE
Guatemala (Tucurú)	Maio de 2022	7	GLIDE
Sri Lanka	Agosto de 2022	5	GLIDE
Venezuela (Las Tejerías)	Outubro de 2022	106	ERCC (DG ECHO) / Jornal: UOL
Uganda (Distrito Kasese)	Setembro de 2022	19	ERCC (DG ECHO) / ReliefWeb
Camarões (Yaounde)	Novembro de 2022	15	ERCC (DG ECHO) / Jornal: Reuters
Colômbia (Cidade de Pereira, Departamento Risaralda)	Dezembro de 2022	34	ERCC (DG ECHO) / ReliefWeb
Malásia (Estado de Selangor)	Dezembro de 2022	31	ERCC (DG ECHO) / Jornal: Reuters
Indonésia (Distrito de Serasan)	Março de 2023	15	GLIDE / ReliefWeb
Equador (Chimborazo)	Março de 2023	7	GLIDE

Legenda:

** Desastre abordado no item 2.1.4.2 desta dissertação.

*** Desastre abordado no item 2.1.4.3 desta dissertação.

APÊNDICE 3 - Cartas de Aptidão urbana: principais publicações na literatura brasileira.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)	SOBREIRA, F.G	SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, p. 79-97, 2012.	2012	N.A.	Aptidão urbana é a capacidade dos terrenos para suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo, com o mínimo de impacto possível e com o maior nível de segurança.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Áreas com aptidão à ocupação (áreas já consolidadas e aptas do ponto de vista geológico-geotécnico); 2. Áreas que podem ser ocupadas segundo determinados critérios técnicos (áreas consolidáveis com intervenções estruturantes); 3. Áreas inaptas para a ocupação (áreas não consolidáveis), às quais se deve dar outro tipo de uso. 	N.A.
	SOUZA, L. A. de	SOUZA, L. A. Cartografia Geoambiental e Cartografia Geotécnica Progressiva em Diferentes Escalas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo, Município de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais. 2015. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Ouro Preto, 2015.	2015	Ouro Preto e Mariana - MG	As cartas geotécnicas de aptidão devem ser entendidas como uma parte fundamental de uma abordagem integrada dos diagnósticos dos eixos físico-ambiental, jurídico-legal e socioeconômico-organizativo das áreas destinadas à expansão urbana, onde as análises para se alcançar os objetivos principais devem ser executadas em escala de detalhe e com suporte de dados quantitativos sempre que possível. A carta de aptidão à urbanização é um instrumento de planejamento urbano que visa fornecer subsídios para que os novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres, especialmente aqueles associados a	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixa a Inexistente Aptidão à Urbanização: (I) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais (Tombamentos de solo e rocha) e processos erosivos nas vertentes (Ia) e processos de enxurradas e inundação na área de várzea (Ib). (II) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos de grande porte (processos erosivos nas vertentes, tombamentos de solo, deslizamentos planares e em cunha). (III) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos (processos erosivos nas vertentes, tombamentos de solo e deslizamentos em cunha). 	<p>(I) e (II) Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas.</p> <p>(III) Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via.</p> <ul style="list-style-type: none"> - O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações. - Há necessidade de apresentar estudo de estabilidade global dos taludes na área do loteamento, com base em investigações geológico-geotécnicas, de maneira a indicar as condições de segurança e a eventual necessidade de implantação de obras de estabilização. - Há necessidade de apresentar estudo geotécnico para simples reconhecimento dos terrenos (sondagem a percussão). - Haverá expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens do subsolo e em análises de estabilidade. - As obras de contenção ou estabilização de taludes devem ser iniciadas no prazo máximo de 30 dias após a execução dos cortes ou aterros.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
					deslizamentos de encostas, enxurradas, corridas de massa, inundações e processos hidrológicos e geológicos correlatos.	<p>2. Média Aptidão à Urbanização: (IV) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos devido ao desconfinamento do maciço (processos erosivos nas vertentes, deslizamentos planares e em cunha). (V) Possibilidade de ocorrência de processos de Inundação localizados. Depósito de várzea (areia argilosa fofa) com espessura até 5 m e nível d'água próximo à superfície. (VI) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos (processos erosivos nas vertentes, tombamentos de solo e deslizamentos em cunha).</p>	<p>(IV) Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via.</p> <ul style="list-style-type: none"> - O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações. - Haverá expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 1,5m. (V) Para loteamento necessidade de apresentar estudo geotécnico para simples reconhecimento dos terrenos (sondagem a percussão) e elaboração de recomendações para o projeto geotécnico das edificações (fundações). - Deverá ser exigido estudo hidráulico com definição das cotas de inundação para período de retorno mínimo de 25 anos e áreas sujeitas a erosão fluvial. - O projeto de loteamento deve prever que a cota mínima de implantação dos lotes esteja acima dos níveis máximos de inundação (Tempo de Recorrência > 25 anos). (VI) Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via. - O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações. - A expedição do alvará de construção estará condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 3,0m.
		<p>SOUZA, L. A. de.; SOBREIRA, F. G. Procedimentos para elaboração de cartas geotécnicas no planejamento urbano. RBC. Revista Brasileira de Cartografia, v. 67/1, p. 141-156, 2015.</p>	2015	Ouro Preto e Mariana - MG		<p>3. Alta Aptidão à Urbanização (VII) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos devido ao desconfinamento do maciço (processos erosivos nas vertentes, deslizamentos planares e em cunha). (VIII) Baixa possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais (processos erosivos nas vertentes e tombamento</p>	<p>(VII) Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via.</p> <ul style="list-style-type: none"> - O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações. - A expedição do alvará de construção estará condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 2,0m. (VIII) Não há restrições de ordem geotécnica para a aprovação de lotes para ocupação permanente nestas áreas. - Haverá expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 3,0m.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
	OLIVEIRA FILHO, I. B. de.	OLIVEIRA FILHO, I. B. de. Carta geotécnica de aptidão à urbanização em ambiente cárstico - Lapão - BA. 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.	2015	Lapão - BA	É um instrumento básico que igualmente cumpre determinações da Lei no. 12.608/12, de estimular o desenvolvimento urbano, combatendo a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco, com iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro.	<p>1. Alta Aptidão à Urbanização: Nesta classe estão áreas elevadas e áreas que não apresentaram indícios de instabilidade, como subsidências ou colapsos de terreno. Possuem relevo mais ondulado e solos com espessuras superiores a 1 metro. Não apresentam quaisquer restrições geotécnicas, ambientais ou geomorfológicas.</p>	<p>São recomendadas análises prévias usuais em qualquer empreendimento de loteamento, como estudo geotécnico simplificado e sondagens, bem como procedimentos simples voltados à implantação do empreendimento, tais como a execução imediata de calçamento e drenagem pluvial, e a preservação da cobertura vegetal nos lotes enquanto não se iniciam as obras das edificações. Os locais onde já existe ocupação são áreas com pleno potencial para a consolidação urbana;</p>
<p>2. Média Aptidão à Urbanização: Terrenos em áreas planas, com espessura de solo residual inferior a 1 m. Em grande parte da unidade ocorre exposição de lajedos rochosos. Nível freático profundo.</p>		<p>A exposição de lajes rochosas e a pouca espessura de solos em outros pontos, podem dificultar e elevar o custo da ocupação, uma vez que a implantação do sistema de infraestrutura, como galerias de esgotos, drenagens pluviais, arruamentos, etc. seria necessário o desmonte mecânico do substrato rochoso;</p>					
<p>3. Baixa Aptidão à Urbanização: Terrenos que apresentam características de instabilidade (Áreas suscetíveis a afundamentos cársticos e acomodações do substrato rochoso). O carregamento vertical nestes terrenos pode desencadear processos de afundamentos e acomodações do substrato rochoso</p>		<p>Não se deve ocupar sem antes serem executados estudos geotécnicos detalhados, que indiquem medidas preventivas e corretivas antes de qualquer projeto de loteamento. Nos terrenos já ocupados desta unidade devem ser efetuados estudos detalhados das suscetibilidades e estudos de análise de riscos.</p>					

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
	MARTINS JUNIOR, A.V.	MARTINS JUNIOR, A.V.; SOBREIRA, F.G. Aptidão à urbanização do município de Ervália - Minas Gerais. In: 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015, Cuiabá. Anais do 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015.	2015	Ervália - MG	N.I	<p>1. Áreas de Baixa Aptidão Urbana</p> <ul style="list-style-type: none"> - As regiões de planície aluvial e com declividade acima de 25°. Considerou-se que a ocupação irregular das planícies aluviais pode reduzir a área de escoamento dos cursos de água, elevando os níveis a montante desta seção. - Áreas com declividades entre 25° e 45° são consideradas muito inclinadas e, por precaução, não é aconselhada ocupação, pela possibilidade de desencadeamento de processos erosivos e movimentos de massa. - As declividades acima de 45° também são classificadas como de baixa aptidão urbana, por serem consideradas áreas de proteção permanente, de acordo com o Código Florestal (Brasil, 2012). São áreas suscetíveis à ocorrência de eventos geodinâmicos de grandes proporções. 	N.I.
						<p>2. Áreas de Média Aptidão Urbana</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faixa de declividades entre 15° e 25°. São áreas com ocupação viável, porém necessitam de estudos geológico-geotécnicos (Lei 6766/1979). Este limite de 25° representa uma declividade máxima recomendada para ocupação. - Regiões que possuem declividade menor que 25° mas estão circundadas por áreas declivosas (topos de morros aplainados). 	<ul style="list-style-type: none"> - A partir de 25° é imprescindível a aplicação de uma infraestrutura com custos mais elevados para a viabilidade de projetos nesta área. - Estes setores possuem a declividade suficiente para a implantação de projetos, porém, por estarem circundadas com áreas de declividade alta, necessitam de alguma intervenção para a viabilização das suas vias de acesso, o que aumentaria os custos para sua urbanização.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
						<p>3. Áreas de baixa declividade</p> <p>- Na faixa de declividades entre 0° e 5°, representadas pelos terraços fluviais, a aptidão à urbanização foi considerada alta, considerando uma faixa de transição para as planícies aluviais de 15 metros como margem de segurança.</p> <p>- As áreas no intervalo de declividade entre 5° e 17°, foram também consideradas passíveis de urbanização, uma vez que a inclinação das encostas não significa grande barreira à ocupação. O limite de 17° denota uma restrição legal decretada pela Lei 6766/1979.</p>	N.I.
Ministério das Cidades	BATISTA, P. H. L.	<p>BATISTA, P. H. L. et al.. Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres: instrumento de suporte ao planejamento territorial com apoio do Ministério das Cidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15, 2015, Bento Gonçalves, RS. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015</p>	2015	N.A.	<p>A carta geotécnica de aptidão urbana tem por objetivo subsidiar o planejamento territorial e urbano de modo a evitar o surgimento de novas áreas de risco.</p>	<p>1. Baixa aptidão à urbanização (Não recomenda-se a ocupação permanente); 2. Média aptidão à urbanização (Ocupação permanente condiciona à implantação de medidas de segurança para deslizamentos); 3. Alta aptidão à urbanização (Sem restrições ou condicionantes à ocupação permanente)</p>	N.A.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
Universidade Federal do ABC (UFABC)	NOGUEIRA, F.	NOGUEIRA, F; CANIL, K. Metodologia e procedimentos para a elaboração de cartas de aptidão à urbanização nos municípios de São Bernardo do Campo e Rio Grande da Serra, Região do Grande ABC, SP. In: 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015, Cuiabá. Anais do 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015.	2015	São Bernardo do Campo e Rio Grande da Serra - SP	De acordo com a Lei Federal 12.608/12: a carta geotécnica de aptidão à urbanização é um dos instrumentos de planejamento e de gestão municipal voltado para a prevenção de desastres. Esse instrumento deverá fornecer subsídios para que áreas urbanas pouco consolidadas e os novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres naturais, especialmente aqueles associados a deslizamentos de encostas, enxurradas, corridas de massas, inundações e outros processos geológicos correlatos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Áreas impróprias à ocupação 2. Áreas com restrição à ocupação 3. Áreas favoráveis à ocupação 	N.I.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
		<p>NOGUEIRA, F; CANIL, K. Cartas geotécnicas de aptidão a urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres e para a gestão do uso do solo. In: XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 2017, São Paulo, SP. Anais do XVII ENANPUR. Desenvolvimento, crise e resistência : quais os caminhos do Planejamento Urbano e Regional?. São Paulo, SP: FAU-USP, 2017. v. 1. p. 1-15.</p>	2017	Grande ABC -SP	<p>Instrumento cartográfico que tem por objetivo “o fornecimento de informações que orientem o parcelamento do solo no processo de uso e ocupação, de forma equilibrada com a condição de suporte do meio físico, evitando-se os riscos e as consequências dos desastres.</p>	<p>1. Áreas aptas à urbanização usual ou à consolidação urbana simples (São as áreas mais favoráveis, do ponto de vista geotécnico, aos processos de urbanização ou consolidação da urbanização existente).</p> <p>2. Áreas aptas à urbanização ou à consolidação com restrições (urbanização ou consolidação deve atender a critérios especiais, e/ou estudos prévios considerando os processos geodinâmicos, geotécnicos e hidrológicos. Apresentam potencialidade de uso heterogênea do ponto de vista geotécnico, incluindo desde áreas em que estudos pontuais são necessários até trechos de urbanização complexa que só devem ser ocupados em condições muito especiais).</p> <p>3. Áreas inaptas à urbanização ou com consolidação muito complexa (São áreas onde é desaconselhável a urbanização e implantação de edificações para uso permanente. Apresentam alta suscetibilidade e/ou histórico de ocorrências de processos geodinâmicos, geotécnicos e hidrológicos. As edificações existentes devem ser, quando possível, objeto de reassentamento. Devem ser priorizadas alternativas de uso que levem à conservação ou recomposição da vegetação arbórea).</p> <p>4. Áreas com alta prioridade para conservação ambiental (Em função da densidade de áreas de preservação permanente, da presença de remanescentes florestais ou por condicionantes da legislação de proteção aos mananciais. Não se recomenda urbanização, devendo ser priorizados usos que conduzam a essa conservação).</p>	N.I.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
		NOGUEIRA, F.R. ; VASCONCELOS, V. V. ; MOTTA, M. R. ; VARALLO, L. S. S. . Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais no município de Itapeperica da Serra, SP. In: 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo: 2018.	2018	Itapeperica da Serra - SP	O conceito de aptidão à urbanização, considerando os processos do meio físico que desencadeiam situações de desastres, está baseado na caracterização dos terrenos a partir da suscetibilidade aos processos geológicos (movimentos gravitacionais de massa) ou hidrológicos (inundações) com a indicação de diretrizes para a ocupação, recomendações específicas, e áreas restritivas.	1. Aptas 2. Aptas com Restrição 3. Inaptas	N.I.
		NOGUEIRA, F.R. ; VASCONCELOS, V. V. ; SILVA, L. R. E. ; LIMA, R. P. . Carta geotécnica de aptidão à urbanização para prevenção de desastres naturais no município de Caieiras, SP. In: 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 1, p. 1-10. São Paulo: 2018.	2018	Caieiras - SP	A carta geotécnica de aptidão à urbanização é um novo instrumento para as políticas de planejamento territorial municipal que fornece diretrizes para ocupação do solo frente à suscetibilidade aos desastres.	1. Alta aptidão e Média aptidão: São áreas de baixa declividade em topos planos e vertentes com inclinação suave, predominantemente retilíneas e convexas. Presença restrita de trechos com declividade acima de 15%, apresentando declividade predominante a 15% e suscetibilidade predominantemente baixa.	- Áreas urbanas em consolidação: As obras de consolidação devem seguir os procedimentos técnicos usuais. No entanto, deve sempre ser executado diagnóstico detalhado para identificação de eventuais problemas geotécnicos ou hidrológicos resultantes de intervenção inadequada. Recomenda-se proteger o solo contra processos erosivos e garantir a estabilidade dos taludes de corte. - Áreas não urbanizadas: São necessários os cuidados usuais de urbanização, inclusive quanto à estabilidade de taludes, estudos para fundações e para movimentações de terra. Recomenda-se a proteção superficial dos solos nas Áreas terraplenadas, em especial quando o horizonte de alteração de rochas é exposto, quer em taludes de corte ou de aterro.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
						<p>3. Baixa aptidão: São áreas de alta declividade correspondentes às vertentes íngremes, predominantemente retilíneas, em amplitudes elevadas, onde prevalecem os setores de morros (baixos e altos). Suscetibilidade predominante: média. Declividade predominante: entre 30 e 48%.</p>	<p>- Áreas urbanas em consolidação: Realizar estudos geotécnicos específicos para estabilização das encostas em toda a microbacia hidrográfica, que permitam diagnosticar os depósitos de cobertura naturais e antrópicos (solos, aterros, entulhos), os fluxos de drenagem superficial e subsuperficial e os riscos instalados para um adequado projeto de consolidação geotécnica. a declividade e a amplitude da encosta exigem obras de terraplenagem de médio a grande porte para implantação das vias e edificações. a implantação adequada de sistema de drenagem de águas pluviais e servidas assume grande importância na consolidação geotécnica destes setores, além de evitar impactos nas Áreas a jusante. Compatibilizar projetos de intervenção já existentes, como urbanização de assentamentos, obras de drenagem e contenção, para que também atendam às exigências previstas nesta Carta geotécnica.</p> <p>- Áreas não urbanizadas: Realizar estudos para a prevenção de riscos e a implantação integrada da edificação ao parcelamento, para evitar os riscos de problemas geotécnicos que podem advir das obras de terraplenagem concebidas e implantadas individualmente pelos proprietários dos lotes, de forma desarticulada. quando situadas em Áreas de alta declividade, pressupõe-se a realização de estudos detalhados de estabilidade em toda a encosta. devem ser implantadas obras completas de infraestrutura, incluindo pavimentação e sistema de manejo das águas pluviais e servidas para que As mesmas possam contribuir para a melhoria de segurança da área. Manter monitoramento da área após a implementação das obras.</p>

