



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

JÉSSICA DO NASCIMENTO PEREIRA

PROPOSTA DE UM ÍNDICE DE RESILIÊNCIA À INUNDAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES
– CASO DO LOTEAMENTO JARDIM MARAVILHA

Rio de Janeiro

2023



UFRJ

JÉSSICA DO NASCIMENTO PEREIRA

PROPOSTA DE UM ÍNDICE DE RESILIÊNCIA À INUNDAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES
– CASO DO LOTEAMENTO JARDIM MARAVILHA

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

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Coorientadora: Aline Pires Veról

Rio de Janeiro

2023

Pereira, Jéssica do Nascimento.

Proposta de um índice de resiliência à inundação para edificações – caso do Loteamento Jardim Maravilha/ Jéssica do Nascimento Pereira – 2023.

108 f. : 48 il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2023.

Orientadores: Marcelo Gomes Miguez e Aline Pires Veról

1. Resiliência. 2. análise multicritério. 3. inundação. 4. Jardim Maravilha. 5. segurança de edificações. I. Miguez, Marcelo. II. Veról, Aline. III Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. IV. Título.



UFRJ

PROPOSTA DE UM ÍNDICE DE RESILIÊNCIA À INUNDAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES
– CASO DO LOTEAMENTO JARDIM MARAVILHA

Jéssica do Nascimento Pereira

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Coorientador: Aline Pires Veról

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, 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, Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

Prof.º Bruno Luis de Carvalho da Costa., D.Sc., FAU/UFRJ

Prof. Luciene Pimentel da Silva, Ph.D., PUC/PR

RIO DE JANEIRO

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus acima de tudo e todos, mesmo que seja uma frase clichê, não existe nada e nem ninguém que venha a frente dele. Ele me amparou nos momentos em que eu já não tinha mais forças e duvidei da minha capacidade em seguir adiante, foram muitos momentos difíceis, algumas marcas que deixarão cicatrizes eternas e outras que o tempo se encarregará de apagar. Além dele, eu tenho a absoluta certeza que minha vó Rita Maria do Nascimento esteve ao meu lado em todos os momentos de angústia, desespero, dor, cansaço e nos de alegria também, durante sua vida terrena ela me mostrou continuamente o significado de amor, honestidade, caráter e força e hoje eu sinto seu apoio e presença de maneiras inexplicáveis em palavras. Todas as minhas vitórias até o fim da minha existência neste plano serão em sua homenagem vó.

Meu privilégio não termina nesses dois seres divinos mencionados anteriormente, sou cercada de muito amor e carinho e incentivo, a começar pelas minhas mães, Elizabeth, a responsável pela minha vida e de quem herdei meu instinto questionador que aguça minha vontade do saber e a busca por conhecimento contínuo, e minha mãe dinda Sônia, a que não mede esforços para realizar meus sonhos, que acreditou no meu potencial desde de criança e nunca me abandonou mesmos nos dias mais difíceis da jornada, sempre foi morada, saber que eu tenho duas mães fortes me orgulha e me faz buscar sempre mais para fazer jus ter o privilégio de ser filhas de vocês duas. Meu pai José Carlos, um pai bondoso, coração gigante, divertido e carinhoso, que sempre está disposto que me alegra nos momentos em que eu estou pronta pra explodir, muito obrigada por ser você pai.

Gostaria de agradecer imensamente aos meus orientadores Marcelo e Aline, que não desistiram de mim em nenhum momento, foram muito mais que professores, foram meus amigos e parceiros nessa caminhada que não é nada fácil, mas que com a ajuda de vocês se tornou mais leve, sem vocês esse trabalho não teria chegado ao fim.

Amigos são os irmãos de alma que escolhemos para nos acompanhar na vida, posso dizer que fui abençoada por Deus nas escolhas em que fiz, gostaria de agradecer em especial algumas pessoas que contribuíram na construção desse trabalho junto comigo, Bizzo e Boni, Clara e Fernanda meu muito obrigada pela parceria. Também gostaria de agradecer aos meus colegas de trabalho que por vezes deixei desfalcados, mas que nunca escutei reclamações, as amigas que a faculdade me deu que compartilham das dores e angústia no caminhar do mestrado, e aos amigos que o PEU me deu, vocês foram essenciais ninguém largou a mão de ninguém até o fim.

RESUMO

PEREIRA, Jéssica do Nascimento. **Proposta de um índice de resiliência à inundação para edificações – caso do Loteamento Jardim Maravilha.** Rio de Janeiro, 2023. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

As ações antrópicas de urbanização geram mudanças no ambiente natural que podem prejudicar o próprio funcionamento da cidade como um todo. Uma das consequências mais frequentes se refere ao agravamento de inundações. Além dos problemas de drenagem urbana associados às modificações realizadas pelo homem sobre o uso do solo original, os efeitos das mudanças climáticas também geram problemas de alagamento, devido à elevação do nível do mar e ao aumento da intensidade e recorrência dos eventos chuvosos. Este trabalho propõe a construção de um índice, a partir de uma análise multicritério, que identifica a resiliência à inundação da edificação, além de identificar métodos construtivos que possuam características de proteção individual contra alagamentos. O índice de resiliência à inundação para edificações – IRIE foi aplicado em um trecho do loteamento Jardim Maravilha, em Guaratiba, zona Oeste da Cidade do Rio de Janeiro, que é uma região frequentemente alagada. Para validação do índice, além do cenário atual, foram escolhidas duas modificações de defesa individual, considerando a elevação da cota da soleira das casas (ação que diminui a chance de contato direto do conteúdo da edificação com a inundação) e a pavimentação de todas as ruas da área de aplicação do estudo (ação que permite aumentar a segurança em caso de exposição a alagamentos prolongados), para avaliar a introdução de melhorias na resiliência das residências, mostrando a capacidade de representação do índice. O IRIE permite mapear a situação de base em que se encontram as edificações de uma dada área, de forma a propor melhorias no enfrentamento das consequências de inundações e alagamentos, bem como pode ser utilizado para avaliar projetos de novas unidades habitacionais, promovendo uma maior possibilidade de defesa antecipada destas novas unidades contra cheias.

Palavras-chave: resiliência, análise multicritério, inundação, Jardim Maravilha, segurança de edificações

ABSTRACT

PEREIRA, Jéssica do Nascimento. Proposal of a Flood Resilience Index for Buildings - Case of Jardim Maravilha Residential Development. Rio de Janeiro, 2023. Tese (Master's) - Urban Engineering Program, School of Engineering, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The anthropic actions related to the urbanization process change the natural environment in a way that they can negatively affect the functioning of the city as a whole. One of the most frequent consequences refers to the aggravation of floods. Besides the urban drainage problems that arise from the land use modifications, the effects of climate change can also aggravate flooding, due to mean sea level rise and the possible increase in the rainfall intensity and frequency. This work proposes the construction of an index, based on a multicriteria analysis, which identifies the resilience to flooding of buildings, in addition to identifying constructive methods that provide individual protection against flooding. The flood resilience index for buildings – FRIB was applied to a portion of the Jardim Maravilha subdivision, in Guaratiba, West zone of the city of Rio de Janeiro, which is a frequently flooded region. In order to validate the index, in addition to the current scenario, modifications of two indicators were proposed, considering the elevation of the threshold of the houses (an action that reduces the chance of direct contact of the building's contents with the flood waters) and the paving of all streets in the neighborhood area where the study was carried out (an action that increases safety in case of exposure to prolonged flooding), to assess the introduction of improvements in the resilience of residences, showing the representation capacity of the index.. The FRIB makes it possible to map the base-situation of the buildings in a given area, in order to propose improvements to dealing with the flood consequences. It can also be used to evaluate projects for new housing units, promoting a greater possibility of an early defense of these new units against floods.

Keywords: resilience, multi-criteria analysis, flood, , Jardim Maravilha, building safety

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Mapa ilustrando locais adensados na época de Roma tardia gravados pelo AVRP e GRS, com cidades mortas gravadas por Tchalenko (1953-8) identificadas na figura como triângulos.	22
Figura 2.2 – Aqueduto Valens entre 1880 e 1893.....	23
Figura 2.3 – Topografia e demarcação dos canais de água em Constantinopla Bizantina (Desenhado por Richard Bayliss.....	24
Figura 2.4 - Mapas comparativos da cidade do Rio de Janeiro no período colonial.	26
Figura 2.5 – Gráfico que demonstra a quantidade de artigos publicados por ano com cada terminologia mencionada anteriormente.....	31
Figura 2.6 - Adaptação do quadro de esquema de geração de relatório.	40
Figura 2.7 Métodos construtivos para proteger a casa da inundação.....	45
Figura 2.8 - <i>Lift House</i> , edificação à prova de inundação em Bangladesh.	47
Figura 2.9 - Edificação anfíbia britânica.....	48
Figura 2.10 Estrutura de nível de aceitação do risco.	49
Figura 3.1. Etapas de modelagem de uma região hipotética.....	59
Figura 3.2. As representações possíveis em um SIG.	61
Figura 3.3. Nível de prejuízo causado por alagamento.....	64
Figura 3.4 : Composição Geral do IRIE.....	67
Figura 4.1 - Região de estudo dentro da bacia do rio Piraquê-Cabuçu.....	70
Figura 4.2 - Superfície de elevação na região de estudo.....	71
Figura 4.3 - Bacia do Rio Piraquê-Cabuçu	74
Figura 4.4 – Rios que passam pela área de estudo, Jardim Maravilha (Guaratiba).	76
Figura 4.5. Relevo e áreas urbanas da bacia do Rio Piraquê-Cabuçu.....	77
Figura 4.6 - Mapa de áreas de preservação ambiental.	78
Figura 4.7 - Bacia do Rio Piraquê-Cabuçu	79
Figura 4.8 – Rios que passam pela área de estudo, Jardim Maravilha (Guaratiba).	80
Figura 4.9. Relevo e áreas urbanas da bacia do Rio Piraquê-Cabuçu.....	81
Figura 4.11 Mapa do indicador de criticidade da inundação.	83
Figura 4.12 Mapa do indicador de exposição	85
Figura 4.13 Mapa do indicador de recuperação material.....	87
Figura 4.14 Mapa do Subíndice de risco à resistência.	88

Figura 4.15 Mapa do indicador de saneamento Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.	90
Figura 4.16 Quadro de registros da área na data de 15 de novembro de 2021.	91
Figura 4.17 Mapa do indicador de área pavimentada.	92
Figura 4.18 Mapa do indicador de vizinhança.	94
Figura 4.19 Mapa do indicador de tempo de esvaziamento da cheia.	95
Figura 4.20 Mapa do Subíndice de risco associado à duração do evento.	96
Figura 4.21 Mapa do índice de resiliência à inundação para edificação.	98
Figura 4.22. Indicador de criticidade à inundação aplicado no segundo cenário.	101
Figura 4.23. Mapa do subíndice de resistência para o segundo cenário.	102
Figura 4.24. Mapa do indicador de área pavimentada no segundo cenário.	104
Figura 4.25. Mapa do indicador de vizinhança no segundo cenário.	105
Figura 4.26. Mapa do Subíndice de risco associado à duração do evento para o segundo cenário.	107
Figura 4.27. Mapa do índice IRIE para o segundo cenário.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Normalização do indicador de criticidade da inundação.	63
Tabela 3.2. Normalização do indicador de esvaziamento de cheias.....	65
Tabela 3.3 Tabela de pesos atribuídos aos indicadores e sub índices.	67
Tabela 3.4 Tabela de pesos atribuídos ao Subíndice de Risco à Residência.	68
Tabela 4.1. Escala dos indicadores e subíndices de risco.....	71
Tabela 4.2. Escala do índice de resiliência	72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. APRESENTAÇÃO	12
1.2. OBJETIVO	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3. JUSTIFICATIVA	15
1.4. METODOLOGIA	17
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1. RELAÇÃO DA ÁGUA COM A CIDADE URBANIZADA	20
2.1.1 Referências históricas	21
2.1.2 Drenagem urbana	27
2.2. GESTÃO DE RISCOS HIDROLÓGICOS	32
2.2.1 Risco: conceitos e percepções de risco	32
2.2.2 Mapeamentos	35
2.2.3 Gestão integral de riscos de desastres	35
2.2.4 Ações para a redução dos desastres	36
2.2.5 Monitoramento e Alerta	37
2.2.6 Plano Municipal de Redução de Riscos	37
2.3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS	39
2.4. RESILÊNCIA DA EDIFICAÇÃO	41
2.4.1 Conceito de Resiliência relacionado à gestão urbana	41
2.4.2 Métodos construtivos para proteção de edificações da inundação	42
2.4.2.1 Edificações sobre pilotis	44
2.4.2.2 Válvula anti-retorno	45
2.4.2.3 Barreiras móveis	45
2.4.2.4 Cota de implantação da edificação	46
2.4.2.5 Materiais resistentes a água	46
2.4.2.6 Edificações à prova de inundações	46
2.5. ANÁLISE DE RISCO	48
2.5.1 Análise custo-benefício	49
2.5.1 Análise multicritério	50
2.5.1.1 Conceitos básicos e etapas de implementação	50
2.6. ÍNDICES	52

3. METODOLOGIA	56
3.1. <i>MODCEL</i>	58
3.2. <i>SIG</i>	60
3.3. <i>ÍNDICE DE RESILIÊNCIA À INUNDAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES - IRIE</i>	61
3.3.1. Atribuição de Pesos.....	67
4. APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	68
4.1. <i>A BACIA DO RIO PIRAQUÊ-CABUÇU</i>	68
4.1.1. Histórico de ocupação	72
4.1.2. Descrição da bacia Piraquê-Cabuçu	74
4.2. <i>ÍNDICE DE RESILIÊNCIA À INUNDAÇÃO PARA EDIFICAÇÃO (IRIE) – cenário 1</i>	82
4.2.1. Subíndice de risco à resistência (SiR)	82
4.2.2. Subíndice de risco associado à duração do evento (SiD).....	89
4.3. <i>ÍNDICE DE RESILIÊNCIA À INUNDAÇÃO PARA EDIFICAÇÃO (IRIE) – cenário 2</i>	99
4.3.1. Subíndice de risco à resistência (SiR)	99
4.3.2. Subíndice de risco associado à duração do evento (SiD).....	103
5. CONCLUSÕES	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

O processo de urbanização tende a introduzir alterações no ambiente natural, principalmente nos padrões de uso do solo, provocando uma série de processos que modificam a qualidade, tanto do ambiente modificado (urbano), quanto do não alterado (natural) (BONNEAU *et al.*, 2018; BOOTH, HARTLEY e JACKSON, 2002; MIGUEZ, VERÓL e REZENDE, 2016; SURIYA e MUDGAL, 2012). A remoção da vegetação, a impermeabilização introduzida pelo tecido urbano, a regularização de superfícies e a introdução de sistemas artificiais de drenagem modificam o padrão de escoamentos, produzindo maiores e mais rápidas respostas dos escoamentos superficiais e menores oportunidades de infiltração, resultando no incremento de vazões de pico, redução de vazões de base, redução do tempo de concentração da bacia e perda de ecossistemas fluviais (BURNS *et al.*, 2012; MATTEO, RANDHIR e BLONIARZ, 2006; MIGUEZ, VERÓL e REZENDE, 2016; SURIYA e MUDGAL, 2012). Desta forma, um resultado frequente da urbanização é o agravamento do problema de cheias, que cria uma situação de difícil reversão, tamanha a extensão e a intensidade de modificações no uso e ocupação do solo. Além disso, quando estas modificações são rápidas, como é o caso da urbanização na maioria dos países em desenvolvimento, que tiveram um processo tardio e acelerado de industrialização, a capacidade de investimento do estado em soluções sistêmicas, na escala da bacia, acaba limitada e levando a uma cobertura insuficiente das redes de infraestrutura, resultando em proteção parcial (BOOTH, HARTLEY e JACKSON, 2002) e atrasos na implantação de medidas de mitigação.

Cabe destacar que, apesar dos desastres naturais serem desencadeados por processos da dinâmica natural, eles podem ser induzidos ou intensificados pela ação humana (ROBAINA, 2008). Muitas são as condicionantes naturais e antrópicas que favorecem a ocorrência de inundações no município do Rio de Janeiro (CANHOLI e GRACIOSA, 2011). A disposição da cidade, em planícies costeiras com montanhas a montante, ocasiona, por um lado, a ocorrência de precipitações intensas, de efeito orográfico e, por outro lado, a formação de cheias rápidas e severas, devido às fortes inclinações das vertentes, que resultam em escoamentos rápidos, com tempos de concentração curtos. A baixa permeabilidade, resultante de camadas pouco espessas de solos predominantemente argilosos sobre rocha e grandes áreas de rocha são também, vêm a contribuir para a formação dos picos de vazão, gerando grandes volumes de cheia nas áreas baixas, afetando a capacidade hidráulica dos canais nestas áreas (CANHOLI e GRACIOSA, 2011).

Historicamente, grandes cidades se desenvolveram às margens de rios, onde a terra é mais fértil e a água existe em abundância. No processo de crescimento das cidades, os assentamentos vão subindo para regiões mais distantes e mais altas, a montante, com menos riscos de serem atingidas pelas cheias dos rios, mas gerando uma maior quantidade de escoamentos, pela modificação do uso do solo original, o que agrava inundações a jusante, nas áreas inicialmente ocupadas. O crescimento populacional nas grandes cidades sempre pressiona a expansão espacial urbana. Entretanto, essa necessidade de expansão territorial está também relacionada, muito frequentemente, ao comportamento do mercado imobiliário, que induz os movimentos de ocupação das áreas com mais infraestrutura, elevando o valor da terra (DE BOO, 2005; PASCHE *et al.*, 2008) deixando disponíveis apenas as regiões ambientalmente frágeis para a população de baixa renda, em geral, não suficientemente atendida por uma política habitacional, caracterizando um padrão de crescimento desigual e concentrador (BORGES, BARREIRA e DA COSTA, 2017).

Além dos problemas causados pela urbanização acelerada e pelo crescimento desordenado da cidade, não pode ser deixado de lado um tema atual, que preocupa estudiosos do mundo inteiro, que é o aumento do nível do mar, uma das consequências das mudanças climáticas, que é um fator adicional de stress para cidades costeiras, com déficit de infraestrutura. Inevitavelmente, a concentração de população, ativos e atividades econômicas na cidade, frequentemente, implica mais riscos ligados aos vários impactos da mudança climática (E E A, 2012). A elevação e avanço das águas no planeta afetarão diversas regiões, principalmente áreas ribeirinhas e ambientalmente frágeis. Essa situação pode agravar ainda mais o descompasso entre a infraestrutura necessária e a infraestrutura disponível para fazer frente a estas ameaças combinadas. Nesse contexto, a ação oficial do Estado pode acabar chegando tarde e deixando exposta uma população frágil. Nesse sentido, é possível atuar em nível do lote, com medidas de proteção individual, como forma de aumentar a capacidade de defesa dessas áreas carentes, antes que a infraestrutura formal chegue a estes locais.

Dessa forma, este trabalho estudará o loteamento de Jardim Maravilha, em Guaratiba, Rio de Janeiro, como palco para o desenvolvimento de uma metodologia que objetiva medir a resiliência local, associada a ações nos lotes urbanos, como forma de reduzir a exposição, enquanto se espera a chegada do poder público, com obras de infraestrutura que mitiguem o problema das inundações, quando, então, as medidas individuais ainda poderão ser úteis para proteger as edificações de uma possível elevação do nível da água no mar, em uma situação de prevenção de riscos residuais, em decorrência de mudanças climáticas, já que essa área se encontra próximo ao mar de Sepetiba e ao Rio Piraquê-Cabuçu. Com essa ferramenta, espera-

se ser possível orientar ações locais no intuito de aumentar a resiliência a inundações associada às edificações.

Destaca-se que o loteamento Jardim Maravilha tem um loteamento inteiro em uma região completamente alagável, deixando praticamente todos os moradores inundados durante dias, em decorrência do extravasamento do Rio Piraquê-Cabuçu. O plano diretor de 2011 previu a retirada de todo loteamento, mas, mesmo assim, após estudos e projetos definidos para a região, a Prefeitura do Rio de Janeiro executou obras de intervenção no loteamento, em uma tentativa de reduzir o problema, levando infraestrutura parcial ao local e formalizando a área. Na margem esquerda do Rio Piraquê-Cabuçu ainda há bastante área livre e já existe intensa especulação sobre o uso da terra pelo mercado imobiliário. Este mesmo lugar refere-se a um local de interesse para a instalação de um parque alagável, para evitar o aumento do nível d'água local.

O déficit habitacional no Brasil é muito elevado e, nas metrópoles, esse número é ainda mais expressivo. Dessa forma, se faz necessária a utilização de políticas de uso e ocupação do solo que diminuam a carência de moradia, legislações edilícias e técnicas construtivas para defesa contra as inundações nas residências já existentes, que mantenham as regiões ribeirinhas no seu estado mais natural possível, dando espaço para o rio, e determinando o tipo de edificação a ser construída nas planícies fluviais. A utilização de infraestrutura azul e verde para retardar as vazões e diminuir o pico das inundações pode ser fundamental para garantir uma maior eficiência dos sistemas na cidade e atender os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS definidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). É nessa procura para enfrentar os problemas da atualidade que se baseia essa dissertação, com aplicação à área de Guaratiba.

1.2. OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo avaliar a resiliência à inundação de edificações, com a proposição prática do Índice de Resiliência à Inundação para Edificações, como uma ferramenta multicritério, construída a partir da observação de soluções de projeto e métodos construtivos alternativos e individuais, que podem ser adotados para a transformação de um imóvel em uma construção a prova de inundações, reduzindo a dependência de ações públicas na escala da bacia

urbana ou, eventualmente, complementando estas ações. Esta pesquisa será aplicada no loteamento Jardim Maravilha, no bairro de Guaratiba, Rio de Janeiro.

A busca por resiliência e redução do risco a que está submetida a edificação passa a ser uma consequência também das ações propostas na escala do lote, como defesa individual, permitindo uma relação menos danosa de proprietários privados com a água no ambiente urbano.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são detalhados a seguir:

- Elaborar um diagnóstico de cheias para a bacia em estudo, utilizando informações do órgão público responsável pelo gerenciamento e controle das águas pluviais do Rio de Janeiro (Fundação Rio Águas), com foco no reconhecimento das características das edificações locais.
- Desenvolvimento de um índice integrador, utilizando a lógica multicritério e indicadores associados à medida de resiliência na escala do lote urbano – o Índice de Resiliência à Inundação para Edificações.
- Realizar uma simulação de cheia urbana, por meio do *software* de modelagem matemática hidrodinâmica MODCEL, para avaliar a capacidade de geração de dano na situação vigente;
- Conjuguar conceitos de drenagem sustentável na escala local, com técnicas construtivas para uma edificação à prova de inundação e realizar nova simulação de cheia urbana e avaliar a capacidade de representação do índice de resiliência da edificação à inundação para redução da inadequação domiciliar.

1.3. JUSTIFICATIVA

Segundo dados do IBGE, após a década de 1950, houve um intenso crescimento urbano e populacional no Brasil (IBGE, 2007; UFNPA, 2008). A mudança no padrão de uso do solo, proveniente da rápida urbanização, afeta negativamente os processos hidrológicos (BONNEAU *et al.*, 2018; BOOTH, HARTLEY e JACKSON, 2002; SURIYA e MUDGAL, 2012). Em consequência disso, grandes cidades, como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, passaram a apresentar um cenário recorrente de inundações. A vulnerabilidade socioambiental

dessas grandes metrópoles vem aumentando cada vez mais, devido ao crescimento desordenado e à falta de uma política pública eficiente.

A ocupação desordenada e sem fiscalização, principalmente em áreas naturalmente inundáveis, a retirada e descaracterização da vegetação ribeirinha, o desmatamento, o descarte de resíduos sobre as encostas e nos cursos d'água, a impermeabilização dos terrenos, as obras locais de caráter imediatista e outras ações, que, por muito tempo, foram consideradas melhorias da cidade em crescimento, passaram a ser um agravante para os problemas de cheias urbanas e degradação dos corpos hídricos (SEMADS, 2013). Dentre os desastres naturais, aqueles relacionados às chuvas são os mais danosos e vêm acontecendo com mais frequência. De acordo com o ‘The Emergency Events Database’ (EM-DAT, 2021), o principal tipo de desastre que afeta o Brasil são as inundações, representando 71% da totalidade de desastres no país, além de ser também o mais letal. Além disso, cabe ressaltar que mais de 8 milhões de pessoas vivem em áreas sujeitas a inundações e deslizamentos, sendo o maior número delas concentrado na região Sudeste (IBGE, 2007). O Rio de Janeiro, em particular, tem um histórico de ocupação desordenada do solo, desde o começo de sua colonização (LUCENA, 2015).

A recuperação da população, quando da ocorrência de eventos de alagamentos e inundações, é cada vez mais demorada e, eventualmente, sequer ocorre, em presença de eventos sucessivos. Além disso, a carência de moradias leva as pessoas a se instalarem em locais considerados de risco. A expansão de assentamentos precários da cidade (as favelas) são, algumas vezes, mais significantes que a de áreas formais, evidenciando o destaque que a pobreza tem num local onde o adequado planejamento urbano é um processo nem sempre presente (MIGUEZ; VEROL; SANTOS, 2013; VERÓL *et al.*, 2011). Além disso, quando estas modificações são rápidas, como é o caso da urbanização na maioria dos países em desenvolvimento, com processo tardio e acelerado de industrialização, a capacidade de investimento do estado em soluções sistêmicas, na escala da bacia, acaba limitada e levando a uma cobertura insuficiente das redes de infraestrutura, resultando em proteção parcial (BOOTH, HARTLEY e JACKSON, 2002) e atrasos na implantação de medidas de mitigação.

Dado este argumento inicial, tomo a liberdade de adotar aqui um relato em primeira pessoa, para destacar que meu primeiro contato com os problemas das cheias urbanas foi aos meus 2 anos de idade, quando o Rio Faria Timbó extravasou e inundou minha residência, ocasionando a perda de todos os bens materiais que, por muitos anos, minha família trabalhou para adquirir. Já na minha fase adulta, o destino me direcionou para trabalhar na Secretaria Municipal de Habitação – SMH, vinculada à Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, onde atuo na parte de planejamento estratégico. Nos primeiros meses de trabalho neste órgão, ocorreu a

chuva de abril de 2010, onde dezenas de pessoas foram a óbito e outras centenas ficaram desabrigadas. Dessa forma, as questões de drenagem urbana e vulnerabilidade socioambiental estiveram presentes na minha vida desde sempre e me direcionaram a seguir minha profissão e formação acadêmica.

Na SMH, foi possível ter o conhecimento e vivência próxima com a carência de habitação digna para a população, além da dificuldade de mitigar esse problema, por falta de recursos do setor público, atrelado a ações do mercado imobiliário, que visa o lucro, independente das condições de infraestrutura do local onde será ofertado o imóvel, gerando ilhas de condomínios isolados da cidade e sem atendimento aos serviços básicos.

O loteamento Jardim Maravilha, em Guaratiba, que será utilizado como caso de estudo nesta dissertação, é um exemplo de área do município do Rio de Janeiro que sofre com os efeitos da natureza modificada pelo homem. No dia 8 de abril de 2019, por exemplo. Dezenas de famílias ficaram impossibilitadas de realizar suas atividades básicas, pois o bairro ficou alagado durante cinco dias. O loteamento foi ocupado de forma irregular e acelerada, mas acabou regularizado. Atualmente ele sofre com o extravasamento do Rio Piraquê-Cabuçu e com a falta de tratamento e destinação adequada do esgoto sanitário, mostrando uma situação dramática.

1.4. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos estabelecidos nesse trabalho deve-se percorrer o caminho a seguir:

a) Revisão bibliográfica:

A pesquisa bibliográfica é focada na confecção de uma base ampla, tanto para subsidiar a pesquisa, como o próprio desenvolvimento da Autora, focando em informações sobre histórico de evolução urbana, de forma geral e da região, em particular, sobre drenagem urbana, sobre projetos de edificações adaptáveis a inundação e gestão de riscos hidrológicos. Além disso, foi pesquisado material bibliográfico sobre análise multicritério, para subsidiar a construção de um índice, produto principal desta tese, aliado ao conceito de resiliência no contexto mais abrangente da palavra e direcionado para questões de inundações em áreas urbanas e, mais especificamente, na escala do lote.

b) Definição das técnicas construtivas utilizadas para transformar uma edificação em resiliente à inundação, de forma a subsidiar a escolha de indicadores para compor o índice.

c) Pesquisas de campo para reconhecimento da realidade do caso de estudo. Foram realizadas visitas à Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, mais precisamente, nas Secretarias de Urbanismo, de Habitação e na Fundação Rio-Águas, em busca de informações sobre o histórico de ocupação e intervenções realizadas, além do levantamento do cadastro técnico, de modo a auxiliar no diagnóstico da região. Além disso, também foi realizada uma visita de campo para verificar as condições do Rio Piraquê-Cabuçu e seus afluentes.

d) Construção de um índice multicritério, de caráter integrador, que avalia a resiliência da edificação, denominado Índice de Resiliência à Inundação para Edificações – IRIE.

e) Utilização do programa de modelagem matemática de cheias urbanas, ModCel, para mapeamento de inundações na região de intervenção, associado ao uso de sistemas de georreferenciamento e CAD, que auxiliam na estratégia de cômputo do índice de resiliência da residência.

f) Aplicação do índice para a situação atual.

h) Simulação de dois cenários para aplicação das medidas propostas:

- O primeiro cenário (Cenário 1) prevê a ocupação real de uma determinada área sujeita a inundação, ou pode projetar o crescimento urbano da área em um dado horizonte de planejamento, considerando a evolução tradicional da urbanização, como de costume, o que dá uma ideia do problema de inundação no presente ou em um futuro tendencial, para o tempo de recorrência (TR) de 25 anos, tomado como referência de projeto para macrodrenagem, e considerando as dificuldades históricas de controle de ocupação do solo, o déficit habitacional e o padrão atual de desenvolvimento. Esse cenário serve de base de comparação com os demais.
- O segundo considera a adoção de soluções de projeto habitacional e métodos construtivos alternativos, para tornar a edificação “a prova de inundações”, também considerando o TR de 25 anos, para comparação com o cenário anterior e validação do índice proposto.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação está organizada da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Introdução, que apresenta uma ideia geral do tema a ser tratado na dissertação. O capítulo traz o objetivo dividido em geral e específico, a justificativa do trabalho, a metodologia resumida e a estruturação da dissertação aqui apresentada.

Capítulo 2 – Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica, onde são tratados conceitos de drenagem urbana, edificação a prova de inundação, mudanças climáticas e vulnerabilidade socioambiental e riscos de inundação.

Capítulo 3 – Este capítulo traz um breve o histórico de ocupação da área de estudo (Jardim Maravilha).

Capítulo 4 – Neste capítulo, é apresentada a metodologia utilizada para desenvolver o Índice de Índice de Resiliência à Inundação para Edificações – IRIE. Nele, serão também apresentadas, de forma breve, as ferramentas utilizadas como suporte ao estudo, MODCEL e GIS.

Capítulo 5 – Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação do IRIE no caso de estudo, com uma análise dos mesmos.

Capítulo 6 – Este capítulo apresenta as considerações e reflexões finais acerca do que foi discutido no trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. RELAÇÃO DA ÁGUA COM A CIDADE URBANIZADA

A água é uma das principais responsáveis pela formação das cidades em sua origem. Muitos centros urbanos ao redor do mundo se desenvolveram no entorno de rios, devido à disponibilidade de água, alimentos, energia e outros recursos que eles forneciam (EVERARD; MOGGRIDGE, 2012; GRIMM *et al.*, 2008; MORLEY; KARR, 2002; PAUL; MEYER, 2001; WALSH, 2004). A população sempre necessitou da água como fator de fixação e desenvolvimento; foi através dela que a sociedade se locomovia e se defendia dos inimigos. Além disso, a água era também utilizada como fonte de alimentação e abastecimento (VERÓL, 2013). Após a Revolução Industrial, a exploração dos recursos naturais se intensificou (CARNEIRO, MIGUEZ, 2011), modificando os usos do solo, e não só interferindo drasticamente nos processos naturais dos rios, que tiveram seus cursos alterados, mas também privando-os de seu valor social mais amplo (HONEY-ROSÉS *et al.*, 2013; PALMER; RICHARDSON, 2009).

A falta de consciência dos cidadãos, de forma geral, e o desenvolvimento urbano desordenado, não só fazem com que vários dos rios urbanos pareçam “valões” de lixo e esgoto, como também induzem a percepção da sociedade. A ausência ou limitação de tratamento de esgotos e o descarte de poluentes industriais *in natura* são os grandes responsáveis por essa situação. Abandonadas, as águas foram se tornando alvo de despejo de rejeitos e de ocupações irregulares e, onde a sua presença impossibilitava o desenvolvimento urbano, foram enterradas e esquecidas.

Dessa forma, foi observado por Carneiro e Miguez (2011) a quebra do equilíbrio natural e a produção de um paradoxo: as águas de enchentes, com alagamentos sobre a superfície impermeabilizada de bacias urbanas, com rios descaracterizados e degradados, passam a assolar cidades, que, muitas vezes, voltam suas costas para os rios. Como resultado, os rios das cidades raramente são vistos conectados e vinculados a espaços verdes públicos, mas sim à fragmentação e sobreposição dos sistemas de infraestrutura (MORSCH; MASCARÓ; PANDOLFO, 2017).

Esse capítulo procura discutir essa relação entre água e cidade, avaliando a sua evolução histórica, buscando compreender o processo de degradação de rios e cidades, mutuamente. Além disso, explora também a visão higienista com suas soluções estruturais de canalização, a compreensão da insustentabilidade da separação entre água e cidade e a necessidade de

reintegrar a bacia e seus rios à paisagem e ao convívio urbano. Todos estes elementos procuram ser resgatados na discussão do texto a seguir.

2.1.1 Referências históricas

Talvez nunca, como na atualidade, tenha sido tão aguda a consciência de que a água é um recurso finito que urge por proteção (BRANDÃO, J., DÍAS, 2018). Os mesmos autores (*ibid.*) constataram, no entanto, que não é de hoje que a civilização tem a consciência sobre o valor da água.

Levantamentos arqueológicos realizados na última década em várias partes do Vale do Rio Orontes, localizado no território do Líbano, Síria e Turquia (CASANA, 2007; GERRITSEN *et al.*, 2008; GRAFF; DIETLER, 2006; PHILIP *et al.*, 2005; PHILIP; BRADBURY, 2010) documentaram um rico registro arqueológico de assentamento durante os períodos helenístico, romano e romano tardio, ratificando a ideia de que as populações se estabeleceram, inicialmente, próximas aos rios, como pode ser visto na Figura 2.1.

