



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ruan César Pinto Claudino

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO DE
INUNDAÇÃO EM NÚCLEOS URBANOS
ESTUDO DE CASO NO CENTRO HISTÓRICO DE PORTO
ALEGRE, BRASIL**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Reabilitação de Edifícios, na área de
Especialização de Reabilitação Estrutural, orientada pelo Professor Doutor
Tiago Miguel Ferreira e Professor Doutor Pedro Pinto dos Santos e
apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências
e Tecnologia da Universidade de Coimbra.**

Outubro de 2021

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Ruan César Pinto Claudino

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO DE
INUNDAÇÃO EM NÚCLEOS URBANOS:
ESTUDO DE CASO NO CENTRO HISTÓRICO DE
PORTO ALEGRE, BRASIL**

**FLOOD VULNERABILITY AND RISK ASSESSMENT IN URBAN AREAS: A CASE STUDY
IN THE HISTORIC CITY CENTRE OF PORTO ALEGRE, BRAZIL**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Reabilitação de Edifícios, na área de Especialização de Reabilitação Estrutural, orientada pelo Professor Doutor Tiago Miguel Ferreira e Professor Doutor Pedro Pinto dos Santos e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Outubro de 2021



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Para realização deste trabalho muitas pessoas me ajudaram e sem as quais não teria sido fácil consegui-lo, a todas elas, minha gratidão. A algumas, pelo apoio especial ao longo deste período, expressei meu imenso reconhecimento e profundo agradecimento:

Aos meus orientadores, Professor Doutor Tiago Miguel Ferreira e Professor Doutor Pedro Pinto dos Santos, que aceitaram orientar a minha dissertação de mestrado, pela paciência ao ter lido inúmeras vezes os mesmos capítulos e notável atenção. Os seus conselhos e sugestões bem como o permanente entusiasmo foram determinantes para o resultado alcançado.

Aos meus colegas, por todo estímulo e colaboração que tornou todo o processo de formação mais valioso: Alexandre Fernandes, Lucas Cardoso, Marcos Chiamulera, Mariana Augusco e Tássia Baqueiro.

A todos amigos da Residência Universitária Pedro Nunes pelo companheirismo em todos os âmbitos da vida académica e extraordinário convívio: Billy John, Cauê Aquino, Diogo Correia, Dorival Fijamo, Joao Nunes, Jorge Villarroel-Ortega, Nelson Jossias, Thiago Augusto e Wellington Oliveira.

RESUMO

Diversos estudos apontam para a inevitável situação das alterações climáticas e, com elas, o aumento da frequência e da intensidade dos fenômenos climáticos extremos. O crescimento na ocorrência de inundações nas últimas décadas, resultado destas alterações e de outros fatores, tais como a expansão urbana e alterações ao uso do solo, são disso exemplo, e evidenciam a necessidade do desenvolvimento de estudos e métodos para gerir e mitigar o risco de inundação, especialmente em áreas urbanas onde a utilização de medidas adequadas são atualmente um desafio para a sociedade. A presente dissertação pretende contribuir para o conhecimento nesta temática através da avaliação da vulnerabilidade e risco de inundação na cidade de Porto Alegre, capital e maior município brasileiro do estado do Rio Grande do Sul. Visando fornecer as condições de análise do cenário de inundação com vista à definição de possíveis estratégias de reabilitação otimizadas para a redução da vulnerabilidade do edificado existente, ou seja, atenuação dos danos associados a este tipo de risco, a presente investigação foca-se em uma área específica no bairro do centro histórico. Para isso, é proposta uma metodologia simplificada de avaliação do risco de inundação baseada na revisão dos métodos e abordagens existentes e levantamento de campo, tendo em conta as componentes de vulnerabilidade física e funcional do edificado, combinadas como componente de perigosidade. Analisando isoladamente cada componente definida, apresentam-se uma compreensão detalhada do risco de inundação e suas possíveis causas, considerando que este aspecto é fundamental no embasamento dos tomadores de decisão e gestores sobre quais os fatores mais impactantes ao risco, seja ao nível do quarteirão ou edifício. Pela agregação e análise através de uma matriz de risco, identificaram-se alguns edifícios classificados entre um risco elevado a extremo que, geralmente, seguem a tendência dos indicadores individuais de perigosidade e vulnerabilidade. Mesmo que a metodologia sugerida exija uma análise e interpretação cautelosa dos resultados, o estudo pode indicar uma área que demanda uma atenção especial e, principalmente, edifícios que necessitam de intervenção imediata. Considerando a combinação dos resultados, a cartografia realizada a partir da matriz de risco identifica uma faixa moderado-elevado que representa uma preocupação maior. A região mais atingida é a do Cais Mauá que conta com subutilização das funções devido ao seu estado geral de conservação, falta de planejamento estratégico e desconexão com o restante da cidade, mesmo sendo uma área com valor histórico. No cenário de uma inundação de grande magnitude, a área de estudo não apresenta um cenário tão alarmante com a hipótese de inexistência ou falha do sistema atual de proteção. No entanto, para além da proteção ao nível comunitário, o edificado estudado não está preparado para responder a esse tipo de evento mitigando os seus danos, e tão pouco existem políticas de enfrentamento ao nível governamental.

Palavras-chave: Inundações, Análise de Vulnerabilidade, Avaliação do Risco, Desastres Naturais, Chuvas, Reabilitação de Edifícios.

ABSTRACT

Several studies point to the inevitable context of climate change and, consequently, the increase in the frequency and intensity of extreme weather events. The increase in the occurrence of floods in recent decades, as a result of these changes and other factors, such as urban sprawl and land-use changes, are an example of this and highlight the need to develop studies and methods to manage and mitigate flood risk, especially in urban areas where the use of appropriate measures are currently a challenge for society. The present dissertation aims to contribute to the knowledge on this subject by assessing the vulnerability and risk of flooding in the city of Porto Alegre, the capital and largest Brazilian municipality in the Rio Grande do Sul. With the objective of providing the conditions for the analysis of flooding scenario to be used to outline possible optimized rehabilitation strategies aimed at reducing the vulnerability of the existing building stock, i.e., to mitigate the damage associated with this type of risk, the present investigation focuses on a specific area in the historic centre neighbourhood. For this purpose, a simplified methodology of flood risk assessment is proposed, based on the review of existing methods and approaches and field survey, taking into account the physical, social and functional components of the building related to the hazard component. By analyzing alone each defined component, a detailed understanding of flood risk and its possible causes is presented, considering that this aspect is fundamental in grounding decision-makers and managers on which factors have the most impact on risk, whether at the block or building level. By the aggregation and analysis through the risk matrix, some buildings classified between high and extreme risk were identified, which generally follow the trend of the individual indicators of hazard and vulnerability. Even though the suggested methodology requires a careful analysis and interpretation of the results, the study can indicate an area that demands special attention and, mainly, buildings that need immediate intervention. Considering the combination of results, the risk mapping performed based on the risk matrix identifies an area with a moderate-high risk that represents a major concern. The most affected region is Mauá Pier, which has underutilized functions due to its general state of conservation, lack of strategic planning, and disconnection with the rest of the city, even though it is an area with historical value. In a great magnitude flooding scenario, such as the historical maximum, the study area does not present such an alarming scenario with the hypothesis of inexistence or failure of the current protection system. However, beyond the protection at the community level, the studied buildings are not prepared to respond to this type of event by mitigating its damage, nor are there any policies to confront it at the government level.

Key words: Flooding, Vulnerability Analysis, Risk Assessment, Natural Disasters, Rainfall, Building Rehabilitation

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivos.....	1
1.1.1	Geral	1
1.1.2	Específico	1
1.2	Metodologia.....	2
1.3	Estrutura da dissertação	2
2	ESTADO DA ARTE	3
2.1	Cenário global de desastres	3
2.2	Inundações	4
2.3	Definições e abordagem da avaliação do risco	7
2.3.1	Risco	7
2.3.2	Perigosidade	8
2.3.3	Exposição	8
2.3.4	Vulnerabilidade	9
2.4	Metodologias de avaliação da vulnerabilidade dos edifícios à inundação e matrizes de risco.....	11
2.4.1	Matrizes de risco.....	16
2.5	Comentários finais.....	19
3	CASO DE ESTUDO: CENTRO HISTÓRICO DE PORTO ALEGRE.....	21
3.1	Patrimônio cultural do centro	24
3.2	Histórico de inundações.....	25
3.3	Comentários finais	31
4	AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE E RISCO	32
4.1	Módulo de perigosidade	32
4.2	Módulo de vulnerabilidade.....	33
4.2.1	Componente de Exposição	35
4.2.2	Componente de Sensibilidade	36
4.2.3	Componente de Funcionalidade	38
4.3	Matriz de risco	40
4.4	Sistema de Informação Geográfica	40
4.4.1	Configurações de aplicação	41
4.4.2	Levantamento de campo (Coleta de dados).....	43
4.5	Comentários finais.....	44
5	DISCUSSÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	45
5.1	Resultados das componentes de perigosidade e vulnerabilidade	45

5.2 Matriz de risco	58
5.3 Comentários finais	59
6 ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS E MITIGAÇÃO DOS RISCOS	60
6.1 Investigação e solução propostas.....	64
6.2 Comentários finais.....	70
7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	72
7.1 Principais considerações.....	72
7.2 Trabalhos futuros	74
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
NOTAS DE FIM	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Risco e o contexto do hazard, exposição e vulnerabilidade.....	3
Figura 2 – A progressão da vulnerabilidade.....	10
Figura 3 – Estrutura da avaliação de vulnerabilidade às inundações simplificada	14
Figura 4 – Foto aérea de Porto Alegre em 2015, destaque para o bairro Centro Histórico	21
Figura 5 – Bacia hidrográfica do Lago Guaíba (Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba, 2017) com a localização da cidade de Porto Alegre, RS, Brasil.....	22
Figura 6 – Mapa com zonas de uso do bairro Centro Histórico	23
Figura 7 – Motivo do deslocamento dos usuários ao Centro	24
Figura 8 – Identificação do patrimônio tombado em Porto Alegre. Legenda no texto ..	24
Figura 9 – Imagens da inundação de 1941 em Porto Alegre, bairro Centro).....	26
Figura 10 – Sistema de proteção contra inundação do lago Guaíba e delta do Jacuí.....	27
Figura 11 – Cota máxima da inundação de 1941, destaque para o bairro central.....	28
Figura 12 – Área atingida na cota máxima da inundação de 1967 – destaque para o bairro Navegantes	29
Figura 13 – Área atingida na cota máxima da inundação de 2015 – destaque para o bairro Menino Deus	29
Figura 14 – Setores com risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí, destaque para o bairro do Centro	30
Figura 15 – Delimitação área de interesse no Centro Histórico	30
Figura 16 – Fluxograma da metodologia proposta.....	32
Figura 17 – Fluxograma do módulo de vulnerabilidade com as componentes e seus indicadores.....	34
Figura 18 – Cartografia com a representação dos polígonos (representação dos edifícios) na área de interesse do Centro Histórico	41
Figura 19 – Cartografia com a identificação dos quarteirões – <i>Block_id</i>	42
Figura 20 – Tabela de atributos definida no ambiente SIG para levantamento em campo	42
Figura 21 – Telas do aplicativo Input durante coleta de dados na campanha de campo	43
Figura 22 – Fotos dos edifícios na área de investigação com carácter informativo.....	44
Figura 23 – Cartografia da mancha de inundação com a distribuição espacial dos polígonos (representação edifícios)	45
Figura 24 – Histograma dos indicadores absolutos de perigosidade.....	46
Figura 25 – Histograma da porcentagem de ocupação do terreno	47
Figura 26 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores absolutos de perigosidade (FH)	47
Figura 27 – Histograma dos indicadores de exposição (EC): A1 – Exposição do terreno	48
Figura 28 – Histograma dos indicadores de exposição (EC): A2 – Status do patrimônio	48
Figura 29 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de exposição (EC): A1 – Exposição do terreno	49
Figura 30 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de exposição (EC): A2 – Status do patrimônio	49
Figura 31 – Histograma dos indicadores de sensibilidade (SC): B1 – Material de construção.....	50
Figura 32 – Histograma dos indicadores de sensibilidade (SC): B2 – Estado de conservação	50

Figura 33 – Histograma dos indicadores de sensibilidade (SC): B3 – Subsolo	51
Figura 34 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de sensibilidade (SC): B1 - Material de construção.....	51
Figura 35 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de sensibilidade (SC): B2 - Estado de conservação.....	52
Figura 36 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de sensibilidade (SC): B3 – Subsolo.....	52
Figura 37 – Histograma dos indicadores de funcionalidade (FC): C1 - Função do térreo	53
Figura 38 – Histograma dos indicadores de funcionalidade (FC): C2 - Frequência da ocupação predominantes.....	54
Figura 39 – Histograma dos indicadores de funcionalidade (FC): C3 - Número de pavimentos.....	54
Figura 40 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de funcionalidade (FC): C1 - Função do térreo	55
Figura 41 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de funcionalidade (FC): C2 - Frequência da ocupação predominantes	55
Figura 42 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de funcionalidade (FC): C3 - Número de pavimentos	56
Figura 43 – Histograma dos indicadores de vulnerabilidade à inundação (FV)	57
Figura 44 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de vulnerabilidade à inundação (FV).....	57
Figura 45 – Histograma do risco de inundação	58
Figura 46 – Cartografia com distribuição espacial do risco de inundação	59
Figura 47 – Ilustração com opções para evitar inundações ao nível local	64
Figura 48 – Medidas propostas para intervenção	67
Figura 49 – Histograma comparativo dos valores iniciais do levantamento e novos indicadores absolutos de vulnerabilidade à inundação (FV).....	68
Figura 50 – Cartografia com distribuição espacial dos novos indicadores absolutos de vulnerabilidade à inundação (FV)	68
Figura 51 – Histograma comparativo dos valores iniciais e novos do risco de inundação	69
Figura 52 – Cartografia com distribuição espacial do novo risco de inundação.....	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de danos causados pelas inundações	12
Tabela 2 – Parâmetros de vulnerabilidade definidos no nível de avaliação local	16
Tabela 3 – Resumo dos indicadores incluídos nos métodos de avaliação da vulnerabilidade às inundações revisados	16
Tabela 4 – Matriz de risco cruzando consequência e probabilidade: a) categorias de consequências (C), b) classes de probabilidade (P).....	18
Tabela 5 – Matriz de risco	18
Tabela 6 – Matriz de risco com recálculo dos limiares de "perigo" para uma gama de diferentes profundidades e velocidades	19
Tabela 7 – Dados gerais do Centro Histórico.....	23
Tabela 8 – Indicadores do módulo de vulnerabilidade com suas referências, unidades adotadas e fonte para obtenção	35
Tabela 9 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador A1 – Exposição do terreno	36
Tabela 10 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador A2 – Status do patrimônio.....	36
Tabela 11 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador B1 – Material de construção.....	37
Tabela 12 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador B2 – Estado de conservação	37
Tabela 13 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador B3 – Subsolo.....	38
Tabela 14 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador C1 – Função do terreno	38
Tabela 15 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador C2 – Frequência de ocupação predominante	39
Tabela 16 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador C3 – Número de pavimentos.....	39
Tabela 17 – Matriz de risco à inundação proposta	40
Tabela 18 – Distribuição dos edifícios (número inteiro e porcentagem) em cada classe de perigosidade referente à altura mínima, média e máxima	46
Tabela 19 – Distribuição dos edifícios (valor absoluto e percentual) para cada classe de vulnerabilidade	58
Tabela 20 – Distribuição dos edifícios (número inteiro e porcentagem) em cada classe de risco à inundação	58
Tabela 21 – Danos causados pela água durante uma enchente, dependendo do nível da água.....	62

1 INTRODUÇÃO

A combinação de eventos extremos e perigosos¹, da exposição² e das vulnerabilidades³ ambientais e socioeconômicas das populações resultam no risco de desastre. Com o propósito do seu gerenciamento, mitigando a vulnerabilidade, fortalecendo a capacidade de resistir e se recuperar dos impactos na ocorrência destes desastres através da construção de resiliência⁴, têm vindo a ser desenvolvidas ao longo do tempo diversas metodologias. Soma-se ainda fatores latentes que compõem o risco, como crescimento urbano e regional mal planejado com expansão desordenada, má governabilidade das capacidades locais, mudanças climáticas, desenvolvimento econômico desigual, etc., condicionando a capacidade de reação aos danos e perdas de todos atingidos e responsáveis. O risco tende a ser maior e a resistência menor em países pobres e em desenvolvimento, mesmo sendo uma problemática mundial.

Uma abordagem coordenada e colaborativa na ciência das inundações enfrenta diversos entraves no avanço de seus processos. Essa questão torna-se clara, por exemplo, quando comparamos os progressos recentes da ciência das inundações e da ciência sísmica que, em geral, tem seus modelos baseados no histórico e na origem dos eventos; mesmo sem mudanças drásticas nas metodologias, mas com novos critérios e fatores, conseguiu avançar com uma abordagem global para modelar o perigo com informações locais. Apesar do aumento exponencial da capacidade computacional observado nas últimas décadas, nem todas as causas de inundações podem ainda ser modeladas devido a sua dinâmica complexa. Por mais que existam modelos para os diferentes condutores de inundação – vários modelos foram desenvolvidos para inundações ribeirinhas e costeiras –, ainda é um desafio que todos sejam contemplados e harmonizados permanentemente pela comunidade de cheias (UNDRR, 2019).