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
						<p>4. Inapta (Em encosta): São áreas de alta declividade correspondentes às vertentes íngremes predominantemente retilíneas e côncavas, em amplitudes elevadas. Predominam setores de morros (baixos e altos). Suscetibilidade predominante: média e alta. Declividade predominante: superior a 48% (trechos a partir de 30%).</p>	<p>- Áreas urbanas em consolidação: é desaconselhável a consolidação de moradias neste setor. Recomenda-se Realizar estudos geotécnicos específicos para estabilização das encostas em toda a microbacia hidrográfica, que permitam diagnosticar adequadamente os depósitos de cobertura naturais e antrópicos (solos, aterros, entulhos), os fluxos de drenagem superficial e subsuperficial e os riscos instalados para um adequado projeto de consolidação geotécnica. para subsidiar decisão sobre remoção de moradias, recomendam-se estudos em escala de detalhe, e estes devem prevalecer sobre As diretrizes gerais da Carta geotécnica de Aptidão à urbanização e devem orientar a tomada de decisão para intervenções nas Áreas que se fizerem necessárias. No caso de remoção e reassentamento das edificações em alto risco, evitar que esses terrenos voltem a ser ocupados. Constituem setores a serem estudados em detalhe nos PMRR.</p> <p>- Áreas não urbanizadas: recomendam-se cuidados com as obras de infraestrutura na área do entorno, em especial de manejo das águas pluviais e servidas, para não agravar as condições relativas à suscetibilidade desses setores. É necessário prever medidas que garantam a manutenção da vegetação nessas áreas e evitem sua ocupação irregular. Estas áreas poderão ser incorporadas a lotes particulares de grandes dimensões, desde que fiquem asseguradas a proteção da vegetação e a inexistência de edificações de uso permanente no trecho inapto. Atender as recomendações e exigências da legislação ambiental e mais restritiva.</p>
	MORETTI, R.S.	<p>MORETTI, R.S. Metodologia para elaboração das Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização e a lei - as áreas de urbanização restrita. In: 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015, Cuiabá. Anais do 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015.</p>	2015	N.A.	<p>As cartas geotécnicas de aptidão à urbanização constituem uma modalidade específica voltada ao fornecimento de diretrizes para o parcelamento do solo de glebas vazias em áreas de expansão urbana e para o processo de consolidação geotécnica de glebas que passaram por um processo de urbanização incompleta, onde se verifica baixa densidade populacional e implantação precária de infraestrutura urbana.</p>	<p>Áreas de urbanização restrita: 1. “Áreas com limitações predominantemente geotécnicas” (aquelas onde a urbanização pode levar a sérios riscos de acidentes geotécnicos e onde, em função destes riscos, devem ser indicadas medidas extremas de restrição à urbanização); 2. “Áreas com restrição à urbanização de outra natureza” (em decorrência de um conjunto de outras limitações, quer de origem legal, quer por características de interesse ambiental ou por determinantes da estrutura urbana, não podem receber, nas cartas geotécnicas, as orientações de como proceder ao processo de urbanização)</p>	<p>Nas “áreas com limitações predominantemente geotécnicas”, a princípio é recomendável que não existam usos permanentes, ou seja, é necessário assegurar que qualquer uso eventual dessas áreas seja tal que não leve à permanência de pessoas nos momentos críticos associados à ocorrência de problemas geotécnicos.</p>

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
	VASCONCELOS, V. V.	VASCONCELOS, V. V., MOMM, S., CANIL, K., e NOGUEIRA, F. R. Gestão de risco de desastres e análise de bacias hidrográficas: a carta geotécnica de aptidão à urbanização de Itapevi-SP, Brasil. Cadernos Metrópole., v. 20, n. 42, p. 371-398, 2018.	2018	Itapevi- SP	As cartas geotécnicas de aptidão à urbanização fornecem diretrizes para ocupação do solo frente à susceptibilidade a desastres.	<p>A matriz de cruzamento para elaboração da carta geotécnica considerou as variáveis distintas dos processos que ocorrem zonas úmidas e nas áreas de ocorrências de processos de deslizamentos e eventos correlatos:</p> <p>* Classificação das unidades geotécnica associadas as zonas úmidas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inaptas: Hand até 2 m / Formas de relevo côncavas / Planícies / Alta suscetibilidade; 2. Média aptidão a urbanização: Hand até 2 m / Planícies / Baixa suscetibilidade; <p>* Classificação das unidades geotécnica associadas a processos de deslizamento e eventos correlatos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inaptas: Alta suscetibilidade e declividade de 30 a 48% / Alta suscetibilidade e declividade > 48% / Baixa suscetibilidade e declividade > 48% / Média suscetibilidade e declividade > 48%; 2. Baixa aptidão a urbanização: Média suscetibilidade e declividade de 30 a 48% / Alta suscetibilidade e declividade de 15 a 30 %; 3. Média aptidão a urbanização: Baixa suscetibilidade e declividade de 15 a 30% / Baixa suscetibilidade e declividade de 30 a 48% / Média suscetibilidade e declividade de 15 a 30% / Alta suscetibilidade e declividade < 15%; 4. Alta aptidão a urbanização: Baixa suscetibilidade e declividade < 15% / Média suscetibilidade e declividade < 15%. 	Foram previstas medidas de mitigação e prevenção para áreas de contribuição de zonas úmidas críticas, não havendo propostas para áreas associadas a processos de deslizamentos. As medidas propostas foram divididas em Escala / Nível de atuação (lotes/ Quadras, áreas ou zonas urbanas/ Estudos) e também em Medidas não estruturais e Medidas estruturais.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)	FLORES, J. A. A.	<p>FLORES, J. A. A.; PELLERIN, J.; TOMAZOLLI, E.; ABREU, J.; HIGASHI, R.; SANCHEZ, G. Cartas geotécnicas de aptidão à urbanização como instrumento de gestão de riscos e prevenção de desastres naturais: exemplo do município de São José. In: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Bento Gonçalves/RS: 2015.</p>	2015	São José - SC	N.I.	<p>1. Zonas de ocupação urbana inadequada (zonas de baixa aptidão à urbanização): associadas às encostas com declives acima de 20° a 25°, que apresentam alta probabilidade de deslizamentos e áreas freqüentemente afetadas por inundações;</p> <p>2. Zonas com restrição moderada à urbanização (zonas de média aptidão à urbanização): associadas às encostas com declividade entre 10° e 25°, suscetíveis a deslizamentos induzidos, além de zonas de inundação com maior período de retorno;</p> <p>3. Zonas adequadas à urbanização ou de baixa restrição (zonas de alta aptidão à urbanização): correspondentes às encostas com declive inferior a 10° e áreas situadas acima dos níveis de inundação.</p>	<p>Os setores que apresentam restrições à ocupação urbana exigem a realização de obras estruturais para a urbanização, incluindo aterros nas áreas baixas afetadas por inundações de maior tempo de retorno e o manejo adequado das encostas com declividades entre 5° e 20°-25°, visando à prevenção de desastres naturais.</p>
		<p>FLORES, J. A. A.; PELLERIN, J. R. G. M.; DE ABREU, J. J.; DOS REIS HIGASHI, R. A. (2017). Metodologia utilizada na elaboração de cartas geotécnicas da aptidão à urbanização frente aos desastres naturais nos estados de Santa Catarina e Paraná. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 4089-4097, 2017.</p>	2017	N.A.	N.I.	<p>1. Classe de Baixa Aptidão à Urbanização: é recomendado não aprovar a ocupação permanente por razões físicas ou legais;</p> <p>2. Classe de Média Aptidão à Urbanização: a ocupação é permitida e condicionada a cuidados especiais a serem observados. Essa classe de aptidão apresenta diferentes subdivisões, em função dos processos ou problemas identificados;</p> <p>3. Classe de Alta Aptidão à Urbanização: a ocupação é permitida com poucas restrições, sem a necessidade de cuidados especiais, correspondendo aos setores favoráveis à ocupação permanente.</p>	N.I.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
	LIMA, R. R.	LIMA, R. R. Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais e induzidos elaborada para o município do Ipojuca-PE na escala de planejamento (1: 25.000) . 2016.	2016	Ipojuca - PE	Necessária para a definição de diretrizes para a aprovação de novos parcelamentos do solo e para a elaboração de planos de expansão urbana, de maneira a definir padrões de ocupação adequados em face das situações de perigo relacionadas com desastres.	<p>1. Baixa Aptidão à Urbanização I: Constituída por 7 subclasses, que apresentam os seguintes processos geodinâmicos: Áreas inundadas (periodicamente; ao longo do canal de drenagem dos rios; planícies de várzeas; planície de maré) / Erosão linear (ravinas e voçorocas) / Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa (exemplo: deslizamento em solo/rolamentos de bloco de rocha).</p> <p>2. Média Aptidão à Urbanização II e III: Constituída por 14 subclasses, que apresentam os seguintes processos geodinâmicos: área sujeita a inundação (estação chuvosa, cheia do rio e efeito da maré) / Presença de argila orgânica (redução da capacidade de carga/recalques) / Erosão linear (ravinas e voçorocas) / Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa (exemplo: deslizamento em solo/rolamentos de bloco de rocha) / No período chuvoso, com elevação do nível d'água e saturação da massa de colúvio, esta pode mover-se lentamente sob a força da gravidade (movimento de rastejo) / Possibilidade de ocorrência de solos de natureza expansiva que podem contrair ou expandir quando sofrerem variação de umidade, causando diversos problemas e danos às estruturas sobre eles assentadas / Áreas alagáveis. Presença de argila orgânica (redução da capacidade de carga/recalques) / Possibilidade de ocorrência de processo de dissolução na rocha cálcarea, podendo desenvolver vazios apresentando risco para futuras fundações.</p> <p>3. Alta Aptidão à Urbanização IV: Constituída por 2 subclasses, que apresentam os seguintes processos geodinâmicos: Possibilidade de ocorrência de erosão costeira / Área apta à urbanização por não proporcionar ocorrências de processos geodinâmicos.</p>	<p>1. Baixa Aptidão à Urbanização I: Locais onde não se permitem edificações de uso permanente, edificações de qualquer caráter ou, ainda, onde não se permitem obras de urbanização de qualquer natureza. Quando possível, pode-se permitir o uso para a agricultura, exploração de bens minerais, obras de uso coletivo (não permanente) exemplo de parque.</p> <p>2. Média Aptidão à Urbanização II e III: Locais onde se exigem controle e estudos especiais como condição prévia à ocupação em face do perigo existente ou que pode ser potencializado pelo processo de urbanização.</p> <p>3. Alta Aptidão à Urbanização IV: Locais de baixo perigo diante dos desastres naturais e onde a ocupação demanda apenas cuidados usuais.</p>

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)	FERREIRA, C.E.O	FERREIRA, C.E.O, PIMENTEL, J., MORAES, J. M., OLIVEIRA FILHO, I. B., PEDRAZZI, A. C., FERRASSOLI, M. A., DIAS, G. P. A política da CPRM para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais. In: 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015, Cuiabá. Anais do 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2015.	2015	N.A.	Objetivo principal de subsidiar o planejamento do crescimento das áreas urbanas dos municípios através de um instrumento adequado, de modo a evitar o surgimento de novas áreas de risco de ocorrência de desastres naturais.	N.A.	N.A.

METODOLOGIA	AUTOR PRINCIPAL	TRABALHOS DE REFERÊNCIA	ANO	LOCAL DO ESTUDO	CONCEITUAÇÃO DE APTIDÃO URBANA / CARTA DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO URBANA	CRITÉRIOS/RECOMENDAÇÕES PARA OCUPAÇÃO URBANA
Universidade Federal do Pará (UFPA)	MELLO, L.B.	MELLO, L.B. Carta de aptidão à urbanização: proposta de ordenamento territorial frente aos processos erosivos na orla marítima das praias do Crispim e de Marudá no município de Marapanim-PA. 2018.	2018	Marapanim-PA	Síntese das condições geotécnicas, geomorfológicas, possibilidade de ocorrência de eventos erosivos e vulnerabilidade socioeconômica com orientações detalhadas quanto às formas de ocupação	<p>1- Áreas aptas à urbanização: Áreas com baixa probabilidade de ocorrência dos processos costeiros. Concentradas nas unidades geomorfológicas: tabuleiros costeiros. Áreas de baixa exposição aos processos costeiros, associadas à moradias de alto a médio padrão e ocorrência de intervenções estruturais. 2- Áreas aptas à urbanização com intervenções: Áreas de média probabilidade de ocorrência dos processos costeiros e que se traduzem por setores de ocupação permanente condicionada à implantação de cuidados especiais. Concentradas prioritariamente na pós-praia (quando existir), pós-dunas e tabuleiros. Áreas de baixa a média exposição aos processos costeiros, associadas à moradias de médio padrão e ocorrência de intervenções estruturais danificadas ou ausência destas. 3- Áreas não aptas à urbanização: Áreas com alta probabilidade de ocorrência dos processos costeiros e que são consideradas inadequadas para a ocupação urbana permanente; Concentradas prioritariamente nas unidades geomorfológicas de praia arenosa de macromaré e planícies fluviomarinhas. Áreas de alta exposição aos processos costeiros, associadas à moradias de baixo padrão e ausência de intervenções estruturais.</p>	<p>1- Áreas aptas à urbanização: Estudos geotécnicos em detalhe, para subsidiar a elaboração dos projetos de intervenções estruturais. Preservação do ambiente natural, a partir de intervenções de baixo impacto. 2- Áreas aptas à urbanização com intervenções: Condicionar os licenciamentos para construções à apresentação de projetos de estabilidade das intervenções estruturais, fundamentadas em estudos geotécnicos em detalhe. Evitar a ocupação nas áreas de praia, dando preferência ao ambiente pós-duna e áreas de maiores amplitudes altimétricas. Considerar a recorrência histórica de eventos de inundação e erosão costeira na região, pois eventos de altíssima magnitude geralmente extrapolam o limite do ambiente de praia e a resistência de obras infraestruturais. Considerar preferivelmente construções deslocáveis, dando preferência ao comércio turístico. 3- Áreas não aptas à urbanização: Restrita proibição de uso e ocupação de longa permanência de pessoas, ressalvadas as obras de infraestrutura, as quais exigem estudos geotécnicos em escala apropriada de projeto. Proteger as zonas de amortecimento das marés altas e inundações dos rios com objetivo de garantir suas funções ambientais (ex: programas de preservação às dunas e à vegetação de mangue).</p>
LEGENDA:	N.A. - Não Aplicável						
	N.I. - Não Informado						

APÊNDICE 4 - Municípios brasileiros que possuem Carta Geotécnica de Aptidão Urbana (CGAU) concluída até maio de 2023.