Constantinopla, em 1150, foi a maior cidade cristã da Europa e durante quase mil anos foi considerada o melhor centro urbano em relação à qualidade de vida e técnicas construtivas. Naquela época, o abastecimento de água beneficiou a cidade durante mais de sete séculos (CROW, 2012 *apud* CAMERON A., 2003). A maioria dos estudos sobre a tecnologia romana relacionada à água negligencia os monumentos em Istambul, capital do Império Romano do Oriente e de Bizâncio, tais como a ponte de aqueduto de 971 m de comprimento, o Bozdogan Kemer, muitas vezes referido como o Aqueduto de Valens (ver Figura 2.2).

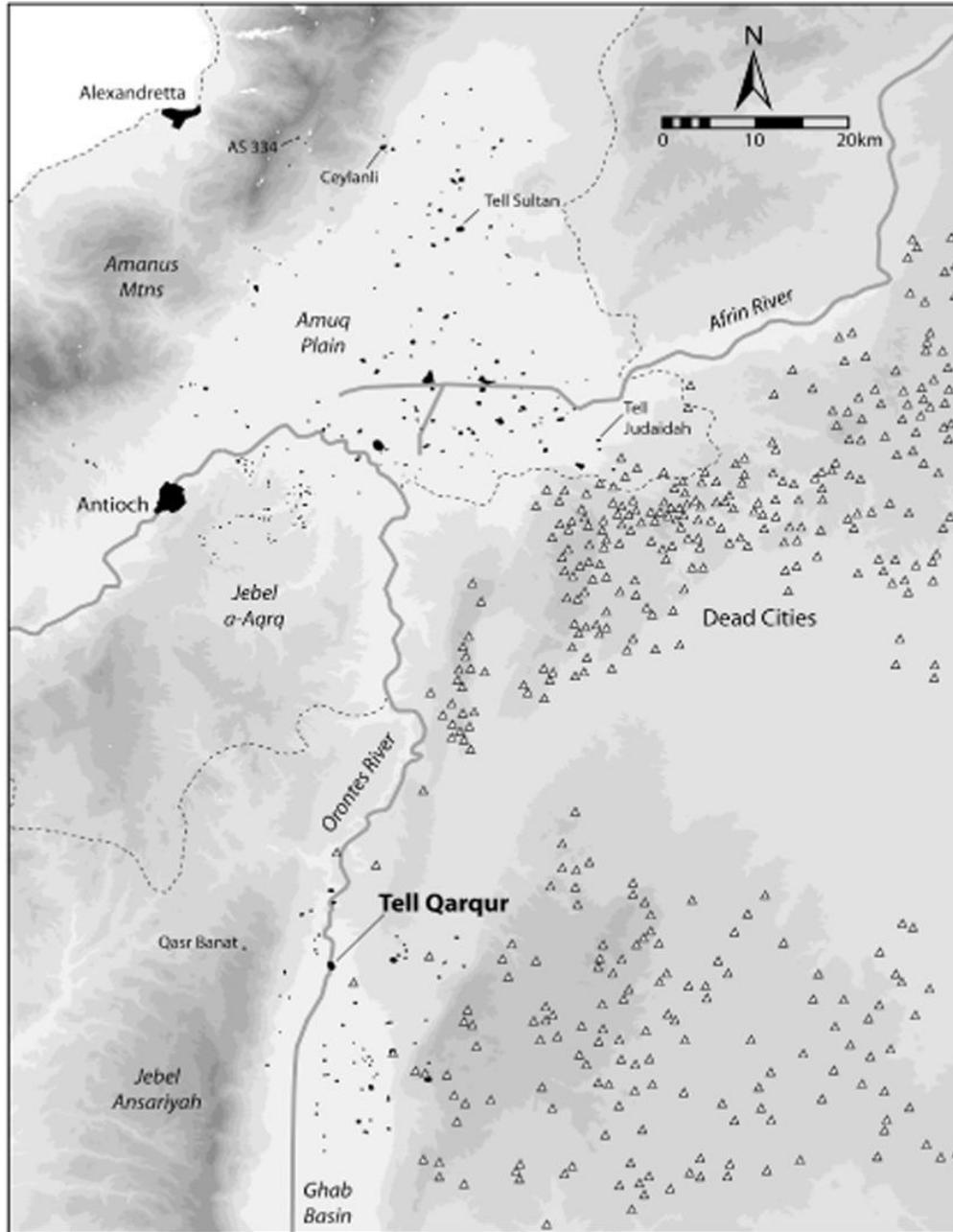


Figura 2.1 - Mapa ilustrando locais adensados na época de Roma tardia gravados pelo AVRP e GRS, com cidades mortas gravadas por Tchalenko (1953-8) identificadas na figura como triângulos.

Fonte: Casana, 2014.

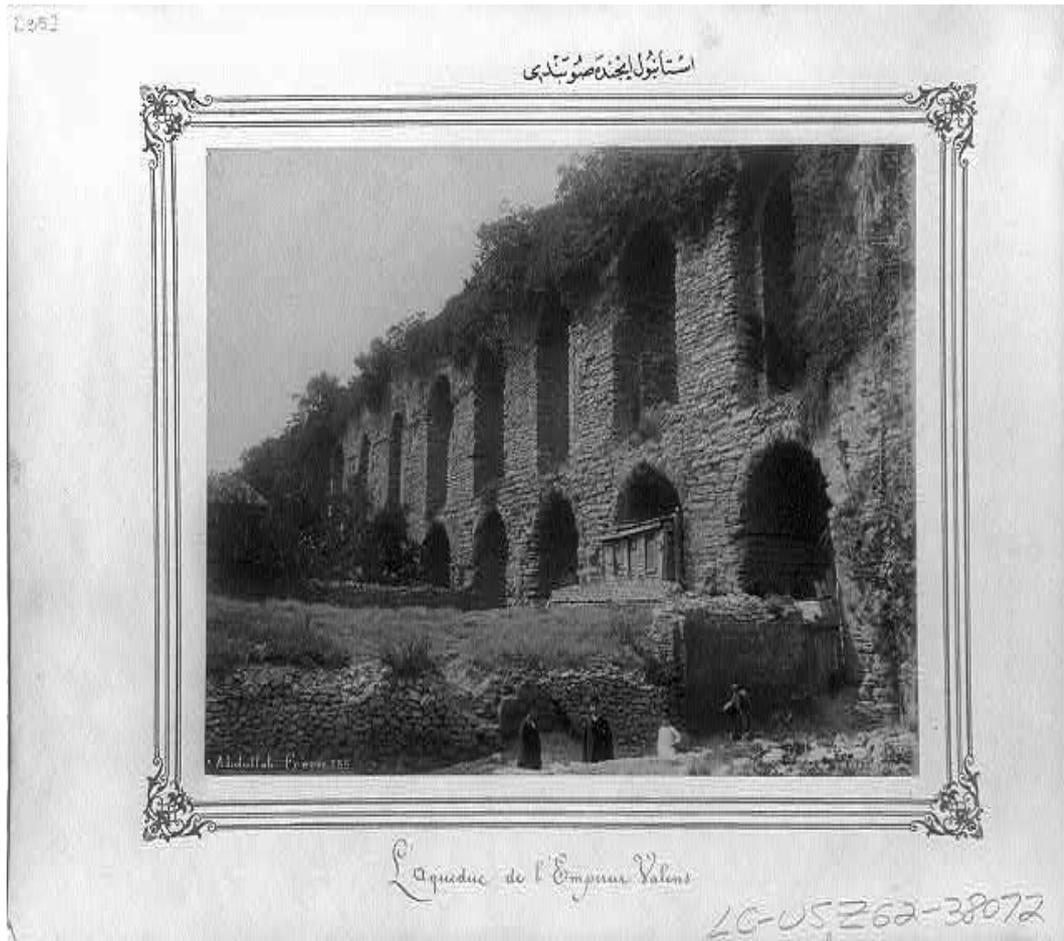


Figura 2.2 – Aqueduto Valens entre 1880 e 1893.
 Fonte: Imagem do site Library Congress, Acessado em: 11/08/2019.

Os mares ao redor da cidade proporcionavam peixe, segurança, comércio e um cenário urbano incomparável, mas não havia rios que pudessem compensar em tempos de seca. A geologia subjacente dificultava a implantação de poços e, para sobreviver e prosperar, a cidade precisava contar com a mais ambiciosa tecnologia hidráulica conhecida desde os tempos antigos. Estes sistemas de água, certamente, beneficiaram a agricultura fora e dentro do país (CROW, 2012).

De acordo com a literatura pesquisada, chegou a existir mais de 50 km de aquedutos e 350 km de canalizações na época do apogeu da cidade de Roma (MASCARÓ; YOSHINAGA, 2005). O sistema de abastecimento de água era complexo, envolvendo o uso de chafarizes, castelos d'água, e canalizações, que levavam a água até os palácios, fontes públicas e residências. Na Figura 2.3 pode ser vista a disposição do importante Aqueduto de Valens e três reservatórios que abasteciam a cidade de Constantinopla (CROW, 2012).

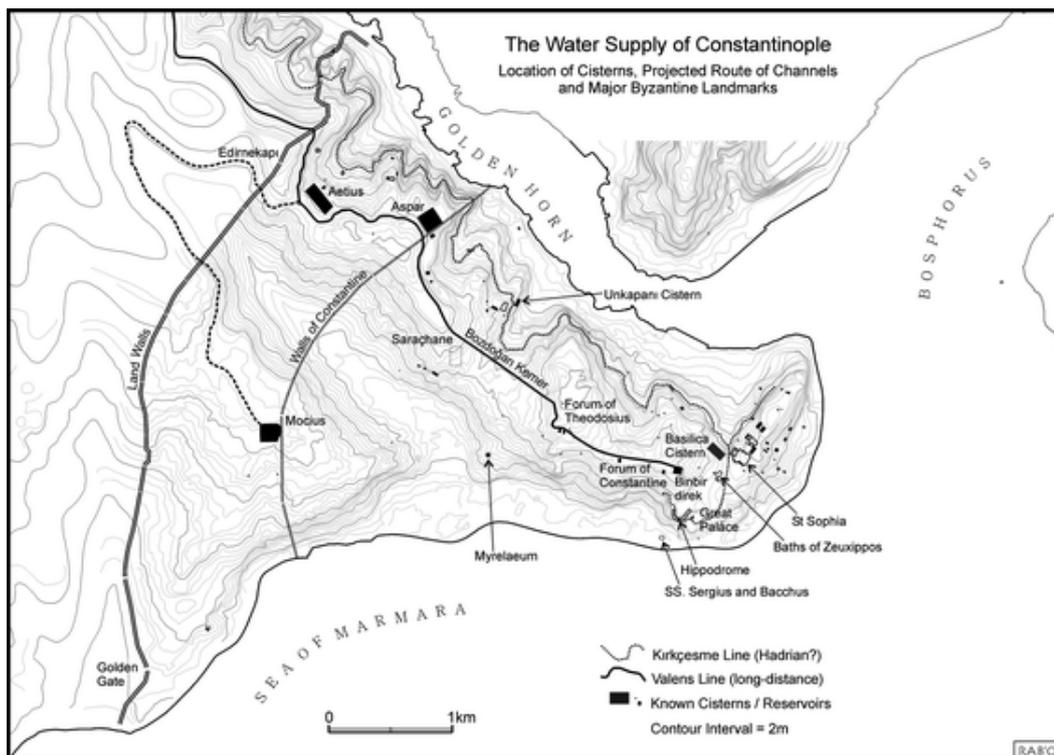


Figura 2.3 – Topografia e demarcação dos canais de água em Constantinopla Bizantina (Desenhado por Richard Bayliss.
Fonte: Crow, 2012.

Para atender à necessidade de mitigação das cheias urbanas, uma complexa rede de escoamentos em tubulações subterrâneas e canais abertos foi desenvolvida na cidade de Roma. Este sistema também foi utilizado para carrear os esgotos das moradias (BURIAN; EDWARDS, 2002).

Com a queda de Roma, de acordo com Barros (2017), na Idade Média, o território se fragmentou. Nesse período, o consumo da população da Europa era de apenas um litro de água por pessoa diariamente. O abastecimento sofreu um retrocesso no aspecto sanitário. Enquanto os romanos faziam captação de longas distâncias, essas novas nações faziam a captação diretamente dos rios, na sua proximidade imediata, e as cidades perderam importância. Nesse período, a responsabilidade de gerenciar a água passou a ser coletivamente dos cidadãos. Parte do consumo de algumas famílias era garantido por meio de compra transportada por carregadores. Já outras, em sua maioria, escavavam poços dentro de suas casas, próximas a fossas e esterco de animais, causando contaminação.

O modelo de abastecimento concebido na Idade Média estava em decadência. Na Idade Moderna (1453 a 1789), desenvolveu-se a medição de velocidade de escoamentos e das vazões. Estabeleceu-se, ainda, que os rios, as fontes e as águas subterrâneas eram formadas pela chuva.

Em Paris, no final do século XV, a distribuição de água era controlada por canalizações sob a vigilância do município (BARROS, 2017).

A partir do século XIX, as cidades de todo o mundo foram fortemente alteradas por conta da Revolução Industrial. Com a mudança do perfil de distribuição da população das áreas rurais para áreas urbanas, vários problemas de ocupação do solo urbano surgiram. Essa expansão gerou mudanças consideráveis na paisagem, notadamente um aumento na área coberta por superfícies impermeáveis. Veról (2013) destacou que, nessa época, o crescimento populacional acelerado não foi acompanhado pelo desenvolvimento dos sistemas urbanos na mesma velocidade. As ruas eram estreitas e carente de infraestrutura, gerando problemas, novamente, com o saneamento. A consequência se refletiu em graves problemas de saúde pública e epidemias. A solução encontrada na época, para minimizar o problema de esgoto a céu aberto e consequente proliferação de doenças, recaiu na captação, condução e descarga rápida dos esgotos e águas pluviais e no afastamento destes em relação à população. Esse transporte se dava por redes de drenagem pluvial, onde todo o esgoto e a água das chuvas eram reunidos em uma só canalização e lançados nos corpos d'água receptores, dando origem ao sistema unitário de esgoto (VERÓL, 2013).

No Brasil, os primeiros registros de saneamento são da época do período colonial, com o surgimento das cidades brasileiras. Há relatos de que, após a vitória contra os franceses, Estácio de Sá e seus companheiros se instalaram próximo às margens de um rio de água doce, junto à Baía da Guanabara, atualmente onde se localiza o Aterro do Flamengo, no Rio de Janeiro. Há também registros, em escritos de viajantes, desenhos e pinturas e, até mesmo obras literárias, sobre as catástrofes, quase que anuais, da cidade. Registros precisos só foram existir a partir de 1851, permitindo o acompanhamento das fortes chuvas de verão na cidade.

No século XVII, iniciativas urbanísticas na Pernambuco holandesa e no Rio de Janeiro marcariam a ação de administrações públicas na área do saneamento. Com a vinda da família real para cá, diversas obras foram realizadas, a fim de receber a corte de maneira mais adequada. Foram criadas vias e suprimidos cursos d'água naturais, como pode ser visto na Figura 2.4, que compara os anos de 1565 e 1808. Na cidade do Rio de Janeiro, a ação mais relevante foi a canalização das águas do Rio Carioca para abastecimento da cidade, uma das mais importantes obras do Brasil Colônia (MURTHA; CASTRO; HELLER, 2015).

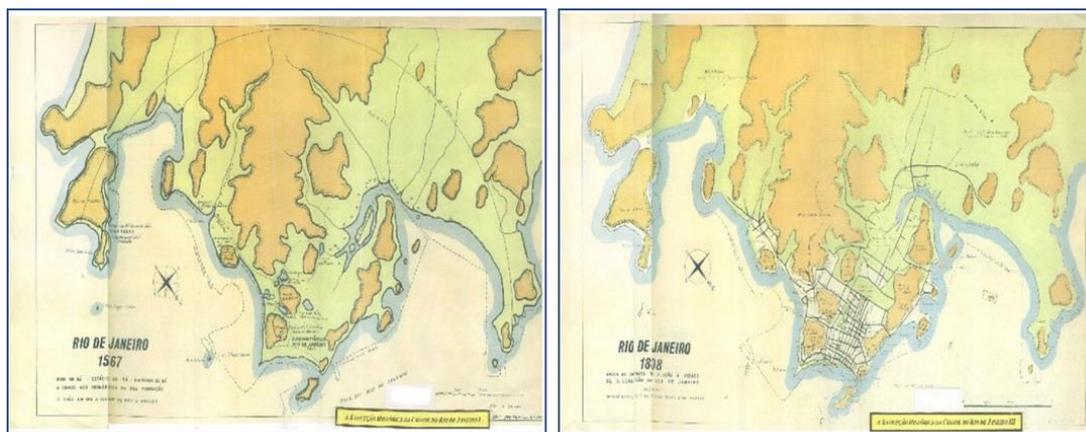


Figura 2.4 - Mapas comparativos da cidade do Rio de Janeiro no período colonial.
Fonte: Rio Águas, 2015. Adaptada pela Autora.

O investimento em saneamento básico no Brasil ocorreu pontualmente em alguns períodos específicos, com um destaque para as décadas de 1970 e 1980, quando existia um “predomínio da visão de que avanços nas áreas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário nos países em desenvolvimento resultariam na redução das taxas de mortalidade” (SOARES; BERNARDES; CORDEIRO NETTO, 2002). Nesse período, foi consolidado o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), que deu ênfase ao incremento dos índices de atendimento por sistemas de abastecimento de água, mas que, em contrapartida, não contribuiu para diminuir o déficit de coleta e tratamento de esgoto, o que é ainda verificado atualmente (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

A evolução da drenagem pluvial urbana no Brasil iniciou-se com a aplicação dos conceitos higienistas, observando-se a predominância da utilização de sistemas separadores absolutos desde o início da sua implantação (SILVEIRA, 2000). O higienismo, no início, contribuiu para a redução da contaminação por doenças de veiculação hídrica, para a melhoria das condições de conforto em meio urbano e para o aperfeiçoamento de qualidade de vida, de uma maneira geral (MORALES, 2003).

A racionalização depois do higienismo foi marcada pelo desenvolvimento e aplicação do Método Racional e pela normalização dos cálculos hidrológicos para dimensionamento de obras hidráulicas (PINHEIRO; SANTOS, 2019). Embora não modifique o conceito higienista, ele se preocupa em dar mais precisão aos cálculos, tornando possível a importação de instrumentos de medição, como por exemplo, o pluviógrafo, que chegou ao país na década de 1930 (PINHEIRO; SANTOS, 2019).

A etapa sucessora da racionalização, foi definida por Silveira (1998) como hidrologia urbana, com o objetivo de mitigar os impactos gerados pela urbanização no ciclo hidrológico.

Essa etapa chegou nos países desenvolvidos na década de 1960 e, somente após dez anos, o Brasil começou a adotá-la. A hidrologia urbana evoluiu para melhorar o escoamento urbano de forma a proteger as cidades contra inundações, melhorar a saúde pública além de preservar e proteger o ambiente (FLETCHER; ANDRIEU; HAMEL, 2013).

2.1.2 Drenagem urbana

Conforme mencionado anteriormente, como forma de melhorar as condições de salubridade das cidades e seguindo o conceito da drenagem clássica, de captação, condução e descarga rápida dos efluentes, muitos rios brasileiros foram canalizados, o que acabou por transferir o problema para jusante da bacia (MIGUEZ; VEROL; SANTOS, 2013), com seu extravasamento ocorrendo em pontos onde a capacidade de escoamento era insuficiente para suportar a vazão máxima e os volumes gerados a montante (CANHOLI, 2005; VERÓL, 2013).

A abordagem clássica sobre o problema de inundação urbana acelera a evacuação rápida das águas pluviais e servidas construindo ou readequando as redes de drenagem, através do aumento das seções das galerias existentes e da canalização e retificação da macrodrenagem, levando à redução progressiva dos cursos de água na paisagem urbana, até a completa supressão em grande parte dos casos. (KIRBY, 2005; PINHEIRO; SANTOS, 2019). A diminuição do tempo de concentração do volume escoado na bacia teve como efeito a transferência do problema a jusante (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Quanto menor o tempo de concentração, maior o pico da vazão a jusante (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Isso gera inundações frequentes em locais em que anteriormente não ocorriam esses fenômenos, levando-se em consideração que o desenvolvimento é realizado no sentido de jusante para montante (CANHOLI, 2005). Essa solução deixou de ser eficiente a partir do momento que iniciou o processo de urbanização das áreas mais altas da bacia, gerando uma vazão da chuva precipitada maior do que a calculada anteriormente, fazendo necessário a mudança de seção das redes já implantadas nas planícies (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

O desenvolvimento de montante estressa o sistema como um todo e a rede de drenagem falha. Na maioria das vezes, esta situação é agravada por problemas de ordem socioeconômica (MIGUEZ; VEROL; SANTOS, 2013). A população mais pobre e carente se instala em condições sub-humanas em locais com pouca ou até nenhuma infraestrutura, gerando uma situação de risco (MIGUEZ; VEROL; SANTOS, 2013).

Levando em consideração os constantes problemas de cheias urbanas, há algumas décadas vem sendo utilizado uma nova abordagem de drenagem urbana, diferente da clássica,

na qual se estimula o aumento do tempo de concentração da vazão dentro da bacia, além de possibilidades de armazenamento e infiltração no tecido urbano, criando um sistema mais sustentável, capaz também de mitigar problemas já existentes de inundação.

Pode-se dizer que o combate às cheias urbanas sofreu uma mudança de concepção desde a década de 1970, onde se leva em consideração a bacia como um sistema integrado, tratando a questão com conceitos de prevenção e harmonização; e não apenas uma tentativa de controle das cheias (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). A mudança cultural sobre a disciplina de drenagem urbana foi crucial para a evolução das técnicas. O que anteriormente era visto como um problema (excesso de água na superfície), atualmente é reconhecido pelas oportunidades que pode oferecer, como por exemplo, o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis (ASHLEY *et al.*, 2013).

As fases da drenagem urbana podem ser resumidas conforme se apresenta no Quadro 2.1

Quadro 2.1 Fases do desenvolvimento das águas urbanas.

FASE	CARACTERÍSTICAS	CONSEQUÊNCIA
Pré-Higienista	Esgoto a céu aberto ou em fossas. Sem coleta ou tratamento	Epidemias e doenças com alta taxa de mortalidade.
Higienista	Transporte do esgoto junto às redes de águas pluviais	Redução das doenças e da mortalidade, degradação dos corpos d'água, contaminação dos mananciais.
Corretiva	Sistema separador absoluto, esgoto tratado e amortecimento dos escoamentos pluviais.	Melhoria da qualidade da água dos rios, poluição difusa, obras de grande impacto.
Desenvolvimento sustentável	Tratamento do escoamento pluvial, preservação do sistema natural, integração institucional.	Conservação ambiental, melhoria da qualidade de vida, controle das inundações.

Fonte: Tucci, 2005.

Diferentes abordagens de drenagem urbana foram utilizadas durante o tempo de acordo com a necessidade e a capacidade técnica do momento, passando pela higienista, identificada como concepção tradicional, até na atualidade, onde a prática de manejo sustentável de águas coloca a água como centro da discussão urbana (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Para melhor compreensão desse contexto, será apresentado a seguir, resumidamente, a evolução do termo drenagem urbana. Em diversos campos profissionais, o desenvolvimento de terminologias tem como objetivo melhorar a comunicação entre os profissionais da área

(FLETCHER *et al.*, 2015). No que diz respeito à drenagem urbana, os termos, inicialmente, foram definidos a partir de perspectivas locais e regionais, o que gerou terminologias diferentes dizendo a mesma coisa causando confusão e contradições (FLETCHER *et al.*, 2015).

- Desenvolvimento de Baixo Impacto (Departamento de Recursos Ambientais, 1999), comumente utilizado na América do Norte e na Nova Zelândia, com a intenção de chegar ao máximo no estado natural da Hidráulica (FLETCHER *et al.*, 2015);
- Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) (CIRIA, 2000), termo utilizado pela Inglaterra, Irlanda do Norte, Escócia e Gales, para abordar técnicas de controle de escoamento urbano; consiste em técnicas para drenar águas pluviais de maneira mais sustentável possível (FLETCHER *et al.*, 2015).
- Projeto Urbano Sensível à Água (WHELANS; THOMPSON; GLICK, 1994; WONG; BROWN, 2011), começou a ser usado na década de 1990 na Austrália e faz referência ao gerenciamento do balanço hídrico, manutenção da qualidade da água, incentivo à preservação da água e à relação da água com o meio ambiente e as oportunidades recreativas (FLETCHER *et al.*, 2015).
- Melhores Práticas de Gestão (BMPS) (SCHUELER, 1987), termo utilizado na América do Norte, mais especificamente no Canadá, faz referência à mitigação da poluição da água (FLETCHER *et al.*, 2015).
- Medidas de Controle de Águas Pluviais, termo criado como uma evolução da terminologia BMP, com objetivo de abranger não só medidas não estruturais, mas também medidas estruturais, além de ter uma abordagem de gerenciamento das águas pluviais (FLETCHER *et al.*, 2015);
- Gestão Integrada das Águas Urbanas (IUWM), oriundo de um termo mais abrangente, chamado de Gestão Integrada das Águas (BISWAS, 1981), tem como conceito a gestão de todo o ciclo da água durante a captação da mesma (FLETCHER *et al.*, 2015).
- Técnicas Alternativas (AZZOUT; BARRAUD; CRES, 1994), abordado nos países de língua francesa na década de 1980, veio como uma solução oposta à eliminação rápida da vazão precipitada (STU, 1981, 1982);
- Controle na Origem, usado para distinguir sistemas de gestão de águas, com práticas onde inicia o escoamento pluvial. Foi foco do manual de Diretrizes de Projeto de Drenagem Urbana, publicado por Ontário e Vancouver no Canadá

(METROVANCOUVER, 2012; ONTARIO MINISTRY OF NATURAL RESOURCES, 1987).

- Infraestrutura verde, surgiu nos EUA na década de 1990, conforme menciona Walmsley (1995) e vai muito além de controle de águas pluviais. Tem origem tanto na arquitetura paisagista, onde foi promovido como uma rede de espaços verdes (BENEDICT; MCMAHON, 2006), quanto na ecologia da paisagem (FORMAN, 1999); tem o objetivo de diminuir a vazão escoada pela superfície (FOSTER; LOWE; WINKELMAN, 2011).

Por meio desse histórico resumido das terminologias foi realizada uma busca pelos termos mencionados, filtrando somente artigos publicados das áreas de engenharia e meio ambiente, resultando no gráfico ilustrado pela Figura 2.5. É possível observar que a Gestão Integrada da Água Urbana, juntamente com as Medidas de Controle de Águas Pluviais, Técnicas Alternativas e Controle na Origem foram as primeiras terminologias utilizadas em trabalhos no início da década de 1970. Além disso, também foi possível perceber que a terminologia mais utilizada para tratar de questões de águas pluviais foi Infraestrutura Verde e, logo atrás, Controle na Origem. Foi possível observar que ocorreu um crescimento significativo de trabalhos com praticamente todas as terminologias, com exceção do termo Dispositivo de Melhorias na Qualidade de Águas Pluviais, após 2005.

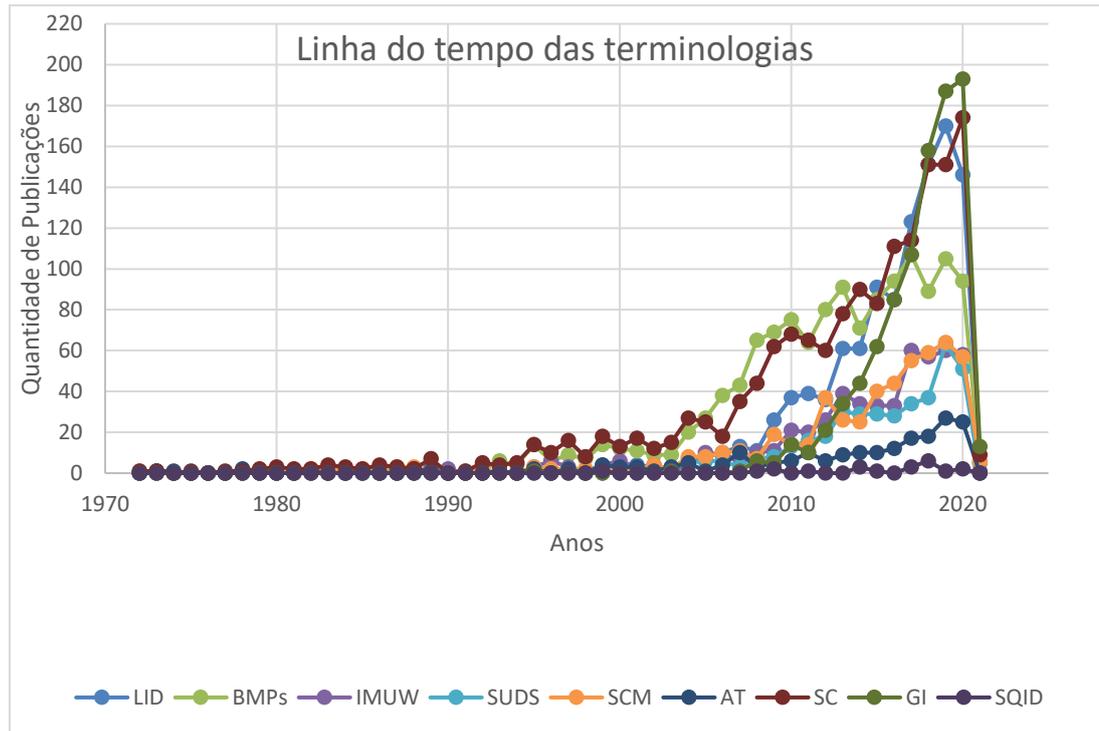


Figura 2.5 – Gráfico que demonstra a quantidade de artigos publicados por ano com cada terminologia mencionada anteriormente.

Legenda: LID – Desenvolvimento de baixo impacto, BMPs – Melhores práticas de gestão. IMUW – Gestão integrada das águas urbanas. SUDS – Sistema sustentável de drenagem urbana. SCM – Medidas de controle de águas pluviais. AT – Técnicas alternativas. SC – Controle da origem. GI – Infraestrutura verde. SQID – Dispositivos de melhorias na qualidade de águas pluviais.

2.2. GESTÃO DE RISCOS HIDROLÓGICOS

Desastres naturais são susceptíveis de acontecer em vários lugares pelo mundo, mas a frequência, a intensidade e a gravidade dos acontecimentos variam de acordo com as características biofísicas na escala local, bem como o nível de vulnerabilidade das comunidades afetadas (SOLER *et al.*, 2013). O clima extremo, o crescimento populacional nas áreas urbanas e a falta de ações efetivas de mitigação dos riscos contribuíram para o aumento da vulnerabilidade da população a desastres naturais no Brasil (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). No período de 2000 a 2018, o principal tipo de desastre que afetou o Brasil foram as inundações, representando 71% da totalidade de desastres no país (EM-DAT, [s.d.]). É válido ressaltar ainda que, de acordo com a EM-DAT, as inundações representam o tipo de desastre mais letal do país.

A gestão de riscos no Brasil, por muito tempo, esteve relacionada apenas ao atendimento de emergências, ou seja, de ações após o evento. Entretanto, ela deve envolver medidas de identificação, prevenção e redução dos riscos (SAITO; PELLERIN, 2013). Um avanço significativo em termos de concepção de gestão de risco no país foi a promulgação da Lei 12.608/2012 (BRASIL, 2012), que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC (SAITO; PELLERIN, 2013). Essa lei estabeleceu atribuições no que diz respeito ao planejamento urbano e à defesa civil para as três esferas governamentais.

As soluções para problemas de inundações urbanas, anteriormente se baseavam em medidas tradicionais de controle de cheias, com o objetivo de reduzir os alagamentos após as chuvas. Atualmente, o conceito de gestão de risco vem ganhando espaço nas discussões sobre inundações, com foco não somente na redução dos alagamentos, mas também na diminuição dos riscos geradores de alagamentos, com uma preocupação para além da drenagem, que considera também o cunho econômico e social (MIGUEZ; DI GREGÓRIO; VERÓL, 2018).

2.2.1 Risco: conceitos e percepções de risco

O Risco é um objeto social, afirma Veyret (2007). Não há risco sem alguém o reconhecer e ser impactado por ele. “O risco é a tradução de uma ameaça, de um perigo para aquele que está sujeito a ele e o percebe como tal” (SILVEIRA; SANTOS; BALTER, [s.d.]; VEYRET, 2007).

Algumas instituições internacionais abordaram o conceito de gestão de risco de desastres naturais, tais como *Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales em América Central* (Cepredenac), *Estrategia Internacional para Reducción de*

Desastres (EIRD), *Grupo Internacional Recursos del Sur* da *United States Agency for International Development* (USAID), como será brevemente descrito a seguir.

A UNISDR (2009) define risco como “uma grave interrupção do funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo perdas e impactos humanos, material, econômico ou ambiental de forma generalizada e que excede a capacidade da comunidade ou sociedade de lidar com o perigo usando seus próprios recursos”. A avaliação de risco deve preceder as demais, com objetivo de identificar os fenômenos que ameaçam a sociedade e que podem vir a trazer prejuízo para a cidade. Em relação aos riscos hidrológicos, características como condicionantes de ocorrência, área de abrangência e tempo de recorrência, são aspectos fundamentais para essa identificação (SAITO; PELLERIN, 2013).

No dicionário, o significado de desastre é “acontecimento nocivo, geralmente inesperado, que provoca danos graves de qualquer ordem”, podendo também ter como definição “desgraça imprevista, catástrofe.” Valencio *et al.* (2009) definiram desastre como sendo uma “vivência, segundo um consenso social, de uma crise que afeta a comunidade humana.” Assim, foi possível chegar à seguinte definição de desastre: evento nocivo que interrompe o bom funcionamento das atividades de uma cidade, acarretando prejuízos econômicos, sociais e/ou ambientais. Os efeitos nocivos do desastre são diretamente proporcionais à vulnerabilidade e à exposição dos elementos em risco (VARGAS, 2010). No campo da engenharia, o risco de desastre está ligado à probabilidade de ocorrência desse evento e à expectativa de perdas causadas por ele e a vulnerabilidade do elemento afetado a esse risco (MIGUEZ; DI GREGÓRIO; VERÓL, 2018).

Em relação às inundações, a chuva, como um fenômeno natural, inicia o processo de risco, mas não é o perigo. A interação da chuva com a bacia, modificada pelo homem, é que gera o evento de inundação e a vulnerabilidade da população, de acordo com a exposição a esse evento, é o que gera o perigo de catástrofe (MIGUEZ; DI GREGÓRIO; VERÓL, 2018). O risco de inundação, entretanto é passível de ser gerenciado e reduzido por meio de medidas estruturais e não estruturais e de um plano de gestão em momentos de crise (MIGUEZ; DI GREGÓRIO; VERÓL, 2018).