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Em termos gerais, esta dissertação tem como objetivo discutir a avaliação da vulnerabilidade física e funcional associado a eventos de inundação em núcleos urbanos antigos. Entre outros aspetos, pretende analisar-se a forma como tais indicadores poderão ser utilizados com vista à identificação de prioridades e à definição de estratégias de intervenção no edificado antigo e, desta forma, à mitigação do risco de inundação.

1.1.2 Específico

Como objetivo específico, a presente dissertação visa analisar a vulnerabilidade e o risco de inundação no Centro Histórico de Porto Alegre/RS – Brasil, desenvolvendo e aplicando, para tal, uma metodologia de avaliação simplificada de vulnerabilidade física e funcional do património edificado, valorizando o seu valor cultural e arquitetónico. Especificamente, para isso, compreender os processos e registro histórico de inundações

na área do estudo, aplicar uma matriz de risco cruzando vulnerabilidade e perigosidade a inundação, e estudar medidas de mitigação do risco.

1.2 Metodologia

Este trabalho fará uso de diversas metodologias que compreendem cada etapa para atingir os objetivos propostos, em particular: (a) pesquisa bibliográfica, (b) avaliação da vulnerabilidade física e funcional e do risco de inundações, e (c) identificação de estratégias de reabilitação do edificado e medidas de contingência.

- a. Pesquisa bibliográfica centrada na compreensão dos riscos de inundação: o fenômeno, histórico, metodologias existentes, componentes subjacentes e cenário de inundação no caso de estudo proposto;
- b. Criação de uma base de dados: compilação de informação existente e levantamento de campo; aplicação de metodologia para definição de índices de vulnerabilidade física e funcional, e classificação do risco;
- c. Identificação de possíveis de estratégias de mitigação da vulnerabilidade do edificado existente, potencialmente mais afetado, bem como, uso de medidas de contingência para mitigar os danos no cenário de evento perigoso.

1.3 Estrutura da dissertação

O documento de dissertação será organizado em sete capítulos, orientados exclusivamente para alcançar os objetivos propostos.

O primeiro capítulo buscará definir os objetivos, geral e específico, fazendo o posicionamento e motivação do trabalho. O segundo capítulo apresentará o estado da arte da tese em subitens: primeiro apresenta a compreensão de risco em cenários de desastres; segundo busca restringir esse entendimento ao evento de inundação; terceiro demonstra de forma clara conceitos relativos à inundação como exposição, vulnerabilidade, elementos em risco, etc.; e, por último, a revisão das abordagens e métodos para avaliação do risco e análise dos resultados. O terceiro capítulo apresentará o contexto histórico, as características do caso do estudo, bem como estudos realizados no contexto de inundações e avaliação de vulnerabilidade e do risco. O quarto capítulo descreve a metodologia proposta para a avaliação da vulnerabilidade de risco de inundação. O quinto capítulo demonstrará o uso da metodologia adotada para a avaliação de risco de inundação e análise dos resultados. No sexto e penúltimo capítulo aborda-se as possibilidades de reabilitação de edifícios e mitigação dos danos neste contexto. Finalmente, o sétimo e último capítulo fará o fechamento do documento, com um apanhado das conclusões obtidas e a sugestão de possibilidades para trabalhos futuros.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Cenário global de desastres

O estado da arte proposto para este trabalho começa abordando conceitos globais para definição do risco e suas componentes. Segundo o Relatório de Avaliação Global (GAR⁵) sobre a Redução de Riscos de Desastres (UNDRR, 2019), a avaliação de risco⁶ é um problema complexo, em larga medida, devido à dificuldade de os modelos de solução definirem os problemas em partes singulares e na resposta para os seus sintomas. Mesmo que seja funcional classificar o risco no que tange a responsabilidade a fim da sua outorga a diferentes organizações, instituições ou indivíduos, a gestão de risco não pode ser organizada em unidades compartimentadas (departamentalização), ou unicamente especializadas no risco, que não interajam entre si. Esse pensamento baseia-se na premissa que a compreensão do risco em causa não pode ser isolada ou ignorada do contexto e das características sistêmicas, sob o cenário indesejado de se refletir em medidas redutoras, não integradas em processos de planeamento e governação de risco mais abrangentes, multisetoriais e multiescalares (Aven e Renn, 2010). Isto se aplica nos esforços de pesquisa, investigação e desenvolvimento. Cabe compreender a natureza do risco dado que a morte, perda ou dano são encargos do contexto e temporalidade seguindo autonomamente – e inclusivamente na contramão – face ao notório perigo. Com efeito, os desastres⁷ não são naturais, e sim, um resultado da interação de eventos – perigo, vulnerabilidade e exposição – que ocorrem de forma natural ou pela ação humana (Figura 1). Estes eventos excepcionais e perigosos (susceptibilidade) são definidos como desastres sempre que existam dados relevantes, ou perdas humanas ou materiais a lamentar (UNDRR, 2019).



Figura 1 – Risco e o contexto do *hazard*, exposição e vulnerabilidade (Adaptado UNDRR, 2019)

James (1984) conceituou o risco como resultante do número previsto de vidas perdidas, de pessoas feridas e desestabilização de atividades econômicas oriundas de um evento

típico que corre em determinado local e certo período. Para Western et al. (2006) esta é uma das melhores definições empregadas para o risco e pode ser esquematizada pela Equação (1):

$$RISCO = \sum (H \sum (VA)) \quad (1)$$

onde,

(H) – perigo em função da probabilidade de ocorrência dentro de um período de frequência;

(V) – vulnerabilidade física dos elementos expostos ao risco (determinado um valor de 0 a 1 para cada elemento);

(A) – danos causados aos elementos em risco.

De forma genérica, as avaliações do risco englobam um entendimento qualitativo e quantitativo dos fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que envolvem o risco, bem como, as suas consequências. Incluem ainda no seu processo: identificar a natureza, a posição, a intensidade e a probabilidade de uma ameaça; determinar a existência e o grau de vulnerabilidades e de exposição face às ameaças; identificar as capacidades e os recursos disponíveis de modo a lidar ou controlar ameaças; e determinar níveis aceitáveis de risco. Ou seja, através do uso sistemático da informação disponível, a avaliação determina a probabilidade da ocorrência dos eventos e suas possíveis consequências (UN/ISDR, 2007).

2.2 Inundações

Em 2019, o GAR apresentou o estado do cenário mundial de risco de desastres (UNDRR, 2019). Ainda que o período temporal analisado tenha sido relativamente curto (1997-2017), e que apenas tenham sido considerados países que reportam através do SFM (*Sendai Framework Monitor – UNDRR*), importa salientar o peso das inundações no panorama global das catástrofes naturais, afetando cerca de 76 milhões de pessoas.

Inundação pode ser definida simplesmente como a presença de água em uma área usualmente seca, causada por diversos motivos (precipitação acentuada, tempestade, ineficiência na gestão da água, urbanização com ocupação das planícies de inundação, impermeabilização ao longo das vertentes, etc.) (Ministério das Cidades/IPT, 2007; Souza, 1998; Tavares e Silva, 2008), o que acrescenta nessa ciência a parcela de complexidade na abordagem coordenada e colaborativa para modelagem do perigo. O grande desafio paira no desenvolvimento de um modelo global abrangente que combine vários modelos parciais de inundação e interligue os efeitos das cheias globalmente. Os processos em nível global e modelos locais são os mesmos, o que os diferencia é a capacidade de personificar e transpor em um contexto local expressando a diferença na produção de uma compreensão abrangente do risco.

Não existindo causa singular para uma inundação, a preocupação chave na avaliação do risco de inundação fica relacionada aos fatores desencadeantes. A precisão e distribuição da precipitação padrão em uma mesma área podem originar resultados muito diferentes incluindo outras condições, que precisam ser levadas em conta, por exemplo, as condições do solo (impermeabilização, saturação, etc.). No contexto estuarino ou costeiro, a subida do nível do médio das águas do mar e o efeito das tempestades marítimas assumem uma relevância semelhante ou até maior face ao comportamento da precipitação. Ou seja, todos os elementos devem estar interligados aos fatores locais para uma projeção a nível mundial, pois o risco de inundação pode surgir de múltiplos fatores. Segundo Ramos (2013), devido às várias causas de inundação, primeiro deve-se compreender os diversos tipos de inundação: (i) fluviais ou cheias, (ii) costeiras, (iii) urbanas e (iv) inundações de depressões topográficas; e consoante a estas, podem ser agrupadas as diferentes razões para a sua origem (Ramos, 2009):

- i. chuvas abundantes e/ou intensas, fusão da neve ou do gelo, efeito combinado chuva mais efeito das marés e/ou mais *storm surge* e obstáculos ao escoamento fluvial ou derrocada dos obstáculos;
- ii. *storm surge*, tsunami ou maremoto, subida eustática do nível do mar e sismos com fenômenos de subsidência tectônica;
- iii. chuva intensa mais sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais, subida da toalha freática (natural ou artificial) e cheias;
- iv. subida da toalha freática (natural ou artificial), retenção da água da precipitação por um solo ou substrato, geológico de permeabilidade muito reduzida e cheias.

A capacidade computacional atual permite uma melhor e mais precisa simulação hidrológica disponibilizando muitos mapas de inundações probabilísticos mais confiáveis através destas ferramentas.

A Parceria Global contra Inundações⁸ (GFP), busca comparar vários modelos existentes - mapas de inundação - e identificar as suas lacunas para o futuro desenvolvimento e pesquisa. Esse tipo de ação fortalece os esforços para o caso ideal, ao contrário de ações do passado, são modelos produzidos localmente encaixados em um plano global, assim, como resultado, se cria e usa uma base de dados que pode ser melhorado mutuamente.

Neste contexto, incorporar a exposição e vulnerabilidade na modelação probabilística é imprescindível para entender o impacto potencial do risco do que apenas compreender um perigo, sem descuidar o contributo fundamental dos modelos climatológicos, que fornecem previsões futuras e a compreensão dos processos através das análises do passado.

Atualmente, cresce na comunidade de risco de inundação o reconhecimento que os estudos meteorológicos precisam considerar nas suas análises de risco a combinação de variados processos físicos que originam esses fenômenos; essa interação gera efeitos em escala temporal e espacial diferentes. Estas relações podem gerar resultados de uma

representação desproporcional da probabilidade de eventos extremos, denominados como “eventos compostos de enchentes”, de acordo com a origem da sua avaliação (Zscheischler et al., 2018).

Tradicionalmente, os estudos relativos ao risco de inundação examinavam apenas um condutor (inundação do rio, inundação pluvial ou costeira). No entanto, a investigação atual tem-se voltado gradualmente para a quantificação do impacto resultante da combinação destes condutores. Tipicamente eventos compostos são mal compreendidos e ignorados nos planos de gestão, omissão grave, subestimando o risco na avaliação existente. Como exemplo, em 2017 a combinação de intensidades pluviométricas locais extraordinárias (inundação pluvial) com surtos de tempestades (inundação costeira) em resultado dos Furacões Harvey, Irma e Maria, causaram eventos extremos de inundação com danos em Houston, Florida e Ilhas do Caribe (Dilling, Morss e Wilhelmi, 2017). Em Houston, ao não se considerar as inundações compostas, subestimou-se o risco que a cidade enfrentava.

Austrália, China, Estados Unidos da América e países europeus são locais para os quais vários estudos, conduzidos localmente, apontaram uma dependência estatística entre frequência ou magnitude das inundações costeiras e inundações pluviais/fluviais (Loganathan K., Yannaccon, 1987; Pugh W., Chinchester, 1987; Samuels, Burt, 2002; Svensson, Jones, 2002; Svensson, Jones, 2004; van den Brink et al., 2005; Hawkes, 2008; Kew et al., 2013; Lian Xu, Ma, 2013; Zheng et al., 2014; Klerk et al., 2015; van den Hurk et al., 2015; Bevacqua et al., 2017).

Yamazaki et al. (2011) e Muis et al. (2016) associaram resultados de um modelo hidrodinâmico global de tempestade e marés com um modelo do estado da arte global fluvial, isto para entender como a interação de surtos e descargas de tempestades pode levar ao aumento dos níveis de água em deltas e estuários (Ikeuchi et al., 2017). Neste contexto, a nível global, foi verificado um aumento máximo anual de 0,5 m em zonas planas e de planície aluvial, como as encontradas na bacia do Amazonas. Quando são usados níveis dinâmicos do mar como fronteira a jusante, o valor desse aumento altera-se para 0,1 m na elevação da superfície de água em deltas e estuários. Intervenções hipotéticas para redução de risco são baseadas em estudos que investigaram diversas medidas com esse viés, mas de forma geral demonstraram resultados diferentes, em que a solução adequada a um cenário revelou-se inválida a outro (UNDRR, 2019).

Uma abordagem com caminhos adaptáveis vem sendo desenvolvida como uma ferramenta para gestão do risco de inundação de aplicação global (Ranger et al., 2010). Inicialmente pode ser seguido um caminho com opções de defesa contra inundações mais acessíveis, podendo, numa segunda fase, ser adotadas soluções mais onerosas quando compreendido que os fatores de risco não foram suficientemente atendidos nas primeiras soluções. No cenário hipotético, quando uma previsão de aumento do nível médio do mar for maior que o esperado, devido aos efeitos acelerados das alterações climáticas, podem ser tomadas ações diferentes por um novo caminho, com outros custos e implicações,

como a execução de uma nova barragem a jusante. Por exemplo, seguindo essa tendência, no Reino Unido e na Irlanda do Norte, a Agência do Ambiente criou o projeto *Thames Estuary 2100*⁹, fundamental na introdução de uma nova abordagem no gerenciamento do risco de inundação com caminhos de adaptação flexível conforme necessário.

As medidas designadas de *Nature-based Solutions*, apoiadas em infraestruturas azuis e verdes, de mitigação dos efeitos das inundações costeiras, têm sido largamente defendidas, em complemento ou substituição das tradicionalmente utilizadas infraestruturas cinzentas, mais exigentes em manutenção e com impactos igualmente negativos (UNDRR, 2021).

2.3 Definições e abordagem da avaliação do risco

Sendo o foco do presente trabalho a avaliação da vulnerabilidade e do risco de inundação em núcleos urbanos antigos, a nível local é importante compreender, definir e discutir os conceitos já apresentados de forma breve nos subcapítulos 2.1 e 2.2, uma vez que estes serão utilizados, de efetiva, no desenvolvimento da dissertação.

Como as ideias estão abertas e em ampla discussão na comunidade das inundações, para além da definição de inundação apresentada anteriormente, pode ser entendido como as cheias dos sistemas de esgoto, dos reservatórios de água próximos ou no local de precipitação e dos eventos definidos como enxurradas (*flash flood*), aqueles que geram um fluxo rápido e extremo de água em área normalmente seca, ou o aumento, acima do esperado, do nível de inundação de um córrego ou riacho, com início até seis horas após o registrado no evento gerador (Serviço Nacional de Meteorologia U.S.A, 2020).

De modo geral, as inundações podem ser descritas no que concerne às suas características de: profundidade de água, velocidade de escoamento, caudal sólido, etc.; ou pela origem dos eventos: enchentes de inverno, tempestades convetivas de verão, sobre-elevação do mar de origem meteorológica (*storm surge*), etc. Também podem ter como cerne da sua causalidade a ação humana em relação ao espaço geográfico (uso e ocupação do território ou alteração do curso de rio, etc.), não obstante serem usualmente originadas por fenómenos naturais (Schanze, Zeman, & Marsalek, 2006). Segundo Veyret (2007), os núcleos urbanos antigos contam com uma concentração de riscos, uma vez que para além destas características e origens, ainda importa que sejam considerados os atributos associados aos edifícios e com o espaço urbano, nomeadamente: a tipologia das construções, a existência de redes de água, eletricidade e esgoto.

2.3.1 Risco

Refere-se a uma componente dos sistemas definida pela probabilidade de existência de repercussões negativas devidas à manifestação de um perigo ou ameaça sobre outros componentes do sistema: população, infraestrutura, serviços públicos, etc.. A probabilidade de consequências negativas, como danos, nestes elementos depende da sua localização face à ameaça e da sua vulnerabilidade. Logo, sintetizando, pode ser

entendido como o produto do perigo e da vulnerabilidade (exposição e sensibilidade) e é inversamente relativa à sua capacidade de reação/adaptação (resiliência) (Rana e Routray, 2016).

Existe a necessidade de proteger e mitigar o crescente impacto das inundações nos edifícios que já estão construídos e nas novas estruturas, devido ao aumento mundial dos riscos de inundação (Zheng et al., 2013; Hammond et al., 2015; Rana e Routray, 2018).

2.3.2 Perigosidade

Perigosidade pode ser definida como a “probabilidade de ocorrência de um processo ou ação (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade, numa dada área e num dado período” (Julião et al., 2009). O uso de mapas de perigosidade, característicos de uma determinada região, é uma estratégia eficaz com vista a melhorar e simplificar a compreensão das várias componentes que concorrem na definição do perigo. No caso das inundações, as cartas de perigosidade precisam, no mínimo, considerar três cenários consoante as diferentes probabilidades de ocorrência (baixa, média e alta). É necessário incluir ainda, em cada um, a extensão da cheia e a profundidade da água, e adaptando, a velocidade do fluxo (EXCIMAP, 2007).