Município	UF	Situação	Proponente	Ano da finalização
Caucaia	CE	Finalizada	UFCA	2016
Vila Velha	ES	Finalizada	CPRM	2016
Além Paraíba	MG	Finalizada	CPRM	-
Cataguases	MG	Finalizada	CPRM	2016
Ervália	MG	Finalizada	UFOP	2015
Juiz de Fora	MG	Finalizada	UFOP	2015
João Monlevade	MG	Finalizada	CPRM	-
Manhuaçu	MG	Finalizada	CPRM	-
Nova Lima	MG	Finalizada	UFOP	2015
Ouro Preto	MG	Finalizada	UFOP	2014
Ouro Preto	MG	Finalizada - Revisão	UFOP	2016
Ipojuca	PE	Finalizada	UFPE	2014
Angra dos Reis	RJ	Finalizada *	DRM	-
Barra Mansa	RJ	Finalizada	DRM	-
Guapimirim	RJ	Finalizada	CPRM	-
Itaboraí	RJ	Finalizada	CPRM	-
Itaperuna	RJ	Finalizada	DRM	-
Magé	RJ	Finalizada	CPRM	-
Mangaratiba	RJ	Finalizada *	DRM	-
Niterói	RJ	Finalizada *	DRM	-
Nova Friburgo	RJ	Finalizada	DRM	-
Petrópolis	RJ	Finalizada	DRM	-
Piraí	RJ	Finalizada	CPRM	-
São Gonçalo	RJ	Finalizada *	DRM	-
Teresópolis	RJ	Finalizada	DRM	-
Três Rios	RJ	Finalizada *	DRM	-
Valença	RJ	Finalizada	CPRM	-
Igrejinha	RS	Finalizada	UFRGS	2014
Antônio Carlos	SC	Finalizada	UFSC	2014
Florianópolis	SC	Finalizada	UFSC	2014
Gaspar	SC	Finalizada	UFSC	2014
Ilhota	SC	Finalizada	UFSC	2014
Luiz Alves	SC	Finalizada	UFSC	2014
Palhoça	SC	Finalizada	UFSC	2014
São José	SC	Finalizada	UFSC	2014
Rio Grande da Serra	SP	Finalizada	UFABC	2015
São Bernardo do Campo	SP	Finalizada	UFABC	2015
Peruíbe	SP	Finalizada **	CPRM	-
Teresina	PI	Finalizada **	CPRM	-

Brasília	DF	Finalizada **	CPRM	-
Castelo	ES	Finalizada **	CPRM	-
Manaus	AM	Finalizada **	CPRM	-

* Outros municípios (fora dos 106) apoiados com recursos de Estaduais e/ou Municipais.

** Municípios com CGAU finalizadas e que não constam na listagem de 106 municípios do Governo Federal.

Fonte: Baseado em Brasil (2022) e CPRM (2023).

APÊNDICE 5 - Mapeamento com Uso de Avaliação Multicritério

O mapeamento com o uso de avaliação multicritério é uma abordagem que combina diferentes critérios ou variáveis para criar um mapa que representa a distribuição espacial de uma determinada característica ou fenômeno. Essa técnica é frequentemente aplicada na cartografia geotécnica para mapear áreas de risco, áreas de suscetibilidade a movimentos de massa e áreas de aptidão urbana a movimentos de massa. Importa agora saber as razões pelas quais a ferramenta de avaliação multicritério de apoio à decisão pode contribuir para a elaboração do Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa proposto no presente trabalho. Portanto, os próximos tópicos descrevem a Avaliação Multicritério e a sua aplicação em ambiente SIG para confecção de mapas.

1. Avaliação multicritério: ferramenta de apoio à decisão

As decisões podem atender a um único objetivo ou ter caráter multiobjetivo, bem como podem ser baseadas em um ou vários critérios (EASTMAN, 2001). Conforme explicitado por Ensslin et al. (2001), como os métodos monocritério utilizam critério único, importantes aspectos não são levados em consideração quando se lida com situações complexas. Diante disso, frequentemente diversos critérios têm de ser avaliados e combinados e os procedimentos para fazê-lo constituem o que se designa por Avaliação Multicritério (*Multicriteria Evaluation - MCE*), comumente denominado MCDA (*Multiple Criteria Decision Analysis / Multiple Criteria Decision Aid*) ou MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*), termo amplo que descreve diferentes abordagens para a tomada de decisão (BELTON e STEWART, 2002). Neste trabalho será adotada a sigla MCDA para referir-se às abordagens multicritério em geral.

De acordo com Bana e Costa et al. (1997), a primeira menção à pesquisa multicritério em um congresso científico ocorreu em 1969 no *7th Mathematical Programming Symposium* (7º Simpósio de Programação Matemática), realizado em Haia. Nos três anos seguintes as pesquisas se intensificaram e, em 1972, foi realizado na Universidade de Carolina do Sul o primeiro encontro internacional de pesquisadores da área, a *First International Conference on Multiple Criteria Decision Making* (Primeira Conferência Internacional sobre a Tomada de Decisão de Critérios Múltiplos), que iniciou o processo de aproximação da comunidade científica interessada no domínio multicritério. Nesta conferência também foi introduzido o termo *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) na ciência da gestão.

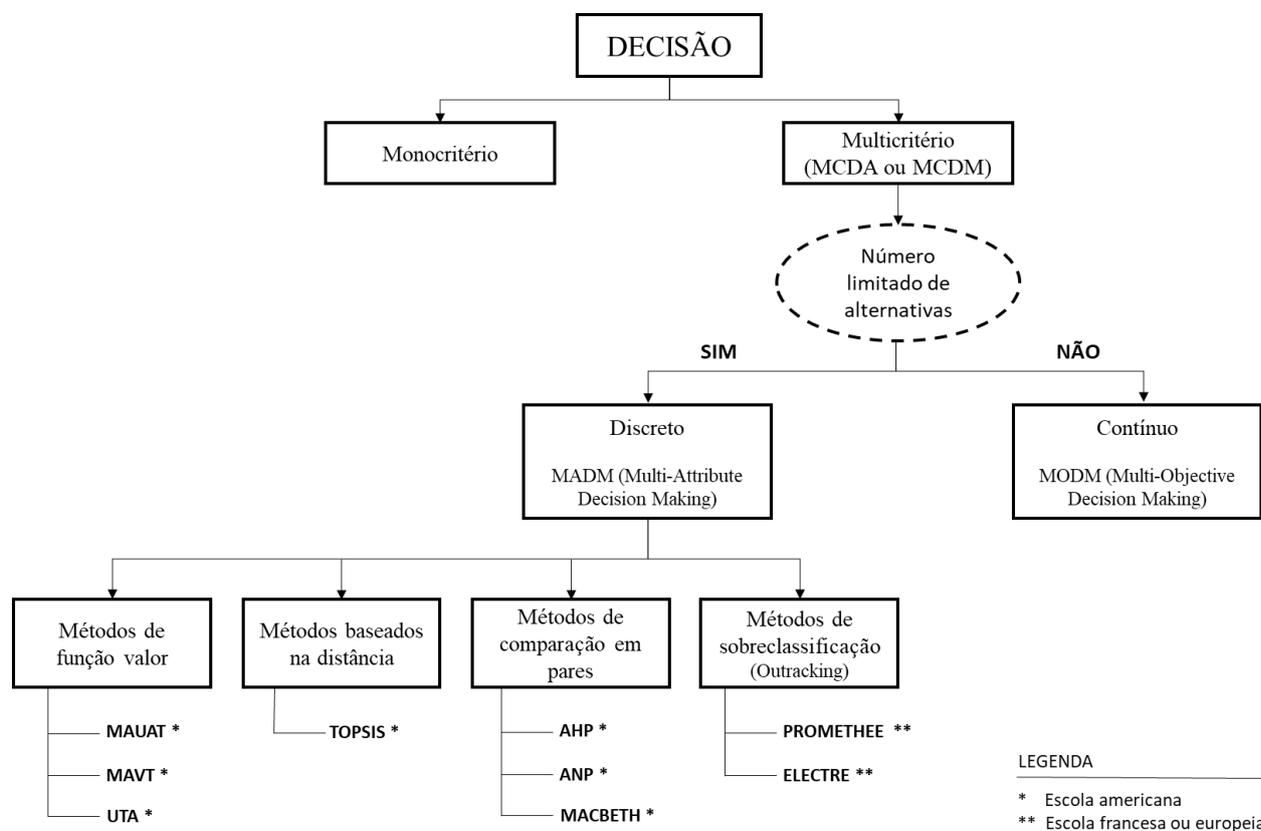
O objetivo das metodologias MCDA é dar suporte para que indivíduos ou grupos explorem decisões de forma sintetizada e organizada, levando em consideração todos os critérios ou fatores adequados, de maneira a atribuir confiança à tomada de decisão e minimizar possíveis arrependimentos posteriores (BELTON e STEWART, 2002). Através do MCDA, pode-se lidar com problemas complexos a partir da desagregação em partes menores gerenciáveis, que são remontadas num quadro geral coerente, facilitando a avaliação dos tomadores de decisão. (DOGSON et al., 2009)

As diferentes abordagens MCDA variam em complexidade e possíveis soluções e se distinguem entre si na natureza do modelo, na forma como o modelo é utilizado e nas informações necessárias. Algumas abordagens são mais adequadas a alguns tipos de problemas do que a outros. (BELTON e STEWART, 2002)

Quanto ao paradigma científico adotado, a abordagem multicritério desenvolveu-se ao longo dos anos a partir de duas correntes: a Escola francesa ou europeia e a Escola Americana. A vertente francesa adotou o termo "Apoio à decisão" (ou "análise") – Método Multicritério de Apoio à Decisão / MCDA – caracterizando-se pelo paradigma científico do construtivismo. Já a vertente americana aderiu o termo “Tomada de decisão” – Método Multicritério de Tomada de Decisão / MCDM – caracterizando-se por adotar o paradigma científico do racionalismo (BANA e COSTA et al., 1997; SALDAÑA, 1999; ENSSLIN et al., 2001).

Conforme explicitado por Francik et al. (2017), o desenvolvimento dinâmico dos métodos multicritério faz com que existam diferentes formas de classificações entre os diversos autores. Segundo Hwang e Yoon (1981), uma classificação amplamente aceita é a divisão dos MCDA em duas categorias: *Multiple Attribute Decision Making* (MADM) e *Multiple Objective Decision Making* (MODM). Para melhor compreender as classificações dos métodos MCDA, sugere-se a leitura de Hwang e Yoon (1981), Gebre *et al.* (2021), Ribeiro *et al.* (2021), Arslan (2017) e Francik *et al.* (2017). A fim de facilitar o entendimento do MCDA, a Figura 78 apresenta um diagrama-resumo com a sistematização das principais informações encontradas em diferentes autores, apresentando os métodos multicritério mais conhecidos (Quadro 43).

Figura 78 - Diagrama do problema de decisão e classificação dos métodos de decisão multicritério (MCDA/MCDM).



Fonte: Elaborado pela autora (2023), baseado em Gebre et al. (2021) e Francik et al. (2017).

Quadro 43 - Exemplos de alguns métodos multicritérios.

Métodos	Descrição	Referências
MAUT (<i>Multiattribute Utility Theory</i>)	Requer a identificação de funções de utilidade para cada atributo	Keeney e Raiffa (1976)
MAVT (<i>Multiattribute Value Theory</i>)	MAVT é uma simplificação do método MAUT à medida em que não procura modelar a atitude do tomador de decisão em relação ao risco.	Evren e Ülengin (1992); Kirkwood, (1997)
UTA (<i>Utilité Additive</i>)	Avaliar um conjunto de funções de valor ou utilidade, assumindo a base axiomática do MAUT e adotando o princípio da desagregação de preferências.	Jacquet-Lagrèze e Siskos (1982)
TOPSIS (<i>Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution</i>)	A alternativa escolhida deve ter a distância geométrica mais curta da solução ideal positiva e a distância geométrica mais longa da solução ideal negativa.	Hwang e Yoon (1981)

AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>)	Estrutura hierárquica e matrizes de comparação em pares	Saaty (1970)
ANP (<i>Analytic Network Process</i>)	Caracteriza-se pela decomposição de um problema de decisão em uma estrutura em rede, permitindo relações de dependência e feedback entre seus elementos.	Saaty (1996)
MACBETH (<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>)	Requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade das opções.	Bana e Costa e Vasnick (1994)
PROMETHEE (<i>Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations</i>)	Estabelece uma relação de sobreclassificação de valores, superação ou prevalência de alternativas em relação às demais.	Brans, Vincke e Marschal (1984)
ELECTRE (<i>Elimination and Choice Expressing Reality</i>)	Comparando cada par de ações, determina-se então os índices de concordância e discordância.	Bernard Roy (1968)

Fonte: Modificado de Bentaleb et al. (2015).

2. Avaliação multicritério e SIG

Nas últimas décadas tem-se desenvolvido interesse considerável no uso do Sistema de Informações Geográficas – SIG como uma ferramenta de apoio à decisão. O SIG diferencia-se de outros sistemas de gerenciamento dado que integra uma variedade de tecnologias geográficas tais como sensoriamento remoto e posicionamento global (GPS), que por sua vez podem ser integradas com técnicas analíticas e de tomada de decisão (MALCZEWSKI, 1999).

Conforme visto anteriormente, as decisões podem ser baseadas em um critério único ou em múltiplos critérios, mas a maioria dos problemas abordados em SIG são multicritério por natureza (EASTMAN, 2001), posto que problemas espaciais comumente envolvem um considerável número de alternativas a serem avaliadas. De acordo com Malczewski (2004), uma das finalidades do SIG mais úteis é no planejamento e gerenciamento da adequação do uso do solo. Decisões que envolvem alocação de terras para atender determinados objetivos são comumente empreendidas em SIG e tipicamente envolvem avaliação multicritério, abordagem aplicada em uma vasta gama de análises ambientais e de planejamento urbano e regional. (EASTMAN, 1999; EASTMAN, 2001; MALCZEWSKI, 2004). Segundo Voogd (1983), a

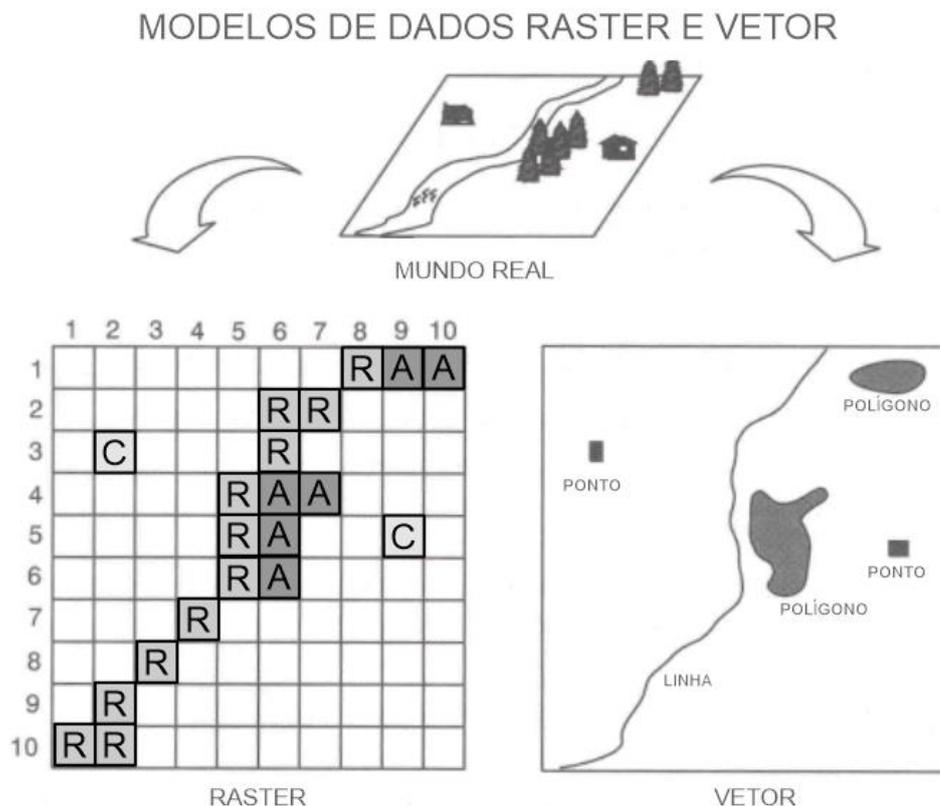
avaliação multicritério deve ser considerada como uma ferramenta valiosa para o enriquecimento significativo do planejamento urbano e regional, portanto deve pertencer ao conjunto de recursos utilizados pelo especialista em planejamento e pode ser empregada para inventariar, classificar, analisar e organizar convenientemente as informações disponíveis.