O risco de um desastre acontecer está ligado à probabilidade e aos efeitos negativos que esse evento pode gerar. Dessa forma, é necessário a conceituação de risco. Miguez *et al.* (2018) listou conceitos de literaturas diferentes, que serão descritos a seguir:

1. *Medida de dano potencial ou prejuízo econômico expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previsíveis* (BRASIL, 2009).

2. *Probabilidade de ocorrência de um acidente ou evento adverso, relacionado com a intensidade dos danos ou perdas, resultantes do mesmo* (MIGUEZ; DI GREGÓRIO; VERÓL, 2018).

3. *Probabilidade de danos potenciais dentro de um período especificado de tempo e/ou de ciclos operacionais* (MIGUEZ; DI GREGÓRIO; VERÓL, 2018).

4. *Fatores estabelecidos mediante estudos sistematizados, que envolvem uma probabilidade significativa de ocorrência de um acidente ou desastre* (MIGUEZ; DI GREGÓRIO; VERÓL, 2018).

5. *Relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado se concretize e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos* (MIGUEZ; DI GREGÓRIO; VERÓL, 2018).

A cidade é um organismo complexo levando em consideração a variedade de atores envolvidos: infraestrutura, construções, serviços, pessoas e instituições, que estão expostos e propensos a sofrerem danos. Essa complexidade leva a diferentes interpretações e formulações para definição de risco (MIGUEZ; DI GREGÓRIO; VERÓL, 2018). A partir da necessidade de conhecimento de diferentes conceitos, foram adotadas como referência duas instituições, uma nacional e outra internacional: Defesa Civil e Unesco, por meio da EIRD - *Estratégia Internacional para la Reducción de Desastres*:

1. Risco imediato de desastre. Prenúncio ou indício de um evento desastroso. Evento adverso provocador de desastre, quando ainda potencial.

2. Estimativa da ocorrência e magnitude de um evento adverso, expressa em termos de probabilidade estatística de concretização do evento (ou acidente) e da provável magnitude de sua manifestação.

Ameaça corresponde ao fenômeno ou processo natural, tecnológico ou de origem antrópica, com possibilidade de causar danos humanos, materiais e ambientais e perdas socioeconômicas públicas e privadas. As **ameaças naturais** compreendem as ameaças de natureza hidrometeorológica, climatológica, biológica, geológica. As ameaças, portanto, estão relacionadas a tipos de eventos adversos que podem ocorrer, como uma inundação, uma seca, uma epidemia, um terremoto ou um deslizamento. A caracterização da ameaça, existente ou potencial, não inclui qualquer tipo de previsão quanto à sua ocorrência; isto é, quando se fala em ameaça, trata-se apenas da tipificação de um fenômeno que pode ocorrer, sem a associação de qualquer grau de probabilidade de deflagração do evento.

O **perigo** é a condição de uma ameaça específica de causar uma consequência indesejável dentro de um certo período.

Vulnerabilidade é o grau de perda esperado para um elemento ou conjunto de elementos sob condição de perigo, ou seja, exposto a uma ameaça específica. A vulnerabilidade resulta de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, aumentando a suscetibilidade de uma comunidade (exposta às ameaças) ao impacto dos desastres.

Desastre é o resultado de eventos adversos, naturais, tecnológicos ou de origem antrópica, sobre um cenário vulnerável exposto a ameaça, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

O risco de desastre depende das características, das possibilidades e da intensidade da ameaça, ou seja, do grau de perigo, assim como da quantidade dos elementos expostos e da vulnerabilidade desses elementos, em função das condições naturais, sociais, econômicas e ambientais existentes.

A **suscetibilidade** a uma determinada ameaça, como deslizamento ou inundação, é a **probabilidade de ocorrência desse processo, dadas as condições do terreno**. É o grau em que uma área pode ser afetada pela ameaça, isto é, a estimativa de “onde” a ameaça é mais provável de ocorrer.

2.2.2 Mapeamentos

A identificação e o mapeamento das áreas de riscos ambientais são elementos importantes na prevenção e na gestão de riscos de desastres. Para definir a área de risco, os técnicos/cientistas precisam:

- Identificar qual é o local e o risco;
- Delimitar a área; e
- Descrever os locais sujeitos ao risco.

No caso do risco geológico, observa-se um conjunto de fatores naturais e sociais para analisar o potencial de dano em caso de movimento de terra e/ou inundações. Para ilustrar esse potencial, são produzidos mapas em escala, no máximo, de 1:10.000, os quais necessitam de atualização constante devido à dinâmica do ambiente e da população.

2.2.3 Gestão integral de riscos de desastres

A gestão integrada do risco se tornou uma ferramenta de política pública para prevenção do risco ao desastre já que, atualmente, o risco é considerado uma construção social que envolve diferentes esferas da sociedade (DEL; EN; MARCO, 2021). É necessário que todas as etapas

envolvam os órgãos pertinentes e que eles tenham uma boa comunicação, além de atualizar os dados o mais brevemente, com o objetivo de otimizar ao máximo a gestão e a operação do risco ao desastre (DEL; EN; MARCO, 2021).

A gestão do risco é uma abordagem recente que envolve um processo social contendo prevenção, redução e controle permanente dos fatores de risco de desastres, além da preparação de rápida resposta em situações de desastre (Unesco, 2011). A gestão tem como objetivo nortear políticas públicas e estratégias de ação para o governo e a sociedade protegerem a vida e os patrimônios públicos e de cada cidadão (Narváez et al., 2009).

2.2.4 Ações para a redução dos desastres

É necessário que as medidas de redução de risco de desastres sejam adotadas em uma escala nacional, onde diferentes setores interajam, podendo identificar e articular políticas públicas que envolvam as áreas públicas e privadas com o mesmo objetivo, o de reduzir ameaças e a vulnerabilidade que afetam a economia, a sociedade e o meio natural de um país (RAMIREZ, 2020). Isso implica a coordenação entre diferentes escalas territoriais, além de responsabilidades e diretrizes bem definidas entre os envolvidos pra reduzir o risco, principalmente no nível local (RAMIREZ, 2020).

As medidas adotadas para gestão e controle do risco de desastres são classificadas como não estruturais, ou seja, ações educativas e preventivas, onde não são executadas obras civis.

O primeiro passo para mitigação do risco é a antecipação do desastre, a partir da prevenção e educação da população como ferramenta para identificação do risco. Essa estratégia é uma ação não estrutural e está vinculada à redução da vulnerabilidade a diferentes ameaças. A redução da vulnerabilidade inicia a partir da percepção de que problemas sociais e ecológicos, que fazem a sociedade e o meio ambiente frágeis a qualquer tipo de ameaças, precisam ser resolvidos (FOLKE et al., 2010; RENN; KLINKE, 2013; SCHOLTEN; KESKITALO; MEIJERINK, 2015)

A segunda medida para redução de risco é a geração de resiliência social, como a recuperação e a reabilitação durante ou após um evento de desastre (RAMIREZ, 2020), onde o estado estabelece arranjos institucionais que permitam a construção de estruturas sociais com apoio financeiro, aumentando a capacidade das organizações para o enfrentamento dos riscos (BROWN; DAYAL; RUMBAITIS DEL RIO, 2012; GROOT; NILSSON; BREE, 2014).

2.2.5 Monitoramento e Alerta

Como os desastres naturais ocorrem de tempos em tempos, existe a probabilidade de o poder público investir em ações de prevenção. Estudos mostram que o investimento em prevenção a desastres tem como resultado uma melhora substancial na economia e é uma das formas mais eficazes para o desenvolvimento sustentável local, contribuindo na qualidade de vida da população. Para isso, é imprescindível a adoção e a manutenção de sistemas de alerta para eventos extremos (LUZ e FILGUEIRA, 2018).

O sistema de monitoramento e alerta tem como objetivo informar à população as possíveis ações a serem tomadas diante de uma potencial ameaça ou quando ocorre um evento real, de forma a gerar o menor dano possível, tanto para população quanto para os bens materiais (LUZ e FILGUEIRA, 2018).

O Cemaden é uma instituição chave nessa rede, pois analisa uma diversidade de dados e informações, além de gerar conhecimento que subsidia a emissão de alertas de risco de inundação, enxurradas, movimentos de massa, bem como boletins que subsidiam ações de mitigação. A gestão do alerta inicia nessa instituição, passando pelo Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres – CENAD, o qual encaminha as informações às prefeituras, Defesa Civil Estaduais e Locais.

2.2.6 Plano Municipal de Redução de Riscos

O Ministério das Cidades iniciou um programa de incentivo à elaboração e revisão de Planos Municipais de Redução de Risco a partir de 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 (ALFRADIQUE, 2019).

A partir do ano de 2012 o governo federal instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDC através da Lei 12.608 com diretrizes para gestão de risco no âmbito nacional, estadual e municipal.

O Estado do Rio de Janeiro, em 2020, lançou o Plano de Contingência, onde estabelece os protocolos e os procedimentos a serem adotados pelos órgãos envolvidos, direta ou indiretamente, na resposta às emergências e desastres causados por chuvas intensas (SEDEC, 2021).

A cidade do Rio de Janeiro, a partir das chuvas de abril de 2010, iniciou uma série de procedimentos para mitigação e redução de risco de desastres no município, com foco principal

na população mais vulnerável da cidade com a finalidade de torná-la mais resiliente a esse tipo de evento. Dentre os procedimentos implantados, a SUBDEC (2013) destaca, no Programa de Proteção Comunitária – Adaptação aos riscos de desastres, as seguintes ações:

- Centro de Operações – Implantação de um local que integra cerca de 30 órgãos públicos e concessionárias visando monitorar e otimizar o funcionamento da cidade, além de antecipar soluções e minimizar ocorrências. Ou seja, atua na prevenção, no monitoramento e no gerenciamento de emergências.
- Radar meteorológico – com aquisição de um radar próprio, juntamente com diversos pluviômetros instalados na cidade, foi criado o Sistema Alerta Rio, que funciona o tempo inteiro, com objetivo de antecipar, monitorar e avisar a população sobre a chegada de novos temporais, facilitando o planejamento de ações para mitigação dos impactos.
- Inventário de Risco geotécnico – a Fundação Geo-Rio fez um estudo, em 2010, do Maciço da Tijuca e seus arredores, para identificar áreas com alto, médio e baixo risco geotécnico; foram identificadas cerca de 14 mil construções em áreas de alto risco geotécnico.
- Projeto de capacitação de moradores – a Defesa Civil, desde 2010, vem desenvolvendo um projeto de capacitação, com foco nos agentes comunitários, moradores e trabalhadores de comunidades, que conhecem a população local e suas vulnerabilidades, auxiliando na formação de um diagnóstico e criando laços e credibilidade com os residentes.
- Projeto de alarme e alerta comunitário - foi implantado o Sistema de Alarme com Sirenes em 103 comunidades. Este alarme é operado com base nas informações da rede de pluviômetros, envolvendo exercícios simulados de desocupação e planos de acionamento e mobilização; entra em funcionamento caso a chuva atinja níveis críticos (acima dos estabelecidos no protocolo).
- Projeto Defesa Civil na Escola - tem como objetivo principal incorporar conceitos de Redução de Risco de Desastre e/ou Acidentes à educação escolar. O projeto é voltado para alunos do 5º ano de 38 escolas públicas municipais de turno integral e deve ser abordado pelos próprios professores como tema transversal. Os assuntos abordados são: defesa civil e prevenção de acidentes domésticos; educação ambiental e desastres naturais; primeiros socorros; e chuvas e suas consequências na Cidade do Rio de Janeiro.

Projeto de fortalecimento institucional – com aumento da frota, melhoria das ferramentas de trabalho e aumento do corpo técnico.

É importante ressaltar que outros programas da Prefeitura do Rio de Janeiro auxiliam na redução do risco de desastres, como: programas de urbanização integrada em áreas de assentamento precários, o programa de reflorestamento de encostas, obras de contenção de encostas, além das limpezas e manutenção dos corpos hídricos e do sistema de drenagem pluvial como um todo.

2.3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Diversas fontes pesquisadas confirmam que a população mundial é, em sua maioria, urbana, e que se o crescimento permanecer com a mesma velocidade dos últimos anos, a tendência é que até 2050 a população urbana equivalha a 60% da quantidade de pessoas no mundo inteiro (AHERN, 2011; BROWN, DAYAL e RUMBAITIS DEL RIO, 2012). Isso gera um impacto significativo no uso da terra, no bem-estar humano, na equidade social e na sustentabilidade. O desafio para a sustentabilidade no século XXI, sem dúvida, será no possível aumento das regiões urbanas (AHERN, 2011).

O século XXI enfrentará imensos desafios e dois dos mais significativos dizem respeito ao clima e à população (BUTLER *et al.*, 2014). Projeções feitas por estudos no Reino Unido preveem um aumento de 3 a 4° C na temperatura global até 2080. Os invernos se tornarão mais molhados, os verões mais secos e a frequência de eventos extremos aumentará (MET OFFICE., 2019).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) define mudanças climáticas como sendo um estado de alteração do clima que pode ser identificado, baseado em testes e estatísticas, variando suas propriedades por longos períodos (IPCC, 2007). Elas geram efeitos como: padrões climáticos cada vez mais erráticos, eventos extremos mais frequentes (como secas e inundações), aumento de temperatura e elevação do nível do mar (ILO, UNDESA e & WHO, 2011). Essas mudanças geram efeito em cascata na vida da população, tanto na parte econômica quanto na social (FAO, 2016). Os impactos das mudanças climáticas não são sentidos de maneira igual; fatores demográficos e socioeconômicos, como sexo, idade e questões de subsistência influenciam no nível de impacto causado pelas alterações (ILO, UNDESA e & WHO, 2011; LAMBROU e NELSON, 2010).

Os efeitos das mudanças climáticas podem levar ao aumento ou à redução dos impactos de acordo com a vulnerabilidade em cada nível do sistema. Se as famílias enfrentarem choques repetidos que afetam diretamente suas vidas, a vulnerabilidade é susceptível de aumentar à medida que a resiliência diminui ao longo do tempo (FAO, 2016). A vulnerabilidade depende de aspectos físicos e sociais; isso justifica o motivo de indivíduos vivendo no mesmo local sofrerem impactos diferentes diante do mesmo evento (FAO, 2016).

Este aumento na probabilidade de chuvas extremas cria maior risco de eventos prejudiciais de inundação que causam uma ameaça tanto à vida quanto ao ambiente construído, particularmente em regiões urbanas onde a infraestrutura não foi projetada para lidar com este aumento ou, em alguns casos, nem existe (HETTIARACHCHI, WASKO e SHARMA, 2017).

Um ponto de partida fundamental para tratar os efeitos das mudanças climáticas na cidade é entender a vulnerabilidade relacionada à urbanização, ou seja, quais pessoas e partes da cidade estão mais expostas a esse tipo de risco (BROWN, DAYAL e RUMBAITIS DEL RIO, 2012).

As adaptações como forma de mitigar os efeitos gerados pelas mudanças climáticas começaram a ser estudadas recentemente (FÜSSEL, 2007; MAMO, 2015). No contexto do risco de inundação, isso envolve medidas práticas e proativas para ajustar ou modificar o ambiente existente, a partir de ações de governança, em busca de torná-lo mais resiliente, como pode ser visto no esquema da Figura 2.6.

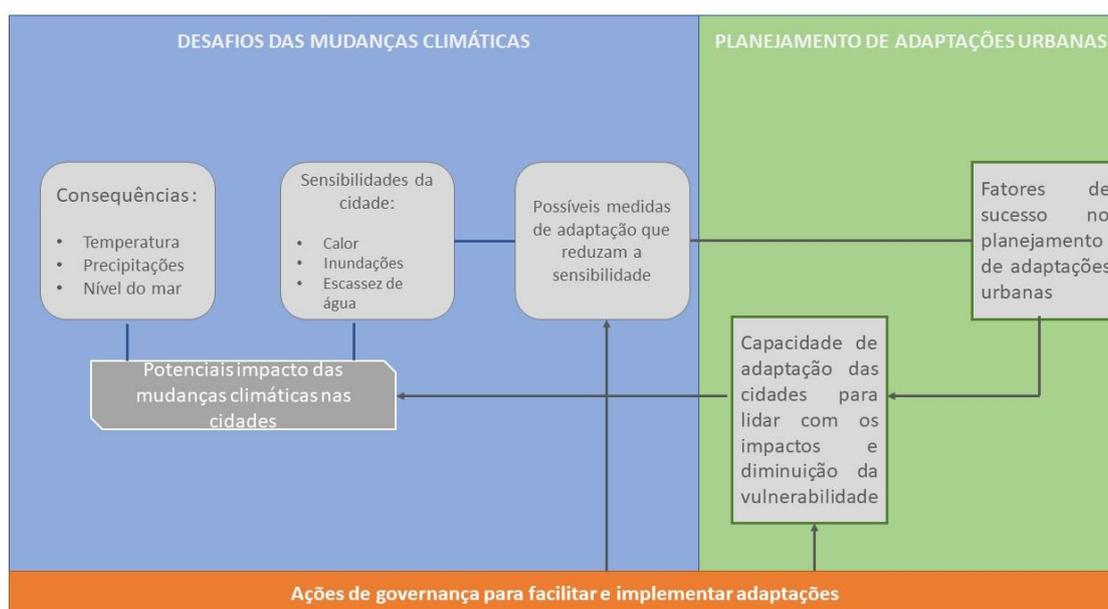


Figura 2.6 - Adaptação do quadro de esquema de geração de relatório.
Fonte: E E A, 2012.

Destaca-se que a capacidade ou potencial de um sistema para responder com sucesso à variação de mudanças climáticas denomina-se capacidade adaptativa. A capacidade adaptativa pode incluir estratégias preventivas, que envolvem decisões para minimizar ou evitar um evento, além de ações que facilitem a recuperação do que foi (ou quem foi) atingido. Estudos mostram que a capacidade adaptativa não diz respeito a um único fator, e sim a um entrosamento entre vários setores que reduzem a vulnerabilidade e aumentam a resiliência.

2.4. RESILIÊNCIA DA EDIFICAÇÃO

As ações antrópicas no processo de urbanização modificam o ambiente natural e podem prejudicar o funcionamento da cidade como um todo. Uma das consequências mais frequentes se refere ao agravamento de inundações. Ações de reversão completa de inundações muitas vezes são difíceis, caras e de implantação a longo prazo. As ações governamentais vêm cada vez mais focando na prevenção dos eventos extremos e no aprimoramento de medidas adaptativas para que a cidade se torne cada vez mais resiliente (CRICHTON, 2007). Dessa forma, o princípio de planejamento da construção da infraestrutura urbana foi alterado de um sistema livre de falhas (“fail safe”) para um sistema que pode falhar com segurança (“safe to fail”) (AHERN, 2011; BUTLER *et al.* 2014). Diante disso, é necessário a conceituação de resiliência no contexto de gestão urbana, como apresentado a seguir.

2.4.1 Conceito de Resiliência relacionado à gestão urbana

O estudo sobre resiliência urbana possui uma grande amplitude, que Leichenko (2011) classificou em quatro categorias: **resiliência urbano-ecológica**, onde a resiliência urbana é a capacidade de uma cidade ou sistema urbano em absorver distúrbios, mantendo a identidade, a estrutura e as funções básicas (RESILIENCE ALLIANCE, 2007); **riscos urbanos e redução do risco de desastres**, focando no aumento da capacidade de cidades, sistemas de infraestrutura e população para se recuperar de maneira rápida e eficaz de riscos naturais e causados pelo homem; **resiliência das economias urbanas e regionais**, na qual, considerando os vínculos entre a diversidade, a volatilidade e o crescimento das economias urbanas e regionais (ESSLETZBICHLER, 2007), são identificados fatores que explicam por que a resiliência é desigual dependendo da localidade (PIKE, DAWLEY e TOMANEY, 2010), e examinados os vínculos entre resiliência e crescimento a longo prazo e/ou declínio das cidades e regiões

(SIMMIE e MARTIN, 2010); e **promoção de resiliência através da governança das instituições**, que se concentra nos impactos que diferentes arranjos institucionais causam sobre a resiliência do ambiente (OSTROM, 2010) e como o pensamento da resiliência pode influenciar o desenvolvimento de uma governança que promova mecanismos de adaptação (BRIEN, HAYWARD e BERKES, 2009).

Para Jabareen (2013), a resiliência, no contexto urbano, considera como os serviços e o meio ambiente se comportam com as perturbações causadas por eventos extremos. Já para Gonçalves (2017), ela “corresponde a uma rede sustentável de sistemas físicos e de comunidades humanas”, que também “pode ser vista como sendo a que possui capacidade de gerar, em seus sistemas, mecanismos de sobreviver a ameaças e recursos para se autossustentar”.

No contexto das cidades, em que há a constante busca por uma melhor qualidade de vida de seus habitantes frente às incertezas ocasionadas pela falta de planejamento e ordenamento, além das consequências das mudanças climáticas (MADEIROS, GRIGIO e PESSOA, 2018), pensar em medidas de mitigação, auto-organização e adaptação é uma das formas de se conseguir a resiliência (MADEIROS, GRIGIO e PESSOA, 2018). A resiliência para cidades é utilizada como uma ferramenta de gestão urbana, associando um ordenamento territorial a partir de cenários de risco de diferentes escalas para situações presentes e futuras (MADEIROS, GRIGIO e PESSOA, 2018). Para Carvalho *et.al* (2013), em uma cidade resiliente a vulnerabilidade é menor e a capacidade de lidar com perturbações é maior.

Há um consenso entre as literaturas pesquisadas de que as cidades precisam se tornar mais resilientes para estarem preparadas para as consequências das mudanças climáticas e de que esse deve ser um esforço do governo para promover um ambiente urbano desenvolvido e sustentável (LEICHENKO, 2011). Portanto, para haver a construção ou a transformação de uma cidade em resiliente, torna-se necessário não somente alterações da infraestrutura para melhorar a capacidade de organização, mas também a reorganização dos sistemas sociais, econômicos e culturais (MADEIROS, GRIGIO e PESSOA, 2018). Percebe-se, então, o desafio dessas cidades, que enfrentam diversos problemas urbanos, mas que devem apoiar as políticas públicas, os processos decisórios e a organização para implantação de atividades de redução de riscos de desastres e de incremento de resiliência (ONU, 2012).

2.4.2 Métodos construtivos para proteção de edificações da inundação

O gerenciamento de risco aplicado aos desastres naturais assume que eles não podem ser evitados, mas reduzidos (REZENDE, 2018). Ou seja, é um processo de adaptação dinâmica, no qual se assume também o risco residual, que transcende a chuva de projeto determinada como referência. Sendo assim, é necessária a previsão de medidas de prevenção e redução de danos potenciais, através da redução da vulnerabilidade e de limitação da extensão dos prejuízos (REZENDE, 2018). Isso pode ser conseguido com ações no sistema urbano, procurando reduzir as inundações, ou nos elementos expostos, procurando reduzir a vulnerabilidade.

Neste contexto, adotar estratégias de gestão adaptativa na gestão de inundações pode oferecer vantagens no que diz respeito à tomada de decisão diante de incertezas. De acordo com Emami (2020), as estratégias de gestão de inundações adaptativas podem ser:

- Adaptabilidade (alteração de ameaça à oportunidade);
- Tomada de decisão flexível (para lidar com incertezas);
- Monitoramento e vigilância;
- Aprender ao fazer;
- Aplicação de novos conhecimentos e tecnologias;
- Evitar erros irreversíveis onerosos;
- Atualizar os objetivos;
- Conhecimento vasto sobre risco;
- Optar pela gestão de longo prazo à construção;
- Resiliência;
- Harmonizar com o meio ambiente;
- Gestão adaptativa passiva e ativa;
- Participação das partes interessadas;
- Reações em tempo real aprimoradas.

Uma gestão adaptativa, adotada como abordagem para o desenvolvimento da comunidade, permite aumentar a capacidade de adaptação, sem descartar soluções mais abrangentes futuramente (EMAMI, 2020).

Com a preocupação em como conviver com o aumento do nível do mar, consequência das mudanças climáticas, diversos países estão desenvolvendo estratégias de soluções adaptativas para a mitigação do risco a desastres de inundação. Segundo essas estratégias, dentre as diversas possibilidades de ações possíveis para a melhor convivência com as inundações, estão o zoneamento de inundações, o planejamento urbano sensível à água e até técnicas construtivas para uma edificação à prova de inundação (MIGUEZ, VERÓL e

REZENDE, 2016). A vulnerabilidade pode ser reduzida com métodos construtivos de defesa das pessoas e dos seus bens.

Entre os métodos mais recomendados para reduzir as perdas geradas pela inundação, em nível local, está a elevação da edificação ou a construção de componentes para reduzir a probabilidade de contato com águas de inundação (BIN, KRUSE e LANDRY, 2008; KREIBICH *et al.*, 2005; TAGGART e VAN DE LINDT, 2009). As técnicas construtivas para mitigação dos impactos causados pela inundação e transformação da edificação para torná-la mais resiliente e menos vulnerável a esse evento apresentam um leque de opções, cuja abrangência (não de forma exaustiva) é apresentada no Quadro 2.2

Quadro 2.2. Métodos construtivos para transformar a edificação em mais resiliente.

Medidas	Técnicas	Descrição
Estruturais	Pilotis	Construção da edificação elevada sob pilotis acima do nível da inundação.
	Válvula anti-retorno	As válvulas anti-retorno são instaladas no sistema de esgoto com o objetivo de impedir que os esgotos inundados retornem para as casas, minimizando a veiculação de doenças.
	Barreiras/ Paredes desmontáveis	Comportas móveis de materiais diversos com objetivo de proteger a entrada de água nos lotes e edificações.
	Cota de implantação da edificação	Definir uma cota de terreno para construção da edificação que dificulte a entrada da água dos logradouros públicos, além de facilitar o escoamento da água interna dos lotes.
	Materiais resistentes a água	Para evitar danos causados pelas inundações, os materiais utilizados nas construções devem ser duráveis e resistentes à umidade excessiva.
	Edificação flutuante	Elevação de edificações em períodos de inundação e retorno ao nível do terreno após o escoamento da vazão.

2.4.2.1 Edificações sobre pilotis

A construção da casa em palafitas afastará a casa do nível de inundação (CAUGHLLI, 2021). Para novas construções, isso pode ser feito projetando o edifício para que seu piso mais baixo esteja localizado no nível ou acima da inundação (SQUERCIATI, 2018). Para as estruturas existentes, há algumas maneiras diferentes de conseguir isso. Pode-se levantar fisicamente o edifício e construir um sistema de fundação elevado embaixo dele. Outra alternativa é abandonar um andar inferior, ou, em alguns casos, pode-se demolir completamente

o prédio e construir um novo edifício elevado, de acordo com códigos e padrões locais (SQUERCIATI, 2018).

2.4.2.2 Válvula anti-retorno

As válvulas anti-retorno de esgoto impedem que os sistemas de esgoto sanitário, ao serem inundados, retornem para as casas, como pode ser visto na Figura 2.7. Em certas áreas propensas a inundações, esse problema é comum e pode causar danos difíceis de reparar e perigosos para a saúde dos ocupantes (CAO; SOUZA, 2020). Geralmente, as válvulas de gaveta são preferidas às válvulas de aba porque fornecem uma melhor vedação contra a pressão de inundação.

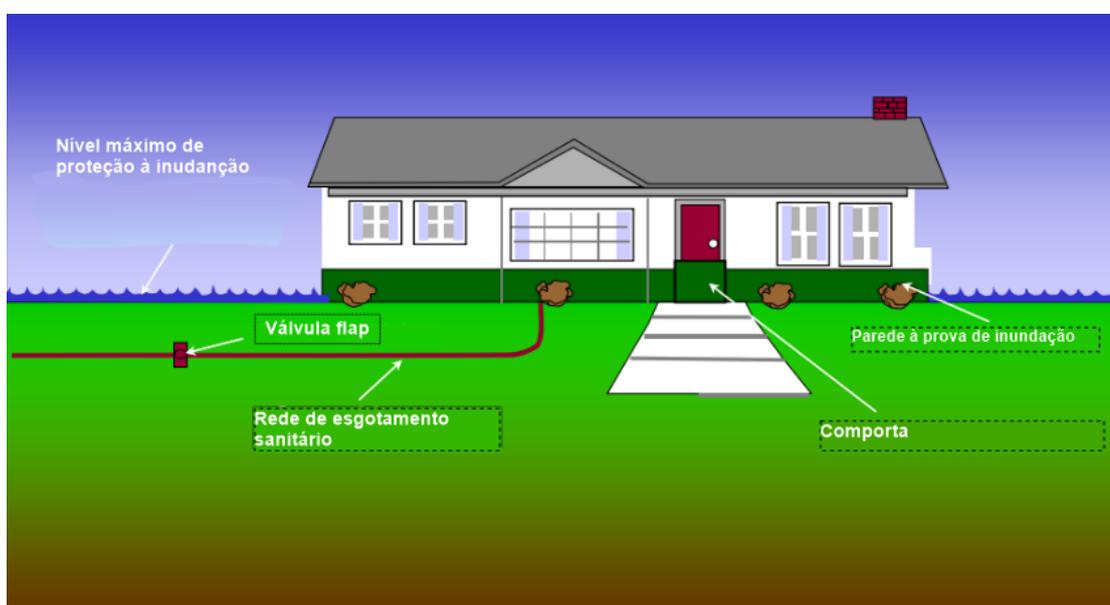


Figura 2.7 Métodos construtivos para proteger a casa da inundação.

Fonte: Us army corps of engineers, 2011

2.4.2.3 Barreiras móveis

Barreiras móveis são dispositivos removíveis que funcionam como uma comporta, que impede a entrada do volume de água para a área a ser protegida. Ela pode proteger um lote, mas também pode proteger uma região, como um bairro, ou loteamento. É utilizado material resistente a água e a vedação deve ser feita com bastante cuidado para que não haja vazamento, comprometendo a eficiência da ferramenta. A Figura 2.7 apresenta um exemplo de comporta utilizada numa casa.

2.4.2.4 Cota de implantação da edificação

Os mapas de inundação indicam o risco de inundação de uma região e suas estruturas relevantes, como pontes, barragens e diques. Através deles, é possível identificar o nível da lâmina d'água e o risco de inundação; dessa forma, é possível estabelecer um zoneamento ambiental e quais cotas e métodos construtivos poderão ser utilizados em cada zona. O zoneamento tem como base os aspectos físico-naturais da paisagem, com a finalidade de reduzir a vulnerabilidade e a exposição das construções e pessoas na bacia hidrográfica (NETO, 2014).

2.4.2.5 Materiais resistentes a água

Materiais resistentes a inundações são aqueles que podem ficar expostos a água por alguns dias sem sofrer danos. Para evitar esses danos, os materiais resistentes a inundações devem ser duráveis e resistentes à umidade excessiva (CAO; SOUZA, 2020). Os materiais adequados podem incluir concreto, tijolo vitrificado, isolamento de espuma e células fechadas, ferragens de aço, chapas de compensado tratadas com pressão de grau marinho, ladrilhos cerâmicos, adesivos resistentes à água, tinta epóxi, poliéster, entre muitos outros (CAO; SOUZA, 2020).

Cabe ressaltar, ainda, que as inundações podem ter lâminas d'água hidrostática e/ou hidrodinâmica o que, na maioria dos casos, poderá resultar em paredes de fundação deslocadas, estruturas colapsadas, geração de sedimentos, entre outros (CAO; SOUZA, 2020). Nesse caso, pode-se usar o termo "dano significativo", que se refere a qualquer dano que, para ser reparado, exija outras medidas (geralmente mais complexas) do que uma simples limpeza ou pintura.

2.4.2.6 Edificações à prova de inundações

Levando em consideração que as regiões ribeirinhas de países em desenvolvimento não são atrativas para o mercado imobiliário, devido à fragilidade ambiental que possuem, há a tendência de ocupação informal destas áreas pela população mais carente, sem o devido provimento de infraestrutura e com conseqüente exposição a riscos, como é possível observar em Guaratiba, local de estudo desse trabalho. Nesse contexto, surge como possibilidade complementar (e mais imediata) a utilização de medidas de proteção local, como por exemplo, a implantação de edificações a prova de inundações. Esta medida tem como objetivo minimizar danos e permitir a permanência das habitações em áreas inundáveis, quando já instaladas, ou o aproveitamento de áreas de menor risco, mas que podem eventualmente alagar, pela própria

fragilidade ambiental, por insuficiência de infraestrutura e/ou pelo aumento do nível do mar, causado pelas mudanças climáticas.

Para ilustrar, apresenta-se o exemplo de um projeto desenvolvido pela arquiteta Prithula Prosun, de uma edificação à prova de inundações de baixo custo, em Bangladesh intitulado “Lift House”. O imóvel é dividido em três partes, sendo duas móveis e uma central fixa (GLOBO, 2014). A parte fixa é construída de alvenaria de tijolo impermeabilizada, onde ficam os cômodos que possuem instalações hidrossanitárias, que não podem se movimentar (GLOBO, 2014). Já as partes móveis são de bambu e construídas sobre dois tanques, que têm estrutura de cimento e funcionam como fundação da casa (GLOBO, 2014). Dentro dos tanques, ficam colchões de garrafas “pet” reutilizadas. Quando chove e ocorre a inundação do terreno, a água enche os colchões, que flutuam no período de cheia, e, após passar o evento, a casa retorna à seu nível de implantação (GLOBO, 2014). A Figura 2.8 apresenta uma fotografia dessa casa.



Figura 2.8 - *Lift House*, edificação à prova de inundação em Bangladesh.

Fonte: O Globo, 2014.

Outro exemplo interessante está no Reino Unido, mais especificamente em Londres, onde o governo autorizou a construção de uma “casa anfíbia” a 10 metros da margem do Rio Tâmisa. De acordo com o arquiteto responsável, a casa ficará apoiada entre quatro "golfinhos", ou postes verticais permanentes, que mantêm a construção flutuante no lugar durante uma enchente (G1.COM, 2012). Estes postes, normalmente encontrados em marinas, foram integrados ao projeto da residência e são visíveis do lado de fora (G1.COM, 2012). Construída

de madeira leve, a parte habitável da casa é isolada e apoiada em uma cobertura de concreto, criando uma plataforma flutuante, como pode ser visto na Figura 2.9 (G1.COM, 2012).

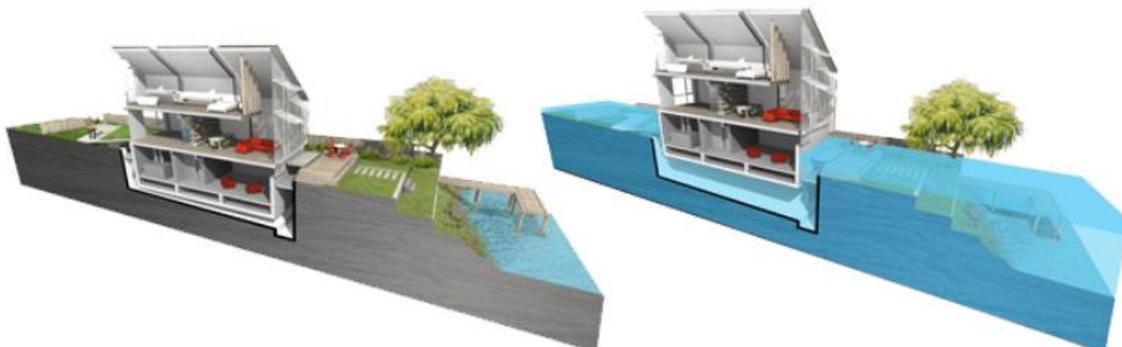


Figura 2.9 - Edificação anfíbia britânica.