Nas metodologias focadas no risco de inundação, os dados geralmente são oriundos de modelos hidráulicos e são considerados as ferramentas mais populares de avaliação de perigo (Apel et al., 2009). A modelação hidrológica e hidráulica são uma tarefa complexa e muito exigente nas áreas urbanizadas, porque existem várias interações entre as estruturas urbanas e o sistema de águas em diversas escalas temporais e espaciais, além da sua condição diversa e heterogênea. Em contexto costeiro e estuarino, é importante proceder à aplicação de modelos numéricos que consideram a agitação marítima, o vento e a sobrelevação de origem meteorológica (*storm surge*), a par do contributo dos aportes fluviais modelados hidrológica e hidráulicamente.

2.3.3 Exposição

O conceito de exposição pode ser entendido simplesmente como a localização e tipologia dos elementos expostos (população, edificado, património ambiental, etc.) a um potencial perigo. Esta mesma ideia é defendida por Wrachien, Mambretti, & Schultz (2011), que definem “exposição” como a probabilidade de um determinado elemento estar exposto a um perigo devido as suas características posicionais face ao mesmo.

No contexto das inundações, nas áreas suscetíveis, os elementos podem ter a mesma exposição, mas dificilmente terão a mesma vulnerabilidade. Por exemplo, em dois quarteirões distintos podemos diferenciar a sua exposição considerando apenas o número de edifícios em cada um, mas já não é possível distinguir a sua exposição considerando a sua idade ou estrutura (componentes da vulnerabilidade). Bem como, não é possível considerar a probabilidade de os edifícios serem afetados pelas ondas do mar

(combinação de exposição e perigosidade (*hazard*)). Para além disso, caso não exista exposição na área de uma inundação, não existe risco.

Pelo exposto – ao contrário da vulnerabilidade, que se refere às características de um elemento propenso a sofrer danos -, a exposição diz respeito ao contexto das pessoas, infraestrutura, edificação, capacidades de produção e outro ativo humano tangível que estão presentes em áreas propensas a riscos.

2.3.4 Vulnerabilidade

Simplificando uma abordagem complexa, a vulnerabilidade pode ser definida como a propensão inerente de um elemento sofrer danos ou degradação causados por um evento de determinada intensidade (Barroca, Bervardara, Mouchel, Hubert, 2006), mas existem várias definições para esse conceito como mostram Wisner et al. (2004) e Birkmann (2006). No caso de inundação, a característica do elemento determina o seu potencial a ser prejudicado, esta vulnerabilidade pode expressar efeitos diretos e indiretos, que podem ser tangíveis ou intangíveis. Para a avaliação do risco é importante uma análise correta e conhecimento das vulnerabilidades locais uma vez que o risco é diferente em cada caso, e específico ao momento que é realizada esta análise.

A Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho – IFRC ¹⁰ (IFRC, 2017) propõe um gráfico (Figura 2) para descrever a progressão da vulnerabilidade das causas subjacentes e os resultados de um evento de perigoso que se torna um desastre. Ainda, relacionado ao conceito de vulnerabilidade está o de resiliência – a capacidade de antecipar, lidar, resistir e recuperar do impacto de um perigo natural ou provocado pela ação humana - dado que quanto maior for a vulnerabilidade, menor será a capacidade de antecipar, absorver e recuperar no contexto pós-desastre. Esta definição está intimamente dependente de pessoas, comunidades e recursos para que efetivamente seja possível responder e mitigar danos de um possível desastre (IFRC, 2017).



Figura 2 – A progressão da vulnerabilidade (Adaptado Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho, 2017)

Barroca, Bervardara, Mouchel e Hubert (2006) definiram três níveis de complexidade para o conceito de vulnerabilidade, considerando as abordagens e considerações associadas a esta componente:

- I. **Vulnerabilidade em relação ao evento em si:** também conhecida como complexidade da vulnerabilidade externa, diz respeito a cada forma de perigo (nível de água, vazão, velocidade, etc.). É importante que todas sejam consideradas já que cada uma tem o potencial de causar diferentes tipos de danos. Esta é uma abordagem considerada por outros autores como estando associada ao perigo ou ameaça;
- II. **Vulnerabilidade relativa às várias funções do elemento em risco que poderia ser afetado pelo perigo:** também denominado como complexidade da vulnerabilidade inerente primária, refere-se aos diferentes efeitos que dado perigo pode causar em diversas partes da mesma construção. Os efeitos podem ser diferentes dependendo da escala temporal, no curto prazo, pode causar causalidades humanas ou custos diretos para as atividades econômicas; e no longo prazo, principalmente o custo de manutenção;
- III. **Vulnerabilidade em relação ao risco associado ao objeto:** também designado como complexidade da vulnerabilidade inerente secundária. As estratégias e planos de mitigação de risco urbano podem ser esboçadas eficazmente com um bom conhecimento sobre a vulnerabilidade de um elemento.

É possível esclarecer que a complexidade da vulnerabilidade externa está associada com a causa ou perigo, enquanto a inerente primária está relacionada com a consequência

desse perigo e a vulnerabilidade do elemento; e a inerente secundária, as ações que podem ser tomadas quando a vulnerabilidade dos elementos é conhecida.

De outro lado, no que diz respeito especialmente à mitigação dos riscos, pode-se identificar três áreas de vulnerabilidade a inundações: sociais e culturais estão relacionados com a perda de vida, saúde, impacto social e perda do patrimônio cultural; econômica ligada diretamente ou indiretamente as perdas financeiras fruto dos danos; e ecológica referente a poluição antropogênica de águas, solos e ecossistemas (Schanze, J., Zeman, E., Marsalek, J., 2006).

De modo geral, as abordagens para avaliação da vulnerabilidade, devem incluir os seguintes parâmetros fundamentais para a avaliação do risco a inundação: dados de perigos relacionados com os eventos com potencial para ocorrer (extensão da inundação e profundidade); dados de inventário de edifícios e dados de cobertura do solo (exposição); dados das características dos edifícios e outros conjuntos de dados dependentes do modelo de perda de cheias (sensibilidade); e a quantidade de danos que se espera que resultem do evento de cheia. Ainda, depende também de fatores como o ponto de vista da análise e escala do local.

2.4 Metodologias de avaliação da vulnerabilidade dos edifícios à inundação e matrizes de risco

Devido ao aumento da população, às mudanças climáticas, crescimento contínuo das cidades ou propensão de regiões a inundação, especialmente em áreas urbanas, nas últimas décadas o mais importante no gerenciamento de risco tem sido a preocupação em reduzir a amplitude dos danos (impactos), em detrimento do controle do risco natural. Nomeadamente, por exemplo, as metodologias multicritério para avaliação do risco que buscam informações quanto a população e grupos vulneráveis, classes de uso do solo residencial, áreas com cuidados sociais e de saúde, e indicadores de áreas ecológicas. Ou seja, são capazes de fornecer condições para uma gestão do risco em muitos níveis (critérios econômicos, sociais e ecológicos do meio urbano), fundamentais na tomada de decisão, além de medir o risco face a uma inundação. Isto, porque é evidente e inevitável que estes fatores geradores aumentam o risco.

Na avaliação das consequências oriundas das inundações, é possível avaliar ou definir as perdas em diversos contextos como: áreas danificadas, perda monetária, número de vítimas fatais, ou perda de valor e importância (bens do patrimônio histórico-cultural). Usualmente na sua avaliação é viável reconhecer quatro tipos diferentes para os danos. Em uma avaliação no âmbito de microescala, Stephenson e D'Ayala (2014) exemplificam os tipos de danos relacionados aos edifícios patrimoniais, distinguindo em danos diretos tangíveis e intangíveis (Tabela 1). Primeiro descreve os danos tangíveis diretos como os danos físicos causados na estrutura do edifício e do outro lado põe os intangíveis diretos com a perda de significado e valor. Esta avaliação, contudo, requer um amplo conhecimento dos bens para quantificar a perda de valor em relação aos danos físicos.

Tabela 1 – Tipos de danos causados pelas inundações (Adaptado Julià e Ferreira, 2021)

Tipo de danos		Exemplos
Direto	Tangível	Danos a edifícios privados e conteúdos; destruição de infraestruturas, como estradas
	Intangível	Perda de vida, valor ou importante
Indireto	Tangível	Perdade produção e renda, interrupção de serviços
	Intangível	Trauma, perda de confiança nas autoridades

Neste cenário, a avaliação da vulnerabilidade dos elementos em risco é um fator determinante na consideração dos danos e risco à inundação. Por exemplo, sem reduzir as diversas metodologias desenvolvidas e propostas recentemente, Huang et al. (2012) e Nasiri et al. (2016) sugerem que os métodos podem ser agrupados, devido a sua fundamentação, em três categorias: amparadas nos dados de perda (Dilley et al. 2005), nas curvas de vulnerabilidade (Thieken et al., 2008; Maiwald e Schwarz, 2012) e nos índices de vulnerabilidade. Especificadamente, as abordagens de avaliação baseadas no uso de índices se mostram adequadas ao uso em áreas urbanas, particularmente nos centros históricos, devido à natureza holística e integradora destes métodos que atendem a análise desafiadora das características nestas regiões.

Mebarki et al. (2012) como um dos pioneiros no uso de abordagem probabilística baseada em índices para a avaliação da vulnerabilidade física, estritamente, propõe em estudo a possibilidade de danos em edifícios de alvenaria sujeitos aos impactos de inundação, estimada pela profundidade e velocidade do fluxo. Apoiados na análise de diversos relatórios de danos pós-inundação, identificam 14 parâmetros para a vulnerabilidade física, embasado analogicamente nas abordagens usualmente adotadas na engenharia sísmica. Ainda propõem uma relação entre estes parâmetros ao nível de profundidade de inundação, pois assumem uma similaridade entre diferentes curvas de danos existentes na literatura. Neste ponto, a metodologia traz um aspecto inovador na aquisição de dados quando considera a contribuição independente para cada parâmetro consoante o nível de resposta do perigo, assim, permite a tomada de decisão direta em medidas de mitigação ao nível individual, como proteção e fortalecimento de edifícios. Com um propósito diferente, mas seguindo o mesmo conceito, Balica et al. (2012) desenvolveram um Índice de Vulnerabilidade à Inundações de Cidade Costeira (CCFVI), indicando comparativamente a vulnerabilidade (baixa ou alta) a inundações costeiras, assim mostrando quais as cidades que mais necessitam de maior investigação.

Stephenson e D'Ayala (2014) utilizam a agregação de uma série de indicadores de vulnerabilidade, relacionados a estrutura e integridade dos edifícios, material e valores arquitetônicos e arqueológicos, para propor uma metodologia avaliativa da vulnerabilidade de edifícios históricos no Reino Unido. Para isso, estabeleceram uma relação entre danos a edifícios, oriundos do estudo produzido por Kelman (2002) e Maiwald e Schwarz (2012), com sete parâmetros de inundação. Para cada parâmetro

definiram entre 3 e 5 atributos com valores relativos em uma distribuição igual, não ponderados, variando entre 10 e 100, assumindo que um edifício histórico possui sempre certo nível de vulnerabilidade intrínseca. Mesmo que a falta de dados experimentais dos danos torne impossível definir uma correlação entre os resultados de vulnerabilidade com os níveis de danos, este tipo de abordagem concebe a possibilidade de identificar a tendência e destruição provável a partir da vulnerabilidade e classificá-la entre os locais ou edifícios individualmente. A metodologia foi aplicada nas cidades de Tewkesbury, York e Winchester, Reino Unido, contou com três escalas diferentes nas campanhas de levantamento de campo: a escalada da cidade, da rua e do edifício. Doravante, ao conjunto de dados levantados, 100-200 edifícios inspecionados, foram computados valores a fim de obter o índice de vulnerabilidade, distribuído em uma escala possível de 50 até 500, a partir da agregação linear de cada parâmetro proposto, que pode ser analisado juntamente a uma série de mapas de risco de inundação. Os autores sugerem que uma descrição quantitativa dos indicadores de vulnerabilidade poderia oferecer a base para uma avaliação mais pormenorizada da probabilidade de dano.

Outro caso relevante na avaliação de vulnerabilidade a inundação baseada em uma abordagem holística, Gandini et al. (2018) apresenta uma série de indicadores definidos em distintas escalas (urbana, edifício e elemento) empregados a fim de apoiar a tomada de decisão para favorecer as intervenções adaptativas e de redução de risco. Nesse método, a avaliação dos danos potenciais em frente ao evento de inundação incorpora na sua análise, não só os indicadores físicos, mas também os aspectos sociais de vulnerabilidade onde este indicador influencia na propensão aos impactos das mudanças climáticas ou determinação da sua capacidade de resposta. A metodologia proposta foi aplicada a cidade Histórica de San Sebastian (Espanha). Agrupa e analisa os edifícios segundo a sua tipologia e se baseia na abordagem multicritério MIVES¹¹, este modelo é utilizado para normalizar os valores das variáveis de diferentes unidades, sejam qualitativas ou quantitativas, ou seja, deriva resultados compatíveis entre si. Para isso, a solução é fundamentada em um sistema organizado e estruturado de mapas com possíveis resultados relacionados a uma série de escolhas, em que a árvore de decisão propicia um índice de vulnerabilidade único e compatível ao nível do edifício. Os 14 indicadores que compõem o método tiveram pesos individuais associados e foram definidos com a colaboração de especialistas através do processo analítico hierárquico (AHP). Foram também normalizados de 0 a 1 em uma lógica de mínimo e máximo; na distribuição espacial dos resultados foi utilizado um modelo de geometria urbana 3D denominado *CityGML*¹² (Kokla et al., 2019).

Também a metodologia simplificada sugerida por Miranda e Ferreira (2019) é uma abordagem similar para avaliar a vulnerabilidade à inundação notadamente em núcleos urbanos antigos (Figura 3). Para o efeito, observam as características físicas do edificado baseados principalmente sobre os aspectos propostos por Mebarki et al. (2012) e Stephenson e D'Ayala (2014). Sob a agregação das componentes de exposição e

sensibilidade empregados na análise multicritério da vulnerabilidade dos edifícios é possível obter um indicador de vulnerabilidade física – o Flood Vulnerability Index (FV)

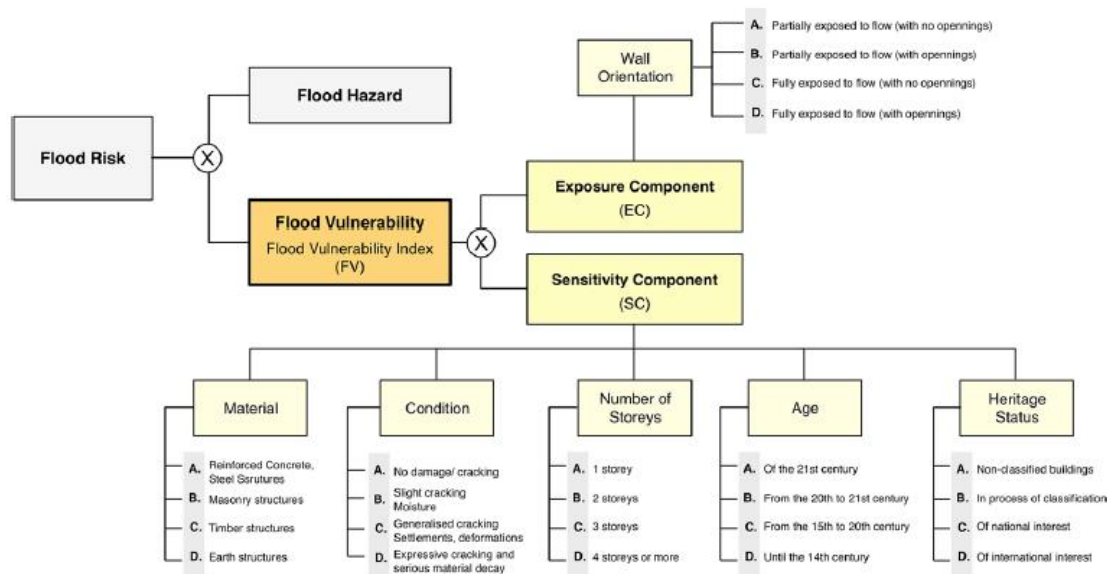


Figura 3 – Estrutura da avaliação de vulnerabilidade às inundações simplificada (Miranda e Ferreira, 2019)

– para cada um dos edifícios contidos na área de estudo.

As componentes Exposição (CE) e Sensibilidade (SC) são baseadas no cálculo do índice de cada edifício onde é feita uma soma ponderada de um dado conjunto de parâmetros, por sua vez, avaliados individualmente em quatro classes de vulnerabilidade crescente: A, B, C e D; quando maior for a classe de vulnerabilidade atribuída, maior será a sua vulnerabilidade relativa a essa característica ou aspecto específico (Miranda e Ferreira, 2018). Estes parâmetros são definidos pelos autores a partir de uma revisão abrangente de indicadores análogos para avaliar características estruturais e tipologias das construções ante circunstâncias similares. Prosseguindo na metodologia, é possível obter dois índices específicos utilizados na avaliação da Exposição (EC) e Sensibilidade (SC) de um edifício histórico propenso a inundação, onde um único Índice de Vulnerabilidade a Inundação (FV) é computado através da Equação (2). Na prática, quanto menor for este índice, menor será o nível vulnerabilidade do edifício.

$$FV = EC \times SC \quad (2)$$

O parâmetro de “Orientação da parede”, único da componente de exposição (EC), analisa a relação entre a orientação da parede da fachada principal e da direção do fluxo da água, onde procura ligar os aspectos deste fenômeno: existência de aberturas, assumindo que edifícios localizados em áreas baixas são teoricamente mais suscetíveis a inundação devido ao escoamento, e a localização do edifício. Já a componente de sensibilidade tem foco nas características físicas do edificado. O estudo de caso foi feito no Centro Histórico de Guimarães, Portugal, avaliando individualmente 116 edifícios através de campanhas

de levantamento de campo. As informações relacionadas ao perigo e as características dos edifícios foram combinadas para obter resultados de segunda ordem, e ainda, foram integrados em um ambiente SIG (mapas e informações vetoriais). Evidenciam que melhorias e calibrações baseadas em dados diversificados e amplos podem reduzir as incertezas que envolvem o processo de avaliação, tendo a liberdade para que o método, inclusive, seja facilmente adaptado e adotado em outros locais com valor histórico-cultural. Ainda, para além das demais considerações pertinentes feitas ao longo do trabalho, foi destacado pelos autores que metodologia proposta é capaz de fornecer cenários preliminares na análise de vulnerabilidade e indicar a direção nas definições de mitigação do risco de inundação em centros históricos.