O processamento de dados usando técnicas SIG em conjunto com técnicas MCDA com o objetivo de obter informações para a tomada de decisão é denominado **análise de decisão espacial multicritério** (*spatial multicriteria decision analysis*). Em suma, esta análise requer a combinação tanto dos valores dos critérios quanto dos dados geográficos (entrada) a fim de obter uma decisão resultante (saída), em contraposição às técnicas convencionais de MCDA onde o componente geográfico não é observado. Ressalta-se que um dado é considerado geográfico se puder ser associado a um lugar ou a um local (MALCZEWSKI, 1999).

Na análise de decisão espacial multicritério em SIG cada atributo de entrada é representado na forma de um mapa digital, ou seja, os diferentes atributos são armazenados como camadas de mapa (mapas de critério ou atributo) que são os dados de entrada para a análise multicritério. A partir dos SIG é possível integrar uma variedade de informações e dados (população, topografia, hidrologia, clima, vegetação, rede de transporte, infraestrutura pública etc.) de múltiplas fontes em um formato compatível, a fim de não somente produzir mapas, mas promover análises espaciais complexas. (MALCZEWSKI, 1999; EASTMAN, 2001).

Um SIG armazena dois tipos de dados encontrados num mapa: as definições geográficas das características da superfície terrestre e os atributos ou qualidades que essas características possuem. Na maioria dos sistemas esses dados espaciais são dispostos por meio dos seguintes métodos de representação cartográfica: vetor e raster (Figura 79). Os dados raster possuem formato bidimensional a partir de uma matriz de células de grade uniforme (pixel, contração do termo *picture element*) na qual é registrada a condição ou atributo da superfície terrestre. O tamanho da grade pode variar e, portanto, a resolução espacial dos dados é determinada pelo tamanho da grade. Quanto maior o nível de resolução, maior será o detalhe que pode ser distinguido em uma imagem. Já os dados em formato vetorial são definidos por pontos, linhas e polígonos que representam graficamente feições da superfície terrestre codificadas a partir de pares de coordenadas X e Y que se combinam para compor cada um desses tipos, em sistemas tais como latitude/longitude ou Universal Transversa de Mercator (UTM). Assim, um ponto representa um par de coordenadas que unidas formam uma linha e as linhas podem ser conectadas de volta ao ponto de partida para cercar polígonos ou áreas. (MALCZEWSKI, 1999; EASTMAN, 2001).

Figura 79 - Formato de dados raster e vetor.



Fonte: Adaptado de Davis (2001).

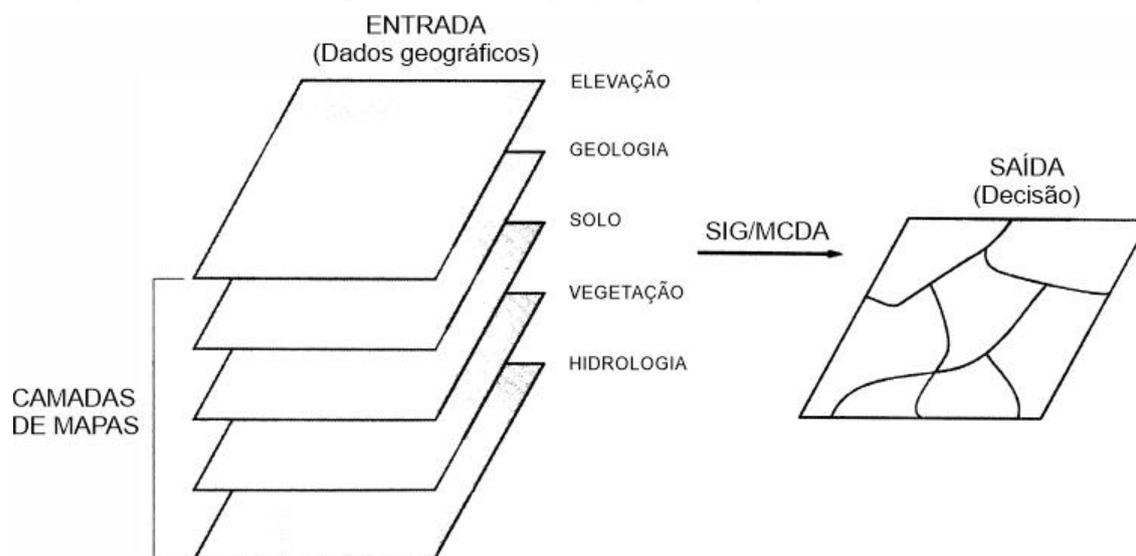
Tendo em vista as estruturas do raster e vetor descritas, cada tipo de modelo de dados fornece condições mais apropriadas para determinada aplicação. Na estrutura de dados raster o espaço geográfico é uniformemente definido, o que confere um maior poder na análise de espaços contínuos, ou seja, é mais indicado para representar dados que estão continuamente mudando no espaço, tais como relevo, pluviosidade e afins. Além disso, o raster é o formato adequado para imagens escaneadas e é o formato nativo de imagens de satélite, o que facilita a incorporação de dados de sensoriamento remoto nas análises. Em função das características citadas o modelo de dados raster é mais adequado para aplicações ambientais. Por outro lado, a estrutura de dados vetor é mais apropriada para elementos discretos, isto é, que apresentam limites bem definidos. Neste contexto, o modelo vetorial é mais adequado para aplicações socioeconômicas. Ademais, a precisão deste formato é limitada somente pela qualidade do dado original e há maior eficiência no armazenamento dos dados em relação ao raster (EASTMAN, 1993; MALCZEWSKI, 1999; EASTMAN, 2001).

O banco de dados em SIG para uma determinada região é comumente organizado de forma semelhante a uma coleção de mapas separados por temas (mapas temáticos), que segundo

Malczewski (1999) apresentam um conjunto de dados que descrevem uma característica única de cada local dentro de uma área geográfica delimitada. As camadas de mapa (*map layers*) podem ser analisadas individualmente ou combinadas a outras camadas georreferenciadas em um sistema de coordenadas comum, a fim de garantir a precisão da sobreposição e a validade da análise. Essas combinações são realizadas por meio de operações de sobreposição (*overlay operations*) que geram uma nova camada (camada de saída) a partir de duas ou mais camadas de entrada (Figura 80). Para dados de entrada em formato raster, a saída será uma camada de dados rasterizada onde cada célula possui um valor resultado de uma combinação aritmética ou lógica dos valores de entrada. Para dados de entrada em formato vetor a saída será a interseção de todos os limites das camadas de entrada.

É importante ressaltar que nas operações de sobreposição com dados raster todas as camadas de entrada devem estar em uma referência comum de grade, o que pode ser alcançado por meio da reamostragem (*resampling*), procedimento que transforma o sistema de grade dos dados de entrada para um diferente sistema de grade, cobrindo uma mesma área ao “esticar” ou “contrair” as células. (MALCZEWSKI, 1999)

Figura 80 - Camadas de mapas no SIG e sobreposição para avaliação multicritério: entrada e saída.



Fonte: Adaptado de Malczewski (1999).

A avaliação multicritério tem sido correntemente empregada em SIG a partir de duas principais abordagens de sobreposição de mapas: a lógica booleana (*Boolean overlay*) e o método de combinação linear ponderada (*weighted linear combination – WLC*). As camadas de mapas a serem sobrepostas referem-se às restrições e critérios relacionados às variáveis territoriais que

influem sobre objetivo do estudo a ser implementado. Estes itens estão mais bem explicitados a seguir.

2.1. Definição de Restrições e Critérios

Na literatura, as restrições e critérios são também comumente denominados “variáveis”, “atributos” e “fatores”. Na avaliação multicritério espacial, as restrições e critérios estão representados pelas camadas temáticas (mapas) definidas para cada caso, de acordo com o objetivo a ser alcançado. No presente trabalho, as “restrições” se referem às variáveis que indicam áreas do território que não foram incluídas na análise. Por outro lado, os “critérios” são as variáveis que descrevem o potencial de ocupação urbana de determinadas partes do território. Essa avaliação leva em consideração a possibilidade de ocorrência de movimentos de massa.

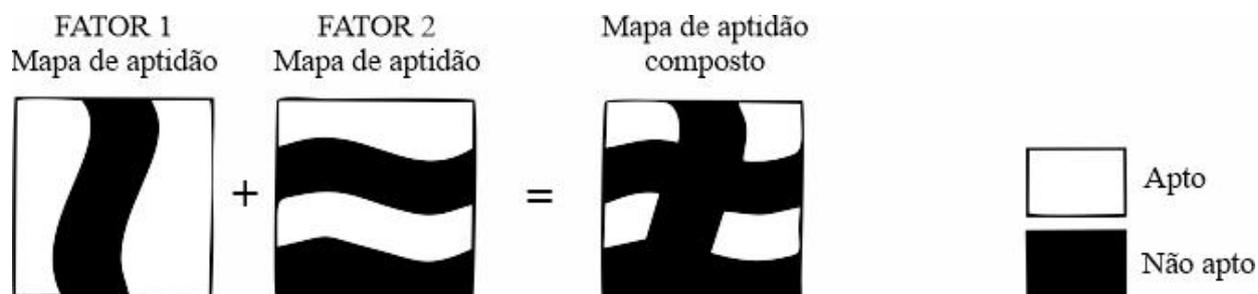
De acordo com Barredo e Delgado (2006), a seleção das variáveis é uma tarefa que incide fundamentalmente em todo o processo da avaliação multicritério e a inserção ou exclusão de determinado fator pode gerar resultados contrastantes. Portanto, é importante que a eleição do conjunto das variáveis seja realizada à luz dos objetivos perseguidos pelo estudo proposto. São inúmeros os fatores a serem avaliados nos estudos do território e na escolha devem ser considerados: a particularidade do território, o objetivo a ser alcançado, a disponibilidade de informações, entre outros aspectos. Embora em cada caso o pesquisador deva definir suas próprias variáveis, a revisão da literatura oferece uma série de variáveis comumente utilizadas para cada estudo específico.

2.2. Lógica booleana

Na sobreposição booleana (Figura 81) os critérios são convertidos em declarações lógicas (relações verdadeiro/falso) de adequação para a decisão em consideração e depois combinados por operações de interseção (lógica AND) ou de união (lógica OR). Os mapas booleanos (também chamados de mapas lógicos ou binários) mostram apenas as áreas que atendem à condição (1 = verdadeiro) e aquelas que não o fazem (0 = falso). Essa abordagem é útil para delinear áreas geográficas que funcionam como limitações ou restrições, ou seja, não são adequadas para a consideração, a exemplo das áreas com restrições ambientais em uma análise de aptidão do uso do solo. Assim, é definido o valor 1 se uma célula for uma alternativa viável (adequada) e o valor 0 (não adequada) é atribuído a células inviáveis. (DIAMOND, WRIGHT, 1988; MALCZEWSKI, 1999; EASTMAN, 1999; EASTMAN, 2001).

A lógica booleana pode ser empregada em SIG a partir de sistemas vetoriais ou raster.

Figura 81 - Esquema ilustrativo do método de sobreposição booleana binária.



Fonte: Diamond e Wright (1988).

2.3. Combinação Linear Ponderada (WLC)

Outro método de sobreposição é a combinação linear ponderada, o mais predominantemente utilizado para avaliação multicritério em SIG no contexto de tomada de decisão com múltiplos atributos (MADM) (VOOGD, 1983; MALCZEWSKI, 1999 e 2000). Nesta abordagem, os critérios, tipicamente denominados fatores, são padronizados para uma faixa numérica comum e posteriormente combinados por métodos de ponderação - isto é, cada fator é multiplicado por um peso, com resultados sendo somados para chegar a uma solução multicritério. Os resultados indicam variáveis com diferentes graus de adequação, diferentemente das restrições booleanas (adequado ou não adequado) (EASTMAN, 2001).

De acordo com Malczewski (1999), a Combinação Linear Ponderada (Figura 82) pode ser operacionalizada em qualquer sistema SIG que possui ferramentas de sobreposição e implementada tanto em raster como em vetor. Ademais, trata-se de uma abordagem largamente aplicada em análises de uso e adequação do solo, seleção de locais e problemas de avaliação de recursos, visto que é de fácil implementação no SIG e intuitivamente atrativa para os tomadores de decisão (MALCZEWSKI, 2000). Os dados empregados consistem em um conjunto de n camadas de atributos e cada célula (ou pixel) da grade do raster contém um valor de atributo x_{ij} , cujo índice i indica a localização. Estabelecidos os dados de entrada, agrega-se as camadas e avalia-se cada alternativa A_i pela seguinte fórmula:

$$A_i = \sum w_j x_{ij} \quad \text{Equação 1}$$

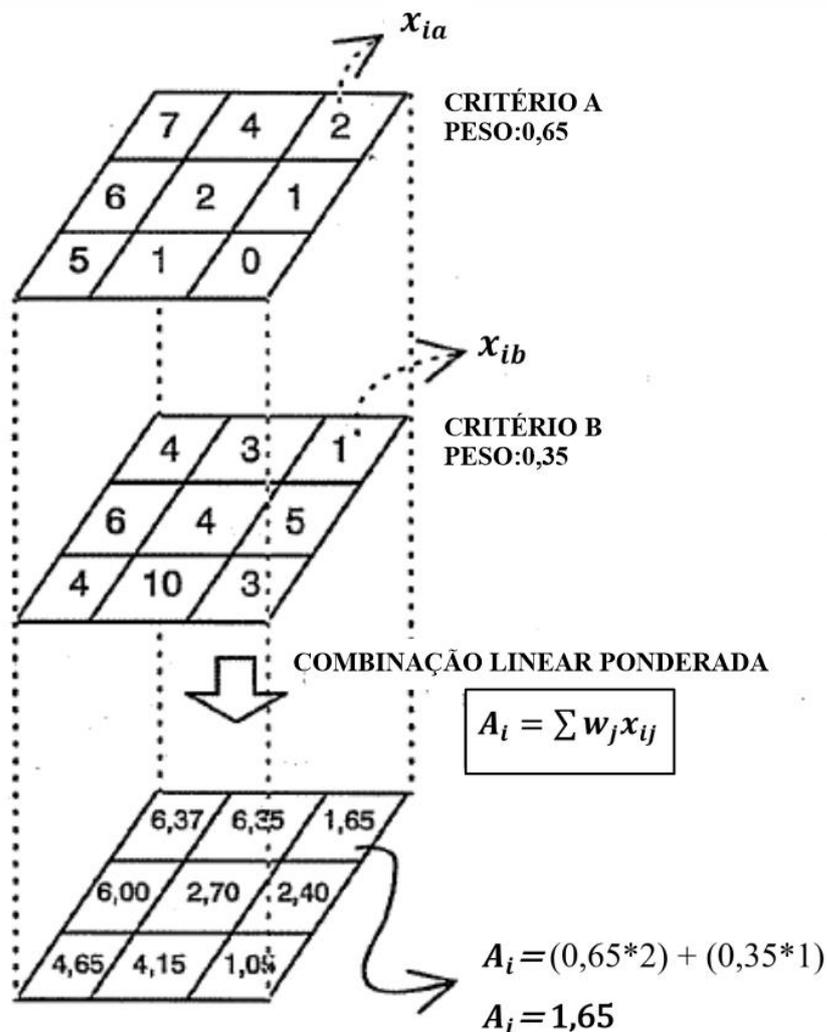
Onde:

A_i = Alternativa;

w_j = Peso atribuído ao atributo j , de modo que $\sum w_j = 1$;

x_{ij} = Valor de cada alternativa (célula) do atributo j .