Fonte: G1.com, 2012.

2.5. ANÁLISE DE RISCO

De acordo com CETESB (2003), a análise de risco consiste em uma atividade que tem como objetivo realizar uma estimativa, de forma qualitativa ou quantitativa, do perigo envolvido em um evento. Para isso, é adotada uma metodologia estruturada que leva em consideração a probabilidade de ocorrência e as consequências de um evento perigoso.

Para gerenciar o risco, Zonensein (2007) acredita ser necessário a avaliação do mesmo adotando critérios de tolerância, estabelecidos previamente, sendo essa definição uma questão de responsabilidade do tomador de decisão. Ela define uma escala de aceitabilidade do risco dividida em três níveis, sendo eles:

- um nível superior, acima do qual o risco é considerado inaceitável;
- um nível inferior, abaixo do qual o risco é aceitável; e
- uma região intermediária, onde é necessário a redução do risco, de forma a alcançar níveis “tão baixos quanto razoavelmente praticável” (*ALARP: “as low as reasonably practicable”*).

Além da definição das três escalas de nível definidas por Zonensein (2007), ela ilustrou esta estrutura conforme pode ser visto na Figura 2.10.

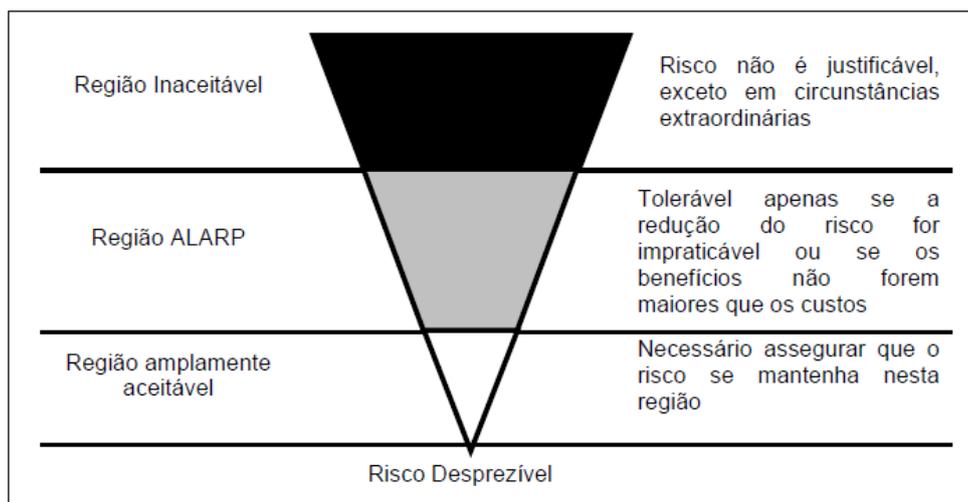


Figura 2.10 Estrutura de nível de aceitação do risco.
Fonte: Zonensein (2007).

Para avaliar o nível de risco, pode ser utilizada a análise custo-benefício ou a análise multicritério, as quais serão descritas resumidamente a seguir.

2.5.1 Análise custo-benefício

A análise de custo-benefício (ACB) é uma técnica econômica que tem como finalidade auxiliar no processo de tomada de decisão, proporcionando um maior embasamento racional e padronizado. Essa metodologia permite que todos os custos e benefícios relacionados à decisão sejam expressos em termos monetários, a fim de serem quantificados para uma análise posterior (ZONENSEIN, 2007).

A ACB funciona a partir do cálculo de uma variação compensatória, estimado de acordo com as preferências das pessoas afetadas (positiva ou negativamente), equivalente a um montante necessário para que assuma uma posição melhor do que a usufruída no status anterior. Caso a soma seja positiva, a decisão é aprovada; caso contrário, ela é rejeitada (CARVALHO 2021 *apud* ADLER e POSNER 2007).

A maior crítica a este método se relaciona às questões financeiras, já que essa análise agrega todos os fatores que contribuem para o risco em um único valor monetário, impossibilitando a associação de importância relativa aos fatores que contribuem ao risco (GOULDBY e SAMUELS, 2005). Já a análise multicritério permite realizar diversas combinações dos fatores que compõem o risco de acordo com a situação a ser analisada e do interesse do tomador de decisão, sem a necessidade de envolver questões monetárias no resultado (ZONENSEIN, 2007). Por isso, esta abordagem é mais apropriada para o risco de

inundações, já que envolve questões sociais e afetivas não mensuráveis e será explicada em maiores detalhes a seguir.

2.5.1 Análise multicritério

A análise multicritério é uma técnica de avaliação que passou a ser utilizada nos anos 1970 como crítica à visão tradicional da economia neoclássica aplicada ao meio ambiente. Com o desenvolvimento do Sistema de Informações Geográficas (SIG), esta metodologia passou a ser aplicada com frequência para resolver problemas territoriais ou ambientais (TRIGAL *et al.*, 2015).

Essa análise corresponde ao conjunto de técnicas de orientação, no processo de tomada de decisão, onde é necessário dar valor a alternativas variáveis, a partir de multicritérios, ou quando existe mais de um objetivo de natureza diversificada (econômico, ambiental ou social) e que, geralmente, estão em conflito (TRIGAL *et al.*, 2015).

Assim como a análise custo-benefício, esta técnica também exige uma visão holística do problema. Com a possibilidade de definir diferentes pesos para os fatores, é possível realizar análises qualitativas e quantitativas, conforme o interesse do tomador de decisão, além de dar a percepção de diferentes lados do problema (ZONSEIN, 2007).

Este método vem sendo bastante utilizado, nas últimas três décadas, na gestão de recursos hídricos, já que o estudo sobre bacias hidrográficas, envolve questões ambientais, sociais, econômicas e políticas. Essas questões necessitam não somente de medidas estruturais, como implementação de sistema de controle de cheias, mas também de medidas não estruturais, como a gestão do uso do solo, controle de adensamento da bacia, aumento da percepção e preparo do risco, entre outras.

2.5.1.1 Conceitos básicos e etapas de implementação

Em sua pesquisa, Zonensein (2007), observou que a literatura existente diverge bastante sobre os conceitos de termos relacionados às metodologias multicritério. Por isso, ela definiu alguns termos, baseado em alguns autores, para facilitar a leitura do trabalho. Tais termos e suas definições são apresentados a seguir, utilizando o trabalho de Zonensein (2007) como base.

- **Objetivo:** é onde ou o que o decisor que alcançar.
- **Alternativas:** são meios de atingir o(s) objetivo(s), às quais estão associados atributos, que permitem compará-las.

- Atributos: referem-se às características, fatores e desempenho de uma alternativa, em um processo de decisão (DE PESSÔA, 2005). É a partir deles que é possível realizar avaliações e análises no nível mensurável.
- Critérios: podem representar tanto um atributo como um objetivo. Por esse motivo intitula-se “decisão multicritério” os processos que possuem dois objetivos conflitantes ou um objetivo e um critério (DE PESSÔA, 2005).
- Pesos: são valores quantitativos que permitem dar prioridade aos critérios e, assim, obter diversos cenários de uma mesma situação, de acordo com a necessidade do decisor (DE PESSÔA, 2005).
- Atores: um indivíduo (ou um grupo de indivíduos) que influencia direta ou indiretamente o processo decisório (MALTA, 2006). Alguns exemplos de atores são: decisores, analistas, mediadores e grupos de pressão.
- Matriz de Avaliação (*Payoff*): matriz cujas linhas e colunas representam respectivamente os atributos e as alternativas do processo de tomada de decisão (MALTA, 2006).

Com sua matriz totalmente preenchida, e adotados os pesos escolhidos para cada atributo, de acordo com a demanda do decisor, a análise multicritério poderá ser aplicada.

Esse método adota um modelo racional de tomada de decisão que possui a seguinte estrutura, de acordo com Trigo *et al* (2015): identificação do problema, definição dos objetivos, busca por alternativas, seleção de critérios de avaliação, avaliação das alternativas, seleção das alternativas e realização da análise de sensibilidade. Para a eficácia do método, é de extrema importância a participação e a supervisão do tomador de decisão em todas as etapas. Além disso, cabe ressaltar que é importante que todos os fatores e atributos que envolvem o assunto a ser analisado estejam calculados por completo para que não comprometam as alternativas de análise dos critérios adotados.

Além do exposto anteriormente, Zonensein (2007) destaca que, ao incluir novas alternativas, será necessária uma reavaliação dos critérios. A escala de valores adotados para o preenchimento da matriz de avaliação não necessariamente estará de acordo com os valores reais dos atributos, pois será necessária uma normalização para padronizar os valores de todos os fatores, e atributos que estarão inclusos na análise. Além disso, é importante lembrar, também, que é possível utilizar um método multicritério à parte para a definição dos pesos. Por

fim, a análise de sensibilidade é especialmente importante em relação aos pesos, pois refletirá a robustez do método diante da mudança de preferência do decisor. Em alguns casos, o valor final agregado pode constituir um índice.

2.6. ÍNDICES

Índices são estruturas integradoras, compostas por indicadores parciais, com objetivo de agregar informações diversas, de distintas origens, com escalas e unidades também diferentes – e esse é, provavelmente, o seu maior mérito, uma vez que costumam funcionar como meio de se obter uma imagem geral preliminar e rápida sobre um dado processo, internalizando a diversidade envolvida, de forma consistente com a realidade (embora não detalhada/completa), normalmente com finalidade de planejar os próximos passos e orientar/hierarquizar estudos mais específicos e detalhados. Dessa forma, eles podem desempenhar funções diversas, tais como avaliar condições existentes; comparar lugares, situações ou alternativas: proporcionar antecedência ao advertir sobre algum efeito ou impacto de uma ação; prever futuras condições e tendências (DE BONIS, 2006). Por isso, índices constituem uma ferramenta essencial de suporte à decisão, especialmente no contexto da análise multicritério.

Os indicadores, por sua vez, consistem em um conjunto de dados capazes de resumir as características de um determinado sistema, mesmo sem representar o todo. Indicadores têm que ser representativos daquilo que se pretende indicar, ainda que não sejam responsáveis por uma descrição completa do objeto em estudo. Quando eles são agregados, podem resultar em indicadores compostos e, em última análise, em índices (SAISANA e TARANTOLA, 2002). A construção de um índice, de forma geral, consiste na congregação de vários indicadores e compreende 7 etapas.

A primeira etapa passa pela definição clara do que deve ser “medido” pelo índice, para que os resultados desse índice que será construído possam fornecer uma compreensão adequada do fenômeno, conforme necessidade do estudo (NARDO *et al.*, 2008). Em seguida, devem ser escolhidos, com muita atenção, os indicadores a serem utilizados para medir o fenômeno (NARDO *et al.*, 2008). Na terceira etapa, as relações entre os indicadores selecionados são identificadas. Indicadores com características semelhantes podem ser agrupados (e alguns podem ser descartados, para evitar duplicidade de indicação), com o objetivo de reduzir o número de variáveis (NARDO *et al.*, 2008). Depois de selecionados e interrelacionados, os indicadores precisarão ser normalizados para ficarem em uma escala comum a todos os envolvidos (NARDO *et al.*, 2008). O quinto passo compreende a ponderação e a agregação dos

indicadores. Pesos podem ser atribuídos aos indicadores, para distinguir sua importância em relação ao fenômeno estudado (MOREIRA, DE BRITO e KOBAYAMA, 2021). O sexto passo consiste em análises de sensibilidade e incerteza, onde o primeiro avalia a contribuição da incerteza-fonte de cada indicador para a variação dos resultados, enquanto o último se concentra em como a incerteza de cada indicador se propaga através da estrutura do índice e afeta a saída (MOREIRA, DE BRITO e KOBAYAMA, 2021). Nessa etapa, pode ser necessário rever a escolha de indicadores, uma vez que alguns podem se mostrar inadequados ou sem sensibilidade para medir o fenômeno ao qual foi relacionado. A etapa final compreende a validação dos resultados do índice - isso é crucial para verificar se eles são consistentes com o sistema real e se possuem uma faixa de precisão satisfatória, quando comparados a um caso conhecido.

Segundo DE BONIS (2006) e OLAVE (2003), os atributos que devem ser avaliados durante a escolha dos indicadores são descritos a seguir:

- Validade: se efetivamente mede aquilo que pretende.
- Confiabilidade: se sua medição repetida em condições similares reproduz os mesmos resultados.
- Clareza: se tem significado claro para seus usuários;
- Especificidade: se mede somente o fenômeno de interesse. Note-se aqui que um indicador poderia ser usado em mais de uma indicação e isso pode ser crítico, se não adequadamente considerado. Por exemplo, renda pode ser relacionada a prejuízos ou capacidade de recuperação, em caso de inundações. Nessa discussão, então, baixa renda poderia representar baixos prejuízos (com conotação positiva), mas também poderia se relacionar com incapacidade de recuperação (com conotação negativa) – a dupla representação introduz um erro no índice, se ambas as situações forem consideradas, com tendência de levar resultados para uma faixa central, configurando uma espécie de zona cinza.
- Sensibilidade: se pode medir as mudanças no fenômeno de interesse.
- Mensurabilidade: se é baseado em dados disponíveis ou fáceis de se obter.
- Custo-benefício: se justifica os investimentos de tempo e recursos para seu uso. De forma geral, quanto mais simples e de mais fácil obtenção é um indicador, melhor é este indicador. A tarefa mais difícil, neste caso, é compor um índice com indicadores simples, mas ainda representativos daquilo que se quer medir.

Zonensein (2007) destaca a importância de se observar, na escolha dos indicadores, a influência das propriedades do índice (domínio, formulação e escala). Ou seja, é necessário que os indicadores estejam definidos e detalhados em escalas espaciais iguais; caso contrário, será necessário um trabalho de compatibilidade de espacialização prévia. Nesse caso, ao se adotar, como referência, a maior escala (mais precisa) dentre os indicadores será necessário inferir informações que não serão espacialmente precisas para os indicadores representados menos detalhadamente. Por outro lado, ao se adotar a padronização pela menor escala (menos precisa), a informação pode ser agregada, resultando em uma estimativa média razoavelmente aceitável para a unidade espacial de avaliação, mas que perde detalhamento.

Além do domínio, Zonensein (2007) lembra sobre a importância da escala na formulação dos indicadores, que também pode afetar diretamente o índice. Em caso de escalas e unidades diferentes para os diversos indicadores, é necessário que eles sejam normalizados, convertidos a uma escala comum, para que possam ser operados, segundo a formulação. A amplitude da escala, após o cálculo, não deve extrapolar a escala do índice. Além disso, deve-se cuidar para que a escala seja representativa e não favoreça a concentração de resultados em uma faixa limitada.

Existem diversas metodologias de normalização e Zonensein (2007) descreve algumas em sua dissertação. Nesse trabalho será utilizada, basicamente, a normalização linear por distância.

O uso de relações lineares costuma ser a primeira opção de normalização. Para essa normalização, primeiramente, definem-se os valores das extremidades da escala, ou seja, os valores mais e menos favoráveis que o indicador pode assumir, ressaltando que não necessariamente esses valores são os máximos e mínimos observados do indicador local. Podem ser adotadas referências desejáveis como mais favoráveis e referências críticas como mais desfavoráveis, sendo estas, eventualmente, referidas à literatura, regiões maiores, benchmarks, etc. Assume-se que, entre estes valores extremos, a variação é linear. Calcula-se, então, o quão distante o valor atual está do valor ótimo, segundo a Eq 1. (ZONSEIN, 2007):

$$Z' = \frac{Z_+ - Z_{atual}}{Z_+ - Z_-} \text{ ou } Z' = \frac{Z_+ - Z_{atual}}{Z_+ - Z_-} \times A \quad (1)$$

Onde:

Z' - Novo valor atribuído ao indicador após a conversão.

Z_+ - Valor mais favorável que o indicador pode assumir.

Z_- - Valor menos favorável que o indicador pode assumir.

$-Z_{atual}$ - Valor atual do indicador.

A - Amplitude da escala associada (se desejado). Neste caso, esta amplitude é ajustada, multiplicando-se a equação por A , para que o valor do indicador varie entre zero e A .

Para o desenvolvimento do índice, objeto desse trabalho, foram identificados estudos que aplicassem outros índices que, de algum modo, verificassem a resiliência à inundações em edificações. A seguir apresenta-se uma descrição sucinta dessas ferramentas.

O índice BRIC (da sigla em inglês - *Baseline Resilience Indicators for Communities* - Indicadores de Resiliência de Referência para Comunidades) foi a primeira iniciativa de construção de indicadores replicáveis e consistentes para mensuração e acompanhamento da resiliência comunitária aos desastres (CICCOTTI et al., 2020). Foram consideradas as seis dimensões adotadas por CUTTER et al. (2008): social, econômica, ambiental, capital social, infraestrutura e institucional, oriundas da resiliência inerente do modelo do DROPS - *Disaster Resilience of Place* (Resiliência a Desastres do Local, em português).

Davoudi, Brooks e Mehmood (2013) mencionam o termo “resiliência evolutiva”, onde identificam a necessidade de equilíbrios múltiplos entre a sociedade e o sistema ecológico. Eles sugerem, como parâmetros de um sistema mais ou menos resiliente, as capacidades de persistência, adaptabilidade, transformabilidade e preparação.

Uma evolução dos estudos de Davoudi, Brooks e Mehmood (2013) visa examinar a aplicabilidade da abordagem de resiliência evolutiva e desenvolver uma estrutura alternativa que possa ser usada no setor habitacional (BIGOLIN; CAVALLI; SILVA FILHO, 2020). O artigo apresentou uma discussão, aplicando a abordagem da resiliência evolutiva com quatro habilidades: Permanência, Adaptabilidade, Reconfigurabilidade e Aprendizagem. As habilidades foram discutidas em entrevistas, com objetivo de entender como a habitação poderia responder a cada uma delas (BIGOLIN; CAVALLI; SILVA FILHO, 2020).

O Índice de Resiliência a Inundações (IRES) propõe medir a resiliência à inundação na escala do território urbano da cidade a partir de uma análise multicritério em uma escala de 0 a 1, onde são levados em consideração fatores de risco conjugados com a vulnerabilidade e o perigo. Com isso, o índice congrega indicadores referentes às características de inundação, vulnerabilidade, valor relativo e exposição (BATTEMARCO; SOUSA; MIGUEZ, 2018).

Os índices encontrados na pesquisa bibliográfica possuem foco, majoritariamente na resiliência urbana à inundação, que considera as áreas habitadas, mas não considera a edificação em si. Além dos índices mencionados anteriormente, é válido mencionar que foram encontrados diversos trabalhos com a proposição de índices de resiliência às mudanças climáticas para edificação, onde o foco era tornar a edificação mais resiliente ao conforto térmico, não atendendo aos interesses específicos desse trabalho.

3. METODOLOGIA

Esta dissertação adotou a comunidade de Jardim Maravilha como caso de investigação para a metodologia que será proposta. Nesse contexto, com o objetivo de minimizar danos e permitir a permanência das habitações em áreas inundáveis, quando já instaladas, ou o aproveitamento de áreas de menor risco, mas que podem eventualmente alagar, pela própria fragilidade ambiental ou por insuficiência de infraestrutura, esse trabalho prevê o desenvolvimento de um índice para medir o alcance de diferentes soluções de projeto em nível local, de lote, e métodos de construção para minimizar o impacto de inundações na edificação.

O conceito de projeto à prova de inundações aplicado a edificações prevê soluções construtivas de retenção para a rede hidrossanitária do imóvel, técnicas de infraestrutura verde para acomodação dos escoamentos nas áreas internas do lote e atuação na legislação edilícia, estabelecendo cotas de segurança para o piso da edificação, taxa de aproveitamento máximo do terreno ou medidas protetivas locais, que isolam o lote, de forma a evitar o efeito negativo de uma inundação sobre a edificação, isolando-a do contato com a inundação, que permanece, então, no ambiente urbano, mas não acessa a área interna das edificações.

Para mensurar o nível de resiliência das edificações em uma área alagada, está sendo proposto um índice multicritério, que visa agregar em um único número, de caráter integrador, os efeitos de uma série de indicadores que afetam o processo em questão. Nesse sentido, a composição final do índice deve ser capaz de considerar a resistência da edificação ao dano, conforme seu grau de exposição no lote, bem como avaliar a possibilidade de efeitos negativos que podem estar associados à duração do evento, que representa a resistência do indivíduo em se manter isolado em sua edificação, sem necessitar de apoio externo. Assim, a formulação deste índice será apresentada em sequência, buscando representar aspectos da criticidade da inundação urbana (externa), exposição direta da edificação, qualificação da vizinhança e capacidade de recuperação material, considerados como elementos relevantes na discussão da resiliência. É importante destacar, conforme definido por Tironi (1991), que um indicador deve

atender aos seguintes requisitos: simplicidade, baixo custo, seletividade, representatividade, rastreabilidade, facilidade na obtenção e estabilidade, o que se tentará seguir neste trabalho.

Para fins de teste e validação do índice proposto, bem como verificação de seu potencial de uso no suporte à gestão habitacional e redução do risco de inundações, sua aplicação pode ser avaliada em diferentes cenários, conforme descrito a seguir:

- O Cenário 1 prevê a ocupação real de uma determinada área sujeita a inundação, ou pode projetar o crescimento urbano da área em um dado horizonte de planejamento, considerando a evolução tradicional da urbanização, como de costume, o que dá uma ideia do problema de inundação no presente ou em um futuro tendencial, para o tempo de recorrência (TR) de 25 anos, tomado como referência de projeto para macrodrenagem, e considerando as dificuldades históricas de controle de ocupação do solo, o déficit habitacional e o padrão atual de desenvolvimento. Esse cenário serve de base de comparação com os demais.
- O Cenário 2 considera a adoção de soluções de projeto habitacional e métodos construtivos alternativos, para tornar a edificação a prova de inundações, também considerando o TR de 25 anos.

Seguindo o método de avaliação de desempenho de Sink e Tuttle (1993), a efetividade de uma medição pode ser avaliada através de informações que produzem: visibilidade, controle e melhoria. As medições de visibilidade produzem o diagnóstico, indicando as necessidades de mudança; as medições de controle, por sua vez, são utilizadas de forma comparativa com um padrão estabelecido; já a medição de melhoria é utilizada para a comparação da implantação de uma melhoria em relação a uma meta previamente estabelecida. Essa lógica permeia o uso dos cenários propostos, no que se refere à avaliação do índice.

Nesta dissertação, apenas dois cenários serão considerados, uma vez que a proposta de medidas de controle de inundações na escala urbana não é objeto deste estudo. Neste sentido, a validação do índice proposto se fará a partir da observação da sua aplicação à situação atual do Jardim Maravilha, em Guaratiba, e considerando a aplicação de medidas hipotéticas na escala do lote, para adaptar o estoque habitacional existente para uma situação mais resiliente.

Como complemento desta metodologia, é importante destacar o uso de ferramentas de georreferenciamento e sistemas de apoio a desenho computacional de projeto, bem como de um modelo hidrodinâmico para mapeamento de inundações, como dado de entrada do perigo a que estará submetido o caso de estudo. O programa de modelagem de cheias urbanas utilizado é o MODCEL (MIGUEZ et al., 2017), que fará o mapeamento de inundações na região de

intervenção, juntamente com o uso de sistemas de georreferenciamento e de CAD, para auxiliar na análise espacial dos indicadores e subíndices, além da confecção dos mapas presentes nesse trabalho. De forma específica, serão utilizados os *softwares* ArcGis Pro 3.1 e AutoCad 2023, cujas licenças de uso foram cedidas pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

Os procedimentos propostos serão aplicados a uma parte da bacia hidrográfica do Rio Piraquê-Cabuçu, mais especificamente no trecho onde está localizado o loteamento Jardim Maravilha, em Guaratiba, bairro da Área de Planejamento 5 da cidade do Rio de Janeiro, que tem fragilidades sociais e inúmeros registros de inundações significativas e prolongadas.

Inicialmente, foi realizado um diagnóstico qualitativo do local, para o qual foram levantados dados sobre os alagamentos frequentes e confirmada uma demora significativa para baixar o nível d'água após os eventos de chuva. Adicionalmente, foram pesquisados dados históricos, de cadastro e de projetos em instituições públicas do município do Rio de Janeiro, como a Fundação Rio Águas e a Secretaria Municipal de Urbanismo. Além disso, foram realizadas visitas de campo, para registros fotográficos, entendimento do cenário atual e observação dos moradores. Também foram levantados registros de jornal e de eventos efetivamente medidos. A utilização da ferramenta de modelagem matemática hidrodinâmica completará o diagnóstico, com características quantitativas, mapeando as inundações locais para eventos de referência e de projeto.

3.1. MODCEL

Nessa dissertação foi utilizado o modelo matemático hidrodinâmico MODCEL – Modelo de Células de Escoamento em Bacia Urbanas - para elaboração dos mapas de cheias do diagnóstico e para comparação entre a situação atual e a futura, considerando medidas de proteção para as edificações. Esse modelo foi criado para simulação de cheias em bacias urbanas. Nestas situações, o escoamento da água pela área urbana passa a sofrer influência de elementos da paisagem urbana, definindo padrões diversificados (ZONENSEIN, 2007).

De maneira sucinta, Miguez (2001) descreve o MODCEL como sendo:

um modelo de células urbanas, que integra processos hidrológicos, observados em cada célula, a um modelo hidrodinâmico em *loop*, em uma representação espacial que interliga os escoamentos que ocorrem nas superfícies, em canais e em galerias subterrâneas. Por exemplo, ruas podem agir como canais, calçadas como vertedores, edificações, estacionamentos e quadras podem funcionar como reservatórios de acumulação.

Esse modelo parte do princípio que a bacia hidrográfica pode ser dividida em pequenos compartimentos interligados de maneira bidimensional. A esses compartimentos é dado o nome

de células. As células são divididas de acordo com a forma do terreno e a presença de obstáculos, sendo conectadas por equações hidráulicas unidimensionais definidas de acordo com a identificação funcional das estruturas formadas pelo padrão topográfico e de urbanização da região. Entre estas equações, podem ser citadas a equação dinâmica de Saint-Venant, as equações clássicas de vertedor e de orifício, entre outras (REZENDE, 2018).

A modelagem de células possui etapas definidas com objetivo de produzir um modelo interpretativo do território (REZENDE, 2018). A primeira etapa é iniciada a partir da análise da região, a qual se dá por levantamentos planialtimétricos, imagens de satélite e visitas a campo. Através dessa avaliação, é possível estabelecer a forma, o tamanho e o centro de escoamento de cada célula, montar uma rede espacial de escoamentos e definir o tipo de ligação entre células (REZENDE, 2018). Após a divisão em células, a próxima etapa se refere à construção de um esquema topológico das mesmas, cobrindo a área de estudo, o que representará a articulação das células e as interações entre elas, podendo cada uma delas interagir com outra de seu próprio grupo, de um grupo anterior ou um grupo posterior (REZENDE, 2018), permitindo a resolução do sistema global pelo agrupamento em submatrizes. Na Figura 3.1 são apresentadas as etapas da modelagem hipotética de uma área, desde a etapa de estudo da topografia até a divisão em grupos de células.

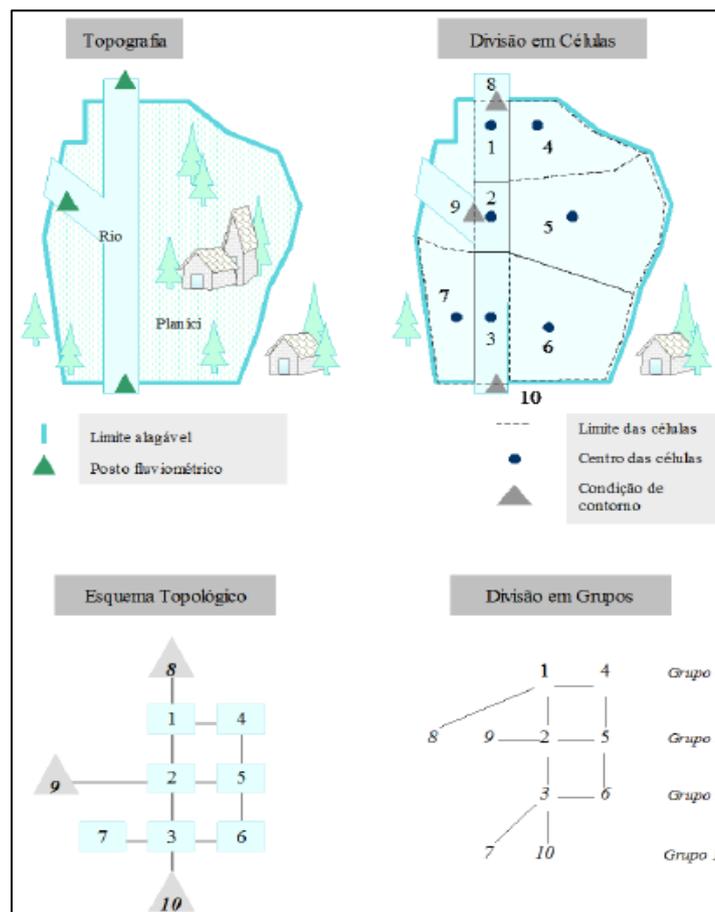


Figura 3.1. Etapas de modelagem de uma região hipotética.
Fonte: (MIGUEZ, 2001)

É importante que, antes da divisão das células, seja realizada uma análise física da região a ser modelada, identificando os caminhos de escoamento, as condições gerais da bacia, quanto ao tipo de solo, as estruturas hidráulicas existentes e quais respostas necessárias em relação à níveis, vazões e velocidades são esperadas com o modelo desenvolvido (SOUSA, 2017).

3.2. SIG

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma poderosa ferramenta na gestão e geração de informações espaciais (RIBEIRO, 2018). Ele possui, tanto como matéria-prima quanto como produto final, mapas e dados geoespacializados. Para uma melhor compreensão das potencialidades do SIG é necessário o conhecimento de alguns conceitos básicos da cartografia (ZONENSEIN, 2007).

Longley (2011) listou seis principais elementos que compõem o Sistema de Informação Geográfica, a saber:

1. Rede: para comunicação rápida e/ou compartilhamento de informação digital;
2. *Hardware*: a máquina que integra o SIG e o usuário (pode ser um computador de mesa, um laptop, um celular, um tablet, ou qualquer outro dispositivo do tipo);
3. *Software*: o programa ou pacote de serviços instalado no dispositivo do usuário e que permite a manipulação da informação;
4. Banco de dados: conjunto de informações espaciais construído para determinado fim;
5. Gerenciamento: procedimentos que garantam que o SIG atinja seus objetivos iniciais mantendo a alta qualidade dos resultados;
6. Pessoas: o SIG necessita de alguém para o conceber, programar, alimentar de dados e interpretar as informações geradas pelo sistema.

Em um modelo SIG existem três possibilidades de representação gráfica: ponto, linha e polígono, onde cada uma carrega informações de localização espacial, além de outras informações definidas na tabela de atributo de cada feição (RIGAUX, SCHOLL e VOISARD, 2001). A esse tipo de representação chama-se vetorial, porém existe a representação matricial, que corresponde a uma estrutura de grade de células de tamanho fixo, denominada pixel (RIGAUX, SCHOLL e VOISARD, 2001); a Figura 3.2 apresenta essas possibilidades.

Sendo assim, as informações disponíveis na forma de dados geográficos digitais são organizadas e representadas por uma camada (*layer*), a qual possui informações espaciais e de atributos. Assim, o usuário poderá realizar diversas análises e desenvolver mapas de acordo com a demanda do gestor, sobrepondo diferentes alternativas de combinações de camada (MAANTAY; ZIEGLER, 2006), assessorando também análises multicritérios.

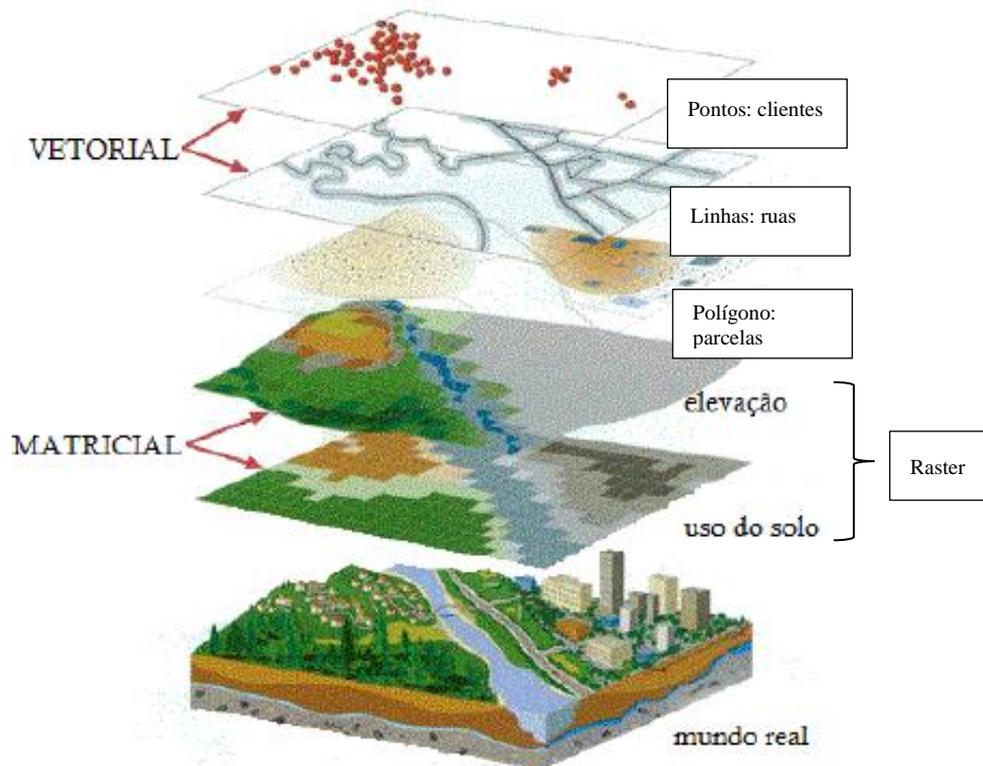


Figura 3.2. As representações possíveis em um SIG.
 Fonte: Adaptado de (TERC, 2017).