No entanto, Navia (2017) indica o que índice de vulnerabilidade às inundações ainda poderia ser complementando com dados sobre os aspectos socioeconômicos e ambientais. Neste sentido, durante a Campanha de Campo Molines¹³ I (Santos et al., 2018), realizou-se na margem esquerda do Estuário do Tejo em Seixal no distrito de Setúbal, Portugal, a aquisição de informações sobre a inundação nas suas margens para: caracterização do processo na área (principalmente zona histórica do Seixal), efeitos no sistema de drenagem urbana e vulnerabilidade do território afetado. Parte deste trabalho é apresentado por Santos et al. (2018), refere-se à utilização de uma abordagem de avaliação da vulnerabilidade local baseada na coleta de dados por meio de matrizes de campo aplicadas ao nível dos edifícios e das subsecções estatísticas na área em estudo para consideração dos forçadores sociais e territoriais da vulnerabilidade. Para estes dados é atribuída uma pontuação que varia entre 0 e 1 de acordo com a participação de cada característica em favorecer uma baixa vulnerabilidade (pontuação 0) a alta vulnerabilidade (pontuação 1). Assim, consoante a fonte e nível da informação das matrizes de campo, são definidos e calculados os parâmetros de vulnerabilidade – Tabela 2. Os parâmetros P3 até P8, são resultado da combinação dos parâmetros recolhidos por meio das matrizes, casos em que foi calculada uma média simples. Para além das componentes físicas, a matriz de avaliação que é fonte destes parâmetros considera a vulnerabilidade funcional quando também levanta em conta as características de utilização dos edifícios, por exemplo, o tempo de permanência (B9 - Permanência à exposição), número de residentes e transientes (B8 – N° médio de pessoas presentes ou visitantes por unidade de utilização), e a sazonalidade anual, semanal e diária da ocupação (B6 – Forma de ocupação e B7 – N° de unidades de utilização).

Tabela 2 – Parâmetros de vulnerabilidade definidos no nível de avaliação local (Adaptado Santos et al., 2018)

Nível da coleta de dados	Parâmetro	Unidades brutas	Fonte
Subbloco estatístico	P1.Perfil da população mais vulnerável	%	Dados do censo
Subbloco estatístico	P2.População residente absoluta	Nº de habitantes	Dados do censo
Subbloco estatístico	P3.População atual	Pontos [0, 1]	Matriz de campo
Subbloco estatístico	P4.Contexto urbano circundante	Pontos [0, 1]	Matriz de campo
Edifício	P5. Funções vitais em edifícios: sociais, saúde, proteção administrativa e civil, e infraestruturas	Pontos [0, 1]	Matriz de campo
Edifício	P6.Severidade da perda individual	Pontos [0, 1]	Matriz de campo
Edifício	P7.Vulnerabilidade física dos edifícios	Pontos [0, 1]	Matriz de campo
Edifício	P8.Presença humana dentro dos edifícios	Pontos [0, 1]	Matriz de campo

Consoante aos métodos apresentadas para a avaliação da vulnerabilidade é possível sintetizar os indicadores utilizados nesta revisão metodológica na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo dos indicadores incluídos nos métodos de avaliação da vulnerabilidade às inundações revisados (Adaptado Julià e Ferreira, 2021)

Dimensão da Vulnerabilidade	Indicadores	Autor/Ano				
		Merbarki et al. (2012)	Stephenson and D'Ayala (2014)	Miranda e Ferreira (2019)	Gandini et al. (2018)	Santos et al. (2018)
Física						
Sensibilidade	Estado de conservação	•	•	•	•	
	Dano de água pré-existente				•	
	Tipologia do térreo				•	
	Existência de pavimento subterrâneo	•			•	
	Tipo de solo e fundações	•		•		
	Aberturas nas fachadas	•			•	
	Tipo de cobertura	•			•	
	Material da fachada				•	
	Tipo de sistema resistente	•	•	•	•	
	Geometria das paredes	•				
	Espessura das paredes	•				
	Sistema estrutural (colunas e vigas)	•				
	Número de pisos	•	•	•		
Footprint		•				
Localização e envoltória	•				•	
Protencial detritos (escombros)	•					
Exposição	Orientação das paredes com a fluxo de água	•		•		
	Existência de sistemas adaptativos				•	
Resiliência	Condição do sistema de drenagem				•	
	Intervenções anteriores				•	
Socioeconômico						
Sensibilidade	Uso		•		•	
Resiliência	Número de moradias e status socioeconômico				•	
Cultural						
Sensibilidade	Status Patrimônio (+valor+vulnerabilidade)		•	•		
	Idade (como valor)		•	•		
Resiliência	Valor cultural (+valor +proteção)				•	

2.4.1 Matrizes de risco

Tchórzewska-Cieślak et al. (2018) faz uma revisão de métodos matriciais para análise e avaliação do risco de inundação. A partir dos métodos, como apresentado inicialmente no capítulo 2.4, o uso de matrizes, baseado na definição básica de risco, é apropriado para realizar uma análise do risco de inundação. Diversas metodologias conhecidas

apresentam num dos vetores da matriz a dimensão das perdas (consequências) registadas ou potenciais durante este tipo de evento de inundação, numa dada área afetada.

A matriz de dois parâmetros é uma das mais simples, trata da combinação de probabilidade do evento com as consequências. As categorias de risco são obtidas com a definição valores para escala aplicando a Equação (3) (Rak, 2004):

$$r = P . C \quad (3)$$

onde,

(P) - Probabilidade de um evento indesejado;

(C) - Consequências desse evento.

Uma matriz de três parâmetros é proposta devido a complexidade dos sistemas, adicionalmente, são considerados os parâmetros de exposição ao perigo (E) ou vulnerabilidade (V), definido agora pelas Equações (4) e (5) (Rak, 2004; Rak e Tchórzewska-Cieślak, 2005):

$$r = P . C . E \quad (4)$$

ou

$$r = P . C . V \quad (5)$$

Considerando a capacidade dos diversos tipos de sistemas de segurança e monitoramento, uma vez que todas as áreas onde a vida é uma componente incorporada, existem equipamentos que buscam o aumento da segurança e confiabilidade. Foi incluído outro parâmetro na equação para abranger certa quantidade de proteção, assim, uma matriz de quatro parâmetros para estimativa de risco é definida com base na Equação (6) (Rak, 2004; Rak e Tchórzewska-Cieślak, 2005):

$$r = \frac{P . C . V}{O} \quad (6)$$

onde,

(O) - Representa o grau de proteção contra ameaças.

Além da matriz sugerida anteriormente, os autores ainda sugeriram uma de cinco parâmetros que podem ser levadas em conta para a estimativa, adicionando à Equação (6), a exposição ao risco (E) e o número de etapas de simulação (M) (Rak, 2004; Rak e Tchórzewska-Cieślak, 2005).

Assim, a base para a avaliação de risco é feita através de uma distribuição de valores obtidos de forma numérica categorizados em uma escala padronizada para os parâmetros individuais, por exemplo, baixo - N = 1, médio - S = 2, alto - W = 3. Sendo o grau de risco aceitável determinado pelo uso de valores categorizados para cada nível de risco: tolerável, controlado e inaceitável.

A fim de demonstrar as questões propostas, todas as matrizes de risco a inundação foram implementadas na província Subcarpathian, Polônia. Por exemplo, a matriz com dois parâmetros, teve como base o número de habitantes ameaçados e a ocorrência de inundações, respectivamente, categorizados devido as consequências (C) e a probabilidade (P) na Tabela 4 (Zygmunt, 2017).

Tabela 4 – Matriz de risco cruzando consequência e probabilidade (Adaptado Tchórzewska-Cieślak et al., 2018): a) categorias de consequências (C), b) classes de probabilidade (P)

a)			b)		
Número de habitantes ameaçados	Peso do ponto	Descrição	Probabilidade de ocorrência de enchentes	Peso do ponto	Descrição
0	1	Sem perigo	0,5%	1	Improvável
1-10	2	Negligenciável	1%	2	Difícil
11-100	3	Periférico	5%	3	Ocasional
101-200	4	Significativo	10%	4	Possível
>200	5	Sério	50%	5	Frequente

Combinando as duas categorias, de acordo com a Equação (3), foi obtido uma matriz de risco apresentada na Tabela 5, onde o peso entre 1 até 4 é considerado risco tolerável, 6 até 10 como risco controlado e 12 até 25 definido como risco inaceitável.

Tabela 5 – Matriz de risco (Adaptado Tchórzewska-Cieślak et al., 2018)

		Probabilidade - P				
		0,5%	1%	5%	10%	50%
Peso do ponto		Improvável	Difícil	Ocasional	Possível	Frequente
		3	4	5		
Consequências - C	Sem perigo	1 1	2	3	4	5
	Negligenciável	2 2	4	6	8	10
	Periférico	3 3	6	9	12	15
	Significativo	4 4	8	12	16	20
	Sério	5 5	10	15	20	25

Abordando uma metodologia de risco focada nas pessoas, HR Wallingford (2006) propõe um documento com orientações para avaliação de risco de inundação para novos empreendimentos, ao que tange as seções de acesso e saída seguras, identifica uma série de situações que indicam a impossibilidade do uso de veículos: a) quando a presença de água resulta em mau funcionamento do motor; b) ponto em que o veículo começa a flutuar; c) ponto em que o veículo se torna difícil de controlar. Com 0,5 m de profundidade um veículo padrão já pode flutuar e com 1 m, o mesmo pode ocorrer com

veículos pesados. No entanto, cabe perceber que com o aumento da velocidade do fluxo essas alturas começam a diminuir. Priest et al. (2008) apresenta de forma mais detalhada os limites do risco para as pessoas, ao que tange as rotas de acesso seguro, baseada igualmente na interação entre a profundidade e velocidades do fluxo de água. Inicialmente, os parâmetros em branco representam as vias de acesso seguras e gradualmente com o aumento da profundidade ou da velocidade, existe um incremento na escala de risco, categorizadas em perigos para alguns, para a maioria e para todos. Por fim, a matriz de profundidade-velocidade é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Matriz de risco com recálculo dos limiares de "perigo" para uma gama de diferentes profundidades e velocidades (Adaptado Priest et al., 2009)

Profundidade x Velocidade		Profundidade (m)									
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Velocidade (m ² /s)	0,25	0,0625	0,125	0,1875	0,25	0,3125	0,375	0,4375	0,50	0,5625	0,625
	0,50	0,125	0,25	0,375	0,50	0,625	0,75	0,875	1,00	1,125	1,25
	1,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
	1,50	0,375	0,75	1,125	1,50	1,875	2,25	2,625	3,00	3,375	3,75
	2,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
	2,50	0,625	1,25	1,875	2,5	3,125	3,75	4,375	5,00	5,625	6,25
	3,00	0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00	6,75	7,50
	3,50	0,875	1,75	2,625	3,50	4,375	5,25	6,125	7,00	7,875	8,75
	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
	4,50	1,125	2,25	3,375	4,50	5,625	6,75	7,875	9,00	10,125	11,25
	5,00	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50

Legenda:

- Perigo para alguns
- Perigo para maioria
- Perigo para todos

2.5 Comentários finais

Com o aumento da frequência das enchentes na última década devido a diversos fenômenos cresceram também os seus impactos, evidenciando a necessidade do desenvolvimento de mais estudos e melhores métodos para gerir e mitigar o risco de inundações. Devido as suas consequências, as áreas urbanas merecem maior atenção principalmente quando se trata de locais históricos, devido a sua tipologia construtiva que é particularmente vulnerável a riscos naturais, a que acresce ainda o seu alto e insubstituível valor histórico-cultural.

Dando atenção aos conceitos relacionados à vulnerabilidade, o risco são as consequências que podem ocorrer em determinado local durante algum período específico, podendo ser tomado como a relação entre o perigo e vulnerabilidade, onde é acrescida ainda a exposição que representa a presença de suscetibilidade dos elementos.

Existem diversas metodologias de avaliação do risco de inundação, mas independentemente da escolha, geralmente, ao fim da avaliação os resultados serão representados em mapas de risco de inundação, o que facilita a compreensão e insere a informação em um contexto físico, que pode ser cruzado com outros níveis de informação física, socioeconômica, legal, etc..

É possível descrever de um modo geral dois grupos de metodologias: o primeiro focado no risco natural e outro na vulnerabilidade. É significativo perceber que do ponto de vista geomorfológico, as metodologias precisam ser capazes de identificar e delimitar

exatamente as áreas propensas a inundações, tarefa para a qual, a modelação hidráulica e hidrológica é uma ferramenta muito útil, a cruzar com as avaliações de vulnerabilidade, já que o risco é uma consequência do perigo.

Nos casos em que os dados são incompletos ou inexistentes, a abordagem a ser usada precisa ser adaptada para a situação em específico. Neste cenário, alguns autores propõem soluções como Stephenson e D'Ayala (2014), que apresentam uma abordagem holística para reunir um conjunto de parâmetros, especificamente formulados para as estruturas, que caracterizam as propriedades inerentes dos edifícios que contribuem para a sua vulnerabilidade à inundação, neste caso, com um foco mais numérico e estrutural. Mebarki et al. (2012) propuseram uma abordagem semelhante para avaliar o risco de falha à inundação para estruturas de alvenaria. Corroborando, Ferreira e Miranda (2020) também sugerem uma avaliação baseada em um conjunto de indicadores de exposição e sensibilidade em locais históricos, capaz de medir a extensão da vulnerabilidade às inundações em uma área propensa.

Por fim, abordagens matriciais de risco são amplamente utilizadas como base para decisões de gerenciamento de risco, mas também em relatórios, priorização e monitoramento de riscos. No caso das inundações, o uso de uma matriz permite combinar diferentes parâmetros a fim de definir uma escala de nível para o risco estipulando os limites para cada uma das suas classes. Por exemplo, pode relacionar níveis de danos (consequências) com a probabilidade de ocorrência de inundação (perigo), a partir deste momento, é possível associar dentro da área determinada, uma classe de risco para cada elemento exposto.

3 CASO DE ESTUDO: CENTRO HISTÓRICO DE PORTO ALEGRE

A cidade de Porto Alegre é a capital estadual situada mais ao sul do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul, com população estimada em quase 1,5 milhões de habitantes (IBGE, 2019). Historicamente, a região teve povoamento em 1752 com a chegada de 60 casais portugueses vindo dos Açores, Portugal, trazidos pelo Tratado de Madrid¹⁴. No entanto, foi apenas em 26 de março de 1772 que oficialmente foi fundada, através da criação da Freguesia de São Francisco do Porto dos Casais, alterada um ano depois para Nossa Senhora da Madre de Deus de Porto Alegre. Com uma área total de 496,684 km² a cidade é cercada por um anel de morros graníticos afetados pela erosão que criaram as “bordas” (zona norte e leste) para a área de planície onde grande parcela da urbanização se desenvolveu, que ocupa cerca de 65% do seu território. Pela sua formação geológica - espécie de contenção - a ocupação natural do território seguiu predominantemente em direção à zona sul (Prefeitura de Porto Alegre, 2020).

A expressão geográfica da capital é marcada pelos 70 km de orla fluvial que contorna a cidade. A mesma se localiza na margem oriental (esquerda) do Lago Guaíba¹⁵ formado pela convergência de quatro rios que desembocam na Lagoa dos Patos (Figura 5). Possui ainda um conjunto de 16 ilhas neste mesmo lago, cerca de 44 km², que ficam sob jurisdição do município.

O Macrozoneamento feito na reavaliação do Plano Diretor de Porto Alegre em 1995, definiu a área central da cidade como (bairro) Centro Histórico, Figura 4, que é o objeto de estudo dessa dissertação – sendo futuramente delimitada com maior detalhe. Este bairro possui o maior patrimônio arquitetônico e artístico da cidade, é o sexto mais populoso, terceiro em densidade e é um centro econômico, comercial e social. Tem uma área de 228 hectares e 36.862 habitantes.



Figura 4 – Foto aérea de Porto Alegre em 2015, destaque para o bairro Centro Histórico (Prefeitura de Porto Alegre, 2015)



- Zona 1 - Comércio e Serviços
- Zona 2 – Institucional, Cultural, Lazer e Turismo
- Zona 3 - Residencial

Figura 6 – Mapa com zonas de uso do bairro Centro Histórico (Adaptado Projeto Viva O Centro, 2009)

Neste contexto, consoante ao diagnóstico realizado, é possível apresentar sistematicamente algumas informações do Centro Histórico (Tabela 7 e Figura 7).