Figura 82 - Esquema ilustrativo exemplificando a aplicação do método de Combinação Linear Ponderada.



Fonte: Adaptado de Gómez Delgado et al. (2006).

Dessa forma, dada a Equação 1, o método WLC aplicado em SIG envolve os seguintes passos (MALCZEWSKI, 1999 e 2000):

- (1) Definir o conjunto de critérios (camadas de mapas) e o conjunto de alternativas viáveis;
- (2) Normalizar cada camada de mapa de critério;
- (3) Definir os pesos dos critérios (ou seja, um peso de "importância relativa" é diretamente atribuído a cada atributo);

- (4) Construir as camadas de mapa normalizadas ponderadas (isto é, multiplicar as camadas de mapa padronizadas pelos pesos correspondentes);
- (5) Gerar a pontuação geral para cada alternativa (célula) usando a sobreposição (operação de adição) das camadas de mapas normalizadas ponderadas;
- (6) Classificar as alternativas de acordo com a pontuação de desempenho geral; a alternativa com a pontuação mais alta (ranking) é a melhor alternativa.

Destaca-se que a normalização das camadas de mapas de critérios (passo 2, descrito a seguir) para torná-los comparáveis pode ser realizada a partir de diversas abordagens, sendo a transformação em escala linear é a mais frequentemente utilizada em SIG.

Quanto à definição dos pesos dos critérios (passo 3, descrito a seguir), ressalta-se que representam a importância relativa dos atributos e podem ser definidos pelo tomador de decisão a partir de uma série de abordagens, a exemplo do método de comparação em pares proposto por Saaty (1980) no contexto do processo de hierarquia analítica (AHP).

Além disso, em determinada situação de decisão, o conjunto de alternativas pode ser limitado pela imposição de restrições, ou seja, uma alternativa é viável se satisfaz a todas as restrições. Neste caso, Eastman (1995 e 1999) defende que o resultado da WLC pode ser multiplicado (ou seja, intersectado) pelo produto de quaisquer restrições booleanas, de acordo com a fórmula a seguir:

$$A_i = \sum w_j x_{ij} \times \Pi C_j \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

A_i = Alternativa;

w_j = Peso atribuído ao atributo j , de modo que $\sum w_j = 1$;

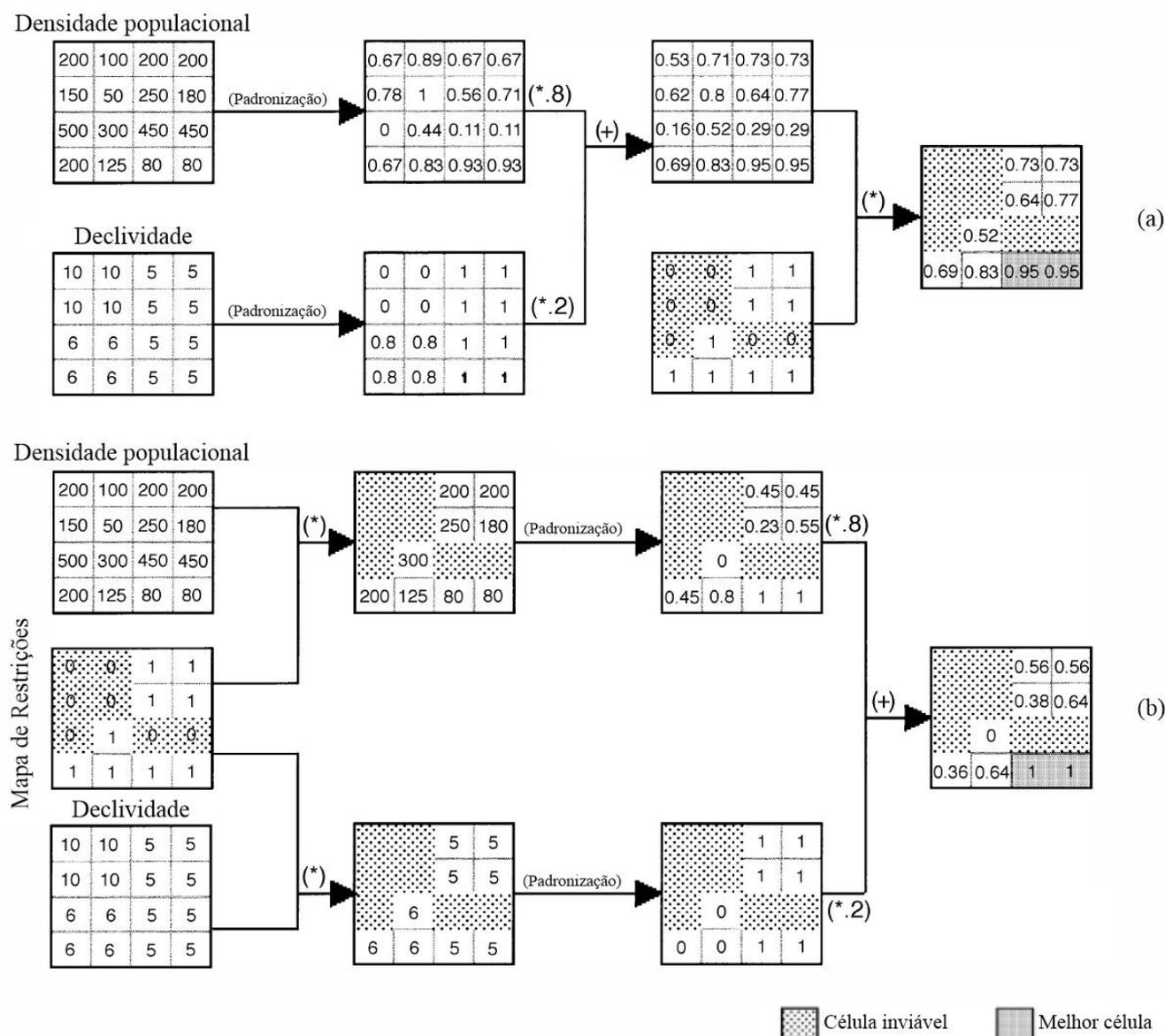
x_{ij} = Valor de cada alternativa (célula) do atributo j .

C_j = Restrição j .

Entretanto, Malczewski (1999) argumenta que as alternativas viáveis devem ser identificadas antes da etapa de padronização (passo 2), ou seja, o processo começa com a seleção das células viáveis (mapa de restrições), seguido pela padronização e a posterior sobreposição das camadas de mapas de atributo padronizados de acordo com Equação 1. Segundo ele, a prática difundida nos estudos SIG/WLC de realizar o procedimento de padronização dos mapas de atributos e posteriormente combiná-los (multiplicá-los) com os mapas de restrições binárias, conforme proposto por Eastman (1995 e 1999) na Equação 2, gera resultados substancialmente

diferentes em termos de valores das notas globais designados às células correspondentes, o que consequentemente é de particular importância quando mais de uma célula deve ser identificada como a melhor área com base no ranking de células. A Figura 83 exemplifica os efeitos da aplicação do procedimento WLC antes ou após a identificação de alternativas viáveis.

Figura 83 - Dois procedimentos para sobreposição de mapas de atributos e mapas de restrições: (a) a padronização é realizada em todas as células nas camadas do mapa de atributos; (b) a padronização é realizada no conjunto de células viáveis.



Fonte: Malczewski (1999).

Passo 2: Normalização/ Padronização dos mapas de critérios: transformação em escala linear

Para integrar os diferentes critérios na análise multicriterial espacial é preciso que os valores contidos nas camadas dos mapas de atributos sejam normalizados (padronizados) a partir de procedimentos que tornem as escalas comparáveis em tipo, unidade de medida etc. Isto significa que, um critério pode, por exemplo, ser expresso em número de casas enquanto outro em hectares, então antes de compará-los é necessário transformá-los numa unidade de medida comum (MALCZEWSKI, 1999; VOOGD, 1982).

Existem diferentes abordagens para tornar as camadas de atributos comparáveis (métodos determinísticos, probabilísticos e *fuzzy*), sendo a transformação em escala linear um método determinístico frequentemente utilizado em SIG. Os métodos de transformação em escala linear transformam os dados de entrada brutos em mapas de atributos comensuráveis. De acordo com Voogd (1982) e Malczewski (1999), os procedimentos para transformação em escala linear podem ser:

a. Tipo 1 (Somatório): cada pontuação 'bruta' é dividida pela soma de todas as pontuações 'brutas', conforme equação 3:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

x'_{ij} = Pontuação padronizada i ;

x_{ij} = Pontuação 'bruta' i ;

$\sum x_{ij}$ = Somatório das pontuações 'brutas'.

b. Tipo 2 (Pontuação máxima): divisão de cada pontuação 'bruta' pela pontuação máxima 'bruta' para um determinado critério, conforme equação 4:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

x'_{ij} = Pontuação padronizada i ;

x_{ij} = Pontuação 'bruta' i ;

x_j^{max} = Pontuação máxima 'bruta'.

Este método tem como vantagem a transformação proporcional dos dados brutos. Entretanto, o valor mais baixo padronizado não é necessariamente igual a 0, o que dificulta a interpretação do resultado. No melhor critério padronizado a pontuação é sempre igual a 1,0.

c. Tipo 3 (Intervalo de pontuação): a pontuação mínima 'bruta' para um determinado critério é subtraída da pontuação 'bruta' i , em seguida o resultado é dividido pela pontuação máxima 'bruta' menos a pontuação mínima 'bruta' do critério em questão, conforme equação 5:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

x'_{ij} = Pontuação padronizada i ;

x_{ij} = Pontuação 'bruta' i ;

x_j^{max} = Pontuação máxima 'bruta';

x_j^{min} = Pontuação mínima 'bruta'.

A vantagem deste tipo de transformação é que a escala de medição varia precisamente entre 0 e 1 para cada critério., ou seja, a pior pontuação padronizada é sempre igual a 0 enquanto a melhor pontuação é sempre igual a 1,0. Dessa forma, diferentemente do método de Pontuação Máxima (Tipo 2), esta transformação não produz resultados proporcionais. Este procedimento é especialmente apropriado no caso de técnicas que envolvam uma comparação em pares dos critérios. Observa-se que o zero significa apenas o valor mínimo.

Em softwares para aplicação de análise multicriterial, como o IDRISI, é possível realizar a padronização dos fatores tanto para uma escala de números reais, de zero a um, como para uma escala de bytes, de 0 a 255, sendo esta última recomendada para o uso no IDRISI porque o módulo *MultiCriteria Evaluation* foi projetado para processamentos mais rápidos em bytes (DALMAS et al., 2011). Deste modo, o resultado obtido apresenta uma superfície de adequabilidade de 0 a 255, com a aptidão mínima (0 bytes) e a aptidão máxima (255 bytes).¹⁶

¹⁶ Um dos formatos de dados mais utilizados nos arquivos raster é o "Inteiro não sinalizado de 8 bits", com total de 256 cores e alcance de dados de 0 a 255 (*Data Range*). O intervalo ou escala de dados de 0 a 255 informa a quantidade de valores que pode ser armazenada na matriz. (SANTOS, J., 2015).

Passo 3: Atribuição de pesos aos mapas de critérios e Processo de Análise Hierárquica (AHP)

É habitual estabelecer hierarquias e pesos aos critérios (fatores) nos estudos de territórios (GÓMEZ DELGADO; BARREDO CANO, 2005). A ponderação dos critérios tem como finalidade expressar em termos quantitativos a importância de determinado critério em relação aos demais critérios, visto que os problemas de MCDA usualmente envolvem atributos de relevância variável para a decisão. Uma vez que determinada decisão envolva n critérios, um conjunto de pesos é definido por $(w_1, w_2, w_3, w_4, \dots, w_j, \dots, w_n)$ e $\sum w_j = 1$.

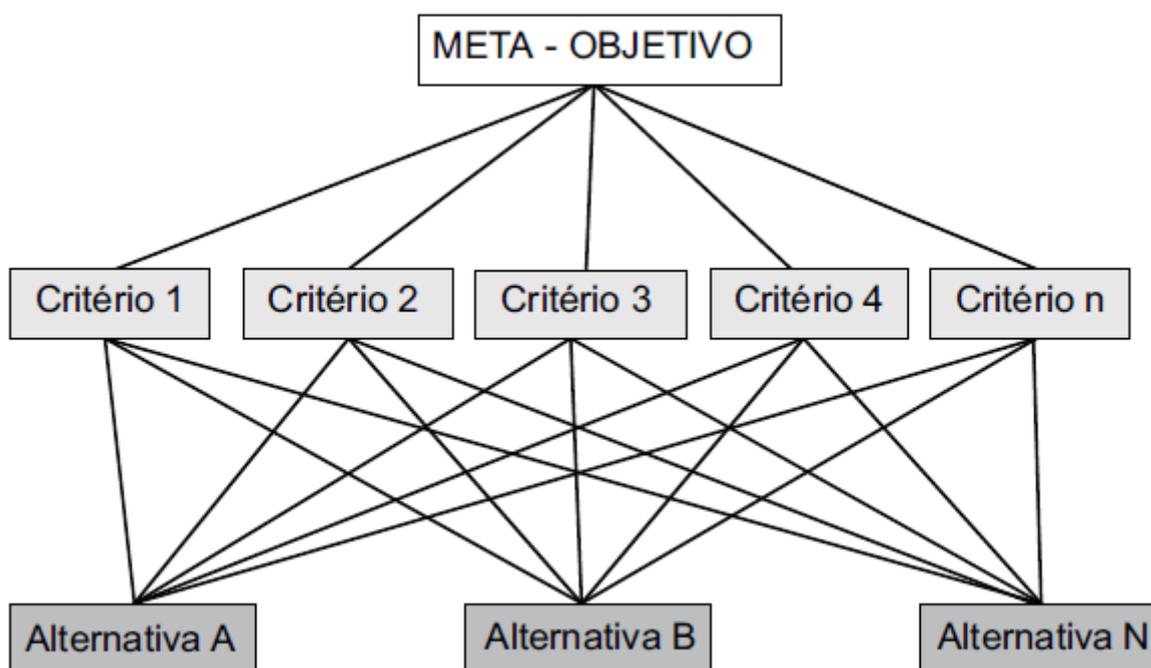
Existem diferentes técnicas de avaliação de pesos propostos na literatura da decisão multicritério, que diferem quanto ao grau de facilidade de aplicação e compreensão, precisão e base teórica. Entre elas, Malczewski (1999 e 2000) aborda o método de classificação, de avaliação, de comparação em pares e o de análise *trade-off*, destacando que o método de comparação em pares é considerado por muitos analistas como o mais apropriado para a integração com SIG, sendo inclusive o método incorporado no módulo de avaliação multicritério do software IDRISI. Em função disto, este trabalho deteve-se em esquadrihar o método de comparação em pares no contexto do Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process- AHP*), desenvolvido por Tomas L. Saaty na década de 70.

O AHP é um dos primeiros e mais amplamente utilizados métodos MCDA. É aplicado em diversas áreas do conhecimento, dada a sua característica de incorporar em sua análise critérios quantitativos e qualitativos. De forma concisa, o método compreende comparações em pares para criar uma matriz de razão, na qual o número de linhas e colunas está definido pelo número de critérios a ponderar. (MALCZEWSKI, 1999; GÓMEZ DELGADO, BARREDO CANO, 2005).

Inicialmente, para estabelecer uma comparação coerente, uma das etapas mais importantes do AHP é a escolha dos fatores significativos para a decisão e a sua organização em uma estrutura hierárquica descendente (Figura 84) que contempla o objetivo, critérios, subcritérios e alternativas em níveis sucessivos, de modo que o problema seja representado de forma mais completa possível (SAATY, 1990). Segundo Saaty (1977), a hierarquia é importante e poderosa como um modelo de realidade quando se visualiza um sistema complexo de componentes que interagem entre si.

A partir da construção da estrutura hierárquica, o método consiste em três etapas (MALCZEWSKI, 1999): 1. Desenvolvimento da matriz de comparação pareada (passo 1 da planilha do APÊNDICE 7); 2. Matriz normalizada e cálculo dos pesos dos critérios (passos 2 e 3 da planilha do APÊNDICE 7); 3. Estimativa da razão de consistência (passo 4 da planilha do APÊNDICE 7), descritos a seguir.