3.3. ÍNDICE DE RESILIÊNCIA À INUNDAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES - IRIE

Este trabalho, em particular, tem o objetivo de propor o Índice de Resiliência à Inundação para Edificações - IRIE, utilizando indicadores que dependem de características de defesa individual da edificação, de valores de benfeitorias, do nível da lâmina de inundação e de informações socioeconômicas, conforme formulação geral mostrada na equação eq. 2. O IRIE é um índice quantitativo, multicritério e que varia de 0 a 1, sendo necessária a normalização e a conversão dos seus indicadores nesta escala padronizada.

$$IRIE = a \cdot (1 - Si_R) + b \cdot (1 - Si_D) \quad \text{eq. 2}$$

Onde:

Si_R – Subíndice de risco à resistência, representando a resistência ao dano, conforme o grau de exposição da edificação existente no lote;

Si_D – Subíndice de risco associado à duração do evento, que representa a capacidade do indivíduo em se manter isolado em sua edificação, sem necessitar de apoio externo; e

a e b – São pesos dados para cada subíndice.

Como o IRIE pretende mostrar o lado positivo da residência da edificação, no contexto da análise do risco, os subíndices Si_R e Si_D entram na fórmula com os seus complementos, ou seja, ao fazer $(1 - Si_R)$ e $(1 - Si_D)$ toma-se o valor complementar dos riscos associados para fins de cômputo da resiliência.

O Si_R está relacionado com a exposição, com o grau de dano associado a uma lâmina de inundação e com a capacidade de recuperação material do dano. Sua formulação será dada pela equação eq. 3:

$$Si_R = I_e^{n1} \cdot I_H^{n2} \cdot I_M^{n3} \quad \text{eq. 3}$$

Onde;

I_e - Indicador de exposição da edificação;

I_H - Indicador de criticidade da inundação;

I_M - Indicador de dificuldade de recuperação material;

$n1, n2$ e $n3$ - são pesos associados a cada parcela.

Dessa forma, computa-se o perigo para a edificação pelo valor da lâmina de alagamento, a exposição (com a vulnerabilidade associada, uma vez que os diferentes valores da lâmina de alagamento já trazem uma criticidade de dano associada) e a resiliência, pela capacidade de recuperação, dentro desta parcela.

O gabarito do imóvel no terreno é usado como medida da exposição - quanto menor o número de andares da edificação, maior a dificuldade de proteger seus bens materiais. Por exemplo: duas residências expostas à mesma lâmina d'água podem ter níveis de resiliência diferentes, pois a que possui mais de um andar permite que os moradores e parte de seus bens materiais possam ficar protegidos no andar de cima, enquanto que a tipologia de apenas um pavimento, com mesma área construída, terá sua exposição aumentada. Assim, a parcela da edificação exposta I_e representa a ocupação da edificação no nível térreo e é calculada pela equação eq. 4:

$$I_e = \frac{1}{G} \quad \text{eq. 4}$$

Onde:

G - número de pavimentos da edificação existente em cada lote;

O indicador de criticidade da inundação, I_H , refere-se ao potencial de dano causado pela inundação dentro da edificação e pode ser afetado por medidas de proteção no nível do lote. Assim, o perigo (associado à inundação) e suas consequências esperadas são aqui representados, para combinação com a exposição. Assim, o I_H será função da lâmina de alagamento h e do nível de proteção que estabelece um patamar de defesa D , que seria o limite de proteção do lote contra este alagamento. A lâmina de alagamento, h , é medida em relação à cota da rua, em frente ao lote. Já o valor de defesa individual do lote, D , se refere ao nível de proteção da edificação, podendo ser dado pela altura da sua soleira, ou de muros-dique e comportas em torno do lote (no lugar de muros tradicionais e portões), etc. O tipo de proteção estabelece o que ocorre após o limite de proteção ser atingido. Assim, se estabelecida uma cota de soleira mais alta (usando aterro, ou pilotis, sem ocupação do térreo), a falha leva a um incremento gradual do efeito do alagamento, na medida em que a cota do nível d'água vai se elevando. Se a proteção é um muro com comporta, quando este patamar é superado, perde-se a proteção interna da edificação por completo, uma vez que esta será alagada como se não houvesse proteção, pois o vertimento para dentro do lote vai nivelar seu alagamento com a cota externa.

A normalização para a parcela I_H como função de $(h - D)$ é apresentada na Tabela 3.1, com o valor normalizado representando uma percentagem de dano ao conteúdo da edificação.

Tabela 3.1. Normalização do indicador de criticidade da inundação.

Altura de alagamento dentro da edificação – soleira alta $(h - D)$	Altura de alagamento dentro da edificação – muro ou similar $(h, se h > D)$	Valor de I_H
$\geq 1,00\text{m}$	$\geq 1,00\text{m}$	1,00
$1,00 > (h - D) \geq 0,50$	$1,00 > (h) \geq 0,50$	0,90
$0,50 > (h - D) \geq 0,30$	$0,50 > (h) \geq 0,30$	0,70
$0,30 > (h - D) \geq 0,15$	$0,30 > (h) \geq 0,15$	0,50
$0,15 > (h - D) \geq 0,05$	$0,15 > (h) \geq 0,05$	0,30
$0,05 > (h - D) \geq 0,00$	$0,05 > (h) \geq 0,00$	0,10

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O indicador de criticidade de inundação, I_H , considera o valor de 1,00m como dano potencial máximo, representativo de dano muito significativo para um bem móvel, levando em

consideração os itens afetados com essa altura de lâmina d'água. Em seu extremo inferior, considera-se que alagamentos inferiores a 0,05m possuem potencial de dano mínimo (mas não zero). Os valores da Tabela 1 podem ser interpretados da seguinte forma: no patamar mais baixo, pisos podem ser afetados; chegando a 15cm, já é possível afetar portas e a instalação elétrica; com 30cm, boa parte dos móveis já é afetada; com 50cm, a situação de móveis eletrodomésticos, utensílios, roupas e outros pertences piora significativamente; chegando a 1m, a situação torna-se dramática e, com mais de 1m de alagamento, considera-se perda integral, chegando até esquadrias e aparelhos mais altos, conforme a Figura 3.3 ilustra.



Figura 3.3. Nível de prejuízo causado por alagamento.
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Por sua vez, o indicador relativo à dificuldade de recuperação material, I_M , foi escolhido, por simplicidade, por associação com o Índice de Desenvolvimento Social - IDS, desenvolvido pelo Instituto Pereira Passos. No município do Rio de Janeiro, o IDS varia entre 0,23 e 0,92; entretanto, o valor máximo do índice na bacia Piraquê-Cabuçu é de 0,72. Nesse caso, o equacionamento do I_M segue a equação eq. 5, implicando em que, quanto menor o IDS, mais difícil é a recuperação material das perdas sofridas:

$$I_M = 1 - IDS \quad \text{eq. 5}$$

No subíndice Si_R , quando um dos indicadores for zero, o risco a resistência ao dano da edificação é zerado.

O subíndice de risco associado à duração do evento - Si_D , é definido pela equação eq.6. Nesse subíndice, foi levado em consideração o tempo de esvaziamento da cheia (I_{ec}) em horas, como fator básico, e a qualidade da vizinhança (I_{vz}), como qualificador complementar, que indicará maior ou menor risco de locomoção nas áreas alagadas, dependendo das condições de saneamento (adequado ou não) e de pavimentação de vias (indicadores que podem ser obtidos no censo do IBGE). Nessa equação, adota-se, então, uma multiplicação simples, onde a qualificação da vizinhança funciona como um agravante do tempo de permanência da inundação, que piora a situação de mobilidade nestas condições.

$$Si_D = I_{ec} \times I_{vz} \quad \text{eq. 6}$$

O indicador de esvaziamento leva em consideração o tempo que a pessoa consegue permanecer isolada. Esse tempo, em princípio, foi definido com alguma subjetividade, conforme interpretação de criticidade para impedimentos ao movimento da população, utilizando como referência a observação da duração de eventos históricos de alagamentos na área do loteamento Jardim Maravilha, que demora, muitas vezes, mais de um dia para baixar, conforme proposto pela Tabela 3.2, que define a normalização proposta para esse indicador. Nessa tabela, algumas poucas horas geram atrasos, mas não necessariamente impedimentos. Depois, aumenta-se a restrição para um turno (4h), seguido por 2 turnos (8h), depois, o período útil de um dia (16h) e, no limite da criticidade, considerada máxima, um dia e meio (24h). Assim, quanto maior a restrição, maior será o I_{ec} .

Tabela 3.2. Normalização do indicador de esvaziamento de cheias.

Tempo de duração máximo (h)	I_{ec}
24,00	1,00
16,00	0,95
8,00	0,80
4,00	0,60
2,00	0,35

1,00	0,10
------	------

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

O indicador de qualificação da vizinhança contém duas parcelas em um somatório ponderado (com pesos m_1 e m_2), como pode ser visto na equação eq. 7, que considera o percentual de atendimento adequado do saneamento básico (I_{Sa}) e o percentual de ruas pavimentadas (I_{Pv}) do setor censitário em que se encontra a habitação. Para a análise de saneamento básico serão levados em consideração os indicadores de coleta de lixo e rede de esgotamento sanitário, obtidos por informações do IBGE no último censo realizado em 2010, a partir de uma média aritmética entre eles.

$$I_{vz} = m_1.(I_{Sa}) + m_2.(I_{Pv}) \quad \text{eq. 7}$$

Onde;

I_{Sa} – Indicador de saneamento adequado (obtido por setor censitário, a partir de informações do IBGE), representando a presença de adequada coleta e disposição de esgotos e resíduos sólidos através do percentual de atendimento adequado dentro de cada setor.

I_{Pv} – Indicador de ruas pavimentadas (obtido por análise visual, a partir de google Earth, e vetorização das vias por programa de georreferenciamento).

Nessa construção, se o I_{vz} for igual a 1, o valor do subíndice Si_D será igual ao valor do I_{ec} . Se o I_{vz} indicar déficits no saneamento ou pavimentação, o valor do I_{ec} será penalizado pela multiplicação.

Dessa forma os componentes do índice de resiliência da residência a inundação podem ser vistos na Figura 3.4.

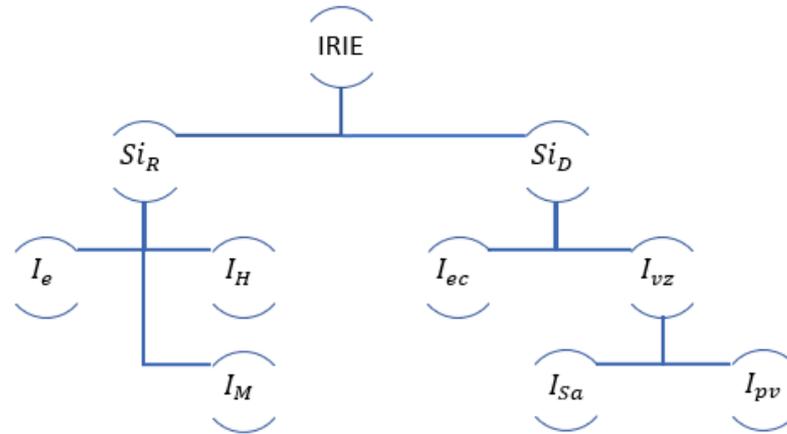


Figura 3.4 : Composição Geral do IRIE

3.3.1. Atribuição de Pesos

Conforme explicado anteriormente neste capítulo, os pesos (a , b , $n1$, $n2$, $n3$, $w1$, $w2$, $m1$ e $m2$) representam a importância relativa dos indicadores e subíndices para o valor da resiliência. Ao contrário da formulação dos subíndices e do próprio índice em si, a determinação dos pesos está relacionada mais a uma decisão do gestor e dos atores envolvidos no processo, do que o conhecimento técnico. Portanto, acredita-se que a atribuição de pesos deva ser realizada pelo gestor ou instituição que tenha intenção de usar o índice como ferramenta de suporte à decisão quanto a gestão de riscos de cheia, consultando técnicos e interessados, sendo possível ajustá-los de forma diferente, de um local para outro, conforme necessidade.

Apesar das dificuldades de se estabelecer uma metodologia livre de subjetividade, procura-se ter alguma base teórica ou raciocínio lógico que garanta credibilidade e aceitação na atribuição de pesos (ZONENSEIN, 2007).

Como todos os indicadores e subíndices interagem apenas com um outro indicador ao mesmo tempo, com exceção do Subíndice de Risco à Resistência (Si_R), que possui três indicadores, é possível estabelecer relações de importância entre eles, sem gerar distorções.

Dessa forma, foram estabelecidos os seguintes pesos, representados pela Tabela 3.3:

Tabela 3.3 Tabela de pesos atribuídos aos indicadores e sub índices.

Parâmetros		Julgamento	Pesos (respectivamente)	
a	b	Em princípio, foram considerados pesos iguais.	0,50	0,50
m1	m2	Em princípio, foram considerados pesos iguais.	0,50	0,50

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Para a formação do Subíndice de Risco à Resistência (Si_R), foram propostos pesos conforme estabelecidos na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Tabela de pesos atribuídos ao Subíndice de Risco à Residência.

Parâmetro	Julgamento	Peso
n1	O indicador de exposição da edificação foi considerado com 50% de participação na conta, por ser ele associado ao contato do perigo com o sistema exposto, assumindo, portanto, metade do valor final do subíndice, dado que a outra metade compõe a vulnerabilidade do sistema.	0,50
n2	O indicador de criticidade à inundação compõe a parcela associada à vulnerabilidade da edificação e recebe metade do peso destinado a esta parcela, dividindo sua participação, em partes iguais, em princípio, com a recuperação material.	0,25
n3	O indicador de recuperação material compõe a parcela associada à vulnerabilidade da edificação e recebe metade do peso destinado a esta parcela, dividindo sua participação, em partes iguais, em princípio, com a criticidade da inundação.	0,25

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Note-se que, na verdade, a escolha de pesos, nesta primeira composição, procurou adotar valores iguais, apenas para fins de aplicação da metodologia proposta, mostrando seu potencial, sem a preocupação de, efetivamente, definir pesos finais, conforme importância relativa dos indicadores. O entendimento da autora desta dissertação é que esta é uma outra discussão, que precisa ser conduzida pelos gestores e interessados locais, conforme indicação de aplicação do índice proposto a casos reais.

4. APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

4.1. A BACIA DO RIO PIRAQUÊ-CABUÇU

A Sub-bacia hidrográfica do Rio Piraquê-Cabuçu, localizada na Zona Oeste do Rio de Janeiro, sofre com o impacto de uma urbanização acelerada, sem planejamento e sem a presença do poder público em relação às políticas habitacionais (GOUVEA, 2020) há bastante tempo, sendo esse processo intensificado a partir do período intitulado como “Era dos megaeventos esportivos”, que iniciou no ano de 2002, quando a cidade do Rio de Janeiro foi escolhida como sede dos jogos Pan-Americanos, e se estendeu até o ano de 2016, com os Jogos Olímpicos (BARROS, DEUS e COSTA, 2020). Esses eventos geraram um êxodo para a Zona Oeste, devido ao incentivo da ocupação humana nessa localidade, pela gestão da Prefeitura, e também devido às remoções causadas pela necessidade de adequação da área central do Rio de Janeiro. Essa ocupação ocorreu de maneira não planejada, sobrecarregando a infraestrutura existente da região.

Situações como a impermeabilização do solo, as invasões das margens do rio, a ocupação desordenada, o descarte indevido do lixo e o uso de fossas sépticas têm se mostrado cada vez mais evidentes na região. Atrelado a isso há, ainda, a falta de fiscalização do poder público, o que gera uma demanda urgente de gestão ambiental, com um planejamento de médio e longo prazo para implantação de projetos de mitigação dos problemas existentes (GOUVEA, 2020).

Durante o evento de chuvas dos dias 8 e 9 de abril de 2010, uma das regiões mais afetadas foi o loteamento residencial Jardim Maravilha, em Guaratiba. As estações de monitoramento de Sepetiba, Santa Cruz, Campo Grande e Guaratiba registraram, respectivamente, picos de 172,8 mm, 186,2 mm, 171,4 mm e 110,8 mm para acumulados de chuvas em 24h (PCRJ, 2019). Devido à criticidade de inundações no local, o loteamento Jardim Maravilha já foi pauta de diversas discussões e projetos. Em 2009, o Projeto de Lei 468/2009 propôs declarar a comunidade como Área de Especial Interesse Social, com a finalidade de promover sua urbanização e regularização fundiária. Entretanto, este projeto foi arquivado em 2017 por ir contra ao que havia sido proposto pelo Plano Diretor.

Em 2015, no Plano Municipal de Saneamento Básico, entre as medidas previstas pelo Conselho Municipal de Política Urbana da Cidade do Rio de Janeiro (COMPUR), estava a desapropriação das áreas invadidas nas faixas de proteção do rio e a remoção de construções cuja área de localização fosse abaixo da cota de 2m. Além dessas medidas, havia também a criação de reservatórios de amortecimento e a preservação da calha a jusante que, embora definida como meta, não apresentava detalhamento de como seria efetivada (SMAR, 2015).

Tais medidas estão em consonância com o Plano Diretor da cidade, que prevê que as desocupações para tratamento dos déficits na bacia do Rio Piraquê-Cabuçu podem ser onerosas ou inviáveis (SMAR, 2015).

A bacia do rio Piraquê-Cabuçu abrange uma área de aproximadamente 108 km² Como a escala de análise deste trabalho é o lote, as informações de inundação na bacia são adotadas como dado de entrada para o índice proposto. Sendo assim, a Figura 4.1 identifica a região de maior interesse, dentro da Bacia do Piraquê-Cabuçu.



Figura 4.1 - Região de estudo dentro da bacia do rio Piraguê-Cabuçu.
Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Com a definição da região a ser modelada, compilou-se as informações aerofotogramétricas, topográficas e de campo, sendo possível, a partir de então, definir as células para modelagem matemática de cheias, a partir do uso do MODCEL.

Foram desenhadas 290 células para simular esse local, e em cada uma delas foi necessária a atribuição de dados específicos, como o coeficiente de *runoff*, a definição do tipo de célula (conforme necessidade de representação do território), a definição da área total e da área de armazenamento, além da cota de fundo, entre outros.

A partir do banco de dados do IPP – Instituto Pereira Passos, foram levantadas as demarcações de edificações e lotes existentes nessa área. Entretanto, foi identificada uma defasagem das informações do banco de dados em relação à realidade. Sendo assim, foi necessária a complementação desses dados por meio da vetorização de polígonos de lotes e de edificações, a partir de identificação visual, por ortofoto de 2019, produzida e disponibilizada pelo IPP. Foram contabilizados, portanto, 3280 lotes vetorizados e 15500 edificações construídas na área do loteamento Jardim Maravilha, como pode ser visto na Figura 4.2. É válido ressaltar que as edificações e lotes foram espacializados de acordo com visualização de ortofoto de 2019, deixando a vetorização ainda desatualizada, quando considerada a data atual; porém, com a melhor aproximação possível para os dados disponíveis.

entendimento dos leitores sobre os mapas de uma maneira geral, como pode ser identificado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Escala do índice de resiliência

Intervalo de valores	Classificação	Cor
0,801 – 1,00	Resiliência muito alta	Verde Escuro
0,601 – 0,80	Resiliência alta	Verde Claro
0,401 – 0,60	Resiliência média	Amarelo
0,201 – 0,40	Resiliência baixa	Laranja
0,00 – 0,20	Resiliência muito baixa	Vermelho

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

4.1.1. Histórico de ocupação

A região da bacia do Piraquê-Cabuçu foi inicialmente habitada por índios Picinguaba. Com a fundação da Cidade, esse território passou a pertencer à grande Sesmaria de Irajá, da qual foi desmembrada em 1673. A área foi doada pelo governo colonial a Barcelos Domingues e, no mesmo ano, foi criada a Paróquia de Nossa Senhora do Desterro, marco histórico da ocupação territorial da região (PDMAP, 2012).

Com uma ocupação lenta até meados do século XVIII, basicamente agropastoril, o território possuía plantação de cana-de-açúcar e criação de gado. Como a região era uma área nitidamente rural, os aglomerados humanos formados durante quase três séculos ficaram restritos às proximidades das fazendas e engenhos e às pequenas vilas de pescadores, ao longo da costa (PDMAP, 2012).

Já no final do século XVIII, surgiu na região a Freguesia de Campo Grande, que logo começou a prosperar. Seu desenvolvimento urbano ocorreu a partir do núcleo formado no entorno da Igreja de Nossa Senhora do Desterro, cuja atração era a oferta de água do poço que existia perto da igreja. Em Campo Grande, a exemplo do que ocorreu em toda a Cidade, o abastecimento público de água foi um fator de atração e desenvolvimento (PDMAP, 2012).

A região começou a adquirir sua atual feição, a partir do processo de urbanização desencadeado na década de 1960 e intensificado a partir dos anos 1970, que conseguiu transformar sua tradicional feição rural e pesqueira. Neste período, o vetor residencial suburbano foi acompanhado da instalação de atividades industriais e de serviços, expandindo a fronteira urbana e adensando demograficamente a região (PDMAP, 2012).

Contudo, a região de jusante da bacia (Guaratiba) ainda continuou com um crescimento mais lento que a região de montante (Campo Grande), mas tal situação vem se alterando a partir do início dos anos 2000 (PDMAP, 2012).

Com as alterações da ocupação da malha urbana na região do Campo Grande, passaram a ser verificados problemas em relação à drenagem. Por esse motivo, foi elaborado, no início dos anos 1990, um projeto de macrodrenagem que contemplava tanto esta região, quanto toda a Bacia da Baía de Sepetiba. Trata-se de um projeto elaborado por iniciativa da Secretaria Municipal de Obras da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro que previa dragagem, retificação e canalização de dez rios e canais, com uma extensão aproximada de 110 km, além da construção de 13 pontes, 16 passarelas e 30 km de vias marginais (PDMAP, 2012). O projeto serviu de base para um contrato de empréstimo entre a Prefeitura e a Caixa Econômica Federal, utilizando recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviços (FGTS), com o valor de 60 milhões de dólares americanos, assinado no ano de 1991, e que tinha em vista melhorar a descarga dos rios e canais da região, então comprometida na ordem de 70% de sua capacidade de escoamento (PDMAP, 2012).

A dragagem do Piraquê- Cabuçu era, politicamente, a mais importante, pois o rio drena o centro de Campo Grande, o bairro mais populoso da região, e atravessa vários loteamentos, como os de Jardim Maravilha, Magarça, Santa Clara, Vila Mar e outros (PDMAP, 2012).

Foram realizadas 70% das obras, sendo suprimidos 18.640 m² de manguezais ciliares, objeto de plano de recuperação, de acordo com parecer do IBAMA. Isto promoveu profundas alterações no escoamento superficial da região, não apenas com a ocupação de suas margens por populações de baixa renda. Isto resultou também em alterações nos eventos de cheias (PDMAP, 2012).

Além disto, a ocupação urbana da bacia hidrográfica do rio Piraquê-Cabuçu causou grande impacto em relação à poluição, por lançamentos de dejetos de esgotos de origem doméstica, lançamento de lixo nas margens do rio, aterramento do mangue e ausência de saneamento básico, principalmente dentro das comunidades mais carentes (PDMAP, 2012). Este processo tem se agravado à medida que os limites territoriais da urbanização se ampliam e a densidade urbana se intensifica, produzindo um ambiente urbano cada vez mais degradado, associado à própria degradação do ambiente fluvial (PDMAP, 2012). Vale ressaltar, ainda, que é previsto um grande crescimento populacional para a região de Guaratiba, especificamente na parte mais a jusante da bacia do rio Piraquê-Cabuçu (PDMAP, 2012).

4.1.2. Descrição da bacia Piraquê-Cabuçu

A bacia do rio Piraquê-Cabuçu, com aproximadamente 108km², está localizada na região Oeste do município do Rio de Janeiro, na área de planejamento 5 (AP5), sendo contribuinte da Baía de Sepetiba, conforme ilustrado na Figura 4.3. Seu principal rio é o Piraquê-Cabuçu, o qual possui uma extensão de aproximadamente 23 km. Ele nasce na Serra do Lameirão, no Parque Estadual da Pedra Branca e deságua na Baía de Sepetiba, percorrendo os bairros da zona Oeste do município: Senador Vasconcelos, Campo Grande e Guaratiba., Outros bairros da zona oeste como Senador Camará, Santíssimo e Pedra de Guaratiba também estão inseridos, total ou parcialmente, bacia hidrográfica do Rio Piraquê-Cabuçu (PDMAP, 2012).

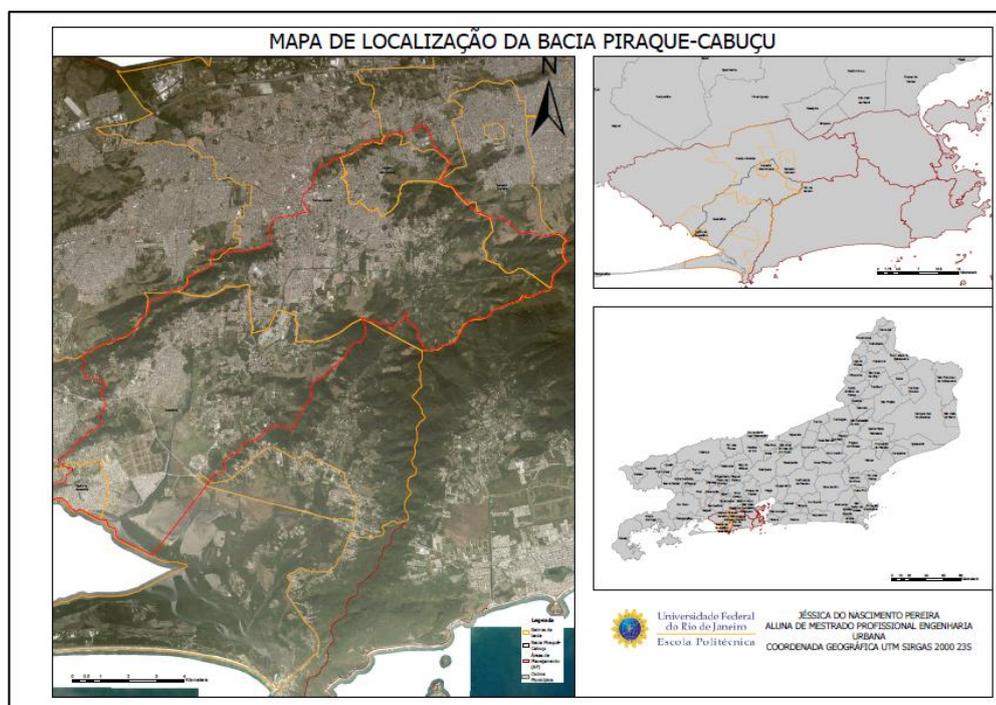


Figura 4.3 - Bacia do Rio Piraquê-Cabuçu
Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Seu trecho inicial do é denominado Rio Cabuçu; ele percorre uma área de urbanização consolidada no bairro de Senador Vasconcelos, sendo composto por um canal de concreto ao longo da Rua Artur Rios e Avenidas Dom Sebastião I e Belmiro Valverde. Este trecho apresenta duas importantes travessias, sob a Estrada do Cabuçu e Rua Olinda Elis. A jusante desta última, o Rio Cabuçu recebe, pela margem esquerda, o Rio Cabuçu Mirim, que drena uma área urbanizada de aproximadamente 2,2 km² no bairro de Campo Grande, por meio de um canal de concreto ao longo da Av. Mariana. Após a confluência com o canal do Cabuçu Mirim, o Rio

Cabuçu segue canalizado por um trecho de aproximadamente 1500 m, até a confluência, pela margem esquerda, com o Rio da Prata do Cabuçu, que drena uma bacia de 30 km², no bairro de Campo Grande, a qual encontra-se em processo de urbanização, com loteamentos parcialmente ocupados (PDMAP, 2012). A partir deste ponto, o Rio Cabuçu segue em canal natural por cerca de 3500 m, abrangendo toda a extensão da Av. Guarabu da Serra, no bairro de Campo Grande, além de um trecho não urbanizado, até a travessia sob a Estrada do Mato Alto, que marca o limite entre os bairros de Campo Grande e Guaratiba. Após esta travessia, o rio segue em curso natural por meio de áreas de vegetação e pastagens, até a travessia sob a Estrada do Rio Aterrado, a partir da qual passa a ser denominado Rio Piraquê (PDMAP, 2012). Já na área de baixada, o Rio Piraquê segue em curso natural, por cerca de 4000 m, ao longo de um trecho parcialmente urbanizado, no qual recebe, pela margem esquerda, o Rio Consulado e, pela margem direita, o Rio dos Porcos, até a travessia sob a Av. das Américas; esse será o trecho de estudo dessa dissertação.

A Fundação Rio-Águas, por meio de entrevistas e observação *in loco*, identificou o loteamento Jardim Maravilha como um dos locais com risco de inundação na região de estudo. A área está situada na margem direita do Rio Piraquê, no trecho compreendido entre a Estrada do Rio Aterrado e a Avenida das Américas (PCRJ, 2016), e possui diversos afluentes que passam por essa região, como pode ser visto na Figura 4.4. A região pertence à XXVI Região Administrativa (Guaratiba), conta com uma população de 1.650 habitantes, distribuída em cerca de 450 domicílios e possui um assentamento urbanizado, sete parcialmente urbanizados e quatro não urbanizados (SMU, 2019).

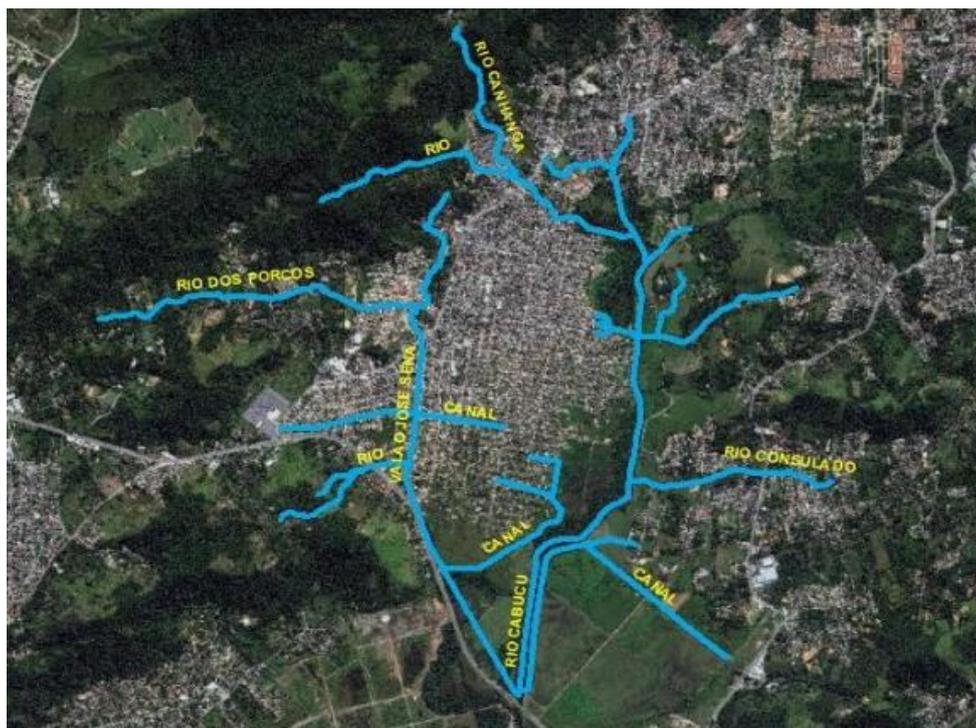


Figura 4.4 – Rios que passam pela área de estudo, Jardim Maravilha (Guaratiba).
Fonte: Adaptado pela autora a partir do Google Maps, 2019

O trecho entre a Avenida das Américas e a Estrada da Matriz é caracterizado pela confluência com o Valão das Cinzas, na margem esquerda, e pela ocupação irregular da margem direita, ao longo da via chamada “Rua Capelinha”. Esta ocupação irregular na margem direita se intensifica a jusante da Estrada da Matriz, até o canal do Jardim Garrido, já no limite da área alagada na região da foz do Rio Piraguê. Este trecho final, de área alagada, se estende por cerca de 1 km, entre o canal do Jardim Garrido e a Baía de Sepetiba (PDMAP, 2012).

A bacia possui grandes terrenos com cotas altimétricas abaixo de 2,5 metros, a mais de 10 km de distância da costa, como é o caso de todo o baixo curso do rio, conforme pode ser visualizado na Figura 4.5 (SILVA e OSCAR JR, 2019). Outra característica relevante diz respeito ao solo e à vegetação nativa; inicialmente esta área era coberta com uma extensa e densa cobertura de mangue, sobreposta em gleissolo, que possui como característica básica o hidromorfismo de ferro e alumínio. Esta configuração natural, por si só, já é causadora de um ambiente constantemente inundado, impossibilitando a ocupação do mesmo, porém não é isto que se verifica na prática (SILVA e OSCAR JR, 2019).

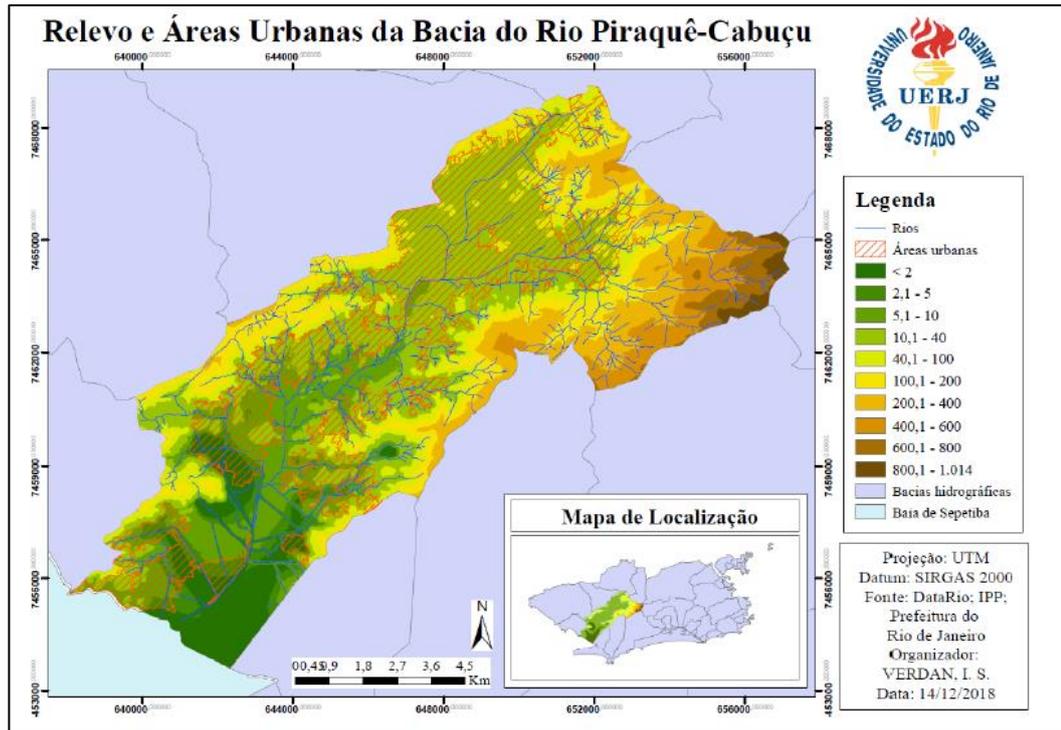


Figura 4.5. Relevo e áreas urbanas da bacia do Rio Piraguê-Cabuçu
Fonte: SILVA e OSCAR JR, 2019.