Tabela 7 – Dados gerais do Centro Histórico (Adaptado Projeto Viva O Centro, 2009)

Dados gerais	
População	36.862 habitantes
Número médio de moradores por domicílio	2,13 hab/domicílio
Densidade	162 hab/ha
Número de prédios	2600 – 5.203.497 m ² de área construída
Número de economias residenciais	23.316 economias com área construída de 1.874.569m ²
Número de economias comerciais	16.376 economias com área construída de 3.195.161m ²

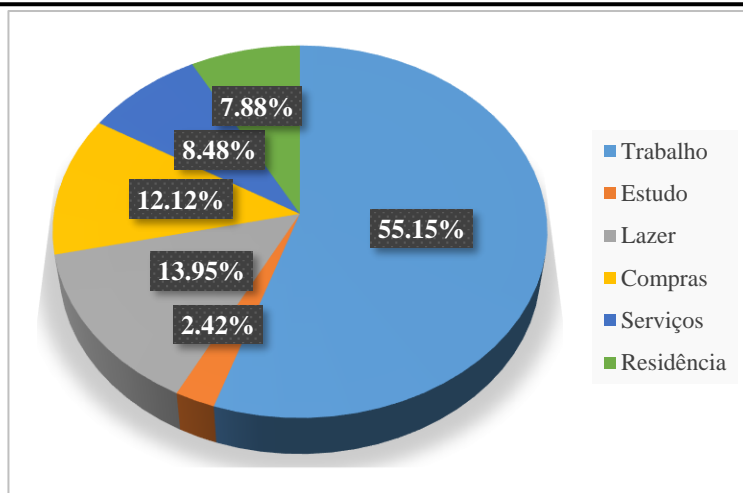


Figura 7 – Motivo do deslocamento dos usuários ao Centro (Adaptado Projeto Viva O Centro, 2009)

3.1 Patrimônio cultural do Centro

O desenvolvimento e manutenção do Inventário do Patrimônio Cultural de Porto Alegre, através do qual são inventariados os bens patrimoniais imóveis da cidade é da responsabilidade da Secretaria Municipal de Cultura (SMC), organismo que conduz um trabalho permanente com vista ao conhecimento dos espaços e das edificações com interesse patrimonial.

Em 2014, na região do Centro Histórico estavam identificados 887 imóveis (289 Inventariados de Estruturação e 598 Inventariados de Compatibilização), destacando os bens principais ou mais importantes na região (Figura 8):



Figura 8 – Identificação do patrimônio tombado em Porto Alegre. Legenda no texto

Onde:

1. Cais do porto - Pórtico e Armazéns A e B
2. Departamento Estadual de Portos Rios e Canais – Deprec
3. Armazéns do Cais do Porto A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3
4. Inspetoria da Receita Federal
5. Museu de Artes do RGS Ado Malagori – Margs
6. Memorial do RS
7. Secretaria da Fazenda
8. Santander Cultural
9. Museu Júlio de Castilhos
10. Mercado Público Central
11. Chalé da Praça XV
12. Galeria Chaves
13. Antiga Livraria do Globo
14. Centro Cultural CEEE Érico Veríssimo
15. Clube do Comércio
16. Antigo Cine Imperial
17. Museu da Comunicação Hipólito José da Costa
18. Edifício Tuyuty – GBOEX
19. Catedral da Santíssima Trindade da Igreja Episcopal do Brasil
20. Antigo Hotel Nacional
21. Casa de Cultura Mário Quintana
22. Igreja Nossa Senhora das Dores
23. Centro Cultural Usina do Gasômetro

Além dos locais tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN¹⁶) e pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado do RS (IPHAER¹⁷), a lista inclui ainda os bens tombados pelo Livro do Tombo¹⁸ (Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2014). Ainda, a região de estudo onde estão localizados os bens tombados fica limitada a sul pela Rua Riachuelo (próximo aos imóveis 18 e 22), leste pela Rua Vigário José Inácio, e a norte e oeste pelo Lago Guaíba (próximo aos imóveis 1, 2, 3 e 23).

3.2 Histórico de inundações

Ao longo da história, as sociedades buscaram se estabelecer geograficamente em locais com acesso a escoamento e disponibilidade de água, sejam rios, lagos ou canais fluviais, garantindo o abastecimento sustentável localmente (Vörösmarty et al., 2005). Este foi também o caso de Porto Alegre, região complexa – que ainda inclui 27 arroios vindos dos morros e planícies – antigamente na sua maioria composta de áreas pantanosas, e em cujo Centro Histórico se desenvolveu a área comercial e administrativa.

A área central representa 35% da área urbanizada da cidade e está em uma altitude média de apenas 3 metros acima do nível do mar, e um pouco acima do nível médio destes arroios. Como resultado da escolha de uma localização geograficamente estratégica, ao longo de sua história a cidade foi atingida por inúmeras inundações com consequências

materiais e humanas severas. Das quais, as mais significativas cheias ocorreram nos anos de 1850, 1873, 1905, 1912, 1914, 1924, 1926, 1928, 1936, 1941, 1967, 1973, 1983, 2001 e 2015 (Guimaraens, 2009; Machado, 1950; Rauber, 1992; Reckziegel, 2018; Reckziegel et al, 2018; Wollmann, 2014; Tucci, 2003).

Cabette e Strohaecker (2015) aponta que o Censo de 1940¹⁹ estimava que Porto Alegre contava com uma população ligeiramente superior a 275.600 pessoas à época da inundação mais notável, a de 1941 (Figura 9). Estima-se também que 60% das residências eram construídas de forma precária, tendo-se levantado à data apenas 50.000 construções (Guimaraens, 2009).



Figura 9 – Imagens da inundação de 1941 em Porto Alegre, bairro Centro (Sul21, 2015)

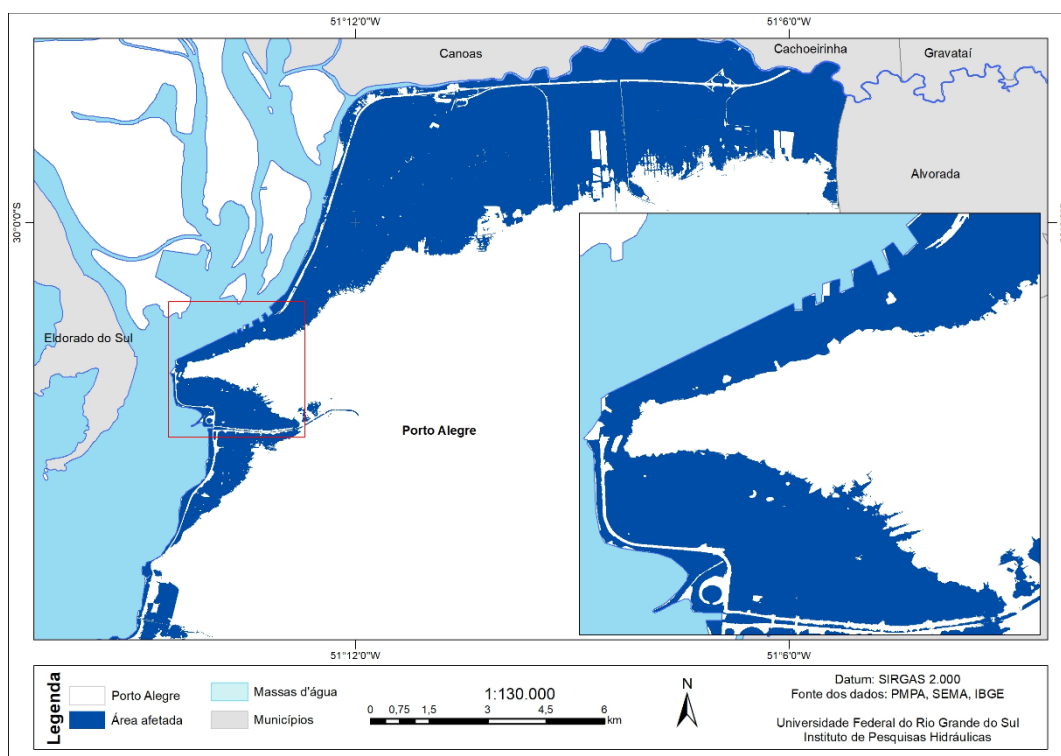
Neste mesmo ano de 1941, preocupados com a exposição de Porto Alegre a eventos de inundação, reuniram-se representantes de instituições com poder de decisão para discutir medidas de combate frente às cheias. As soluções apresentadas transitaram por medidas de diversas magnitudes como: alteração do sentido de fluxo natural do Rio Gravataí, com construção de um canal de 80 km conectando Porto Alegre ao Oceano Atlântico, aumento da seção de vazão do Lago Guaíba na ligação com a Lagoa dos Patos, construção de reservatórios a montante para dispersar as ondas de cheias e uma série de diques e barreiras isolando o perímetro central de Porto Alegre e de algumas ilhas do Delta do Jacuí (Guimaraens, 2009; Rauber, 1992).

Já em 1943 um complexo de diques de terra com vias de tráfego de veículos e o “Muro da Mauá” surge como a solução pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS²⁰, este sistema de proteção futuramente viria a prosperar, provando-se uma opção eficiente na proteção contra a inundação. O complexo começa de fato sendo composto pela autoestrada *Free-way* e pela Av. Castelo Branco, ambos construídos em 1950, fixando o início do que seria o sistema atual de proteção (Figura 10). Dando continuidade ao processo de implementação, surgiram a construção de outros diques, os aterros na orla do Lago Guaíba próximos ao atual Centro Administrativo e bairro Menino Deus e avenidas da orla. No entanto, o projeto só começa a ser concluído com a pareceria do poder municipal e DNOS em 1967, motivado pela ocorrência de cheia histórica. A conclusão do sistema de proteção a inundação acontece com a concretização do muro na

o segundo período. Ou seja, a distribuição temporal das inundações com registro no RS apresenta variações na frequência anual do número de ocorrências (Reckziegel, et al. 2018).

Reiteradamente, a região apresenta uma alta frequência de eventos registrados pois é atingida por fenômenos suficientemente impactantes, nomeadamente, entre os anos de 2000 e 2011, período em que a Região Hidrográfica do Guaíba acumulou 55 eventos de inundações. Somente o Município de Porto Alegre registrou diversas ocorrências de alagamentos e inundações (Wollmann, 2014).

Müller Neto (2018) desenvolveu um trabalho estimativo dos impactos das cheias de 1941, 1967 e 2015 considerando a hipótese de inexistência do sistema de proteção contra inundações. Devido a uma implicação de falha metodológica, oriunda do dado altimétrico utilizado (MDT – modelo digital de terreno - disponibilizado pela prefeitura), mesmo que o sistema de proteção não existisse ou estivesse concluído no caso da cheia de 1941 e 1967, a estimativa de área das inundações foram influenciadas pelo sistema de proteção. A Figura 11 ilustra a área que seria atingida no maior nível d'água registrado na cheia de 1941 com maior elevação em 08 de maio.



Com as Figuras 12 e 13, respectivamente, representações das áreas atingidas pelos eventos de cheias de 1967 e 2015, fica evidente a singularidade do evento de 1941, pois ambos os polígonos de inundação representam uma extensão muito inferior aquela

observada em 1941. Mesmo que estes dois eventos (1967 e 2015) tenham uma distribuição temporal distinta apresentam machas semelhantes.

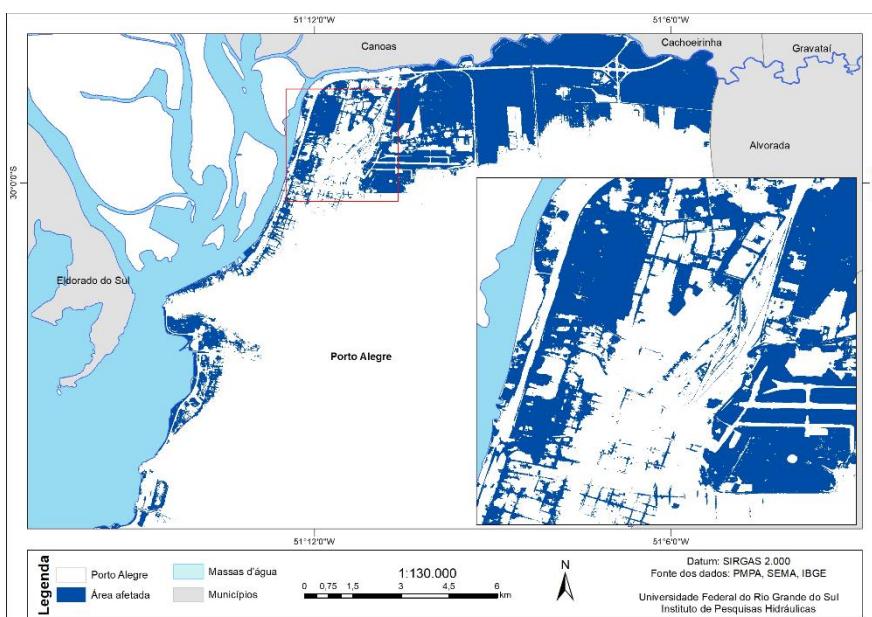


Figura 12 – Área atingida na cota máxima da inundação de 1967 – destaque para o bairro Navegantes (Müller Neto, 2018)

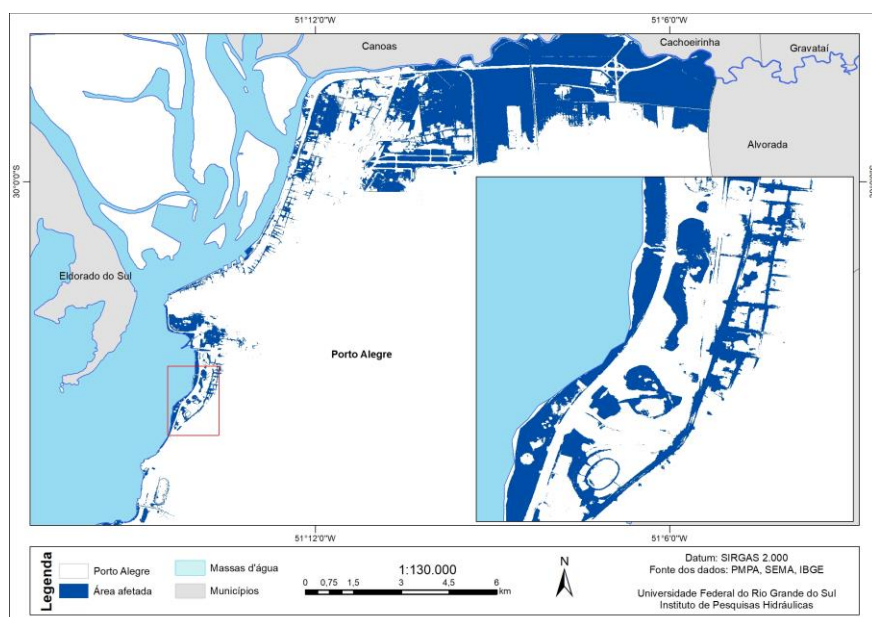


Figura 13 – Área atingida na cota máxima da inundação de 2015 – destaque para o bairro Menino Deus (Müller Neto, 2018)

Reckziegel et al. (2018) realiza uma avaliação e setorização do risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul, Brasil, área que abrange o município de Porto Alegre. Os autores buscaram integrar informações associadas ao perigo e vulnerabilidade, considerando no seu desenvolvimento os dados de tempo de retorno das

inundações e sistemas de proteção nas áreas com suscetibilidade a estes eventos. A Figura 14 representa o risco de inundação com destaque na região central da cidade.

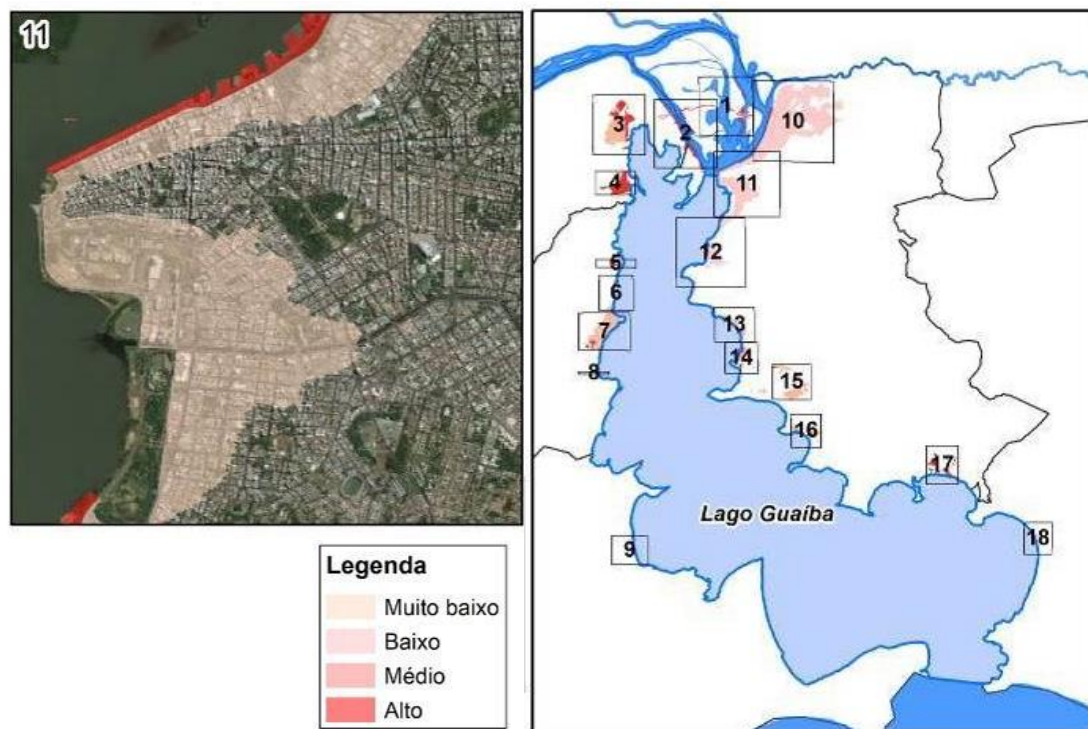


Figura 14 – Setores com risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí, destaque para o bairro do Centro (Adaptado Reckziegel et al, 2018)

Procurando relacionar os aspectos históricos e patrimônio cultural com a ocorrência e risco de inundações associadas ao Lago Guaíba no município de Porto Alegre, foi delimitado uma área de interesse com perímetro aproximado de 4,67 quilômetros e área de 0,85 quilômetros quadrados, representado pelo polígono amarelo na Figura 15, na região central da cidade suscetível a ocorrência desse tipo de evento.