Figura 84 - Exemplo de estruturação hierárquica em dois níveis: critérios e alternativas.



Fonte: Faria e Augusto Filho (2013), modificado de Saaty (1990).

1. Desenvolvimento da matriz de comparação pareada:

O procedimento se inicia pela construção da matriz de comparações binárias a partir dos fatores definidos para a análise na etapa anterior de construção da estrutura hierárquica. Em cada célula da matriz atribui-se um valor (a_{ij}) que representa a importância relativa de cada fator disposto na coluna pelo fator disposto na linha (Quadro 44). Na diagonal da matriz assinala-se o valor 1, que representa a igualdade da comparação entre um fator consigo mesmo e os valores assinalados em ambos os lados da matriz são recíprocos (matriz simétrica), ou seja, abaixo da diagonal (metade triangular inferior) são atribuídos os valores da comparação e acima da diagonal (metade triangular superior) o valor a uma dada posição é o recíproco (inverso) na outra posição simétrica. Dessa forma, se o fator C é considerado 3 vezes mais importante que o fator B, então B será automaticamente 1/3 vezes menos importante que C (GÓMEZ DELGADO; BARREDO CANO, 2005).

Quadro 44 - Matriz de comparação em pares

FATORES	A	B	C	D
A	1			
B		1		
C		a_{cb}	1	
D				1

Fonte: Adaptado de Gómez Delgado e Barredo Cano (2005).

Os critérios são comparados com base em uma escala fundamental (Tabela 6) que consiste em julgamentos verbais que variam do “igual” ao “extremo” (igual importância, moderadamente mais importante, fortemente mais importante, muito fortemente mais importante, extremamente mais importante) e correspondem a julgamentos numéricos (1, 3, 5, 7, 9) (SAATY, 1990). O tomador de decisão deve fazer comparações em pares, respondendo a perguntas tais como: “Quão importante é o critério A em relação ao critério B?”. As respostas são posteriormente codificadas nos valores numéricos da escala de intensidade (DOGSON et al., 2009). Assim, conforme Saaty (2008), ao fazer as comparações indica-se quantas vezes mais um elemento é importante ou dominante sobre o outro elemento com relação ao nível superior.

Tabela 8 - Escala Fundamental de Saaty.

INTENSIDADE	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Igual importância	Ambos os elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderadamente mais importante	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em detrimento de outra
5	Fortemente mais importante	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em detrimento de outra
7	Muito fortemente mais importante	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância demonstrada em prática
9	Extremamente mais importante	Dominância absoluta
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Valores de dúvida

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

A atribuição dos valores de cada comparação binária é preferencialmente dada por especialistas, de acordo com a metodologia difundida da Técnica Participatória, conforme proposto por autores como Eastman (2001) e Chen et al. (2001), que consiste na consulta a um grupo de experts das diferentes áreas de interesse do trabalho. Tendo em vista que a atribuição de pesos para critérios e classes de critérios demanda um conhecimento preciso do problema de decisão, a consulta aos especialistas confere maior credibilidade e consistência ao resultado.

2. Matriz normalizada e cálculo dos pesos dos critérios:

Uma vez definido o julgamento de valor na matriz de comparação, deve-se prosseguir com o procedimento que estabelece o **vetor de prioridade da matriz (*eigenvector*)** a partir das seguintes operações:

- a- Soma dos valores de cada coluna da matriz;
- b- Normalização da matriz: divisão de cada elemento da matriz pelo valor da soma da coluna a que pertence, de modo que a soma de todos os elementos da coluna seja igual a 1. A matriz obtida é denominada **matriz normalizada**;
- c- Calcular a média aritmética dos elementos de cada linha da matriz normalizada, ou seja, dividir a soma da linha pelo número de critérios.

O resultado obtido do cálculo das médias (***eigenvector normalizado***) fornece os pesos (w_j) relativos dos critérios comparados, ou seja, a ordem de prioridade dos critérios.

3. Estimativa da razão de consistência:

Nesta etapa, determina-se se as comparações efetuadas são consistentes a partir do procedimento de razão de consistência indicado por Saaty (1977). De acordo com Gómez Delgado e Barredo Cano (2005), este passo é um dos mais importantes e interessantes do método AHP e o que mais o diferencia dos demais métodos de atribuição de pesos. Considerando que a atribuição de pesos possui certo grau de subjetividade, inevitável em todo processo de decisão humana, tal procedimento permite verificar quantitativamente a consistência das atribuições de valor e reconsiderá-la caso não seja consistente. Para tanto, são realizadas as seguintes operações:

- a- Determina-se o **vetor de soma ponderada** multiplicando-se o peso do primeiro critério por cada elemento da primeira coluna da matriz original de comparação em pares, depois multiplicando o segundo peso por cada elemento da segunda coluna, em seguida multiplicando o terceiro peso por cada critério da terceira coluna da matriz original. Deve-se proceder desta forma até que todos os pesos tenham sido multiplicados pelos elementos de todas as colunas. Finalmente, soma-se os valores obtidos nas linhas;
- b- Determina-se o **vetor de consistência** dividindo-se o vetor de soma ponderada pelo peso de cada critério determinado anteriormente (*eigenvector* item II);
- c- Calcula-se o **autovalor máximo** (λ_{max}). O valor para λ_{max} é o valor médio do vetor de consistência (somam-se as suas parcelas e divide-se pelo número de critérios).
- d- Calcula-se o **Índice de Consistência (IC)**: O IC fornece uma medida de desvio da consistência e é calculado pela Equação 6:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

λ_{max} = Maior autovalor da matriz de julgamentos paritários;

n = Ordem da matriz de julgamento.

- e- Calcula-se a **Razão de Consistência (RC)**: A fórmula utilizada para a razão de consistência (RC) proposta por Saaty (1991) é apresentada na Equação 7:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

IR = Índice randômico: índice de consistência de uma matriz de comparação de pares gerada aleatoriamente;

Pode ser demonstrado que IR depende do número de elementos a serem comparados. Saaty (1991) propõe uma tabela com os índices randômicos (IR) de matrizes de ordem 1 a 15 calculados em laboratório, conforme exibido na Tabela 7.

Tabela 9 - Índices randômicos (IR) para n = 1, 2, 3...15.

n	IR	n	IR	n	IR
1	0.00	6	1.24	11	1.51
2	0.00	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.90	9	1.45	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Conforme estabelecido por Saaty (1990), se a razão de consistência $RC < 0,10$, há consistência nas comparações em pares, ou seja, pode-se considerar satisfatórios os julgamentos de valor definidos; se, porém, $RC \geq 0,10$, os valores da razão são indicativos de julgamentos inconsistentes e é recomendável que sejam revisados.

APÊNDICE 6 - Formulário enviado aos especialistas para aplicação do MÉTODO AHP.

CONSIDERAÇÕES SOBRE SUSCETIBILIDADE E RISCO ASSOCIADOS A MOVIMENTOS DE MASSA NO PLANEJAMENTO URBANO: O Caso do município de Duque de Caxias - RJ

Pesquisadora: Laís de Andrade Costelha

Orientadores: Marcos B. de Mendonça / Monica B. Schlee

Esta pesquisa é parte do desenvolvimento da dissertação de Mestrado do **Programa de Engenharia Urbana**, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e tem por objetivo propor ferramentas e meios de considerar o conhecimento de suscetibilidade e riscos associados a movimentos de massa no planejamento urbano, a fim de reduzir os riscos de desastres. Para tanto, propõe-se o uso da cartografia geotécnica para a definição de diretrizes de ocupação urbana e adequação dos Planos diretores municipais e demais leis urbanísticas e ambientais.

Diante do exposto, este questionário é direcionado a especialistas como parte do processo de elaboração de um **Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa** para o município de Duque de Caxias (RJ), baseado em diferentes informações do meio físico e uso do solo, denominadas critérios, que deverão ser combinadas por meio de métodos de Análise Multicriterial. Os critérios e as classes dos critérios escolhidos devem receber pesos relativos à sua importância (Processo de Análise Hierárquica - AHP), que deverão ser atribuídos pelos especialistas com base numa escala dada. A ponderação dos critérios tem como finalidade expressar em termos quantitativos a importância de determinado critério em relação aos demais critérios.

ATENÇÃO: Não foi possível considerar todos os condicionantes de suscetibilidade a deslizamentos, limitando-se aos disponíveis para a área de estudo (declividade, uso e cobertura do solo, padrões de relevo e presença de estradas não infraestruturadas), sendo esta limitação uma realidade de grande parte dos municípios.

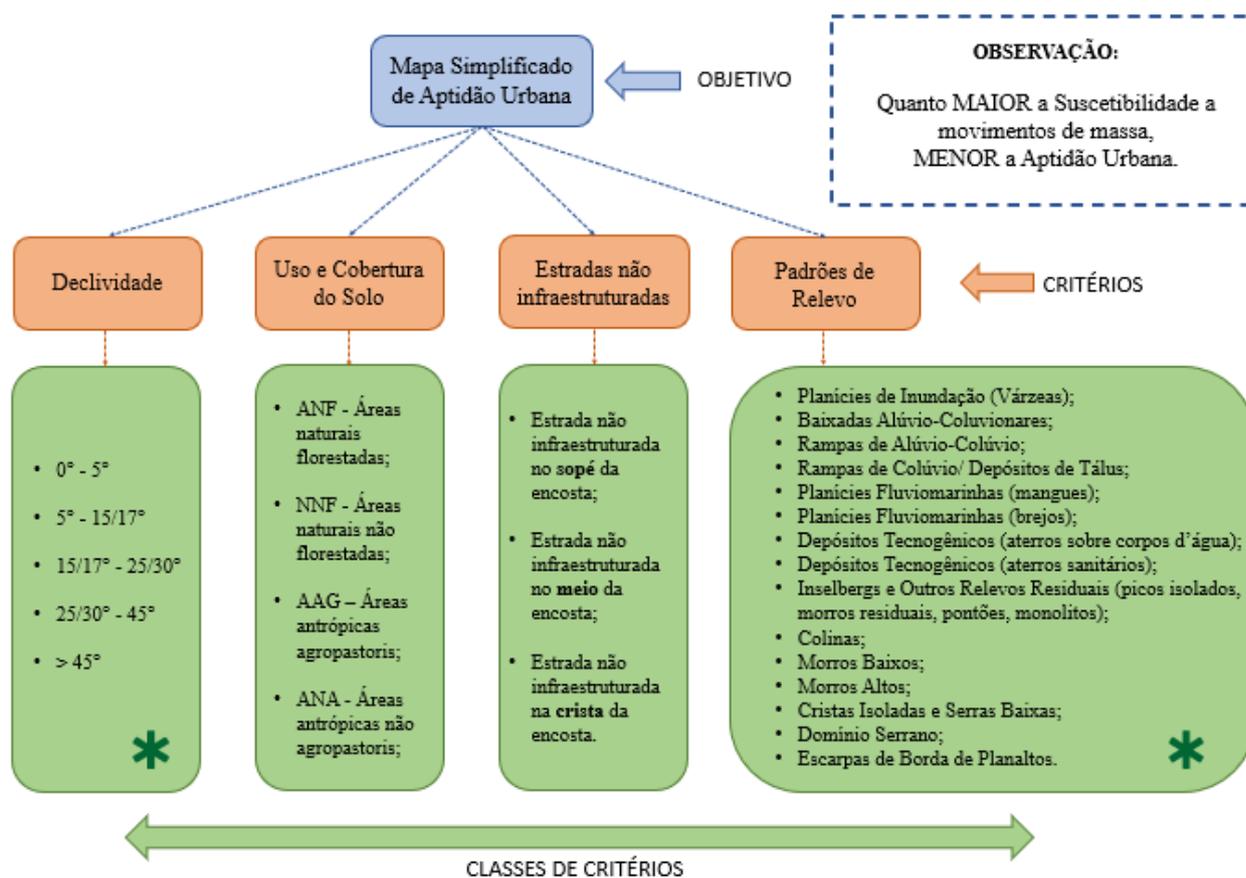
Como funciona o questionário?

Os CRITÉRIOS e CLASSES DE CRITÉRIOS são comparados em pares nas seções seguintes e deverão receber pesos com base na Escala Fundamental de Saaty que consiste em julgamentos verbais que variam do “igual” ao “extremo” (igual importância, moderadamente mais importante, fortemente mais importante, muito fortemente mais importante, extremamente mais importante) e correspondem a julgamentos numéricos (1, 3, 5, 7, 9).

Assim, para cada pergunta, favor marcar um número que corresponde ao quão importante o critério "A" é em relação ao critério "B".

O **objetivo** de cada comparação é entender a contribuição de cada critério e classe de critério na suscetibilidade a movimentos de massa, de modo que solos mais suscetíveis são menos aptos a ocupação urbana (Figura 1).

Figura 1: Esquema Geral do Objetivo, critérios e classes de critérios.



* Nesta pesquisa os especialistas **não** darão peso para as **classes de critério** Declividade e Padrões de Relevo, visto que esses dados foram retirados da literatura.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Declaro que fui devidamente esclarecido(a) sobre a pesquisa e concedo a minha autorização na participação e publicação dos resultados obtidos por meio do questionário.

FORMAÇÃO E EXPERIÊNCIA DO ESPECIALISTA

1. Qual o seu nome completo? *

2. Qual o seu e-mail? *

3. Qual a sua área de formação? *

- Geologia
 Geomorfologia
 Engenharia Geotécnica
 Engenharia Geológica
 Other: _____

4. Qual o seu tempo de experiência na área? *

- 0 a 5 anos
 5 a 10 anos
 10 a 20 anos
 Acima de 20 anos

AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

Objetivo: Identificar as áreas de suscetibilidade a movimentos de massa a fim de criar Mapa Simplificado de Aptidão Urbana Frente a Movimentos de Massa a movimentos de massa.

PRIMEIRA SEÇÃO: Comparação entre critérios

Comparação em pares entre os critérios **Declividade, Uso e cobertura do solo, Padrões de Relevo e Estradas não infraestruturadas** com relação a suscetibilidade do solo a movimentos de massa.

1. **Declividade x Uso e cobertura do solo** *

Visualizar a Figura abaixo e assinalar número correspondente ao grau de importância do critério, de acordo com a Escala de Saaty.

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3		1	3	5	7	
Declividade	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Uso e cobertura do solo

- (9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
 (7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
 (5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
 (3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
 (1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;
 (3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
 (5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
 (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

2. Declividade x Padrões de Relevância *

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Declividade	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Padrões de Relevância

(9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;

(3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

3. Declividade x Estradas não infraestruturadas *

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Declividade	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Estradas não infraestruturadas

(9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;

(3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

- (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

4. **Uso e cobertura do solo x Estradas não infraestruturadas ***

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3		1	3	5	7	
Uso e cobertura do solo	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Estradas não infraestruturadas

- (9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;
- (3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

5. **Uso e cobertura do solo x Padrões de relevo ***

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3		1	3	5	7	
Uso e cobertura do solo	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Padrões de relevo

- (9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;
- (3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

- (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

6. **Padrões de relevo x Estradas não infraestruturadas ***

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Padrões de relevo	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Estradas não infraestruturadas

- (9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;
- (3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

SEGUNDA SEÇÃO: Comparação entre CLASSES de critérios

Comparação em pares entre as CLASSES do critério USO E COBERTURA DO SOLO, com relação a suscetibilidade do solo a movimentos de massa.

**Descrição das classes:
(Classificação INEA)**

a. **Áreas Naturais podem ser classificadas como:**

- ANF - Áreas Naturais Florestadas. Ex.: Diferentes níveis sucessionais de Mata Atlântica, entre outras.
- NNF - Áreas Naturais Não Florestadas. Ex.: Cordões arenosos, afloramentos rochosos, dunas, campos de altitude, entre outras.

b. **Áreas Antrópicas podem ser classificadas como:**

- AAG - Áreas Antrópicas Agropastoris. Ex.: Diferentes tipos de cultivos, áreas de pastagem, entre outras.

- **ANA** - Áreas Antrópicas Não Agropastoris. Ex.: Áreas urbanas de diferentes níveis de densidade de ocupação, áreas de mineração, solo exposto, entre outras.