A área da bacia hidrográfica abrange também unidades de conservação, sendo elas o Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB), na porção Nordeste, reservas biológicas (configuradas por manguezais na margem direita próximo à foz), zonas de amortecimento, o Parque Natural Municipal da Serra da Capoeira Grande e áreas de proteção ambiental, nas regiões próximas à foz e do PEPB (GABRIEL et al., 2021), como pode ser visto na Figura 4.6.

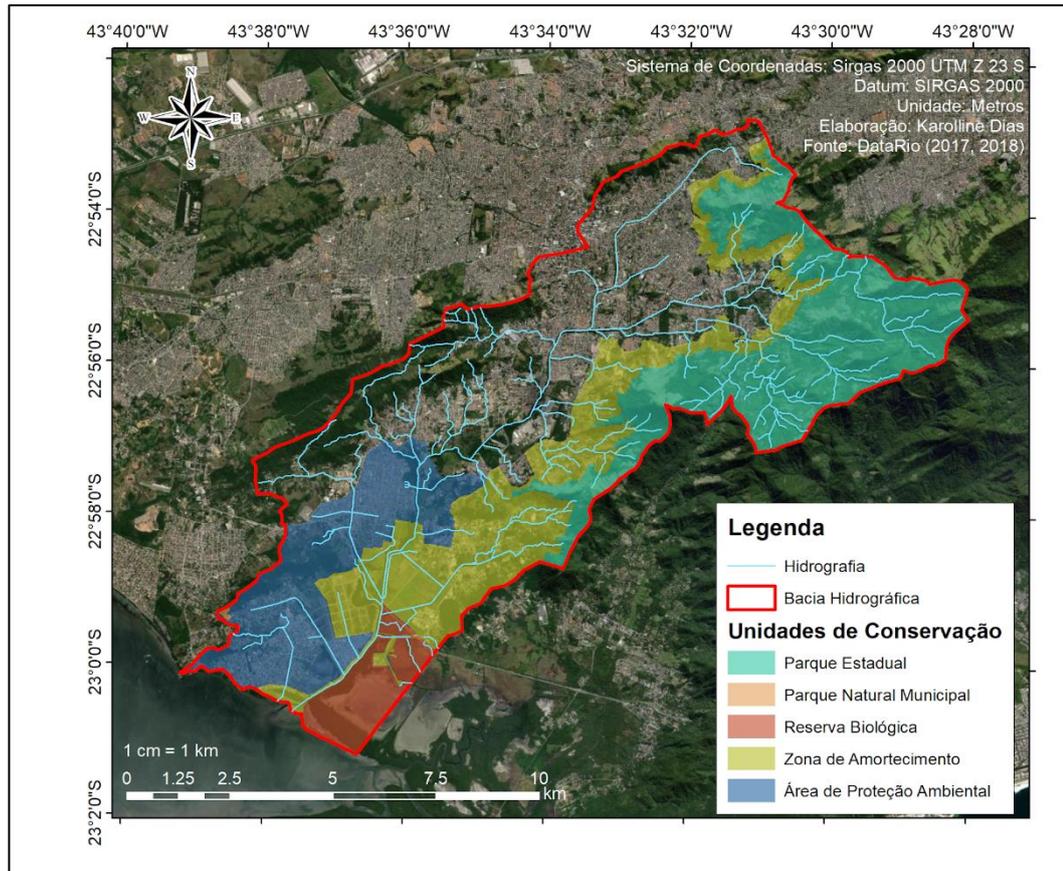


Figura 4.6 - Mapa de áreas de preservação ambiental.
 Fonte: SILVA e OSCAR JR, 2019.

A bacia do rio Piraquê-Cabuçu, com aproximadamente 108km², está localizada na região Oeste do município do Rio de Janeiro, na área de planejamento 5 (AP5), sendo contribuinte da Baía de Sepetiba, conforme ilustrado na Figura 4.7. Seu principal rio é o Piraquê-Cabuçu, o qual possui uma extensão de aproximadamente 23 km. Ele nasce na Serra do Lameirão, no Parque Estadual da Pedra Branca e deságua na Baía de Sepetiba, percorrendo os bairros da zona Oeste do município: Senador Vasconcelos, Campo Grande e Guaratiba., Outros bairros da zona oeste como Senador Camará, Santíssimo e Pedra de Guaratiba também estão inseridos, total ou parcialmente, bacia hidrográfica do Rio Piraquê-Cabuçu (PDMAP, 2012).

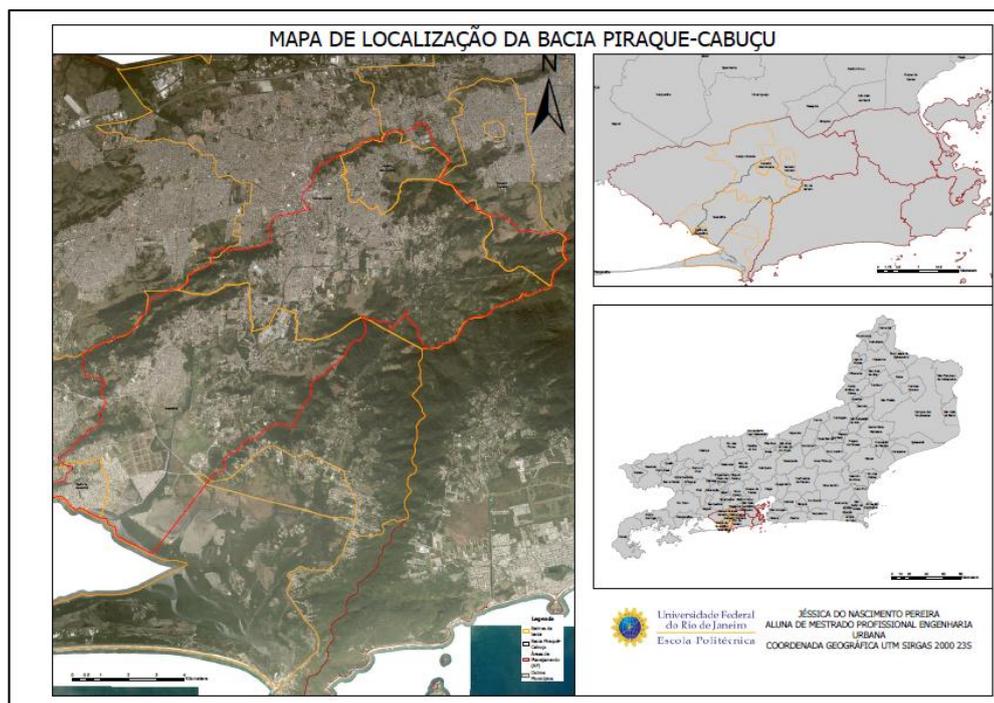


Figura 4.7 - Bacia do Rio Piraquê-Cabuçu
Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Seu trecho inicial é denominado Rio Cabuçu; ele percorre uma área de urbanização consolidada no bairro de Senador Vasconcelos, sendo composto por um canal de concreto ao longo da Rua Artur Rios e Avenidas Dom Sebastião I e Belmiro Valverde. Este trecho apresenta duas importantes travessias, sob a Estrada do Cabuçu e Rua Olinda Elis. A jusante desta última, o Rio Cabuçu recebe, pela margem esquerda, o Rio Cabuçu Mirim, que drena uma área urbanizada de aproximadamente 2,2 km² no bairro de Campo Grande, por meio de um canal de concreto ao longo da Av. Mariana. Após a confluência com o canal do Cabuçu Mirim, o Rio Cabuçu segue canalizado por um trecho de aproximadamente 1500 m, até a confluência, pela margem esquerda, com o Rio da Prata do Cabuçu, que drena uma bacia de 30 km², no bairro de Campo Grande, a qual encontra-se em processo de urbanização, com loteamentos parcialmente ocupados (PDMAP, 2012). A partir deste ponto, o Rio Cabuçu segue em canal natural por cerca de 3500 m, abrangendo toda a extensão da Av. Guarabu da Serra, no bairro de Campo Grande, além de um trecho não urbanizado, até a travessia sob a Estrada do Mato Alto, que marca o limite entre os bairros de Campo Grande e Guaratiba. Após esta travessia, o rio segue em curso natural por meio de áreas de vegetação e pastagens, até a travessia sob a Estrada do Rio Aterrado, a partir da qual passa a ser denominado Rio Piraquê (PDMAP, 2012). Já na área de baixada, o Rio Piraquê segue em curso natural, por cerca de 4000 m, ao longo de um trecho parcialmente urbanizado, no qual recebe, pela margem esquerda, o Rio Consulado e, pela

margem direita, o Rio dos Porcos, até a travessia sob a Av. das Américas; esse será o trecho de estudo dessa dissertação.

A Fundação Rio-Águas, por meio de entrevistas e observação *in loco*, identificou o loteamento Jardim Maravilha como um dos locais com risco de inundação na região de estudo. A área está situada na margem direita do Rio Piraquê, no trecho compreendido entre a Estrada do Rio Aterrado e a Avenida das Américas (PCRJ, 2016), e possui diversos afluentes que passam por essa região, como pode ser visto na Figura 4.8.

A região pertence à XXVI Região Administrativa (Guaratiba), o loteamento está inscrito no núcleo de regularização de loteamentos – inrl, desde 1988, com o número 76, ele está identificado pelo código 26014 fornecido pelo Instituto Pereira Passos – IPP, possui 2.411 lotes e uma estimativa de 5.461 com uma população de 18.154. O loteamento possui o PAL aprovado de número 16.810 e PAA 5982 em 1951.

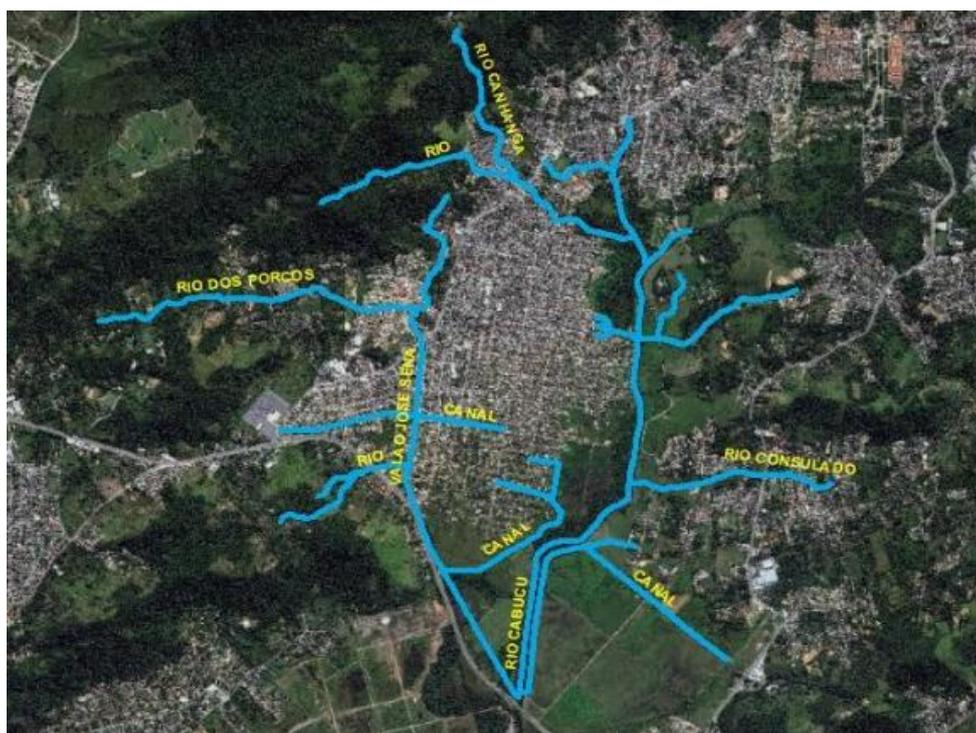


Figura 4.8 – Rios que passam pela área de estudo, Jardim Maravilha (Guaratiba).
Fonte: Adaptado pela autora a partir do Google Maps, 2019

O trecho entre a Avenida das Américas e a Estrada da Matriz é caracterizado pela confluência com o Valão das Cinzas, na margem esquerda, e pela ocupação irregular da margem direita, ao longo da via chamada “Rua Capelinha”. Esta ocupação irregular na margem direita se intensifica a jusante da Estrada da Matriz, até o canal do Jardim Garrido, já no limite da área

alagada na região da foz do Rio Piraquê. Este trecho final, de área alagada, se estende por cerca de 1 km, entre o canal do Jardim Garrido e a Baía de Sepetiba (PDMAP, 2012).

A bacia possui grandes terrenos com cotas altimétricas abaixo de 2,5 metros, a mais de 10 km de distância da costa, como é o caso de todo o baixo curso do rio, conforme pode ser visualizado na Figura 4.9 (SILVA e OSCAR JR, 2019). Outra característica relevante diz respeito ao solo e à vegetação nativa; inicialmente esta área era coberta com uma extensa e densa cobertura de mangue, sobreposta em gleissolo, que possui como característica básica o hidromorfismo de ferro e alumínio. Esta configuração natural, por si só, já é causadora de um ambiente constantemente inundado, impossibilitando a ocupação do mesmo, porém não é isto que se verifica na prática (SILVA e OSCAR JR, 2019).

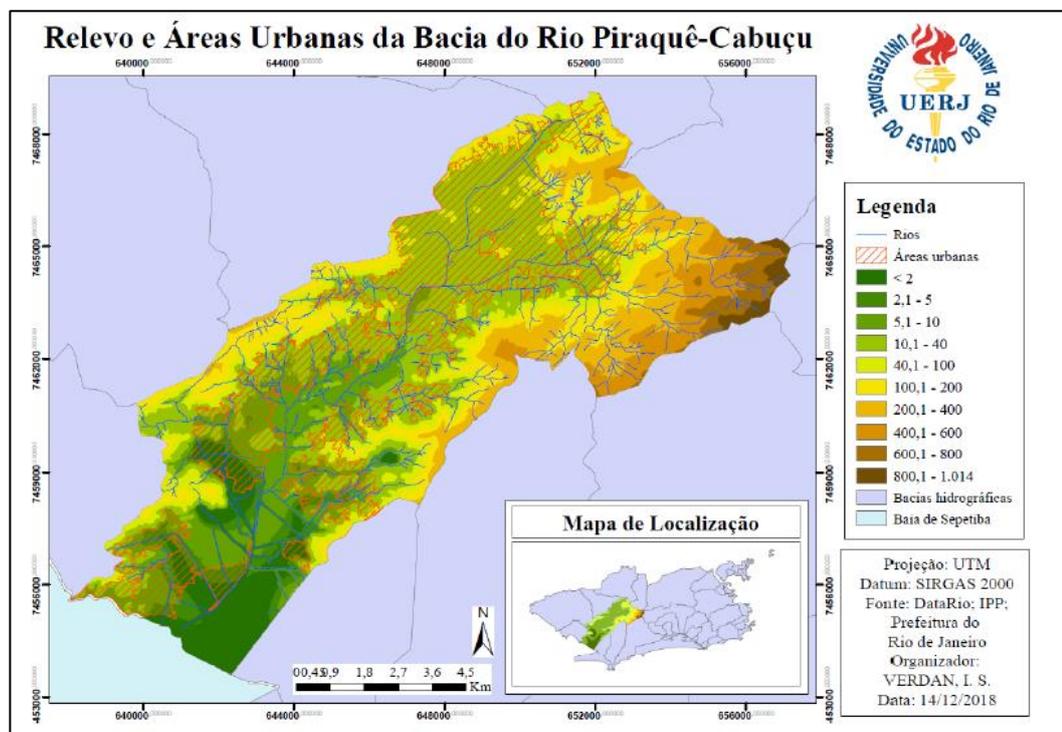


Figura 4.9. Relevo e áreas urbanas da bacia do Rio Piraquê-Cabuçu
 Fonte: SILVA e OSCAR JR, 2019.

Esta configuração dos atributos físicos, acrescida de grandes eventos de precipitação que se distribuem em um curto período, ocasionam inundações generalizadas, evidenciando a vulnerabilidade do sistema e o constante risco ao qual a população está sujeita (SILVA e OSCAR JR, 2019).

4.2. ÍNDICE DE RESILIÊNCIA À INUNDAÇÃO PARA EDIFICAÇÃO (IRIE) – cenário 1

4.2.1. Subíndice de risco à resistência (SI_R)

O risco é composto por três elementos chaves, o perigo, a vulnerabilidade e a exposição, como visto anteriormente. Para definição do risco a resistência neste trabalho, como visto anteriormente, foi proposto uma equação, onde o perigo é representado pelo nível de inundação que o lote chega em um determinado evento chuvoso, a vulnerabilidade está ligada aos fatores sociais construtivos da edificação e a exposição ligada ao contato direto com a inundação.

O perigo foi medido através do nível máximo da água nos lotes, fornecido pelo Matemático de Escoamento em planície de inundação, MODCEL para uma chuva de tempo de recorrência de 25 anos. Para esse parâmetro o indicador calculado foi o I_H - Indicador de criticidade da inundação, com a normalização definida no capítulo anterior, gerando o mapa ilustrado na Figura 4.10.

É possível identificar um problema de microdrenagem ou dificuldade de escoamento num trecho da Avenida São José dos Campos, já que existe uma concentração de lotes em três quadras uma ao lado da outra localizadas na Avenida São José dos Campos, com lâminas d'água entre 0,30 e 1,00 m, o que gerou um indicador de criticidade entre 0,40 e 0,80.

Além da observação anterior, foi possível identificar que os lotes com risco muito alto de criticidade da inundação estão localizados próximo a margem do Rio Piraquê-Cabuçu.

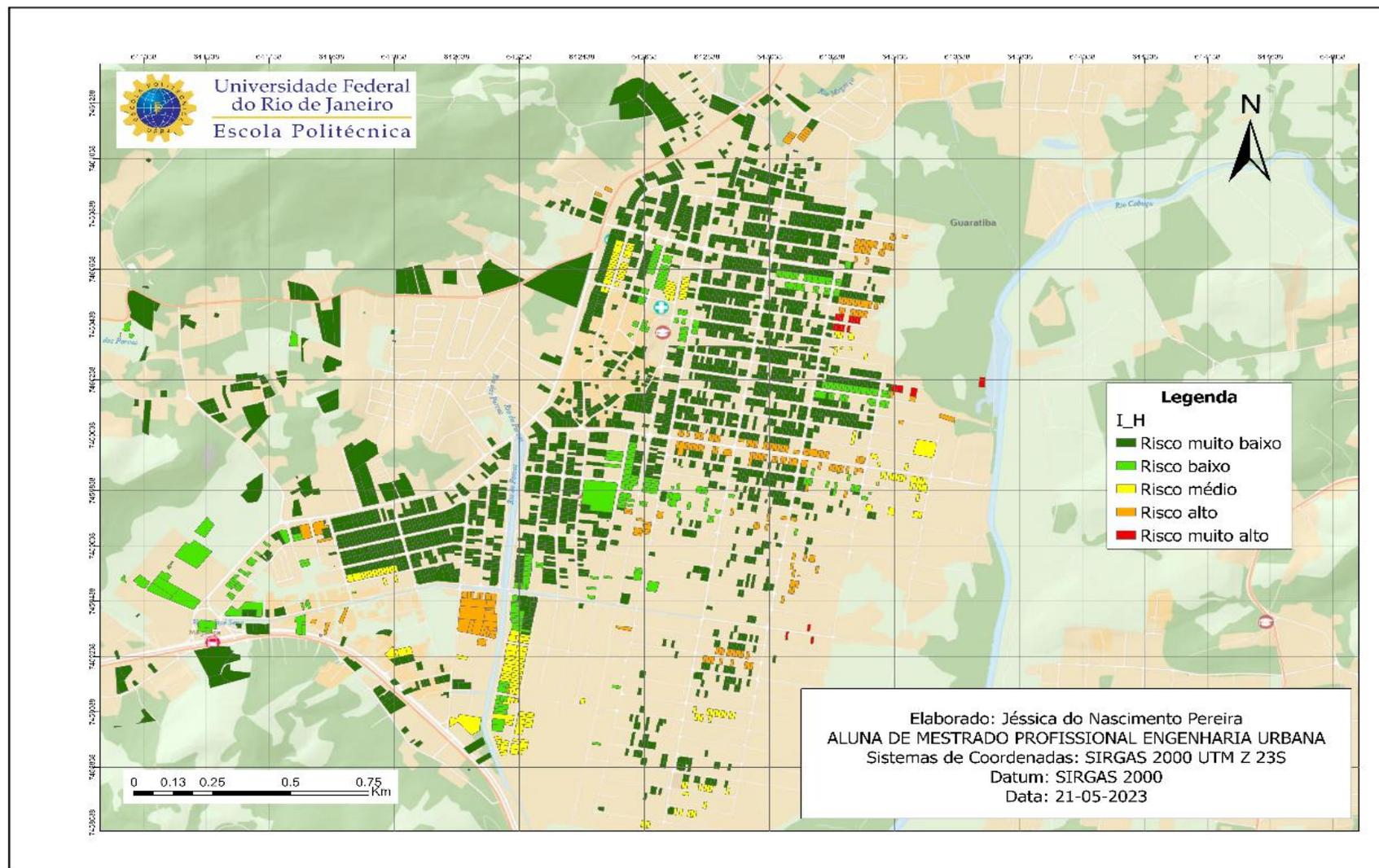


Figura 4.10 Mapa do indicador de criticidade da inundação.

Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

Os lotes com criticidade de risco alto ou muito alto representam menos de 1% dos lotes em estudo, o que corresponde a 5 do total. A maior parte deles está concentrada entre os níveis de criticidade 0,10 a 0,50, o que corresponde a lâminas d'água dentro da edificação até 0,30m, coerente com os relatos dos moradores da região e das reportagens sobre a localidade.

Já a exposição é representada pelo inverso do gabarito da edificação, pois quanto maior o número de andares construídos no imóvel, maior a possibilidade de proteger os bens materiais e as vidas dos moradores nos andares superiores. Dessa forma, quanto maior o número de andares, menor a criticidade à exposição dos bens materiais. Esse parâmetro é representado pelo I_e - indicador de exposição da edificação, cuja distribuição espacial de seu resultado é ilustrada na Figura 4.11.

Este indicador mostra uma criticidade alta à exposição dos lotes estudados, já que, em sua maioria, os lotes possuem edificações com apenas um pavimento, o que impede que seus bens materiais sejam protegidos em um andar superior do imóvel.

Já a capacidade de recuperação, ligada diretamente à resiliência, que é um parâmetro ligado ao aspecto social, foi calculada a partir do Índice de Desenvolvimento Social – IDS produzido pelo IPP – Instituto Pereira Passos, que utiliza informações do Censo de 2010, como escolaridade, renda familiar, abastecimento de água adequado, rede de esgotamento sanitário adequado e coleta de lixo adequado.

A dificuldade de recuperação material - I_M é ilustrado na Figura 4.12, apresentando pouca variação de escala de cor, uma vez que os valores encontrados estão compreendidos no intervalo de 0,40 e 0,60. Isso representa que a situação social do local é precária e relativamente homogênea, embora não apresente extrema pobreza, como no caso de algumas regiões da cidade do Rio de Janeiro, que possuem IDS abaixo de 0,25.

Nenhum dos lotes alcançou o risco perto de máximo à resistência da edificação, em decorrência aos valores do IDS – Índice de Desenvolvimento Social, que compôs o I_M - indicador de dificuldade de recuperação material, que se mostra bastante homogêneo para a área em estudo.

Dessa forma foi possível estabelecer o mapa do subíndice de risco à resistência da edificação, a partir da sobreposição dos mapas dos três indicadores ilustrados anteriormente, como pode ser visto na Figura 4.13.

4.2.2. Subíndice de risco associado à duração do evento (Si_D)

Os indicadores que compõem esse subíndice estão relacionados a infraestrutura do local e ao tempo de escoamento da lâmina d'água no terreno.

O indicador de saneamento leva em consideração parâmetros de fornecimento adequado dos serviços de esgotamento sanitário e coleta de lixo. Esses parâmetros são obtidos a partir de dados do último Censo (2010) e possui espacialização, identificada na Figura 4.14.

A “curiosidade” desse indicador é que de acordo com os dados do Censo 2010 o atendimento de rede de esgoto sanitário e coleta de lixo para a região é satisfatória, já que a maioria dos lotes estão com valores acima de 0,70 para esse indicador. Entretanto, em vistoria local foi possível verificar a carência de rede de esgoto sanitário e seu deságue in natura no Rio Piraquê-Cabuçu, colocando em questão os valores definidos pelo IBGE para esses dados.

Como identificado em visita a campo (ver Figura 4.15) a área de estudo é desprovida de infraestrutura básica, sendo deficiente em rede de esgotamento sanitário e coleta de lixo, isso gera impactos negativos na vida do morador e um agravamento na situação da inundação no local.

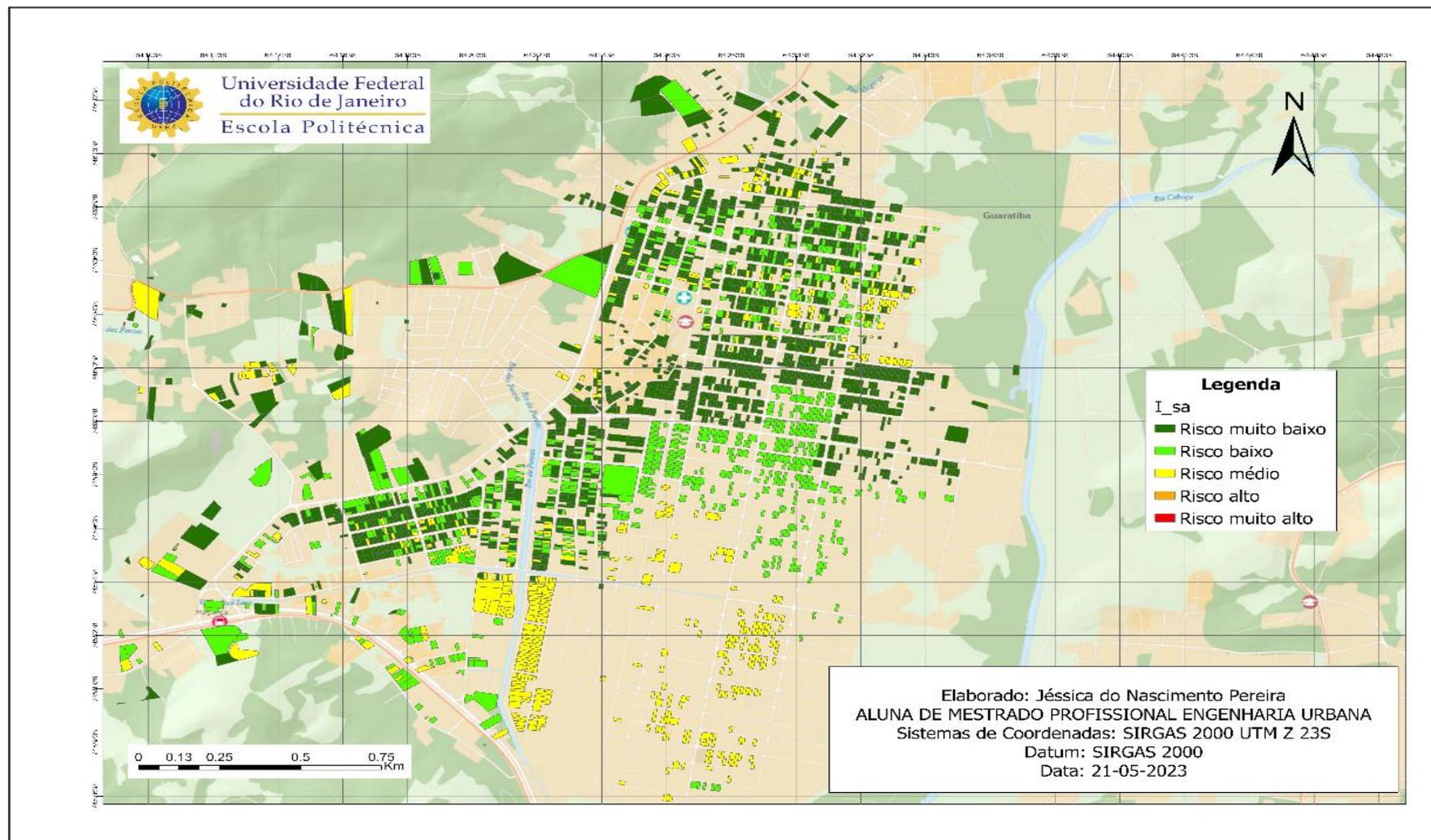


Figura 4.14 Mapa do indicador de saneamento

Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.



Figura 4.15 Quadro de registros da área na data de 15 de novembro de 2021.

Fonte: Acervo da autora

Juntamente com o indicador de saneamento, temos o indicador de pavimentação que reflete a quantidade de ruas pavimentadas na região. Para esse indicador, foi realizada uma vetorização das ruas existentes na região de estudo e posterior identificação dos trechos pavimentados, através de visualização da imagem da ortofoto 2019, fornecida pelo IPP.

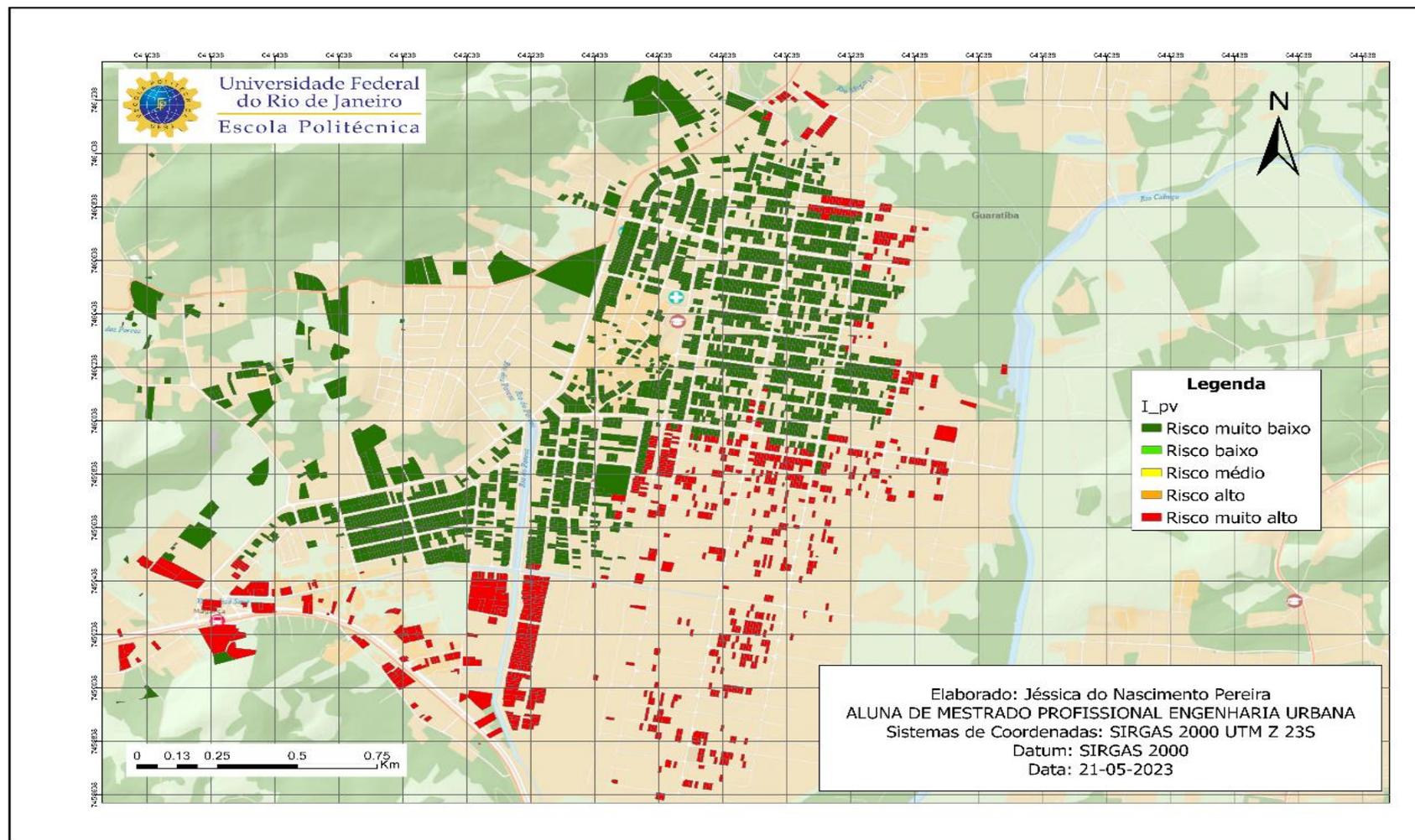


Figura 4.16 Mapa do indicador de área pavimentada.
Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

A partir da Figura 4.16 é possível identificar que quanto mais próximo a margem do Rio Piraguê-Cabuçu e do seu deságue final, a existência de pavimentação na via reduz, dificultando o encaminhamento da vazão precipitada para seu destino final.

Diante disso foi possível definir um mapa de infraestrutura local, o qual forma o indicador de vizinhança - I_{vz} , como é visto na Figura 4.17.

Esse indicador mantém as mesmas características dos indicadores de saneamento e de pavimentação, sendo inferiores na região mais próxima da margem do rio e do deságue final da bacia, na Baía de Sepetiba.

Para compor o Subíndice de risco associado à duração do evento, é necessário a identificação da duração do alagamento. Com o histórico de inundações que perduram por mais de 48 horas nessa região, foi analisado o modelo de saída do MODCEL para identificação de tempo de esvaziamento em cada célula, e, posteriormente, identificados quais lotes estariam inseridos em cada célula alagada.

A partir do levantamento destes dados, foi realizada a normalização mencionada no capítulo anterior, chegando ao mapa da Figura 4.18.

No trecho da Avenida São José dos Campos, onde foram identificados níveis de água altos, também foi possível identificar, através desse indicador, um tempo elevado para escoamento da vazão precipitada, o que configura uma situação de problema no escoamento da microbacia.