Figura 15 – Delimitação área de interesse no Centro Histórico

3.3 Comentários finais

A cidade de Porto Alegre é a capital do Estado do Rio Grande Sul e foi fundada em 1772 na atual região do centro histórico, às margens do Lago Guaíba e cercada por morros graníticos. A sua localização é tomada com uma visão estratégica devido a origem portuária e as características comumente pretendidas no processo civilizatório.

De modo geral, as regiões antigas das cidades apresentam problemas funcionais devido as novas necessidades da vida na cidade, que mudam continuamente; a problemática pode ser resumida pela migração de residentes e atividades, condições insatisfatórias para habitabilidade e ações pontuais de oportunidade para recuperação da área, sem uma visão global ou contida em planejamento estratégico. O mesmo acontece no Centro Histórico de Porto Alegre, no entanto, a região é associada a um local que consolida uma relação além dos seus limites territoriais. Seja pela diversidade dos grupos sociais que utilizam, trabalham ou moram na região, pela importância das atividades existentes no local, pelo papel histórico, pelos edifícios e espaços de interesse cultural; o Centro Histórico está ligado diretamente à história do município e do Estado, e por isso, transmite forte identificação com o cidadão e é uma referência na cidade.

Como é localizada em uma área no entorno da região do Lago Guaíba, especialmente próximo ao Delta do Jacuí, os municípios ligados a estes recursos hídricos são frequentemente atingidos por inundações. Entre 1940-2015 foram registradas 46 inundações. Perante a elevada recorrência, torna-se essencial a delimitação das áreas propensas a esse tipo de evento e sua análise para gestão do risco. Os eventos de cheia mais importantes na cidade foram: a maior e mais impactante de 1941, motivadora para a conclusão do sistema de proteção contra inundação em 1967 pois atingiu o centro da cidade e não somente bairros da zona norte; e a de 2015, única ocorrência mais recente registrada após o sistema de proteção contra inundações ter sido totalmente instalado.

4 AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE E RISCO

Para este trabalho, foi desenvolvido uma metodologia de avaliação da vulnerabilidade às inundações simplificada (Figura 16), tendo como base as definições e abordagens apresentadas no capítulo 2. Este método, fundamentalmente, relacionará a perigosidade de inundação (FH) com os vários índices de vulnerabilidade (FV), produto de três componentes em cada edifício: exposição, sensibilidade e funcionalidade. Assim, uma vez que a vulnerabilidade do edificado (módulo vulnerabilidade) é mapeada dentro de uma região definida propensa ao perigo de inundação (módulo perigosidade), é possível definir o risco à inundação através de uma matriz e representá-lo em um mapa de vulnerabilidade da área consoante a avaliação de cada edifício.

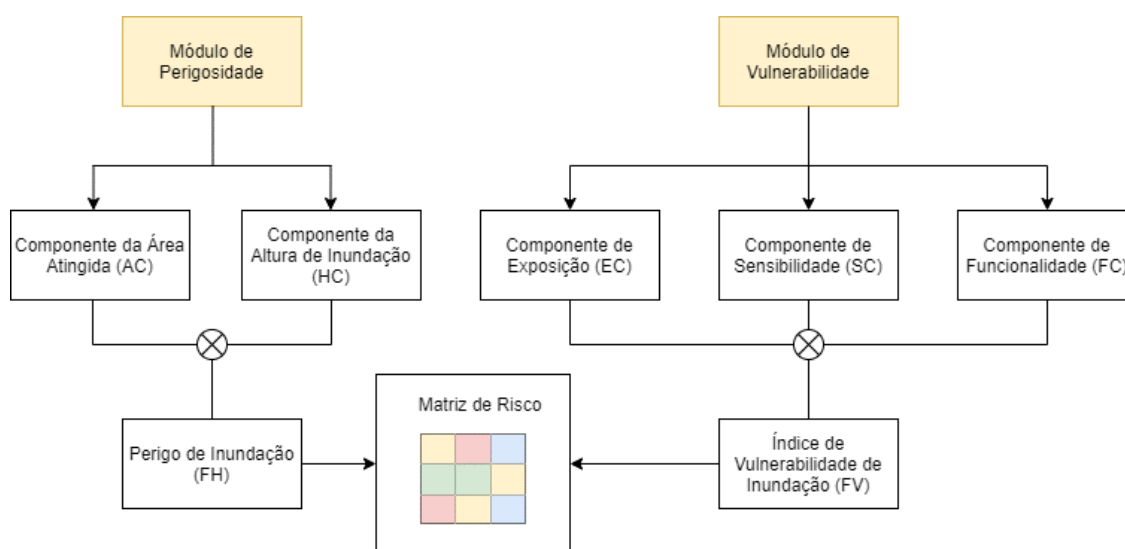


Figura 16 – Fluxograma da metodologia proposta

4.1 Módulo de perigosidade

Para o módulo de perigosidade foram definidos dois indicadores de avaliação no que diz respeito ao *hazard*: área de extensão de inundação (AC) e altura inundada (HC). Resumidamente, a ideia do processamento consiste em atribuir, principalmente, a cada polígono uma altura de inundação que varia conforme a curva de nível da área propensa ao perigo, relacionando uma camada com a cota máxima do evento – que define um plano de inundação –, com uma camada dos edifícios que contém a respectiva cota no terreno.

Inicialmente as camadas georreferenciadas dos edifícios do levantamento de campo (polígonos das edificações do *OpenStreetMap*) e curvas de nível da cidade de Porto Alegre (MDT do mapeamento aerofotogramétrico de 2012), especificamente na área de estudo, são levadas para o ambiente *ArcGIS*²¹ e trabalhado no componente *ArcMap*²²; para atribuir a cada polígono de edificação uma cota respectiva ao terreno.

Para que seja possível definir a área que a inundação alcança na componente, é necessário relacionar a camada inicial do terreno, e sua altimetria, com uma nova camada

representativa da cota máxima de inundação. O produto desta operação é representado por uma mancha de inundação que servirá como parâmetro na obtenção de dados estatísticos relacionados ao evento e sua distribuição espacial.

Para se obter este produto representativo da perigosidade a inundação, delimitou-se um retângulo que define a área de interesse em que se criou o modelo digital de terreno (MDT) no formato inicial de um *TIN* (*Triangulated Irregular Network*). O *TIN* foi criado de modo a respeitar as altitudes representadas pelas curvas de nível da cartografia de base na escala 1:1.000 (equidistância de 1 metro), algo que outras metodologias, como a ferramenta *Tool to Raster*, nem sempre asseguram. Um dos métodos que auxiliou nesse propósito foi a criação de um limite ao longo do Cais Mauá representando a cota 0 m (nível Lago Guaíba). Criou-se de seguida um plano de inundação à cota de 4,75 m, que corresponde à cota máxima histórica verificada por Müller (2018). Ambos MDT – o de terreno e o do plano de inundação – são convertidos para o formato matricial através da ferramenta *TIN To Raster* com o *cell size* (resolução) de 1 m. De seguida, procedeu-se à sua subtração de modo a se obter as cotas de inundação na área de estudo.

Fazendo o uso da ferramenta de análise *Zonal Statistics as Table* obtém-se diversas medidas estatísticas relativas ao MDT e à cota de inundação em cada edificação. Tais tabelas com os edifícios são relacionadas topologicamente com cada polígono representativo através de um campo comum (ID). Pode-se adquirir dados relevantes com as informações do edifício em relação ao plano de inundação, como: *COUNT* de número de células com inundação em cada edifício, com o qual se determina o percentual de área inundada; *MAX* com cota máxima de inundação por edifício; e *MEAN* com uma altura média de inundação por edifício.

4.2 Módulo de vulnerabilidade

A fim de definir um Indicador de Vulnerabilidade à Inundação (FV), este módulo (Figura 17) conta com três componentes de avaliação da vulnerabilidade no que tange o edificado: exposição (EC), sensibilidade (SC) e funcionalidade (FC). Cada componente possui os seus indicadores I_n (A1, B1, C1...) representando uma área de investigação dos edifícios, onde são definidos parâmetros P_n (A, B, C, D...) que indicam as classes das características a serem avaliadas em cada um. Estes possuem campos representativos na matriz de avaliação, onde no levantamento de campo, é feita a designação de qual classe foi identificado; com exceção do parâmetro C3 que tem imputado um número absoluto para posterior categorização e o parâmetro A2 que resulta de pesquisa aos registros oficiais.

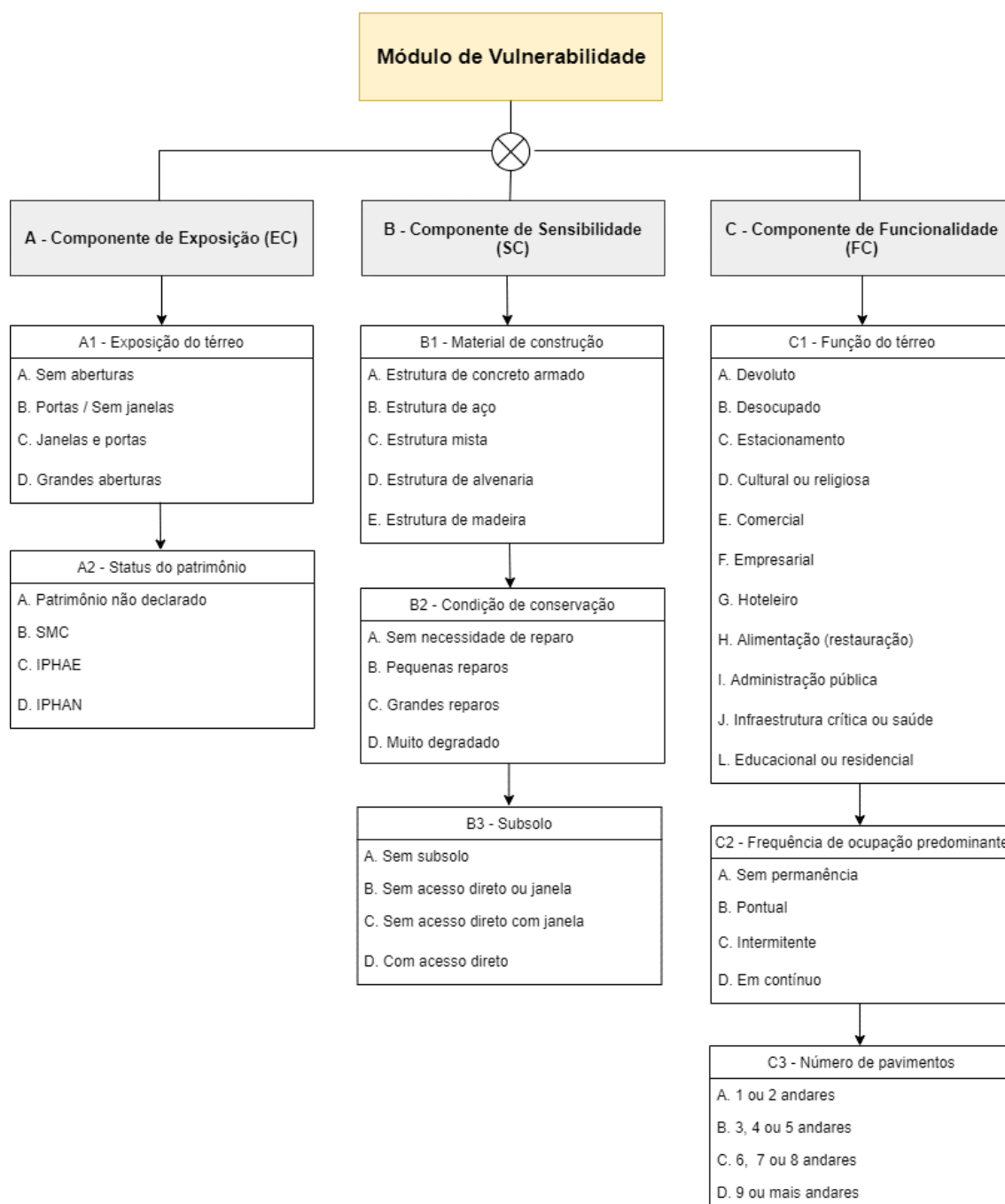


Figura 17 – Fluxograma do módulo de vulnerabilidade com as componentes e seus indicadores

As referências que serviram como base na definição destes indicadores são apresentadas na Tabela 8, explicando os seus autores, valores e a fonte dos dados de entrada adotados nesta metodologia.

Tabela 8 – Indicadores do módulo de vulnerabilidade com suas referências, unidades adotadas e fonte para obtenção

Indicador	Referência	Unidades	Fonte
A1 - Exposição do térreo	Mebarki et al. (2012)	Pontos [0,1]	Matriz de Campo
A2 - Status do patrimônio	Miranda e Ferreira (2019)	Pontos [0,1]	Consulta Registros
B1 - Material de construção	Miranda e Ferreira (2019)	Pontos [0,1]	Matriz de Campo
B2 - Estado de conservação	Miranda e Ferreira (2019)	Pontos [0,1]	Matriz de Campo
B3 - Subsolo	Mebarki et al. (2012)	Pontos [0,1]	Matriz de Campo
C1 - Função do térreo	Santos et al. (2018)	Pontos [0,1]	Matriz de Campo
C2 - Frequência de ocupação predominante	Santos et al. (2018)	Pontos [0,1]	Matriz de Campo
C3 - Número de pavimentos	Miranda e Ferreira (2019)	Número absoluto	Matriz de Campo

A indicação de cada parâmetro P_n resulta da atribuição de uma pontuação e sua categorização, variando entre 0 e 1, de acordo com a atuação que a característica avaliada tem de proporcionar uma baixa vulnerabilidade (pontuação 0), alta vulnerabilidade (pontuação 1), ou situações intermédias (pontuação entre 0 e 1). Ou seja, os parâmetros são dispostos em ordem crescente do que é menos vulnerável para o mais influente. Posto isto, cabe uma média aritmética simples dos indicadores respectivos a cada componente (por exemplo, $EC = (A1 + A2) / 2$), definido pela Equação (7). Neste ponto, o produto da média dos indicadores resulta em valor único para cada uma das três componentes propostas.

$$I_m = \frac{I_1 + \dots + I_n}{n} \quad (7)$$

Finalmente, o indicador de vulnerabilidade à inundação (FV), relaciona estes valores de forma a observar que algumas componentes tenham mais influência na vulnerabilidade, por isso, fica definida uma ponderação para a exposição e sensibilidade (parcela física) para posterior somatório com a parcela funcional; restando apenas a multiplicação por um fator de normalização de 0,5. Deste modo, FV é a média entre i) o produto de EC por SC e ii) FC (Equação 8).

$$FV = 0.5(EC \times SC + FC) \quad (8)$$

Ainda, é adotado o uso de valores absolutos para classificação de parâmetros e indicadores de vulnerabilidade, isso devido à complexidade na atribuição de uma padronização para sua definição. Existem metodologias com diferentes abordagens, ou seja, divergem em relação ao uso de valores absolutos ou ponderados para a classificação da vulnerabilidade.

4.2.1 Componente de Exposição

O primeiro indicador A1 – Exposição do Térreo (Tabela 9) concerne sobre as aberturas da edificação no nível do piso térreo (rés do chão) pois está diretamente relacionado à exposição no evento de inundação. Cabe esclarecer sobre as definições dos parâmetros B

e C são relativas às combinações das esquadrias que compõem a fachada do edifício; e as do parâmetro D caracterizam a edificação que possui esquadria predominante maior que outros elementos com representativa dimensão, comparado a portas e janelas regulares, ou ainda, elementos que compõem a fachada, ou parte dela, como principal ou único elemento de fechamento. Nesta classe não foram consideradas aberturas quando se tratava de subsolo (cave), característica avaliada isoladamente em outra componente.

Tabela 9 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador A1 – Exposição do térreo

A1 - Exposição do térreo	Pontuação
A. Sem aberturas	0.10
B. Portas / Sem janelas	0.40
C. Janelas e portas	0.70
D. Grandes aberturas	1.00

Complementando a abordagem sobre a exposição, o indicador A2 – Status do Patrimônio (Tabela 10) tange a pesquisa aos registros de tombamento dos edifícios como patrimônio. A definição é representativa ao órgão competente por este processo. Quanto maior o valor histórico-cultural do edifício proporcionalmente será o risco de prejuízo ao ser afetado por uma inundação.