1. **Áreas Naturais Não Florestadas x Áreas Naturais Florestadas ***

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3		1	3	5	7	
Áreas Naturais Não Florestadas	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Áreas Naturais Florestadas

- (9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;
- (3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

2. **Áreas Antrópicas Agropastoris x Áreas Naturais Não Florestadas ***

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3		1	3	5	7	
Áreas Antrópicas Agropastoris	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Áreas Naturais Não Florestadas

- (9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;
- (3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

3. Áreas Antrópicas Agropastoris x Áreas Naturais Florestadas *

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3		1	3	5	7	
Áreas Antrópicas Agropastoris	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Áreas Naturais Florestadas

(9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;

(3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

4. Áreas Antrópicas Agropastoris x Áreas Antrópicas Não Agropastoris *

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3		1	3	5	7	
Áreas Antrópicas Agropastoris	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Áreas Antrópicas Não Agropastoris

(9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;

(3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

5. **Áreas Antrópicas Não Agropastoris x Áreas Naturais Florestadas ***

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3		1	3	5	7	
Áreas Antrópicas Não Agropastoris	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Áreas Naturais Florestadas

(9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;

(3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

6. **Áreas Antrópicas Não Agropastoris x Áreas Naturais Não Florestadas ***

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3		1	3	5	7	
Áreas Antrópicas Não Agropastoris	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Áreas Naturais Não Florestadas

(9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

(1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;

(3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;

(9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

TERCEIRA SEÇÃO: Comparação entre CLASSES de critérios

Comparação em pares entre as CLASSES do critério ESTRADAS NÃO INFRAESTRUTURADAS, com relação a suscetibilidade do solo a movimentos de massa.

Descrição das classes:

- Estrada não infraestruturada no sopé da encosta;
- Estrada não infraestruturada no meio da encosta;
- Estrada não infraestruturada na crista da encosta.

1. Estrada não infraestruturada no sopé da encosta x Estrada não infraestruturada no meio da encosta *

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Estrada não infraestruturada no sopé da encosta	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Estrada não infraestruturada no meio da encosta

- (9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;
- (3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

2. **Estrada não infraestruturada no sopé da encosta x Estrada não infraestruturada na crista da encosta ***

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Estrada não infraestruturada no sopé da encosta	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Estrada não infraestruturada na crista da encosta

- (9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;
- (3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A.

3. **Estrada não infraestruturada no meio da encosta x Estrada não infraestruturada na crista da encosta ***

CRITÉRIO A	Critério A é mais importante que Critério B				A = B	Critério B é mais importante que Critério A				CRITÉRIO B
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Estrada não infraestruturada no sopé da encosta	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Estrada não infraestruturada na crista da encosta

- (9) Critério A é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (7) Critério A é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (5) Critério A é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;
- (3) Critério A é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério B;

- (1) Critério A tem "IGUAL IMPORTÂNCIA" do Critério B;
- (3) Critério B é "MODERADAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (5) Critério B é "FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (7) Critério B é "MUITO FORTEMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério A;
- (9) Critério B é "EXTREMAMENTE MAIS IMPORTANTE" do que o Critério

APÊNDICE 7 - Aplicação da Metodologia AHP – Respostas Especialistas 1 a 12.

ESPECIALISTA 1

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	5,00	9,00
Meio da Encosta	0,20	1	3,00
Crista da Encosta	0,11	0,33	1
Soma	1,31	6,33	13,00

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,76	0,79	0,69
Meio da Encosta	0,15	0,16	0,23
Crista da Encosta	0,08	0,05	0,08
Soma	1,00	1,00	1,00

∑ das linhas
2,24
0,54
0,21

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,75
Meio da Encosta	0,18
Crista da Encosta	0,07

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

				∑ das linhas
0,7482	0,9020	0,6429	0,0000	2,29
0,1496	0,1804	0,2143	0,0000	0,54
0,0831	0,0601	0,0714	0,0000	0,21

b- Vetor de Consistência

3,06
3,02
3,01

c- Autovalor Máximo ($\lambda_{\text{máx}}$)

3,03

d- Índice de Consistência (IC)

0,01 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

0,03 *Se CR < 0,10. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 2

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	0,14	0,14
Meio da Encosta	7,00	1	7,00
Crista da Encosta	7,00	0,14	1
Soma	15,00	1,29	8,14

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta	Σ das linhas
Sopé da Encosta	0,07	0,11	0,02	0,20
Meio da Encosta	0,47	0,78	0,86	2,10
Crista da Encosta	0,47	0,11	0,12	0,70
Soma	1,00	1,00	1,00	

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,07
Meio da Encosta	0,70
Crista da Encosta	0,23

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

				Σ das linhas
0,0651	0,1002	0,0334	0,0000	0,20
0,4558	0,7014	1,6347	0,0000	2,79
0,4558	0,1002	0,2335	0,0000	0,79

b- Vetor de Consistência

3,05
3,98
3,38

c- Autovalor Máximo (λ_{\max})

3,47

d- Índice de Consistência (IC)

0,24 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

0,41 *Se $CR < 0,10$. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 3

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	0,33	1,00
Meio da Encosta	3,00	1	3,00
Crista da Encosta	1,00	0,33	1
Soma	5,00	1,67	5,00

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,20	0,20	0,20
Meio da Encosta	0,60	0,60	0,60
Crista da Encosta	0,20	0,20	0,20
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
0,60
1,80
0,60

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,20
Meio da Encosta	0,60
Crista da Encosta	0,20

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

				Σ das linhas
0,2000	0,2000	0,2000	0,0000	0,60
0,6000	0,6000	0,6000	0,0000	1,80
0,2000	0,2000	0,2000	0,0000	0,60

b- Vetor de Consistência

3,00
3,00
3,00

c- Autovalor Máximo (λ_{máx})

3,00

d- Índice de Consistência (IC)

0,00 * IC é função do índice randômico de Saaty

e- Razão de Consistência (RC)

0,00 *Se CR < 0,10. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 4

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	0,14	0,20
Meio da Encosta	7,00	1	0,14
Crista da Encosta	5,00	7,00	1
Soma	13,00	8,14	1,34

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,08	0,02	0,15
Meio da Encosta	0,54	0,12	0,11
Crista da Encosta	0,38	0,86	0,74
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
0,24
0,77
1,99

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,08
Meio da Encosta	0,26
Crista da Encosta	0,66

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

				Σ das linhas
0,0811	0,0366	0,1326	0,0000	0,25
0,5679	0,2559	0,0947	0,0000	0,92
0,4057	1,7912	0,6630	0,0000	2,86

b- Vetor de Consistência

3,08
3,59
4,31

c- Autovalor Máximo (λ_{máx})

3,66

d- Índice de Consistência (IC)

0,33 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

0,57 *Se CR < 0,10. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 5

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	1,00	1,00
Meio da Encosta	1,00	1	1,00
Crista da Encosta	1,00	1,00	1
Soma	3,00	3,00	3,00

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,33	0,33	0,33
Meio da Encosta	0,33	0,33	0,33
Crista da Encosta	0,33	0,33	0,33
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
1,00
1,00
1,00

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,33
Meio da Encosta	0,33
Crista da Encosta	0,33

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

				Σ das linhas
0,3333	0,3333	0,3333	0,0000	1,00
0,3333	0,3333	0,3333	0,0000	1,00
0,3333	0,3333	0,3333	0,0000	1,00

b- Vetor de Consistência

3,00
3,00
3,00

c- Autovalor Máximo (λ_{\max})

3,00

d- Índice de Consistência (IC)

0,00 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

0,00 *Se CR < 0,10. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 6

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	0,11	0,11
Meio da Encosta	9,00	1	0,11
Crista da Encosta	9,00	9,00	1
Soma	19,00	10,11	1,22

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,05	0,01	0,09
Meio da Encosta	0,47	0,10	0,09
Crista da Encosta	0,47	0,89	0,82
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
0,15
0,66
2,18

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,05
Meio da Encosta	0,22
Crista da Encosta	0,73

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

					Σ das linhas
0,0515	0,0246	0,0808	0,0000		0,16
0,4636	0,2212	0,0808	0,0000		0,77
0,4636	1,9905	0,7273	0,0000		3,18

b- Vetor de Consistência

3,05
3,46
4,37

c- Autovalor Máximo (λ_{máx})

3,63

d- Índice de Consistência (IC)

0,31 * IC é função do índice randômico de Saaty

e- Razão de Consistência (RC)

0,54 *Se CR < 0,10. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 7

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	0,20	0,11
Meio da Encosta	5,00	1	0,14
Crista da Encosta	9,00	7,00	1
Soma	15,00	8,20	1,25

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,07	0,02	0,09
Meio da Encosta	0,33	0,12	0,11
Crista da Encosta	0,60	0,85	0,80
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
0,18
0,57
2,25

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,06
Meio da Encosta	0,19
Crista da Encosta	0,75

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

					Σ das linhas
0,0599	0,0379	0,0834	0,0000		0,18
0,2994	0,1897	0,1072	0,0000		0,60
0,5390	1,3282	0,7504	0,0000		2,62

b- Vetor de Consistência

3,03
3,14
3,49

c- Autovalor Máximo (λ_{\max})

3,22

d- Índice de Consistência (IC)

0,11 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

0,19 *Se CR < 0,10. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 8

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	7,00	7,00
Meio da Encosta	0,14	1	1,00
Crista da Encosta	0,14	1,00	1
Soma	1,29	9,00	9,00

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,78	0,78	0,78
Meio da Encosta	0,11	0,11	0,11
Crista da Encosta	0,11	0,11	0,11
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
2,33
0,33
0,33

Passo 3 - Determinação dos Pesos (Eigen Vector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,78
Meio da Encosta	0,11
Crista da Encosta	0,11

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

				Σ das linhas
0,7778	0,7778	0,7778	0,0000	2,33
0,1111	0,1111	0,1111	0,0000	0,33
0,1111	0,1111	0,1111	0,0000	0,33

b- Vetor de Consistência

3,00
3,00
3,00

c- Autovalor Máximo (λ_{\max})

3,00

d- Índice de Consistência (IC)

0,00 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

0,00 *Se $CR < 0,10$. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 9

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	3,00	7,00
Meio da Encosta	0,33	1	5,00
Crista da Encosta	0,14	0,20	1
Soma	1,48	4,20	13,00

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,68	0,71	0,54
Meio da Encosta	0,23	0,24	0,38
Crista da Encosta	0,10	0,05	0,08
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
1,93
0,85
0,22

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,64
Meio da Encosta	0,28
Crista da Encosta	0,07

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

				Σ das linhas
0,6434	0,8485	0,5164	0,0000	2,01
0,2145	0,2828	0,3689	0,0000	0,87
0,0919	0,0566	0,0738	0,0000	0,22

b- Vetor de Consistência

3,12
3,06
3,01

c- Autovalor Máximo (λ_{máx})

3,07

d- Índice de Consistência (IC)

0,03 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

0,06 *Se CR < 0,10. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 10

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	7,00	7,00
Meio da Encosta	0,14	1	3,00
Crista da Encosta	0,14	0,33	1
Soma	1,29	8,33	11,00

* Preencher células com esta

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,78	0,84	0,64
Meio da Encosta	0,11	0,12	0,27
Crista da Encosta	0,11	0,04	0,09
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
2,25
0,50
0,24

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,75
Meio da Encosta	0,17
Crista da Encosta	0,08

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

				Σ das linhas
0,7514	1,1756	0,5647	0,0000	2,49
0,1073	0,1679	0,2420	0,0000	0,52
0,1073	0,0560	0,0807	0,0000	0,24

b- Vetor de Consistência

3,32
3,08
3,02

c- Autovalor Máximo (λ_{máx})

3,14

d- Índice de Consistência (IC)

0,07 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

0,12 *Se CR < 0,10. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 11

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	0,20	0,20
Meio da Encosta	5,00	1	3,00
Crista da Encosta	5,00	0,33	1
Soma	11,00	1,53	4,20

* Preencher
células com esta
cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,09	0,13	0,05
Meio da Encosta	0,45	0,65	0,71
Crista da Encosta	0,45	0,22	0,24
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
0,27
1,82
0,91

Passo 3 - Determinação dos Pesos (Eigen Vector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,09
Meio da Encosta	0,61
Crista da Encosta	0,30

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

					Σ das linhas
0,0897	0,1214	0,0607	0,0000		0,27
0,4483	0,6070	0,9100	0,0000		1,97
0,4483	0,2023	0,3033	0,0000		0,95

b- Vetor de Consistência

3,03
3,24
3,14

c- Autovalor Máximo (λ_{\max})

3,14

d- Índice de Consistência (IC)

0,07 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

0,12 *Se $CR < 0,10$. Boa razão de consistência.

ESPECIALISTA 12

AHP (Analytic Hierarchy Process) - Comparação Classes de Critérios - Estradas não Infraestruturadas

Qt. de Critérios	3
------------------	---

Passo 1 - Matriz de Comparações Binárias

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	1	0,14	0,11
Meio da Encosta	7,00	1	1,00
Crista da Encosta	9,00	1,00	1
Soma	17,00	2,14	2,11

* Preencher células com esta cor!

Passo 2 - Matriz Normalizada

Critérios	Sopé da Encosta	Meio da Encosta	Crista da Encosta
Sopé da Encosta	0,06	0,07	0,05
Meio da Encosta	0,41	0,47	0,47
Crista da Encosta	0,53	0,47	0,47
Soma	1,00	1,00	1,00

Σ das linhas
0,18
1,35
1,47

Passo 3 - Determinação dos Pesos (EigenVector)

	Peso
Sopé da Encosta	0,06
Meio da Encosta	0,45
Crista da Encosta	0,49

Passo 4 - Estimativa de Consistência

a- Vetor Soma Ponderada

				Σ das linhas
0,0594	0,0644	0,0544	0,0000	0,18
0,4156	0,4507	0,4899	0,0000	1,36
0,5344	0,4507	0,4899	0,0000	1,47

b- Vetor de Consistência

3,00
3,01
3,01

c- Autovalor Máximo (λ_{máx})

3,01

d- Índice de Consistência (IC)

0,00 * IC é função do índice randômico de Saaty.

e- Razão de Consistência (RC)

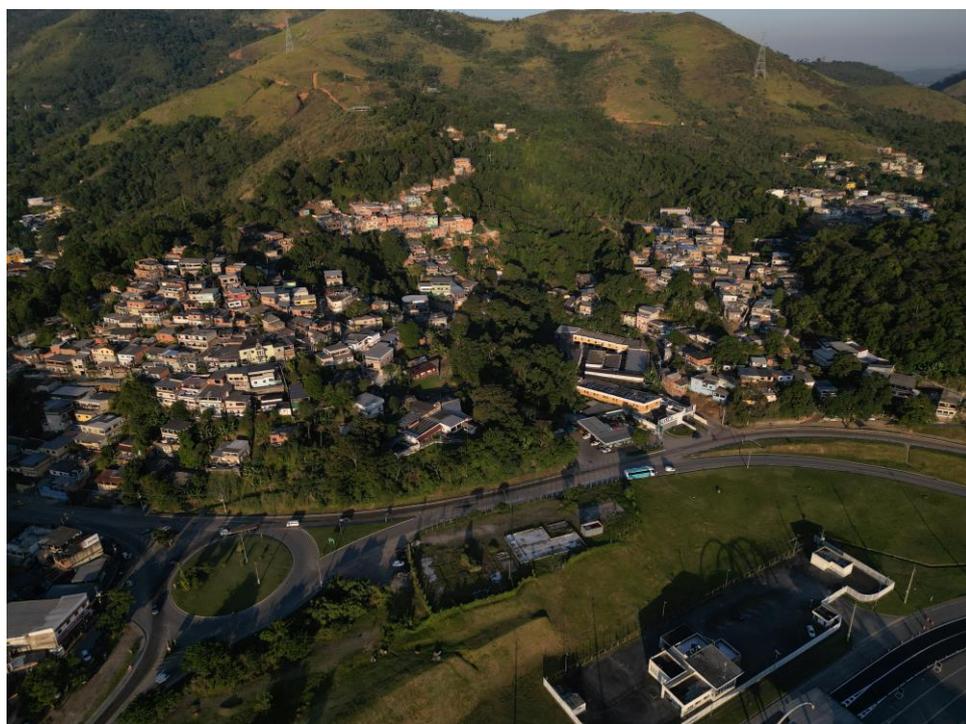
0,01 *Se CR < 0,10. Boa razão de consistência.