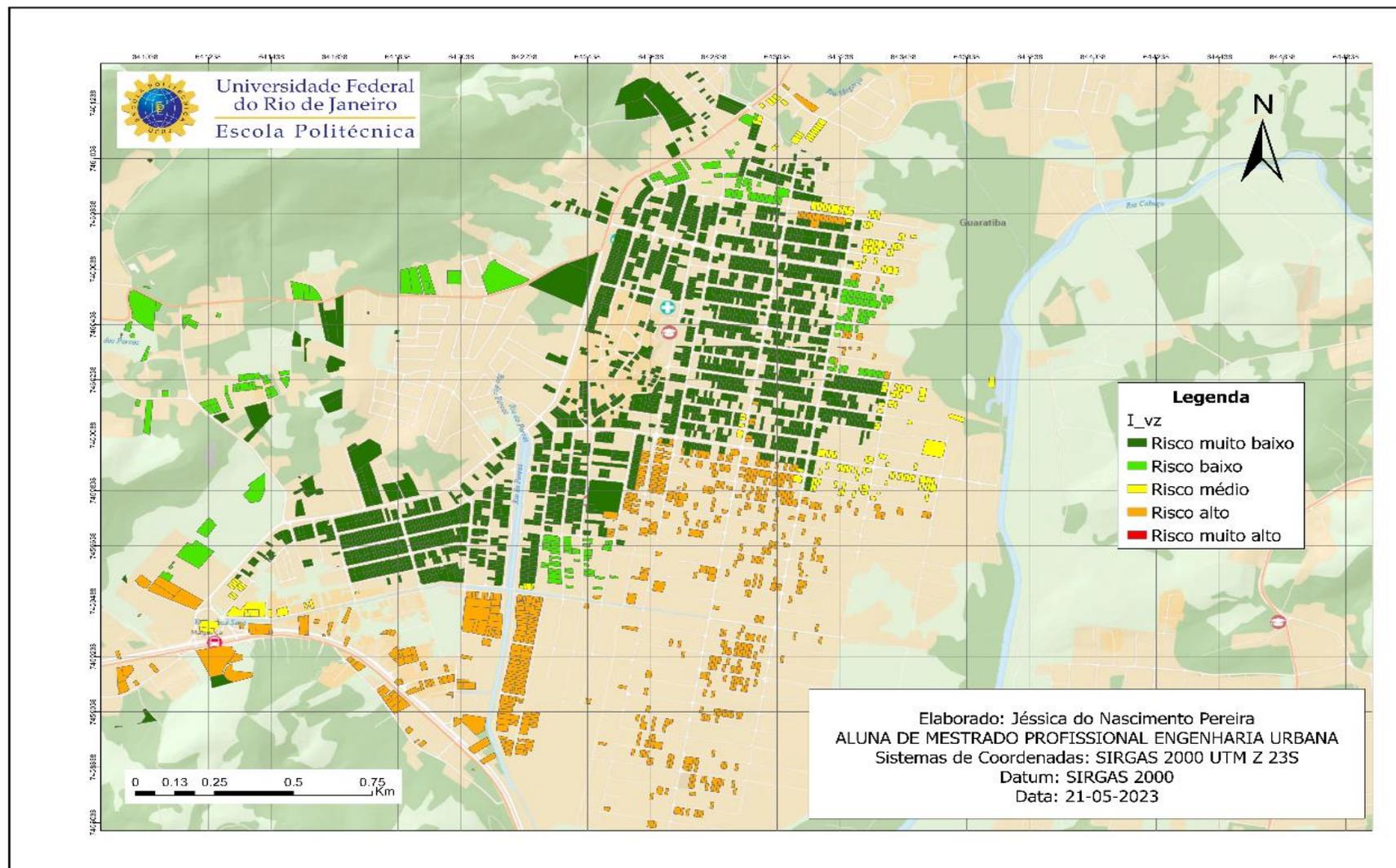


Figura 4.17 Mapa do indicador de vizinhança.
Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

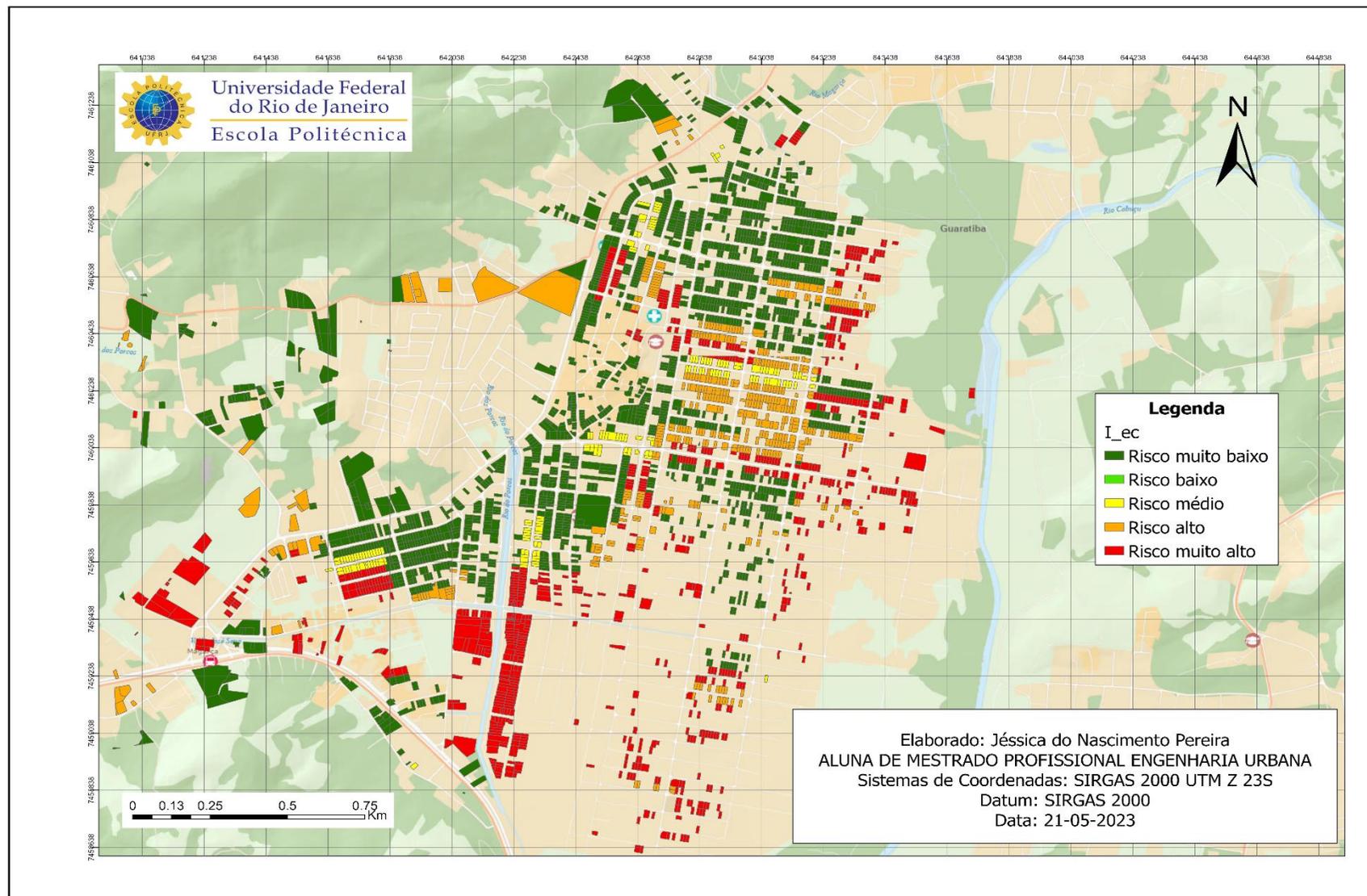


Figura 4.18 Mapa do indicador de tempo de esvaziamento da cheia.
Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

O subíndice de risco associado a duração do evento mostra que o centro do loteamento está mais vulnerável em relação ao tempo necessário para retornar à situação inicial de antes da chuva.

Com todos os indicadores e subíndices definidos, é possível a identificação da resiliência de cada lote, como visto na Figura 4.20. Os lotes possuem valores entre 0,24 e 1,00 sem nenhuma intervenção aplicada neles. A maioria dos lotes possui uma resiliência alta, em segundo lugar os lotes estão concentrados na escala de resiliência muito alta e depois em média resiliência, ficando somente 3% dos lotes com resiliência baixa e muito baixa.

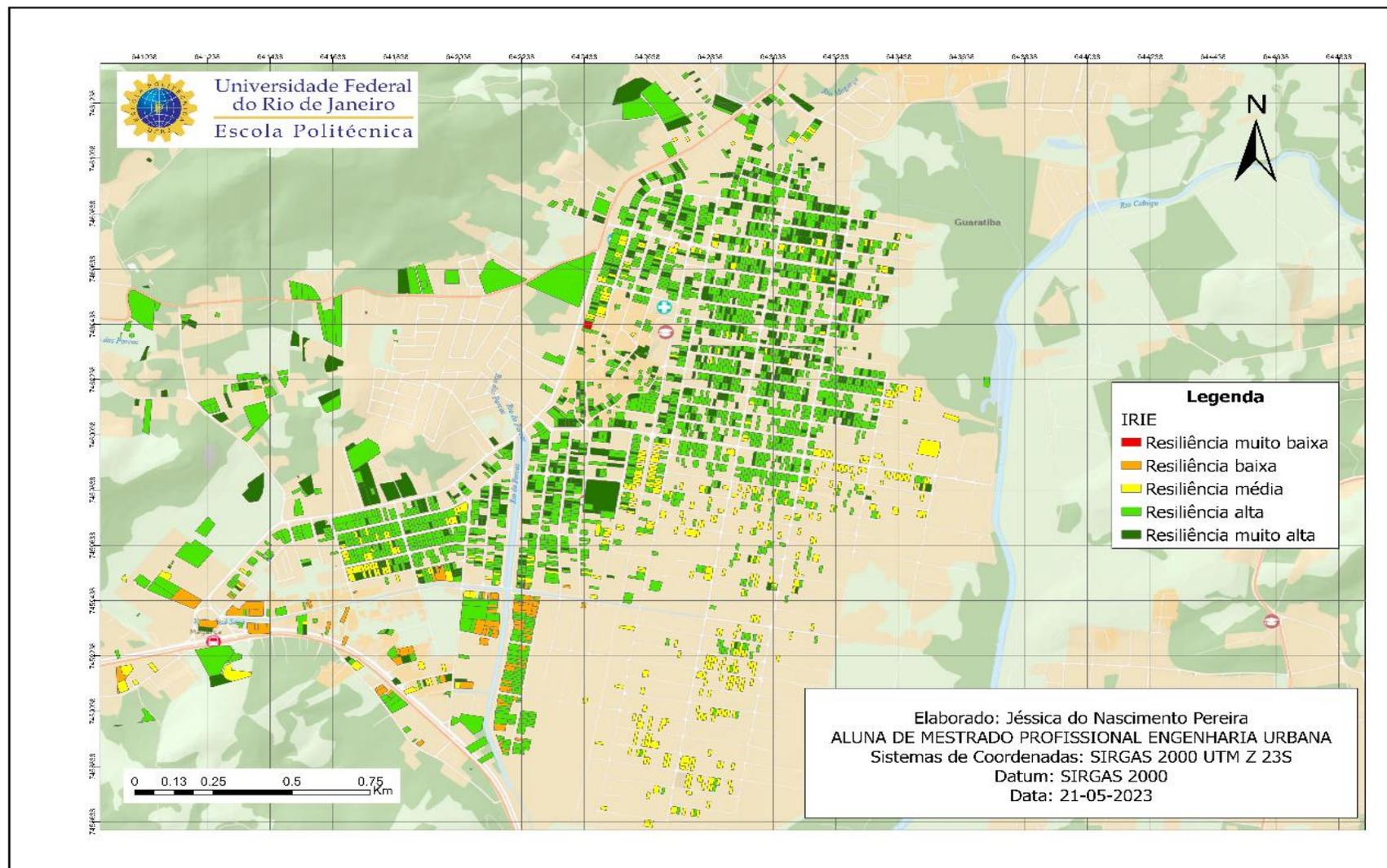


Figura 4.20 Mapa do índice de resiliência à inunda o para edifica o.

Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

Os lotes muito pouco resilientes e pouco resilientes somam juntos 3% do total de lotes estudados, o que nos leva a identificar que por mais que a região sofra com os problemas de inundação recorrentes, as edificações com danos severos são poucas. Cerca de 15% de lotes têm resiliência média no loteamento Jardim Maravilha. Esse mapeamento parece ser mais positivo do que o desejável, mas, aqui, contam favoravelmente as informações de saneamento do IBGE, que não medem adequadamente a realidade local, e a não distinção entre pesos, que poderia evidenciar problemas que preocupam a população local (como o tempo de permanência das inundações). Porém, é inegável a utilidade deste mapeamento, por facilitar políticas públicas focadas nesse assunto, como a promoção de medidas de melhorias habitacionais voltadas para torná-las mais resilientes aos eventos de chuva. Observando este resultado e comparando com a realidade local conhecida, percebe-se que as razoavelmente “boas” condições de saneamento, segundo o IBGE, ajudam a aumentar o valor da resiliência, de uma forma possivelmente não verdadeira. Em um estudo para definição de pesos, provavelmente o peso do indicador de tempo de esvaziamento da cheia deveria ser maior.

4.3. ÍNDICE DE RESILIÊNCIA À INUNDAÇÃO PARA EDIFICAÇÃO (IRIE) – cenário 2

Após a aplicação do estudo no cenário 1, onde foi possível validar o índice desenvolvido nesse trabalho, é possível fazer proposições de métodos construtivos que melhorem a resiliência à inundação dos lotes. Dentre as diversas possibilidades de dispositivos para mitigação da inundação em uma residência, o cenário proposto definiu duas alterações, de caráter simples, apenas para teste da capacidade do índice de representar variações, frente à modificação de seus indicadores. São elas: a pavimentação de todas as ruas, com objetivo de facilitar a condução e escoamento do volume precipitado, além de tornar mais segura uma eventual movimentação de pessoas, em caso de alagamento; e a elevação, quando possível, do piso da casa ou, alternativamente, a construção de comportas na altura de 0,35m, para impedir que o alagamento externo ao lote da edificação o invada (essa altura seria aproximadamente equivalente à de dois degraus). Isso diminuirá as perdas materiais dos moradores do loteamento e, conseqüentemente, gera uma proteção maior contra esses eventos.

4.3.1. Subíndice de risco à resistência (Si_R)

Para fins de validação da eficiência do IRIE, utilizando recursos de defesa individual, foi proposta a elevação da soleira dos lotes em 0,35m, o que impediria um volume maior de

água acumulada nas ruas do loteamento de invadirem o terreno do imóvel. Essa elevação seria possível através de aterro dos lotes, quando do início da construção, ou pela construção de comportas de vedação parcial de portas e adaptação de redes de esgoto e águas pluviais com válvulas e retenção, ou ainda pela introdução de dois degraus para entrada em casa, também com válvulas de retenção nas redes. Essas medidas poderiam proteger até uma altura adicional de 0,35 m.

A normalização para a parcela I_H como função de $(h - D)$ é apresentada na Tabela 3.1, com o valor normalizado representando uma percentagem de dano ao conteúdo da edificação. Assim, foi possível verificar uma alteração de escala de risco dos lotes, concentrando mais de 90% deles em risco muito baixo, mantendo apenas um lote em risco muito alto, o qual se encontra próximo ao Rio Cabuçu-Piraquê, como é possível verificar na Figura 4.21.

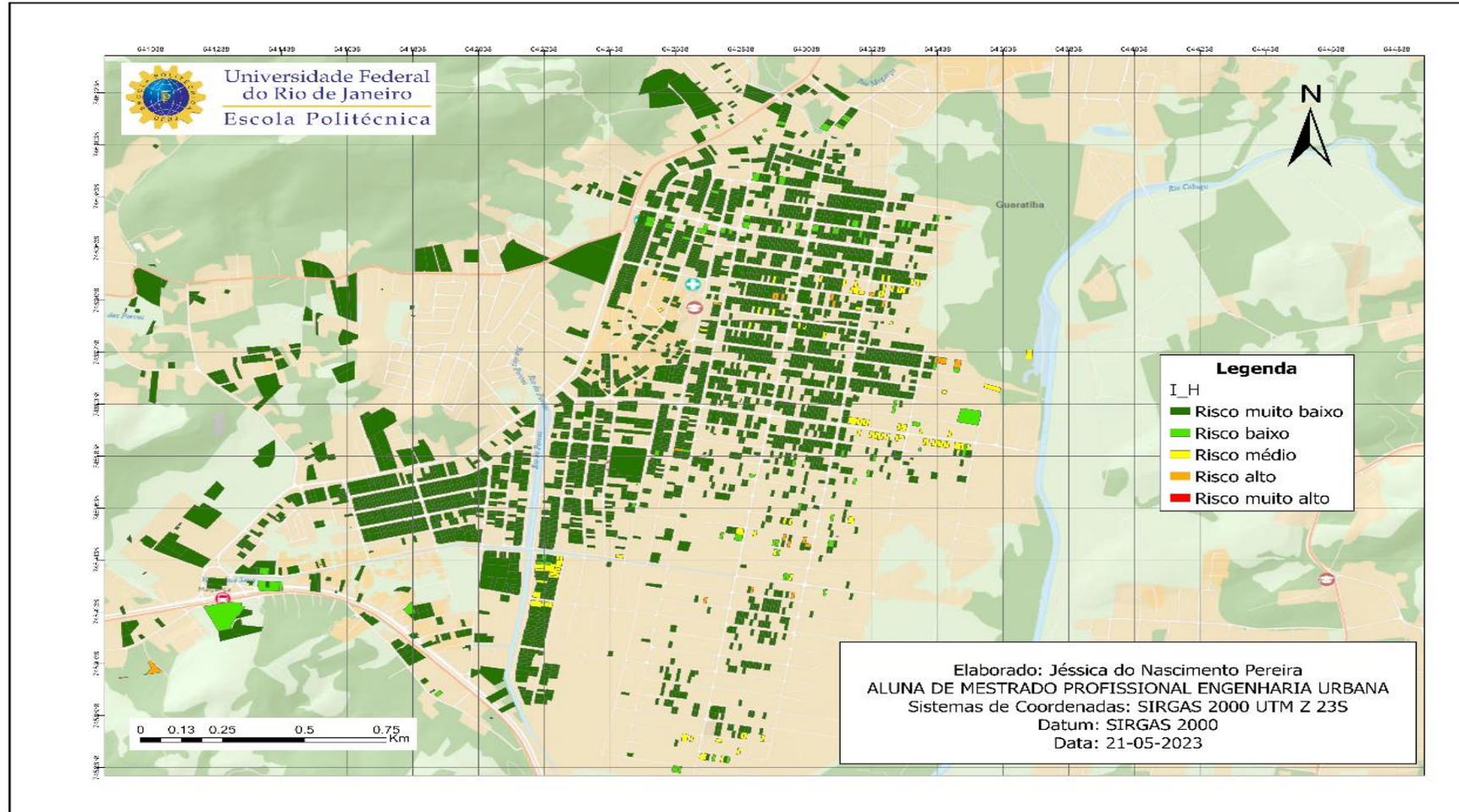


Figura 4.21. Indicador de criticidade à inunda o aplicado no segundo cen rio.

Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

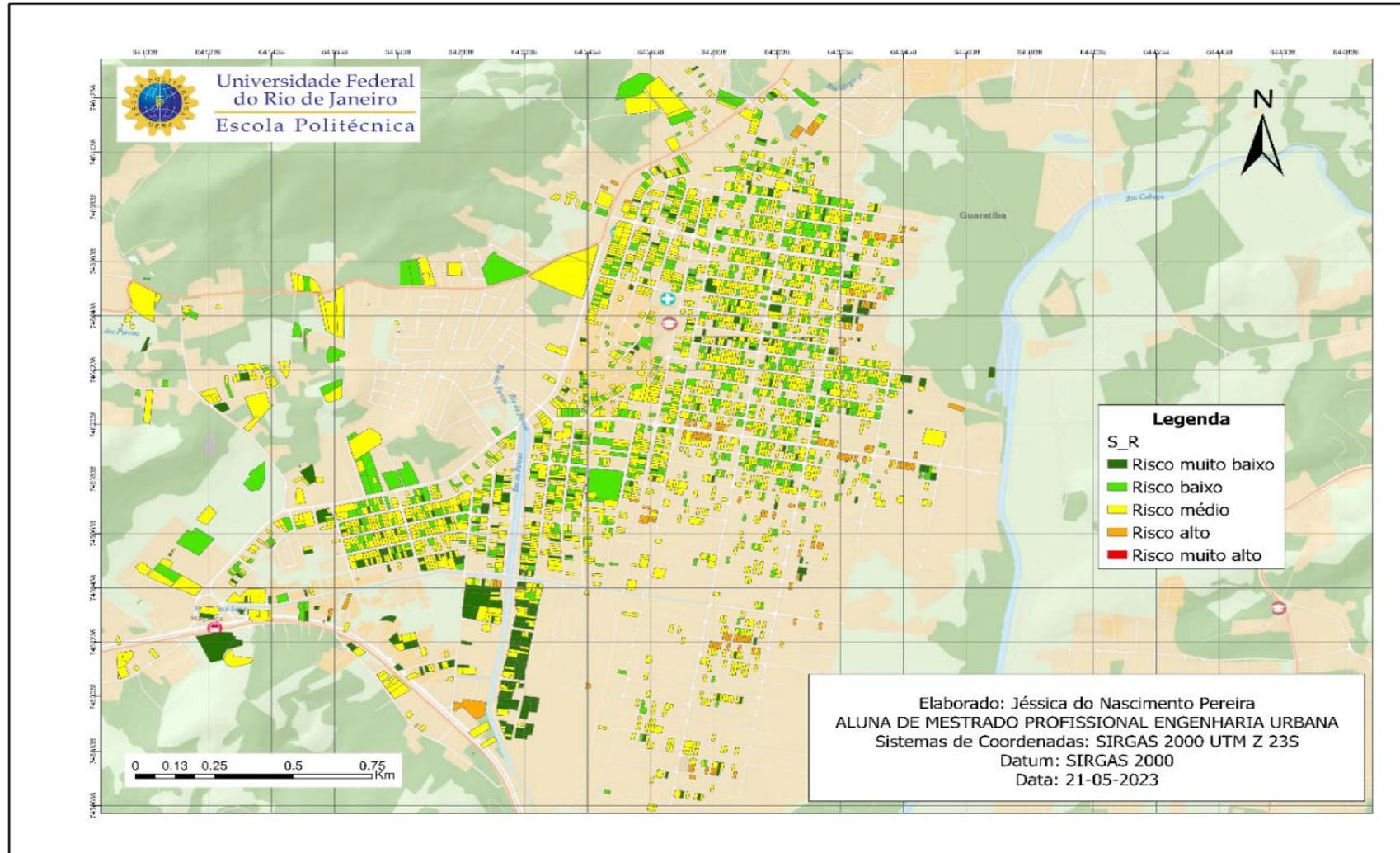


Figura 4.22. Mapa do subíndice de resistência para o segundo cenário.

Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

Dessa forma os valores do \mathbf{Si}_R apresentaram uma variação em comparação ao do cenário anterior, onde foi verificada uma redução da maioria dos lotes que estavam em risco anteriormente, ver Figura 4.22.

4.3.2. Subíndice de risco associado à duração do evento (\mathbf{Si}_D)

O \mathbf{Si}_D também sofreu modificações nos indicadores que o compõem. Ao considerar que todas as ruas são pavimentadas os indicadores I_{pv} e I_{vz} foram alterados, gerando os mapas representados na Figura 4.23 e Figura 4.24.

Como o indicador de área pavimentada possui uma métrica de 0 ou 1, onde 0 é para risco muito baixo, considerando a área toda pavimentada e 0 risco muito alto onde a área não é pavimentada na testada do lote, ao considerar todas as ruas pavimentadas, o risco reduziu em toda a área de estudo para muito baixo.

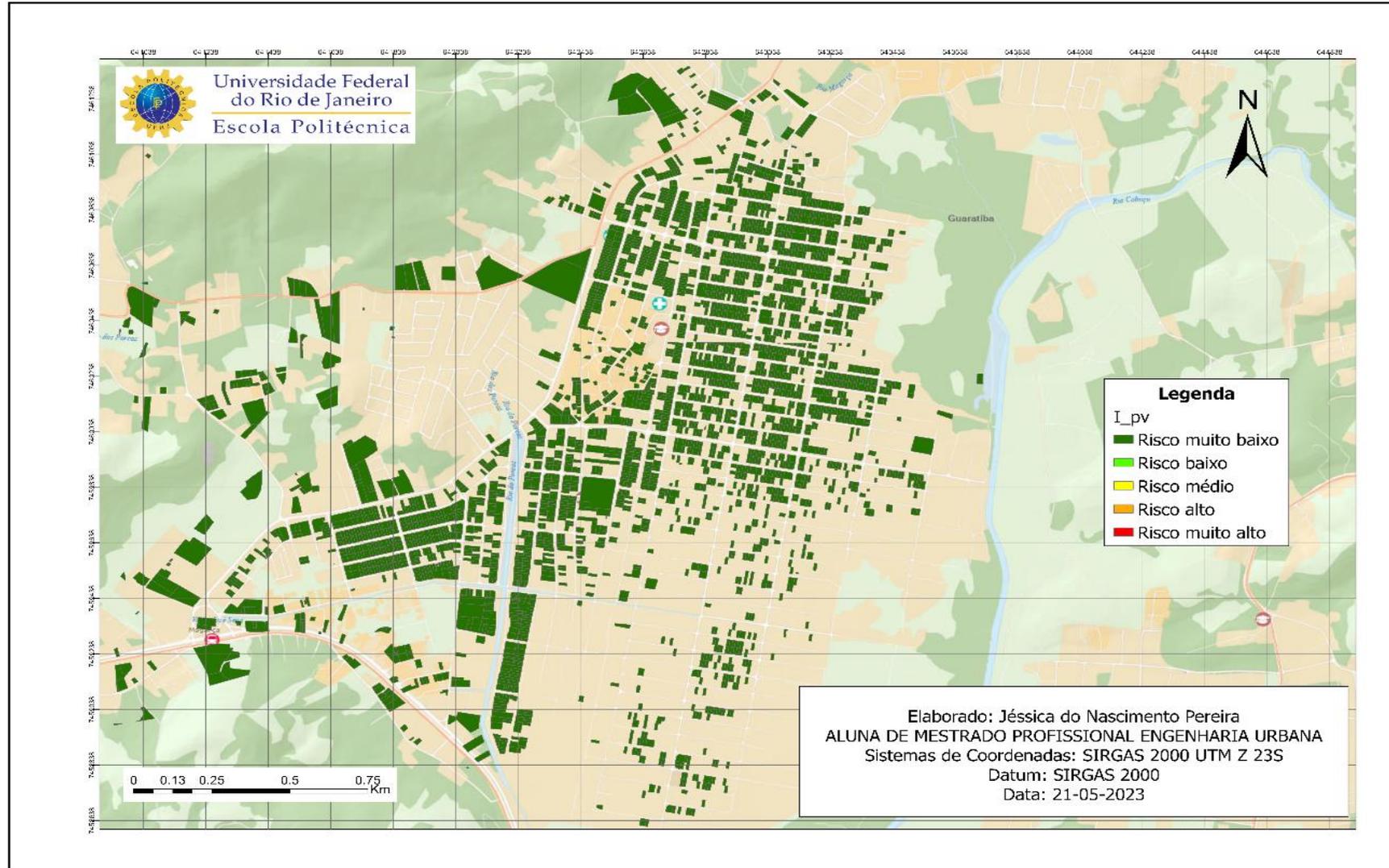


Figura 4.23. Mapa do indicador de área pavimentada no segundo cenário

Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

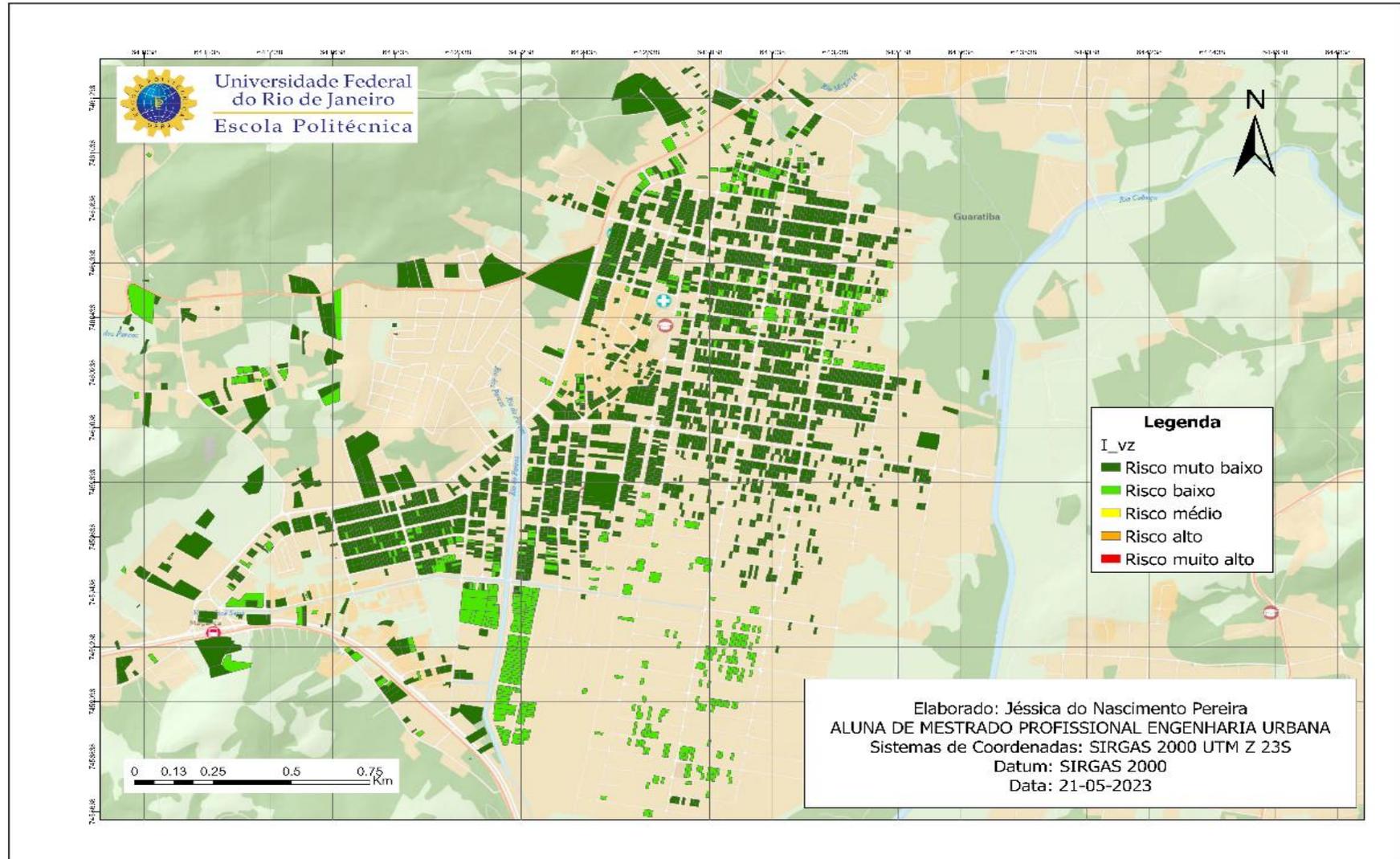


Figura 4.24. Mapa do indicador de vizinhança no segundo cenário
Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

Em consequência o indicador de vizinha, composto pelo de pavimentação também sofreu alteração onde praticamente toda a área de estudo passou a ter risco baixo e muito baixo, impactando também ao subíndice associado a duração do evento.

Dessa forma o subíndice associado a duração do evento ficou com a representação espacial identificada na Figura 4.25, mostrando uma redução do risco por toda a área de estudo, tirando todos os lotes do alto e muito alto risco associado a duração do evento.

A partir desses novos valores para os indicadores e subíndices, foi possível gerar um novo mapa de IRIE considerando o segundo cenário, como pode ser visto na Figura 4.26 onde foi possível verificar que a resiliência aumentou, conforme esperado, não sendo identificada resiliência abaixo de média.

Este resultado mostra a capacidade do IRIE em responder a modificações realizadas na edificação e/ou seu entorno.