Tabela 10 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador A2 – Status do patrimônio

A2 - Status do patrimônio	Pontuação
A. Patrimônio não declarado	0.10
B. SMC	0.40
C. IPHAE	0.70
D. IPHAN	1.00

4.2.2 Componente de Sensibilidade

A segunda componente começa pelo indicador B1 – Material de Construção (Tabela 11) e refere-se ao principal elemento predominantemente utilizado na concepção da estrutura do edifício, e baseia-se na avaliação em campo e pesquisa histórica em edificações específicas. O parâmetro C é relativo aos edifícios que possuem estruturas de concreto armado convencional, mas internamente utilizam-se do aço como material construtivo combinado (pavimentos ou outros elementos relevantes da estrutura).

Tabela 11 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador B1 – Material de construção

B1 - Material de construção	Pontuação
A. Estrutura de concreto armado	0.10
B. Estrutura de aço	0.30
C. Estrutura mista	0.50
D. Estrutura de alvenaria	0.70
E. Estrutura de madeira	1.00

Dando continuidade, o indicador B2 – Condição de conservação (Tabela 12) diz respeito aos aspectos visuais representativos do estado de conservação do edifício e sua estrutura. Devido à complexidade na sua definição é necessário observar as especificidades dos parâmetros: A mostra um edifício sem nenhum tipo de dano, rachadura ou intervenção necessária para recuperar o seu bom estado de conservação; B é indicado na presença de rachaduras leves, presença de umidade, elementos orgânicos na fachada, necessidade de pintura preventiva (durabilidade da proteção) ou danos leves em parte na estrutura da fachada; C representa os edifícios que apresentam rachaduras generalizadas, indicações de assentamento diferencial (recalque), danos graves em parte da fachada ou deformações na estrutura; e D revela rachaduras de grande magnitude, colapso de elementos como lajes, paredes; ausência de elementos estruturais internos ou perigo estrutural iminente.

Tabela 12 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador B2 – Estado de conservação

B2 - Estado de conservação	Pontuação
A. Sem necessidade de reparo	0.10
B. Pequenas reparos	0.40
C. Grandes reparos	0.70
D. Muito degradado	1.00

Concluindo a componente de sensibilidade, o indicador B3 – Subsolo (Tabela 13) ocupa-se das edificações que possuem ou não subsolo (cave). O esclarecimento é necessário nos parâmetros: B trata dos edifícios que possuem um subsolo, mas não podem ser acessados pela parte externa e tão pouco têm janela para fachada; C sustenta a situação análoga, mas neste caso conta com esquadria na fachada do edifício; e D aborda o pavimento que possui acesso direto da parte exterior, esquadria de maior dimensão que janelas, inclusive, com a sua possível combinação.

Tabela 13 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador B3 – Subsolo

B3 - Subsolo	Pontuação
A. Sem subsolo	0.10
B. Sem acesso direto ou janela	0.40
C. Sem acesso direto com janela	0.70
D. Com acesso direto	1.00

4.2.3 Componente de Funcionalidade

No que tange a funcionalidade, o indicador C1 – Função do térreo (Tabela 14) trata da função predominante do edifício ao nível do piso térreo (rés do chão). Os parâmetros A e B, caracterizam edifícios que não estão atualmente ocupados, respectivamente, devido ao estado de conservação ou falta de funcionalidade e pela falta de interessados. O parâmetro C engloba as edificações que possuem espaço reservado para o estacionamento de veículos, explorando o local comercialmente ou não, incluso nesta característica também estão as estruturas de cobertura de uma área. O parâmetro D qualifica os locais onde são desenvolvidas atividades religiosas ou culturais, neste caso, espaços como teatros, salas de apresentação, cinemas, museus, etc. Os parâmetros F e H, respectivamente, abrangem os edifícios com empreendimentos que realizam o comércio de produtos e fornecem alimentação (restauração), independentemente do acesso ou não de clientes no local. O parâmetro I refere-se a locais onde as atividades exercidas são fundamentalmente de origem administrativa-operacional de repartições de esferas do poder público, autarquias ou organizações. O parâmetro J conta com clínicas, locais e hospitais públicos ou privados, mas também as edificações ou elementos que compõem a infraestrutura da cidade como estações de transporte público.

Tabela 14 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador C1 – Função do térreo

C1 - Função do térreo	Pontuação
A. Devoluto	0.125
B. Desocupado	0.250
C. Estacionamento	0.375
D. Cultural ou religiosa	0.500
E. Comercial	0.625
F. Empresarial	0.625
G. Hoteleiro	0.625
H. Alimentação (restauração)	0.625
I. Administração pública	0.750
J. Infraestrutura crítica ou saúde	0.875
L. Educacional ou residencial	1.000

Agregando a componente, o indicador C2 – Frequência de ocupação (Tabela 15) compete à periodicidade com que as pessoas fazem uso da edificação, considerado de forma total. Para isso seus parâmetros distinguem-se como se descreve: B indica que a regularidade de ocupação das edificações acontece em momentos específicos, mas não tão recorrentes como feiras semanais, eventos desportivos ou culturais; C aponta as edificações que são usadas em momentos específicos só que são reiterados, como somente durante o dia ou noite e horas de pico (ponta); e D interessa ao uso que, independentemente do dia ou hora, reflete a existência de pessoas na edificação, devido às funções de uso ou à sua combinação.

Tabela 15 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador C2 – Frequência de ocupação predominante

C2 - Frequência de ocupação predominante	Pontuação
A. Sem permanência	0.10
B. Pontual	0.40
C. Intermitente	0.70
D. Em contínuo	1.00

O indicador C3 – Número de pavimentos (tabela 16) compete à quantidade de pavimentos do edifício, onde devem ser considerados no quantitativo total os andares tipo, os pavimentos de subsolo (*cave*) e a cobertura (*rooftop*). No que toca à vulnerabilidade funcional, não estrutural, foi adotado que quanto maior o número de pavimentos maior o prejuízo proporcional à sua população, mesmo que na ocorrência de uma inundação os demais pavimentos não sejam afetados diretamente, são indiretamente ligados à situação do térreo.

Tabela 16 – Parâmetros e a respectiva pontuação para o indicador C3 – Número de pavimentos

C3 - Número de pavimentos	Pontuação
A. 1 ou 2 andares	0.10
B. 3, 4 ou 5 andares	0.40
C. 6, 7 ou 8 andares	0.70
D. 9 ou mais andares	1.00

Por fim, é necessário fazer uma categorização para cada módulo com o intuito de realizar a sua combinação. Conforme a distribuição de dados e características da região, foram definidas 5 classes para a vulnerabilidade e perigosidade: muito baixa, baixa, moderada, elevada e muito elevada; consoante a normalização das pontuações (variação entre 0 e 1) e dados estatísticos de origem (variação entre 0,1 m e 4,5 m).

4.3 Matriz de risco

Como último critério metodológico, o risco de inundação é calculado a partir da associação do resultado obtido no módulo de vulnerabilidade para cada edifício com o nível de perigo a que ele está exposto (módulo de perigosidade), onde o resultado é uma matriz de risco (vulnerabilidade-perigo), Tabela 17.

Sendo assim, o risco para cada edifício poderá ser classificado dentro de 6 categorias: muito baixo, baixo, moderado, elevado, muito elevado e extremo.

Tabela 17 – Matriz de risco à inundação proposta

Risco de Inundação		Perigosidade				
		Muito Baixa	Baixa	Moderada	Elevada	Muito Elevada
Vulnerabilidade	Muito Baixa	Risco Muito Baixo	Risco Muito Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado
	Baixa	Risco Muito Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Elevado
	Moderada	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Muito Elevado
	Elevada	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Muito Elevado	Risco Extremo
	Muito Elevada	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Muito Elevado	Risco Extremo	Risco Extremo

4.4 Sistema de Informação Geográfica

Na campanha de levantamento foi adotado o uso do aplicativo *Input*²³, sistema de informação geográfica (SIG) compatível com celular/tablet e baseado no QGIS²⁴ com objetivo de otimizar e tornar versátil o processo de recolha e integração da informação para posterior processamento e análise. Neste ambiente, recorreu-se a uma camada vetorial georreferenciada com os polígonos de todas as edificações disponibilizada pelo *OpenStreetMap* (OSM)²⁵, à qual foi necessário realizar uma formatação básica a fim de remover o ruído das representações (união de segmentos, sobreposições e identificação de elementos). Dentre os atributos vinculados a essa camada será considerado no levantamento de campo ou análise deste trabalho apenas a identificação de referência *OSM_ID*, visto, tratar-se nos demais dados (nomes) incompletos ou escassos de edificações específicas (igreja, prédios públicos, etc.). Os demais atributos dizem respeito à matriz de avaliação de risco para coleta dos dados geográficos, características e envoltória dos edifícios (componentes física e funcional). A base de dados fica armazenada e sincronizada nos clientes móveis e *desktop* através do sistema *Mergin*²⁶, sendo um projeto público e de livre acesso dentro da plataforma.

O Consórcio Guaíba (2012) e Zanardi et al. (2015) disponibilizaram informação vetorial e matricial georreferenciada de edificação e modelo digital de superfície (MDS) da cidade de Porto Alegre. Modelo gerado aplicando filtros para remoção dos pontos referentes a edificação do modelo digital de terreno (MDT), um dos frutos de um consórcio de empresas contratadas conveniadas à Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS em 2010, no qual fez um mapeamento aerofotogramétrico e utilizou um sistema de varredura a LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), nomeadamente, conhecido como LiDAR (*Light Detection and Ranging*) – perfilamento. Mesmo que as informações oriundas do aerolevanteamento disponibilizado pela Prefeitura

Municipal de Porto Alegre, nomeadamente oito cartas planialtimétricas no contexto desta dissertação, apresentem pequenas diferenças, pode-se considerar que a camada é satisfatoriamente condizente para a representação da região. Essa diferença pode demonstrar apenas incertezas no processamento das imagens (manchas/imprecisão) ou até mesmo pelo facto de a área de representação de cada edificação ter considerado o seu contorno mais externo, ou seja, a projeção dos beirais (Consórcio Guaíba, 2011).

A camada vetorial após a coleta de dados, ainda passa pelo tratamento final de possíveis incertezas ou indefinições do processo de representação da imagem em polígonos (Figura 18), e exclusão dos locais inacessíveis ou sem características pertinentes durante o levantamento de campo. No final do processo, resultou a obtenção de informação geográfica e alfanumérica consolidada e representativa de 639 edificações para discussão e análise no Capítulo 5.



Figura 18 – Cartografia com a representação dos polígonos (representação dos edifícios) na área de interesse do Centro Histórico

4.4.1 Configurações de aplicação

Devido ao tamanho da área de estudo, foi necessário criar indexadores referenciais para auxiliar à identificação no momento da coleta de dados (Figura 19). Os atributos *block_id* e *buildingid*, respectivamente, para identificar os quarteirões da região (variando de A até Z e aglutinando na mesma ordem até a formação última de “BG”) e dentro de cada bloco identificar cada edifício (variando de 1 até 51). Com efeito, o mesmo código de identificação do *OSM* correspondia por vezes em mais que um edifício, pelo que houve necessidade de adotar uma nova codificação assente na configuração dos quarteirões.



Figura 19 – Cartografia com a identificação dos quarteirões – *Block_id*

Com o intuito de viabilizar o uso do aplicativo *Input* em campo, é necessário configurar a camada vetorial das edificações no ambiente QGIS em que o sistema fica sincronizado para receber os dados do levantamento. Isso se dá através da definição de uma tabela de atributos representativa aos indicadores e parâmetros apresentados no capítulo 4.2. Ainda, os campos de Notas e Fotos são associados aos demais itens do levantamento para viabilizar informações necessárias que se demonstrem necessárias na qualificação do edificado, resultando na lista consolidada de atributos apresentada na Figura 20.

Id	Name	Alias	Type	Type name	Length	Precision	Comment	Configuration
abc 0	osm_id		QString	String	10	0		
abc 1	name		QString	String	100	0		
abc 2	Investigad		QString	String	80	0		
abc 3	Data		QDate	Date	10	0		
abc 4	Exposiçã		QString	String	80	0		
abc 5	Material		QString	String	80	0		
abc 6	Condição		QString	String	80	0		
123 7	Pavimentos		int	Integer	9	0		
abc 8	Subsolo		QString	String	80	0		
abc 9	Patrimôni		QString	String	80	0		
abc 10	Função T		QString	String	80	0		
abc 11	Frequênci		QString	String	80	0		
abc 12	Notas		QString	String	200	0		
abc 13	Fotos		QString	String	80	0		
abc 14	block_id		QString	String	2	0		
123 15	buildingid		int	Integer	9	0		

Figura 20 – Tabela de atributos definida no ambiente SIG para levantamento em campo

4.4.2 Levantamento de campo (Coleta de dados)

O trabalho de levantamento de campo foi realizado em 2020 e consistiu na inspeção visual, principalmente exterior, devido à larga extensão da área e restrições de autorização para acesso, mas também interior em edifícios com acesso ao público que tornam esse nível possível. Posteriormente, ainda é realizada pesquisa para confirmação e ou ajustes de informações coletadas (histórico de construção e constituição das estruturas, alterações, pavimentos, etc.) de alguns edifícios públicos, históricos ou de interesse.

Com as definições do subcapítulo 4.2 prontas, o aplicativo *Input* (Figura 21) incrementa o levantamento de forma ágil e digital, com a distribuição espacial de informações geográficas instantâneas.

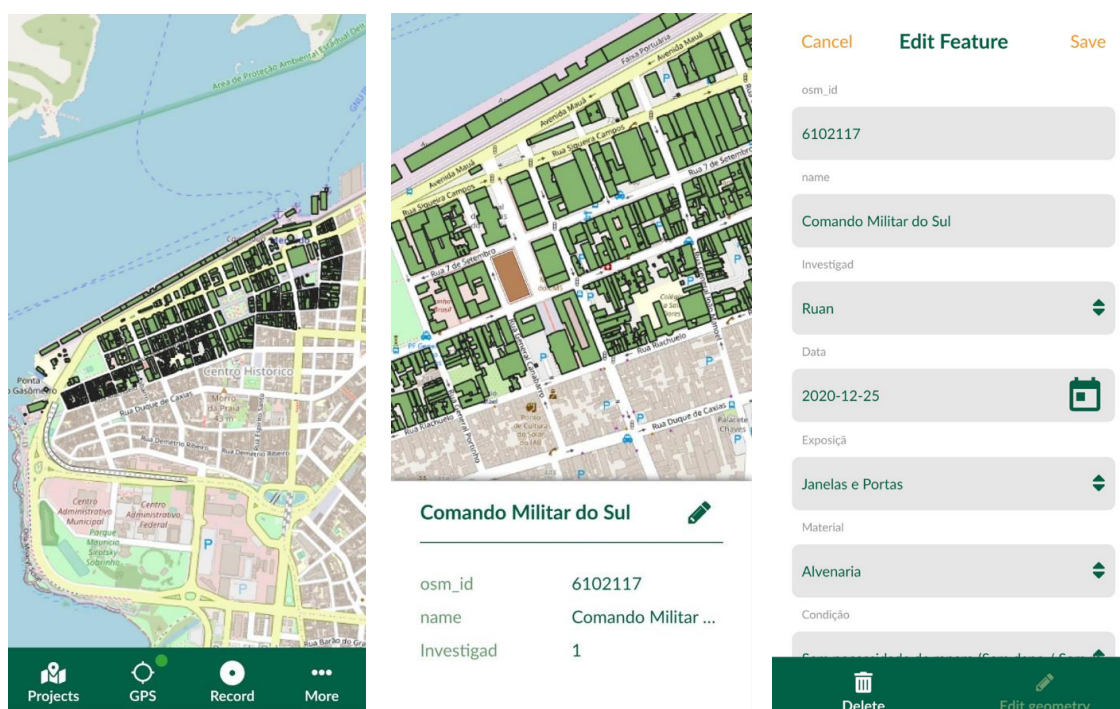


Figura 21 – Telas do aplicativo *Input* durante coleta de dados na campanha de campo

Devido a limitação de espaço de armazenamento no servidor *Mergin* e metodologia proposta, é dispensada a coleta de mídia como fotos e vídeos em todos os polígonos da área de estudo. No entanto, a Figura 22 representa algumas das possíveis tipologias ou classificação dos edifícios encontrados no Centro Histórico de Porto Alegre.