APÊNDICE 8 - Fotografias das áreas 4 e 5 da Porção Norte, obtidas pela autora em junho/2023.

Figura 85 - (a) e (b) - Ocupação urbana no bairro Santo Antônio (3º distrito), área 4, porção norte.



(a)



(b)

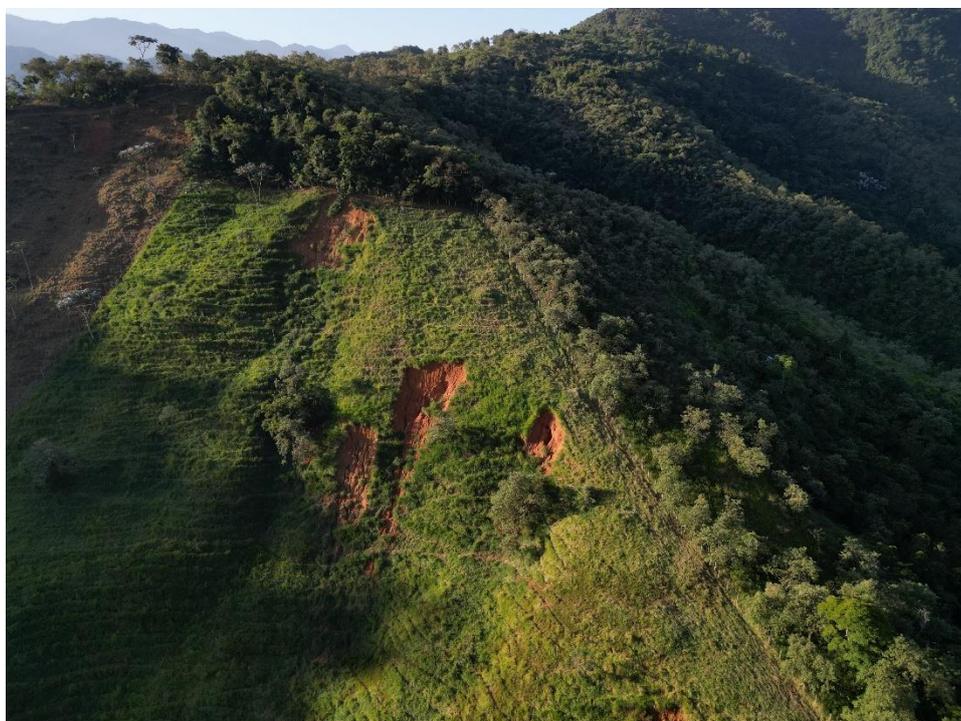
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 86 - Escorregamento em encosta da área 5, porção norte.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 87 - Cicatrizes de escorregamento em encosta na área 5, porção norte.



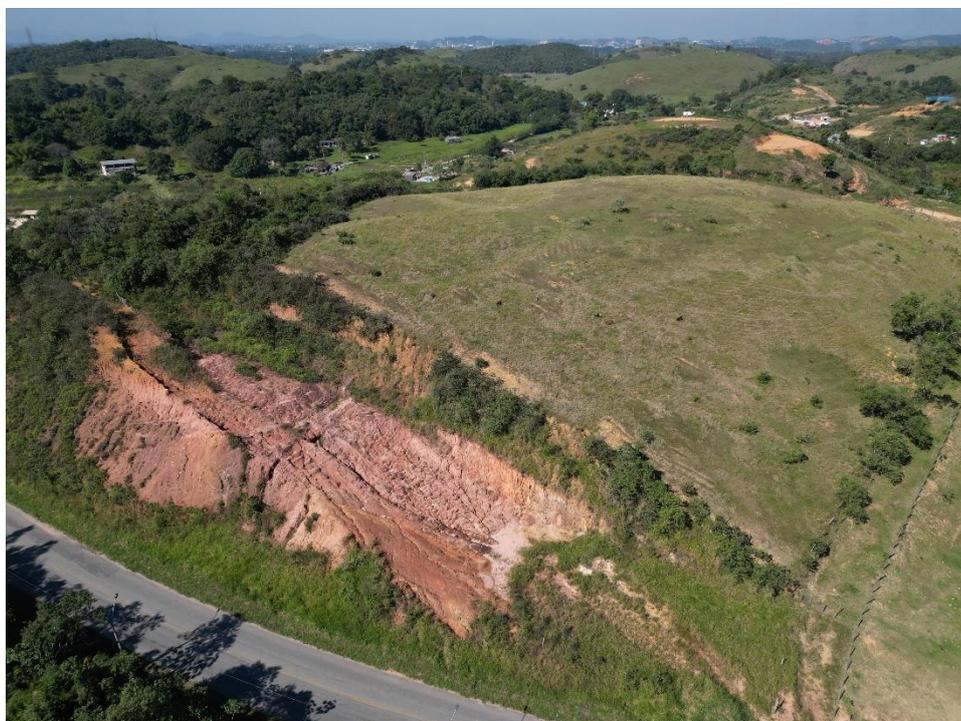
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 88 - Estrada não infraestrutura na área 5, porção norte.



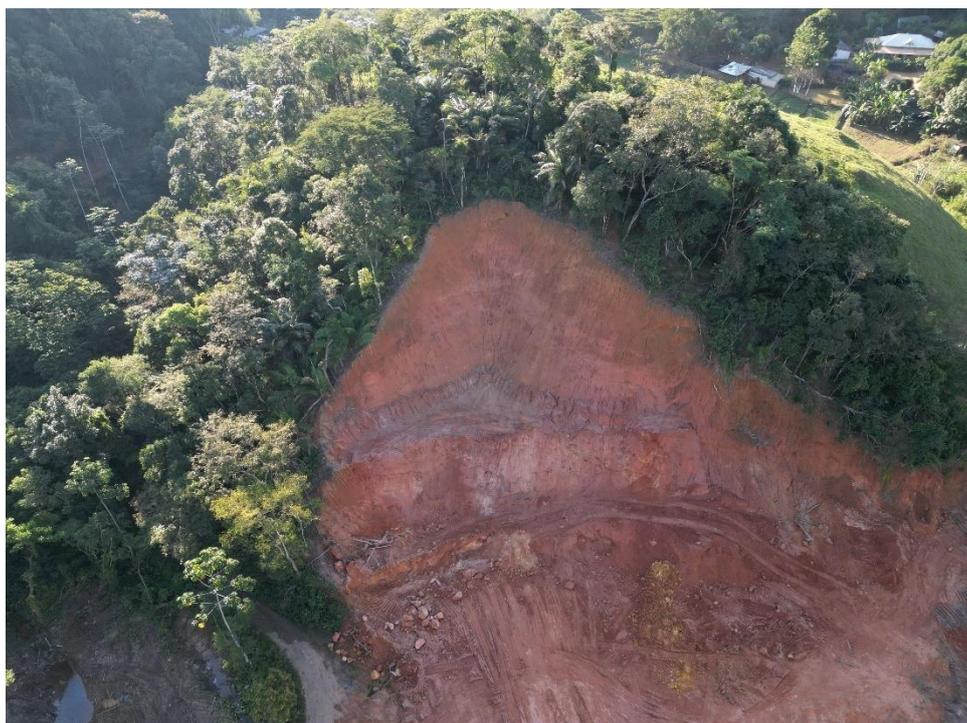
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 89 - Processo erosivo em encosta adjacente à Estrada do Rio D'ouro, na área 5, porção norte.

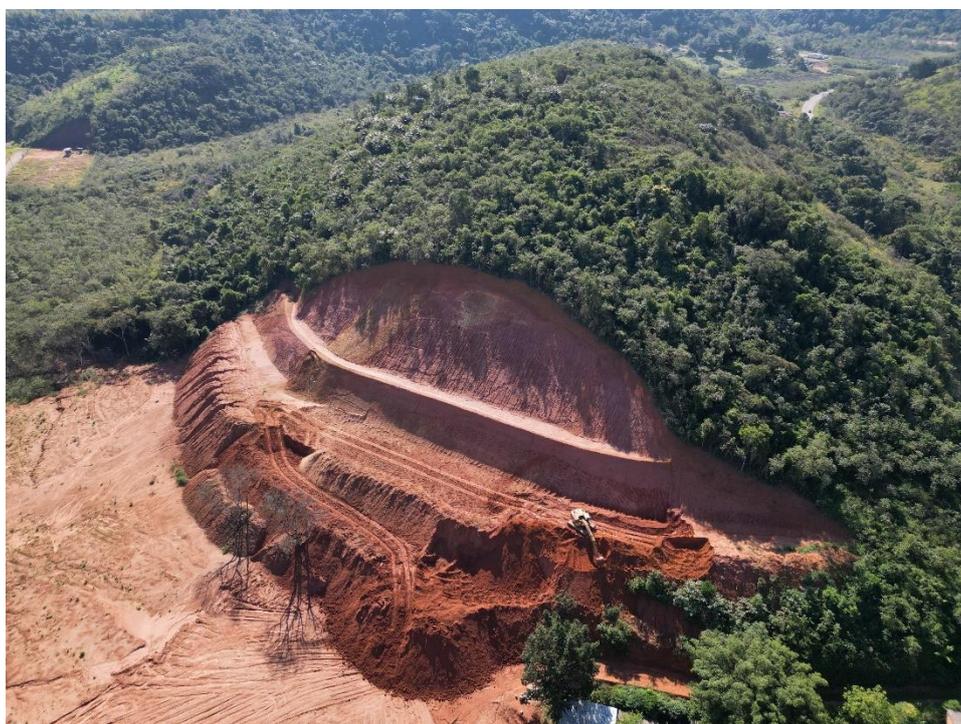


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 90 - (a), (b), (c) e (d) - Cortes de grandes proporções em diferentes encostas da área 5, porção norte.



(a)



(b)



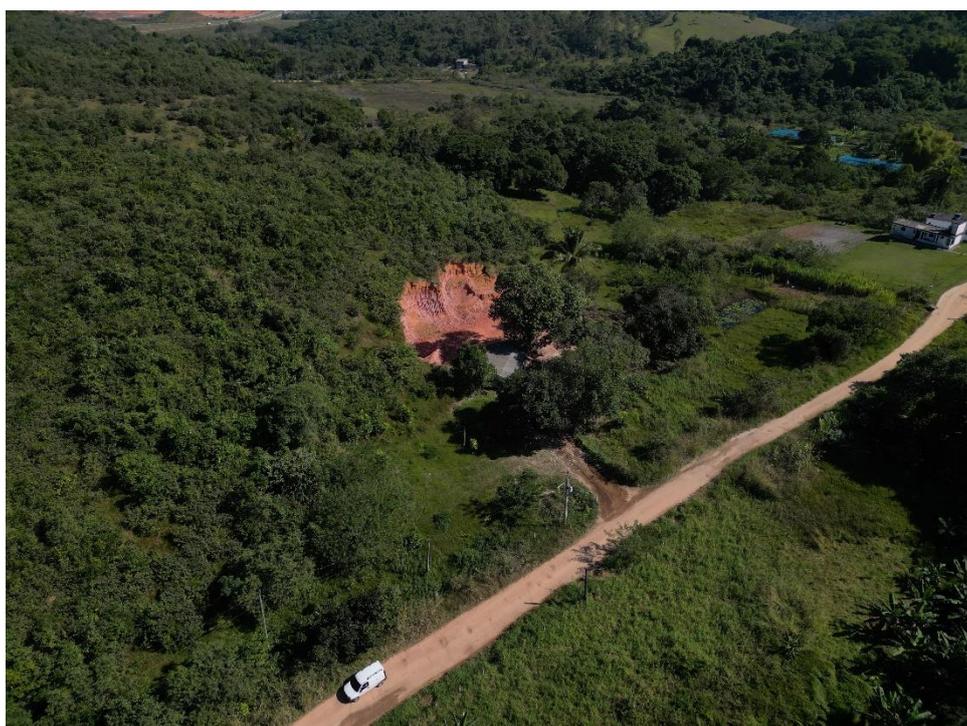
(c)



(d)

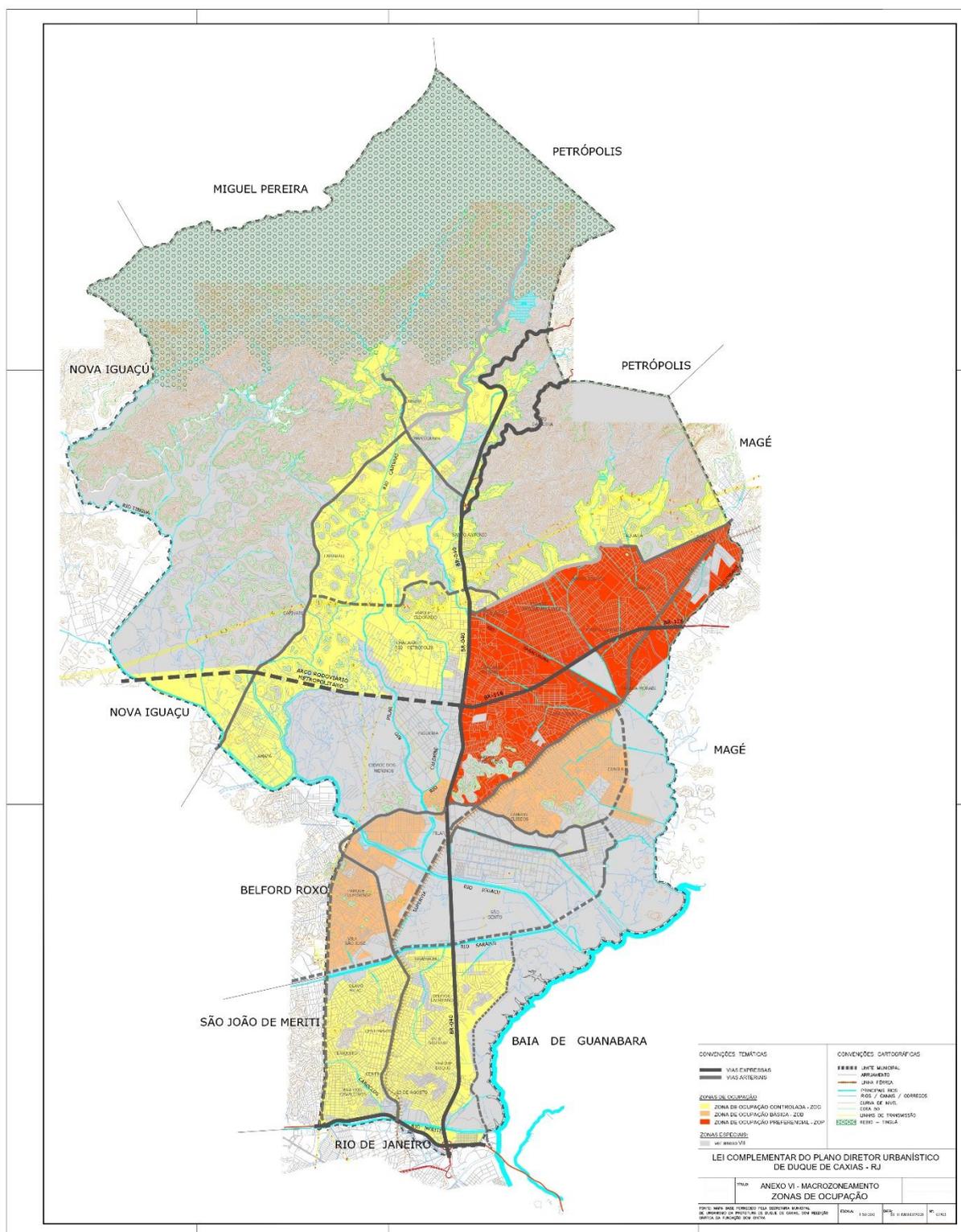
Elaborado pela autora (2023).

Figura 91 - (a) e (b) - Cortes de menor proporção em encostas da área 5, porção norte.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

ANEXO 1 - Macrozoneamento - Zonas de Ocupação (Anexo VI), da Lei Complementar nº 01/2006, Plano Diretor Urbanístico de Duque de Caxias.



Fonte: Duque de Caxias (2006).