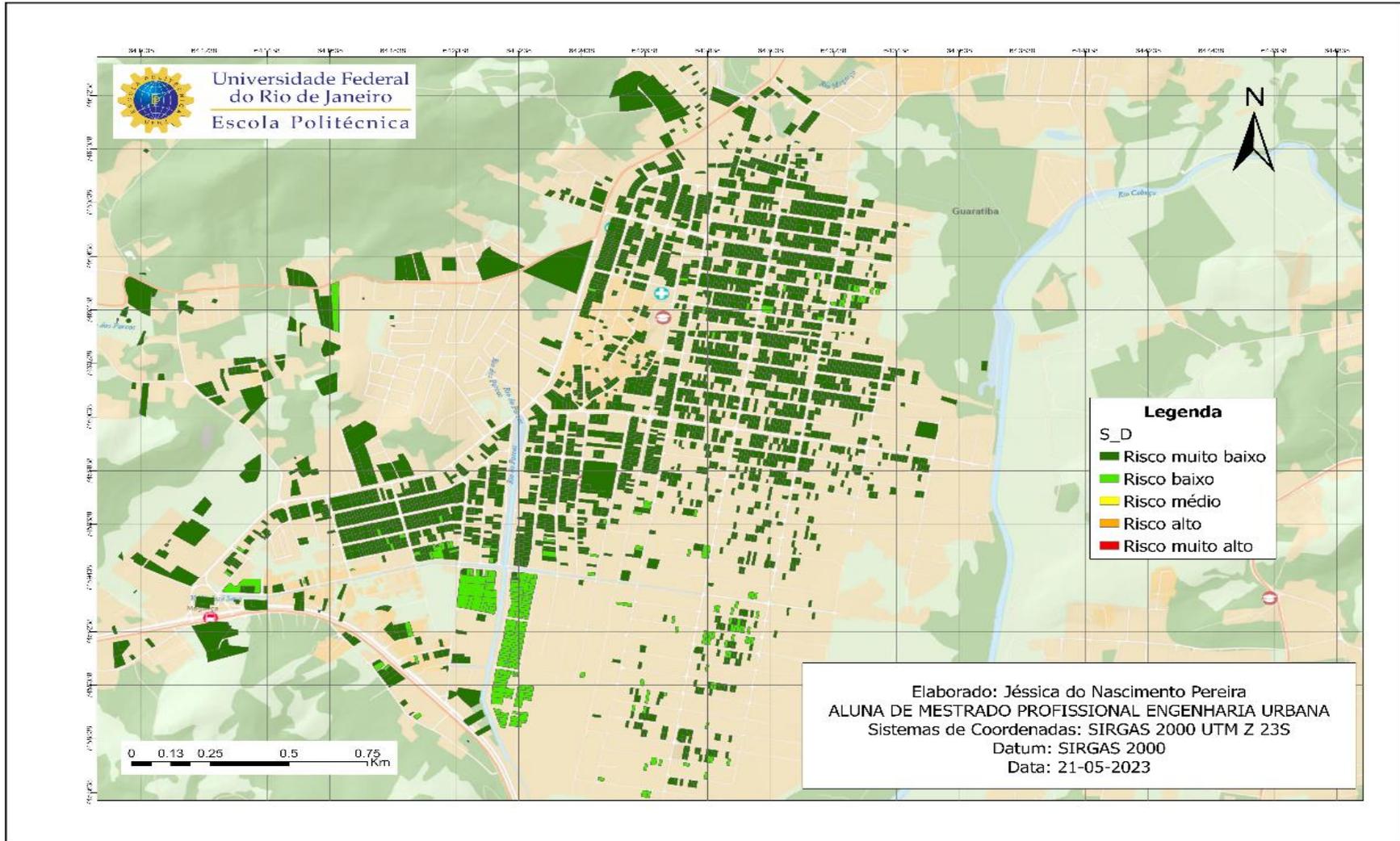


Figura 4.25. Mapa do Subíndice de risco associado à duração do evento para o segundo cenário

Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

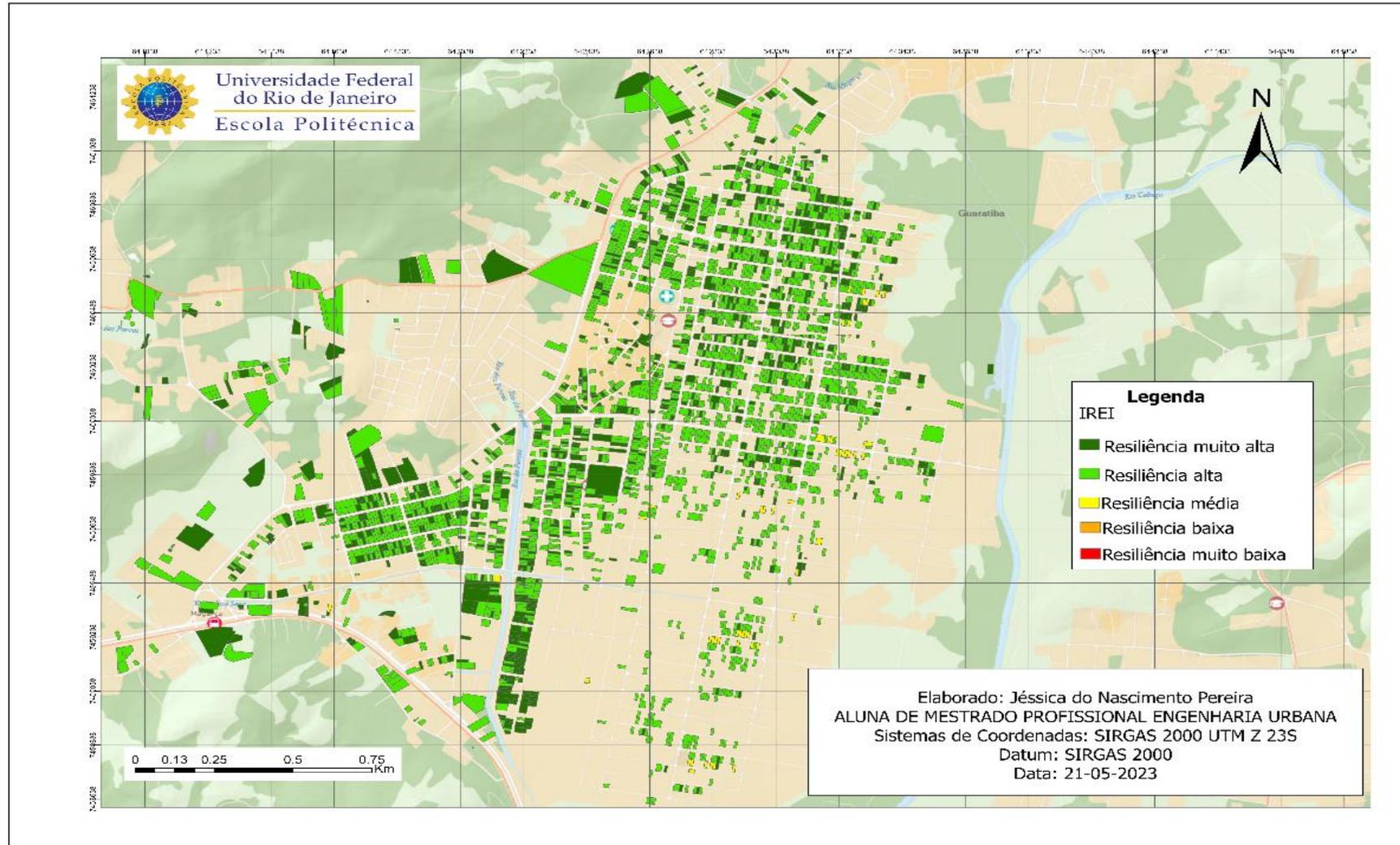


Figura 4.26. Mapa do índice IRIE para o segundo cenário.
Fonte: Elaborado pela Autora, 2023.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs a construção de um índice multicritério com objetivo de medir quantitativamente a resiliência de uma edificação. Este índice, chamado Índice de Resiliência a Inundações para Edificações – IRIE utilizou dois subíndices: um para representar o risco a resistência da edificação (quanto a danos ao seu conteúdo) e outro para o risco associado à duração do evento.

O subíndice de risco a resistência da edificação busca representar os principais fatores que interferem nos riscos associados a uma inundação atingindo um lote, sendo composto por três indicadores: lâmina de inundação, exposição e capacidade de recuperação material. Já para o subíndice associado à duração do evento, são propostos indicadores de: esgotamento sanitário e coleta de lixo, condições da vizinhança e tempo de esvaziamento da cheia.

O subíndice de risco associado a duração do evento, parcialmente composto por informações socioeconômicas vindas do Censo 2010, mostrou uma tendência mais positiva, elevando os valores desse subíndice. Nesse sentido, os valores finais obtidos foram maiores que os esperados, mas a aplicação do índice como um todo pareceu coerente e os resultados foram considerados válidos.

Destaca-se que o uso do censo é uma escolha em prol do uso de informações oficiais e de fácil acesso. Porém, no mapeamento de saneamento adequado, as inspeções em campo mostram situações precárias de despejo de esgoto direto no rio e condições de degradação do ambiente que o censo não captou. Esta escolha do uso do censo parece a mais sensata, mas poderia ser de alguma forma complementada por inspeções in loco. Seria importante uma identificação mais precisa do sistema de esgotamento sanitário e coleta de lixo por ruas, para que os valores para cada lote se aproximem da realidade. Além disso, como recomendação, neste subíndice poderia ser importante considerar informações sobre o abastecimento de água, já que em situações de grandes períodos ilhados em suas residências é importante ter uma reserva de água e locais que dependam de cisternas podem ter seu abastecimento comprometido por causa da contaminação destas pelas águas de chuva.

Outra melhoria para novas aplicações, seria na avaliação da exposição material, onde seria proveitoso a inserção de um parâmetro que identificasse o padrão construtivo da casa, para compor o I_e em um somatório ponderado. Padrões construtivos mais baixos teriam uma maior propensão a sofrer dano, tornando a sua exposição mais crítica. Eventualmente, o padrão construtivo poderia ser um indicador adicional. A combinação da exposição originalmente

consideradas com o padrão construtivo e com a capacidade de recuperação poderia representar, de forma completa, a vulnerabilidade da edificação.

O índice foi calculado sem utilização de pesos diferenciados para os parâmetros, já que a proposta desta pesquisa é definir um índice capaz de mapear o nível de resiliência à inundação da edificação, não cabendo, neste momento de proposição metodológica, um estudo para definição de níveis de importância para cada indicador e subíndice calculado. Porém, este é um estudo necessário e também uma recomendação. Possivelmente, o ajuste de pesos, diminuindo a importância das informações pouco precisas do IBGE e pesando mais a dificuldade de drenagem pós-evento, poderia trazer um resultado mais representativo, mesmo com os dados atualmente disponíveis.

Em relação ao estudo de caso, é possível concluir que o loteamento do Jardim Maravilha se encontra implantado em uma cota, de acordo com o PDMAP (2012), abaixo do recomendável, tanto pelas lâminas de inundação que se espalham superficialmente, como, principalmente, pela dificuldade de drenagem das áreas alagadas pós-evento, que têm águas retidas por longo tempo, como mostram os indicadores I_H e I_{ec} . Dessa forma a maior parte do espaço está exposto as cheias do rio Piraquê Cabuçu, confirmando alguns dos impactos possíveis resultantes do crescimento urbano desordenado. De forma geral, porém, a maior parte do loteamento possui resultado do IRES mostrando alto índice de resiliência à inundação para edificação, macrodrenagem que leva a uma necessidade de avaliação crítica de pesos, conforme sugerido anteriormente.

Entretanto, mesmo assim, não podem ser ignorados os quase 30% de lotes que possuem pouca resiliência. Esses lotes deveriam sofrer intervenções construtivas que possibilitem o aumento de sua resiliência, como visto no segundo cenário estudado, onde considerou-se, por exemplo, a elevação da soleira das casas, ou a utilização de comportas temporárias com uma altura de 0,35m para evitar danos resultantes de alagamentos frequentes.

Como recomendação, sugere-se um terceiro cenário, onde se poderia considerar uma combinação de ações nas edificações (como no Cenário 2) com ações públicas, utilizando soluções de drenagem urbana na escala da bacia hidrográfica, para a mitigação de cheias de um TR de 25 anos, mas recebendo uma chuva maior, que supere a expectativa de projeto, com TR 50 anos, por exemplo, de modo que as medidas individuais serão agora testadas como proteção para o risco residual; portanto, ainda úteis, mesmo depois da ação pública, em algum momento na escala temporal, mas considerando que riscos de eventos mais intensos continuam existindo – essa é uma possibilidade interessante, para valorizar as ações na escala de lote, mesmo quando o poder público faz o “dever de casa” e organiza o território para não inundar para a chuva

referência de projeto. Além disso, a discussão do risco residual abre possibilidades para o incremento da eficiência da gestão de riscos de inundação.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, M. D.; POSNER, E. A. **New foundations of cost-benefit analysis**. [s.l.: s.n.].
- AHERN, J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. **Landscape and Urban Planning**, 2011.
- ALFRADIQUE, C. DE O. S. **PLANOS MUNICIPAIS DE REDUÇÃO DE RISCO: UMA ANÁLISE DE CONTEÚDOS E METODOLOGIAS APLICADAS NO BRASIL**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.
- ASHLEY, R. et al. Water-sensitive urban design: Opportunities for the UK. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer**, v. 166, n. 2, p. 65–76, 2013.
- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F.-N. **Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, realisation et entretien**. Paris: [s.n.].
- BARROS, F. D. C.; DEUS, L. A. B. DE; COSTA, A. J. S. T. Análise Sobre Tendências De Expansão Urbana Na Bacia Hidrográfica Do Rio Cabuçu-Piraquê, Zona Oeste Da Cidade Do Rio De Janeiro. **Revista de Geografia - PPGeo - UFJF**, v. 10, n. 1, p. 132–156, 2020.
- BARROS, R. **História do saneamento básico e tratamento de água e esgoto**. Disponível em: <<https://www.eosconsultores.com.br/historia-saneamento-basico-e-tratamento-de-agua-e-esgoto/>>.
- BATTEMARCO, B. P.; SOUSA, M. M. DE; MIGUEZ, M. G. Índice De Resiliência a Inundações Aplicado Para a Avaliação De Cenários De Urbanização Na Cidade De Paraty, Rj. n. 21, p. 1–10, 2018.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. **Green infrastructure - linking landscapes and communities**. Washington: [s.n.].
- BIGOLIN, M.; CAVALLI, J. G.; SILVA FILHO, L. C. P. RESILIÊNCIA EVOLUTIVA NO SETOR HABITACIONAL : UMA PROPOSTA DE ESTRUTURA CONCEITUAL. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 18, n. 1, p. 2–9, 2020.
- BISWAS, A. K. Integrated water management: Some international dimensions. **Journal of Hydrology**, v. 51, n. 1–4, p. 369–379, 1981.
- BONNEAU, J. et al. The impact of urbanization on subsurface flow paths – A paired-catchment isotopic study. **Journal of Hydrology**, v. 561, n. April, p. 413–426, 2018.
- BOOTH, D. B.; HARTLEY, D.; JACKSON, R. FOREST COVER, IMPERVIOUS-SURFACE AREA, AND THE MITIGATION OF STORMWATER IMPACTS. **JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION**, v. 38, n.

3, 2002.

BORGES, E. D. M.; BARREIRA, C. C. M.; DA COSTA, E. P. V. DA S. M. Habitação Social E Desenvolvimento Urbano Sustentável: O Caso Da Região Metropolitana De Goiânia / Social Housing and Sustainable Urban Development: the Case of Goiania Metropolitan Region. **Geo UERJ**, v. 0, n. 30, p. 122–144, 2017.

BRANDÃO, J., DÍAS, P. B. **O melhor é a água: da antiguidade clássica aos nossos dias**. 1ª ed. [s.l: s.n.].

BRIEN, K. O.; HAYWARD, B.; BERKES, F. Rethinking Social Contracts : Building Resilience in a Changing Climate. v. 14, n. 2, 2009.

BROWN, A.; DAYAL, A.; RUMBAITIS DEL RIO, C. From practice to theory: Emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience. **Environment and Urbanization**, v. 24, n. 2, p. 531–556, 2012.

BURIAN, S. J.; EDWARDS, F. G. **Historical perspectives of urban drainage**. Global Solutions for Urban Drainage. **Anais...2002**

BURNS, M. J. et al. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. **Landscape and Urban Planning**, 2012.

BUTLER, D. et al. **A new approach to urban water management: Safe and sure**. Procedia Engineering. **Anais...2014**

CAMERON A. **Byzance dans le de´bat sur l’Orientalisme**. In: Auze´py M-F. Byzance en ed. Paris: [s.n.].

CANHOLI, A. P., GRACIOSA, M. C. **Enchentes na cidade do Rio de Janeiro - Causas e soluções - estudo de caso: Bacia do Canal do Manguê**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...São Paulo: 2011**

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de cheias**. São Paulo: [s.n.].

CAO, L.; SOUZA, E. **Como combater inundações através da arquitetura? 9 soluções práticas**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/940503/como-combater-inundacoes-atraves-da-arquitetura-9-solucoes-praticas?ad_medium=widget&ad_name=navigation-prev#>.

CARNEIRO, P. R., MIGUEZ, M. G. **Controle de Inundações em Bacias Hidrográficas Metropolitanas**. São Paulo: [s.n.].

CARVALHO, A. DE A. S. **Análise custo-benefício como instrumento de avaliação de política pública em parques tecnológicos**. Brasília: FACE - Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Pública, 2021.

CARVALHO, L. et al. **Risco , desastre e resiliência – um desafio para a cidade da**

- Amadora.** IX Congresso da geografia portuguesa – geografia: espaço, natureza e sociedade. **Anais...**2013
- CASANA, J. Structural transformations in settlement systems of the Northern Levant. **American Journal of Archaeology**, 2007.
- CAUGHLI, D. **How to Prevent Your House from Flooding**. Disponível em: <https://www.valuepenguin.com/homeowners-insurance/how-to-prevent-home-flooding?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com.br>. Acesso em: 8 maio. 2022.
- CETESB. **Nálise, avaliação e gerenciamento de riscos**. São Paulo: [s.n.].
- CICCOTTI, L. et al. Construção de indicadores de resiliência comunitária aos desastres no Brasil: uma abordagem participativa. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. 1–20, 2020.
- CIRIA. **Sustainable urban drainage systems - design manual for Scotland and Northern Ireland**. London: CIRIA - Construction Industry Research and Information Association., 2000.
- CRICHTON, D. What can cities do to increase resilience? **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 365, n. 1860, p. 2731–2739, 2007.
- CROW, J. Ruling the waters: managing the water supply of Constantinople, ad 330–1204. **Water History**, 2012.
- CUTTER, S. L. et al. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 4, p. 598–606, 2008.
- CUTTER, S. L.; BURTON, C. G.; EMRICH, C. T. Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. **Journal of Homeland Security and Emergency Management**, v. 7, n. 1, 2010.
- DAVOUDI, S.; BROOKS, E.; MEHMOOD, A. Evolutionary Resilience and Strategies for Climate Adaptation. **Planning Practice and Research**, v. 28, n. 3, p. 307–322, 2013.
- DE BONIS, A. **IDU - Índice de drenagem urbana**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- DE BOO, M. Living on Water: A floating town on an unsinkable foundation complete with gardens, streets, and squares. **Technical Report**, v. 22, n. 561, p. 294–295, 2005.
- DE PESSÔA, J. A. **A Estrutura JANUS. Integrando Preferências, Modelos e Dados na Gestão de Bacias Hidrográficas**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- DEL, C.; EN, R.; MARCO, E. L. DE DESASTRES EN EL ESTADO DE COLIMA (COL ., MÉXICO). p. 1–20, 2021.

E E A, E. E. A. **Urban adaptation to climate change in Europe: Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies.** Luxembourg: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>>.

EM-DAT. **Emergency Database (EM-DAT).** Disponível em: <https://www.emdat.be/emdat_atlas/sub_html_pages/sub_html_BRA.html>. Acesso em: 20 mar. 2021.

EMAMI, K. Adaptive flood risk management. **Irrigation and drainage**, v. 242, n. January 2020, p. 230–242, 2020.

ESSLETZBICHLER, J. Diversity, stability and regional growth in the United States 1975-2002. In: K, F.; P, E. E. (Eds.). . **In Applied Evolutionary Economics and Economic Geography.** [s.l: s.n.]. p. 203–229.

EVERARD, M.; MOGGRIDGE, H. L. Rediscovering the value of urban rivers. **Urban Ecosystems**, p. 293–314, 2012.

FAO, F. A. A. O. O. T. U. N. **Climate change and food security: Risks and responses.** Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5188e.pdf>>.

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

FLETCHER, T. D.; ANDRIEU, H.; HAMEL, P. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. **Advances in Water Resources**, 2013.

FOLKE, C. et al. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, 2010.

FORMAN, R. T. T. Horizontal processes, roads, suburbs, societal objectives, and landscape ecology. **Landscape Ecological Analysis**, p. 35–53, 1999.

FOSTER, J.; LOWE, A.; WINKELMAN, S. **The Value of Green Infrastructure for Urban Adaptation.** [s.l: s.n.].

FÜSSEL, H. M. Adaptation planning for climate change: Concepts, assessment approaches, and key lessons. **Sustainability Science**, v. 2, n. 2, p. 265–275, 2007.

G1.COM. **Britânicos projetam “casa anfíbia” flutuante e à prova de enchentes.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2012/02/britanicos-projetam-casa-anfibia-flutuante-e-a-prova-de-enchentes.html>>. Acesso em: 10 set. 2021.

GABRIEL, C. et al. **RELATÓRIO DIAGNÓSTICO - BACIA DO RIO PIRAQUÊ**

CABUÇU. Rio de Janeiro: [s.n.].

GERRITSEN, F. et al. Settlement and Landscape Transformations in the Amuq Valley, Hatay. **Anatolica**, v. 34, p. 241–314, 2008.

GLOBO, O. **Casa à prova de enchente**. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/imoveis/casa-prova-de-enchente-11478654>>. Acesso em: 10 set. 2021.

GONÇALVES, C. Resilient regions, cities and communities: new development principles. **Brazilian Journal of Urban Management**, v. 9, n. 2, p. 371–385, 2017.

GOULDBY, B.; SAMUELS, P. Language of Risk – Project definitions. **Floodsite Report**, 2005.

GOUVEA, L. P. DE S. **Vulnerabilidades E Impactos Socioambientais Da Urbanização No Rio Cabuçu-Piraquê, Zona Oeste -Rj**. [s.l.] UEZO - Universidade Estadual da Zona Oeste, 2020.

GRAFF, S. R.; DIETLER, M. **Economy and Society : An Archaeological Reconstruction of the Political and Informal Economy of Northwestern Syria in the Third Millenium B.C. Vol. I**. [s.l: s.n.].

GRIMM, N. B. et al. Global change and the ecology of cities. **Science**, v. 319, p. 756–760, 2008.

GROOT, A.; NILSSON, C.; BREE, H. F. L. VAN. **Adapting to an Uncertain Climate**. 1. ed. [s.l.] Springer International Publishing, 2014.

HETTIARACHCHI, S.; WASKO, C.; SHARMA, A. Increase in urban flood risk resulting from climate change – The role of storm temporal patterns. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, p. 1–28, 2017.

HONEY-ROSÉS, J. et al. Examining the Demand for Ecosystem Services: The Value of Stream Restoration for Drinking Water Treatment Managers in the Llobregat River, Spain. **Ecological Economics**, v. 90, p. 196–205, 2013.

IBGE. **Tendências Demográficas: Uma análise da população com base nos resultados dos censos demográficos de 1940 e 2000**. [s.l: s.n.].

ILO; UNDESA; & WHO. **The social dimensions of climate change: Discussion Draft**. **New York: UN Task Team on Social Dimensions of Climate Change**. Disponível em: <<https://www.who.int/globalchange/mediacentre/events/2011/social-dimensions-of-climate-change.pdf>>.

IPCC, I. P. ON C. C. **AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

- JABAREEN, Y. Planning the resilient city : Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. **Cities**, v. 31, p. 220–229, 2013.
- KIRBY, A. SuDS - Innovation or a tried and tested practice? **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer**, v. 158, n. 2, p. 115–122, 2005.
- LAMBROU, Y.; NELSON, S. Farmers in a changing climate. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, p. 82, 2010.
- LEICHENKO, R. Climate change and urban resilience. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 3, n. 3, p. 164–168, 2011.
- LEONETI, A. B.; PRADO, E. L. DO; OLIVEIRA, S. V. W. B. DE. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, v. 45, p. 331–348, 2011.
- LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. [s.l: s.n.].
- LUZ, M. B.; FILGUEIRA, J. H. A. **SISTEMAS DE ALERTA A DESASTRES RELACIONADOS COM FENÔMENOS NATURAIS: ALGUMAS ALTERNATIVAS NO BRASIL E NO MUNDO**. Encontro Nacional de Desastres. **Anais...**Porto Alegre: 2018
- MAANTAY, J.; ZIEGLER, J. **Basic Mapping and GIS**?. In: **GIS for the Urban Environment**. 1. ed. Califórnia: ESRI Press, 2006.
- MADEIROS, H.; GRIGIO, A.; PESSOA, Z. Desigualdades e justiça ambiental: um desafio na construção de uma cidade resiliente. **GOT - Journal of Geography and Spatial Planning**, v. 13, n. 13, p. 247–265, 2018.
- MALTA, V. DE F. **A Busca de uma Solução de Compromisso em Problemas de Conflitos em Recursos Hídricos Utilizando um Modelo de Análise de Conflito – MACPROL**. [s.l.] UFRJ, 2006.
- MAMO, T. G. Evaluation of the Potential Impact of Rainfall Intensity Variation due to Climate Change on Existing Drainage Infrastructure. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n. 10, p. 05015002, 2015.
- MASCARÓ, J. L.; YOSHINAGA, M. **Infra-Estrutura Urbana**. [s.l: s.n.].
- MATTEO, M.; RANDHIR, T.; BLONJARZ, D. Watershed-Scale Impacts of Forest Buffers on Water Quality and Runoff in Urbanizing Environment. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 132, n. 3, p. 144–152, 2006.
- MET OFFICE. **The UK Climate Projections (UKCP) provides the most up-to-date assessment of how the climate of the UK may change over the 21st century**. Disponível em: <<https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/collaboration/ukcp/index>>. Acesso

em: 28 nov. 2019.

METROVANCOUVER. **Stormwater source control design guidelines.** Vancouver Prepared by Lanarc Consultants, Kerr Wood Leidal Associates and Goya Ngan for MetroVancouver., , 2012.

MIGUEZ, M. G. **Modelo matemático de células de escoamento para bacias urbanas.** [s.l.] UFRJ, 2001.

MIGUEZ, M. G. et al. Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 6, 2017.

MIGUEZ, M. G.; DI GREGÓRIO, L. T.; VERÓL, A. P. **Gestão de riscos e desastres hidrológicos.** 1ª ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade.** 1. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

MIGUEZ, M. G.; VEROL, A. P.; SANTOS, R. B. **Alternative solutions for sustainable urban drainage systems integrating areas of irregular urban growth with the formal city.** Applied Mechanics and Materials. **Anais...**2013

MORALES, P. R. **Curso de drenagem urbana e meio ambiente.** Rio de Janeiro: [s.n.].

MOREIRA, L. L.; DE BRITO, M. M.; KOBİYAMA, M. Review article: A systematic review and future prospects of flood vulnerability indices. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 21, n. 5, p. 1513–1530, 2021.

MORLEY, S. A.; KARR, J. R. Assessing and restoring the health of urban streams in the Puget Sound Basin. **Conservation Biology**, p. 1498–1509, 2002.

MORSCH, M. R. S.; MASCARÓ, J. J.; PANDOLFO, A. Sustentabilidade urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 305–321, 2017.

MURTHA, N. A.; CASTRO, J. E.; HELLER, L. UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA DAS PRIMEIRAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE SANEAMENTO E DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, p. 193–210, 2015.

NARDO, M. et al. **Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide** **Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide.** Paris: [s.n.].

NETO, J. C. S. ZONEAMENTO AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO PARA O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SALOBRA , SERRA DA BODOQUENA – MS ENVIRONMENTAL ZONING AS SUBSIDY FOR ORDINANCE OF THE TERRITORY OF THE WATERSHED OF SALOBRA RIVER -

- BODOQUENA PLATEAU , MATO. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, p. 119–142, 2014.
- ONTARIO MINISTRY OF NATURAL RESOURCES. **Urban drainage design guidelines**. Ontario Ministry of Natural Resources, , 1987.
- ONU, O. DAS N. U.-. **Como construir cidades mais resilientes: um guia para gestores públicos locais**. Disponível em: <http://www.unisdr.org/files/26462_guiagestorepublicosweb.pdf>. Acesso em: 8 maio. 2022.
- OSTROM, E. Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. **Global Environmental Change**, v. 20, n. 4, p. 550–557, 2010.
- PALMER, M. A.; RICHARDSON, D. C. Provisioning Services: A Focus on Fresh Water. In: **The Princeton Guide to Ecology**. [s.l: s.n.]. p. 625–633.
- PASCHE, E. et al. Cascading flood compartments with adaptive response. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 118, n. June, p. 303–312, 2008.
- PAUL, M. J.; MEYER, J. L. Streams in the urban landscape. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 32, p. 333–365, 2001.
- PCRJ, P. DA C. DO R. DE J. **Alerta Rio**. Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br/info-estacoes/>>. Acesso em: 5 ago. 2019.
- PDMAP, R. D. J. **Plano diretor de manejo de águas pluviais da cidade do Rio de Janeiro**.
- PHILIP, G. et al. Settlement and landscape development in the Homs Region, Syria. Report on work undertaken during 2001-2003. **Levant**, p. 21–42, 2005.
- PHILIP, G.; BRADBURY, J. **Pre-classical activity in the basalt landscape of the Homs Region, Syria: Implications for the development of “sub-optimal” zones in the Levant during the Chalcolithic-early Bronze Age** *Levant*, 2010.
- PIKE, A.; DAWLEY, S.; TOMANEY, J. Resilience, adaptation and adaptability. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 3, n. 1, p. 59–70, 2010.
- PINHEIRO, C. B.; SANTOS, R. E. DOS. Trajetória da drenagem urbana no Brasil: uma perspectiva a partir da análise de políticas públicas recentes de Belo Horizonte. **Xviii Enanpur**, 2019.
- RAMIREZ, D. R. C. National Disaster Risk Reduction Strategies and Sustainable Development. **Research Gate**, n. October, 2020.
- RENN, O.; KLINKE, A. A framework of adaptive risk governance for urban planning. **Sustainability (Switzerland)**, v. 5, n. 5, p. 2036–2059, 2013.
- RESILIENCE ALLIANCE. Urban Resilience Research Prospectus. **Urban Systems**, n.

February, p. 24, 2007.

REZENDE, O. M. **Análise quantitativa da resiliência a inundações para o planejamento urbano: caso da bacia do Canal do Manguê no Rio de Janeiro.** [s.l.] UFRJ- Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

RIBEIRO, J. DOS S. **O uso do Sistema de Informação Geográfica nas pesquisas de Administração.** [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2018.

RIGAUX, P.; SCHOLL, M.; VOISARD, A. **Spatial Databases: with application to GIS.** [s.l.] Elsevier Science, 2001.

ROBAINA, L. E. ESPAÇO URBANO: RELAÇÃO COM OS ACIDENTES E DESASTRES NATURAIS NO BRASIL. **Ciência e Natura**, v. 5, p. 93–105, 2008.

SAISANA, M.; TARANTOLA, S. State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development. **European Commission Joint Research Centre**, p. 1–72, 2002.

SAITO, S. M.; PELLERIN, J. R. G. M. AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE RISCO DE ESCORREGAMENTOS NO MACICO DO MORRO DA CRUZ, FLORIANÓPOLIS, SC. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 29, p. 47–63, 2013.

SCHOLTEN, P.; KESKITALO, E. C. H.; MEIJERINK, S. Bottom-up initiatives toward climate change adaptation in cases in the Netherlands and the UK: a complexity leadership perspective. **Environment and Planning C: Government and Policy**, v. 33, n. 5, p. 1024–1038, 2015.

SCHUELER, T. R. **Controlling urban runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs Paperback.** [s.l.] Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987.

SEDEC, S. E. DE D. C. **Plano de contingência do Estado do Rio de Janeiro para chuvas intensas - verão 2021/2022.** Disponível em: <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/2021/12/PLANO_ESTADUAL_DE_PROTECAO_E_DEFESA_CIVIL_Atualizacao_2021_12_28_1640792939.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2022.

SEMADS. **Enchentes no estado di Rio de Janeiro: uma abordagem geral. Projeto Planágua Semads / Gtz deRio de Janeiro**SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, , 2013.

SILVA, I. V.; OSCAR JR, A. C. Bacia do Rio Piraquê - Cabuçu e as Inundações do Dia Quinze de Fevereiro de 2018. **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, p. 1–12, 2019.

SILVEIRA, A. L. L. DA. **Impactos Hidrológicos da Urbanização em Porto Alegre**. [s.l.: s.n.].

SILVEIRA, P. G. DA; SANTOS, A. C. F. DOS; BALTER, T. S. **Percepção de Riscos em Áreas Costeiras Um estudo do Município de Arraial do Cabo Caderno Percebendo Riscos, reduzindo perdas**, [s.d.].

SIMMIE, J.; MARTIN, R. The economic resilience of regions: Towards an evolutionary approach. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 3, n. 1, p. 27–43, 2010.

SINK, S.; TUTTLE, T. C. **Planning and measurement in your organization of the future**. illustrated edition ed. [s.l.] Inst of Industrial Engineers, 1993.

SMAR, S. M. DE S. E R. H. **Plano Municipal De Saneamento Básico Da Cidade Do Rio De Janeiro** Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.transporteativo.org.br.sci-hub.org/site/area/arquivos2/ANTP_GT-Ciclovias_Rio.pdf>

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; CORDEIRO NETTO, O. DE M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 18, p. 1713–1724, 2002.

SOLER, L. S. et al. **Challenges and perspectives of innovative digital ecosystems designed to monitor and warn natural disasters in Brazil**. Proceedings of the 5th International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems, MEDES 2013. **Anais...2013**

SOUSA, M. M. DE. Avaliação comparativa de metodologias de modelagem hidráulica 2D e seu impacto na interpretação e avaliação de ondas de cheias. p. 324, 2017.

SQUERCIATI, J. **Five Prominent Flood Resistant Building Techniques**. Disponível em: <https://www.dewberry.com/insights-news/post/blog/2018/10/18/five-prominent-flood-resistant-building-techniques?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com.br>.

Acesso em: 8 maio. 2022.

STU. **Controˆle du ruissellement des eaux pluviales en amont des re´seaux (Stormwater runoff control upstream of the stormwater network)**. Paris: [s.n.].

STU. **La Maˆtrise du des eaux pluviales: quelques solutions pour l’ame´lioration du cadre de vie (The management of urban stormwater: solutions for environmental improvement)**. Paris: Ministe`re de l’Urbanisme et du Logement, Direction de l’Urbanisme et des Paysages, Service Technique de l’Urbanisme., 1982.

SUBDEC, S. DE D. C. **Programa De Proteo Comunit´aria – Adaptao Aos Riscos De Desastres** Na. Disponível em:

- <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/4402327/4113195/PROGRAMADEPROTECAO_COMUNITARIA.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2022.
- SURIYA, S.; MUDGAL, B. V. Impact of urbanization on flooding : The Thirusoolam sub watershed – A case study. **Journal of Hydrology**, v. 412–413, p. 210–219, 2012.
- TERC, (ESTADOS UNIDOS). **Intro to GIS**. Disponível em: <https://serc.carleton.edu/eyesinthesky2/week5/intro_gis.html>. Acesso em: 4 dez. 2022.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais : conhecer para prevenir**. [s.l: s.n.].
- TRIGAL, L. L. et al. **Diccionario de geografía aplicada y profesional : terminología de análisis, planificación y gestión del territorio**. [s.l: s.n.].
- UFNPA. **State of world population 2008: reaching common ground: culture, gender and human rights** UFNPA. [s.l: s.n.].
- UNISDR. 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. **International Strategy for Disaster Reduction (ISDR)**, 2009.
- VARGAS, H. R. **Guía municipal para la gestión del riesgo**. Bogotá Banco Mundial, , 2010.
- VERÓL, A. P. et al. Urban Flood Control in Vila Fraternidade , Brazil : Analysis of a Polder Installation Supported by a Hydrodynamic Computer Model. **12th International Conference on Urban Drainage**, n. September, p. 11–16, 2011.
- VERÓL, A. P. **Requalificação fluvial integrada ao manejo de águas urbanas para cidades mais resilientes**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- VEYRET, I. **Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. Contexto ed. São Paulo: 01/04/2007, 2007.
- WALSH, C. J. Protection of in-stream biota from urban impacts: Minimise catchment imperviousness or improve drainage design? **Marine and Freshwater Research**, v. 55, p. 317–326, 2004.
- WHELANS, M. C.; THOMPSON, P.; GLICK, H. **Planning & management guidelines for water sensitive urban (residential) design : consultants report prepared for the Department of Planning and Urban Development, the Water Authority of Western Australia and the Environmental Protection Authority / by Wh**. [s.l.] Mount Hawthorn, W.A. : Whelans ; Perth, W.A. : [distributed by] State Planning Commission, 1994., 1994.
- WONG, T. H. F.; BROWN, R. R. Water sensitive urban design. **Water Resources Planning and Management**, v. 9780521762, p. 483–504, 2011.
- ZONENSEIN, J. **Índice De Risco De Cheia Como Ferramenta De Gestão De Enchentes**. 2007.