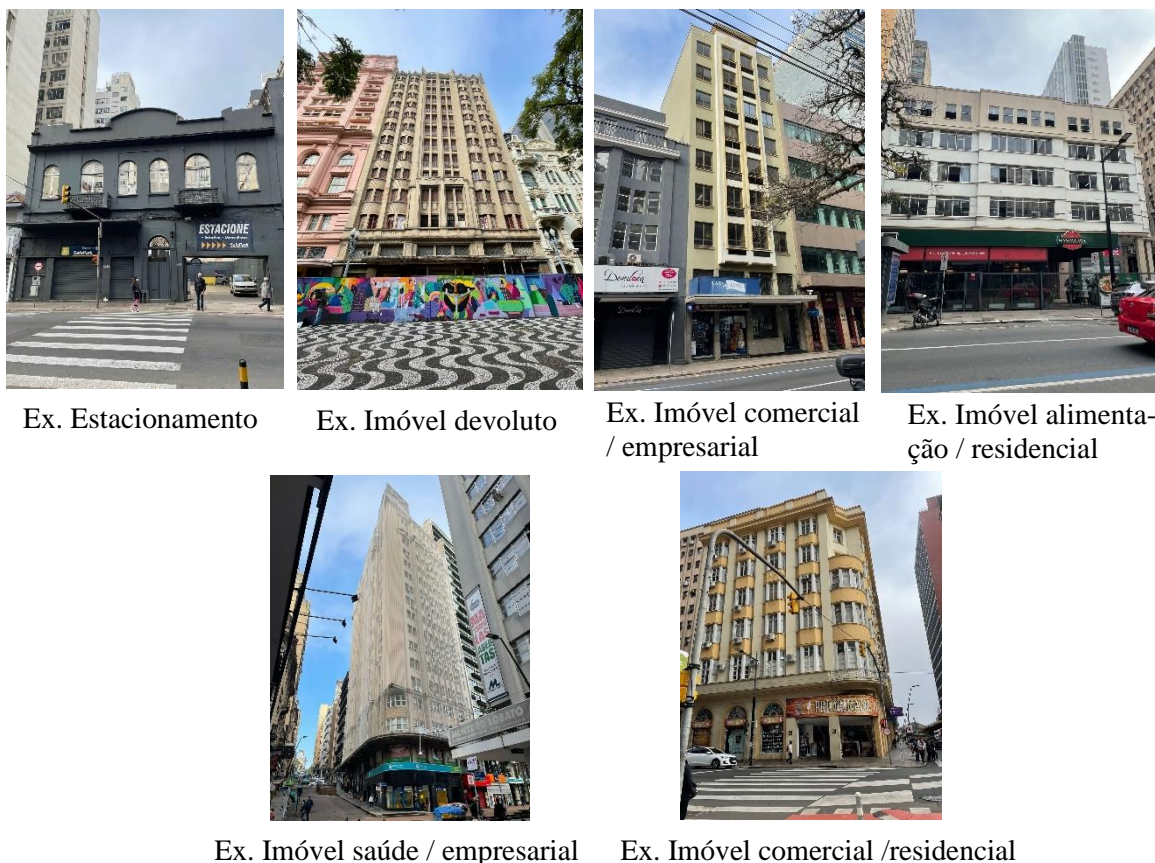


Figura 22 – Fotos dos edifícios na área de investigação com carácter informativo

4.5 Comentários finais

A metodologia proposta faz relação entre as alturas de inundação na extensão atingida (módulo perigosidade) com os indicadores de vulnerabilidade dos edifícios em frente a esses eventos (módulo vulnerabilidade). Os dados para o estudo são oriundos de campanhas de levantamento em campo realizadas pela inspeção visual do autor e incorporados em um ambiente SIG. Para cada indicador são atribuídos entre 4 e 11 parâmetros que representam as possíveis características dos edifícios, que, por sua vez, estão relacionados a valores quantitativos variando entre 0 e 1, divididos em partes iguais e não ponderados. Na mesma escala, um índice de vulnerabilidade (FV) é definido pela integração de todas as componentes (formadas pela agregação dos indicadores), imputando neste ponto um fator de ponderação para as componentes que representam uma maior influência na vulnerabilidade. Como principal objetivo do método, o produto desta associação é uma matriz de risco com 6 categorias para classificação, variando entre o edifício sem inundação e o que tem risco extremo. Finalmente, os resultados, bem como os indicadores e componentes individuais, podem ser analisados de forma conjunta em mapas com destruição espacial ao nível dos módulos de perigosidade e vulnerabilidade, e do risco de inundação.

5 DISCUSSÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como explicado no Capítulo 4, o levantamento de campo realizou-se entre os dias 25 e 30 de dezembro de 2020, envolvendo um total de 639 edifícios – já que em 56 edifícios não foi possível obter a informação necessária para avaliar o conjunto das características tidas em conta nos parâmetros de avaliação. Todos os dados foram compilados em planilhas eletrônicas do Excel para aplicação da metodologia de avaliação de vulnerabilidade e risco.

Ainda antes da análise mais profunda dos indicadores de risco obtidos, serão apresentados os resultados individuais de vulnerabilidade e perigosidade, os quais, por si só, já contribuem para compreender o cenário da região e seus resultados. Com a combinação das características em cada campo da vulnerabilidade, atingiu-se um indicador da sua resiliência à inundação. Já no campo da perigosidade, com o cruzamento de informações de altimetria e localização das edificações, obteve-se o valor mínimo, máximo, médio, o desvio padrão, a variância, e a diferença entre os valores mínimos e máximos de altura contidos nos polígonos de cada edifício.

5.1 Resultados das componentes de perigosidade e vulnerabilidade

Para o módulo de perigosidade, foi definida a mancha de inundação para a área de estudo (Figura 23), com base para definição da perigosidade. Computado através do cruzamento das curvas de nível da área com uma nova camada vetorial denominada plano de inundação. Importa notar que este plano de inundação foi definido à cota de 4,75 m, valor determinado com base em levantamento histórico (máxima cota histórica).



Figura 23 – Cartografia da mancha de inundação com a distribuição espacial dos polígonos (representação edifícios)

Para além da mancha de inundação obtiveram-se dados estatísticos relevantes para cada polígono de edificação, tais como as alturas de inundação consoantes as classes de perigo definidas. Neste sentido, a Tabela 18 apresenta os valores mínimos, médios e máximos das alturas calculadas, e na Figura 24, é representado o histograma das alturas máximas. Analisando os resultados apresentados é possível observar que 32,81% dos edifícios na área e estudo não são afetados pela inundação e 43,02% são atingidos por uma altura de inundação superior a 1,5 m, o que representa uma perigosidade elevada ou muito elevada.

Tabela 18 – Distribuição dos edifícios (número inteiro e percentagem) em cada classe de perigosidade referente à altura mínima, média e máxima

Altura de Inundação	Sem inundação		Muito Baixa		Baixa		Moderada		Elevada		Muito elevada	
	0		0 - 0,5 m		0,5 - 1 m		1 - 1,5 m		1,5 - 2 m		>2 m	
Média	228	32,81%	75	10,79%	55	7,91%	75	10,79%	199	28,63%	63	9,67%
Máxima	228	32,81%	26	3,74%	89	12,81%	53	7,63%	222	31,94%	77	11,08%
Mínima	228	32,81%	113	16,26%	58	8,35%	68	9,78%	178	25,61%	50	7,19%

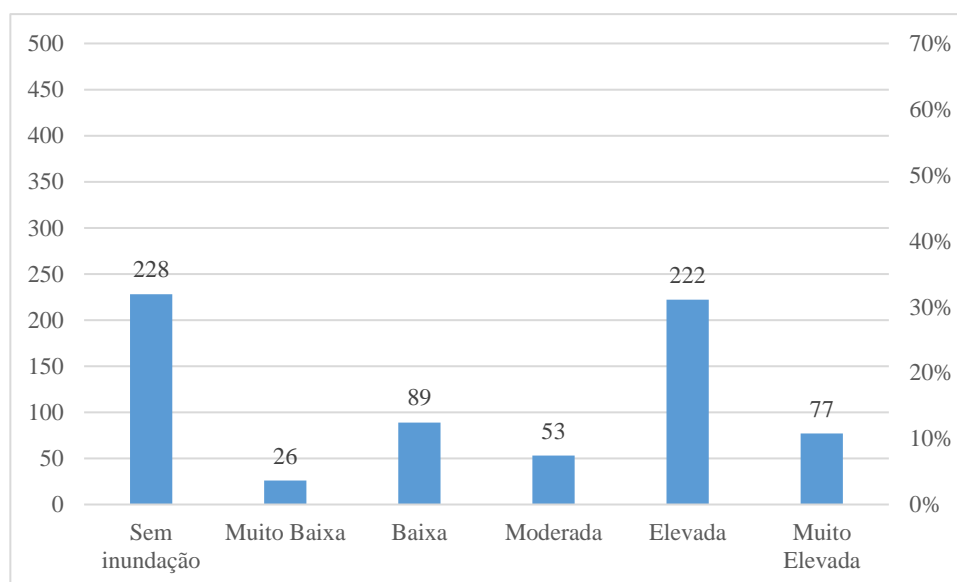


Figura 24 – Histograma dos indicadores absolutos de perigosidade

Ainda, a Figura 25 tem outro dado estatístico relevante, apresenta o percentual de área afetada no térreo, onde é possível observar que 86,08% dos edifícios afetados com a inundação tem um percentual de alagamento do pavimento térreo, ocupação da sua área, entre 80% e 100%.

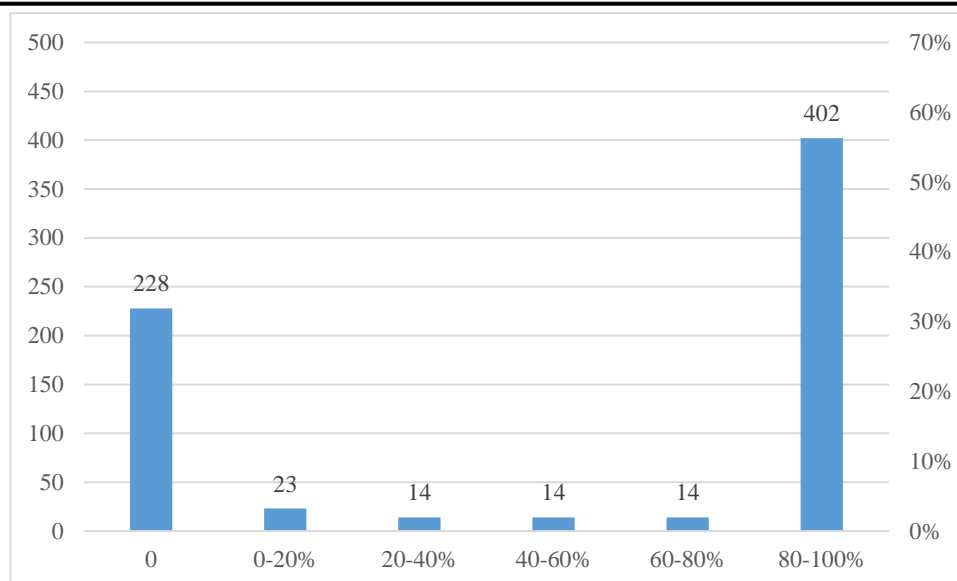


Figura 25 – Histograma da porcentagem de ocupação do terreno

Com a intersecção da mancha de inundação e a localização das edificações foi possível obter ainda a distribuição espacial do perigo de inundação consoante a categorização proposta, ver Figura 26.



Figura 26 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores absolutos de perigosidade (FH)

Os indicadores das componentes de exposição, sensibilidade e funcionalidade ajudam no melhor entendimento dos resultados de vulnerabilidade obtidos.

Inicialmente referente a componente de exposição, as Figuras 27 e 28 são apresentados as suas frequências, e as Figuras 29 e 30 representam a sua distribuição espacial, assuntos que serão discutidos a seguir.

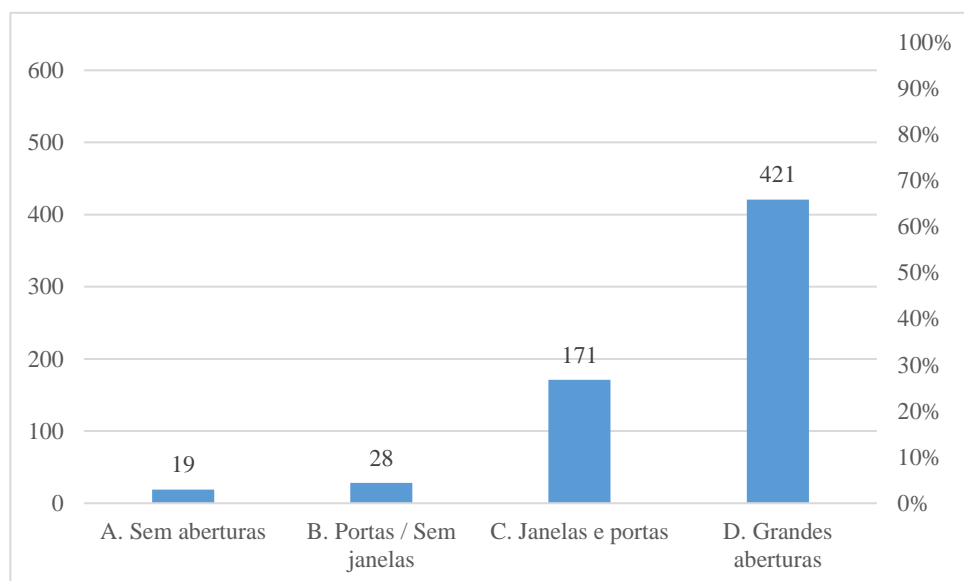


Figura 27 – Histograma dos indicadores de exposição (EC): A1 – Exposição do térreo

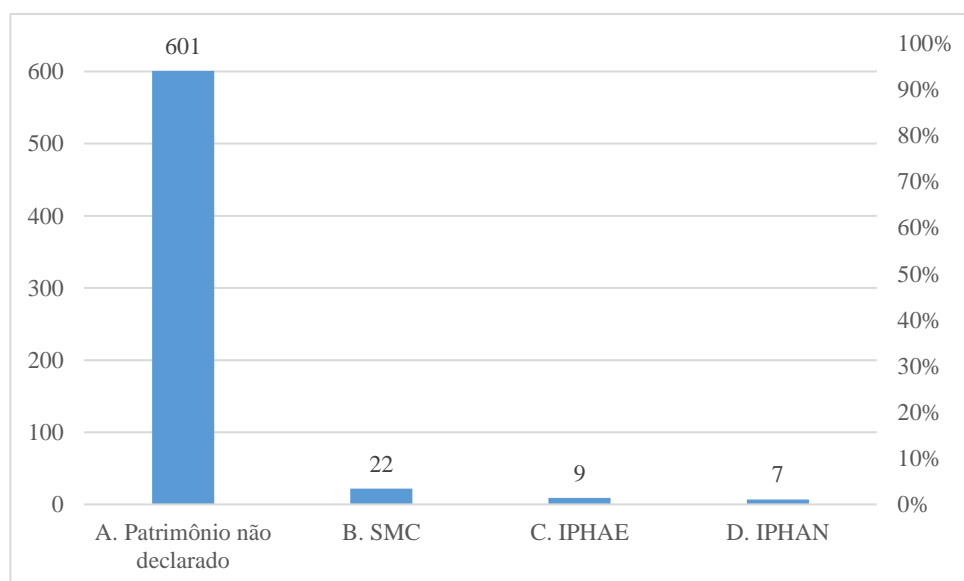


Figura 28 – Histograma dos indicadores de exposição (EC): A2 – Status do patrimônio

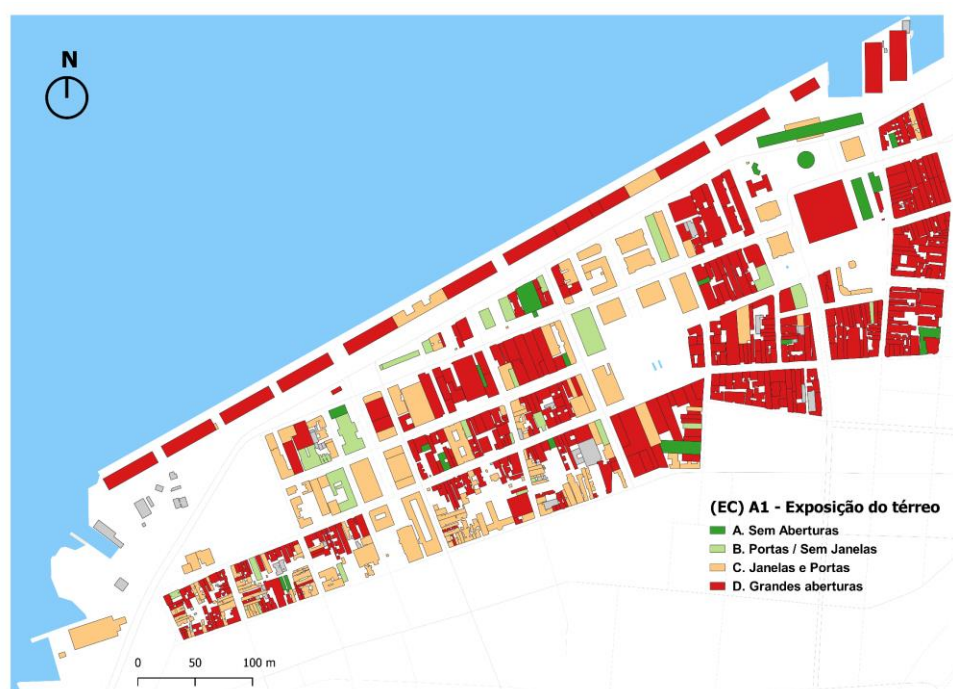


Figura 29 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de exposição (EC):
A1 – Exposição do térreo



Figura 30 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de exposição (EC):
A2 – Status do patrimônio

É possível observar no indicador de exposição do piso térreo (Figuras 27 e 29) que 65,88% dos edifícios na área de estudo possuem grandes aberturas nas suas fachadas ao que tange o pavimento térreo, e que 26,76% contam com a combinação de janelas e portas

com aberturas. É ainda possível observar que este fenômeno se encontra mais concentrado na zona nordeste, area com concentração de atividades comerciais e empresariais, e sudoeste, área conhecida pelo uso predominante residencial. Já no indicador referente ao patrimônio histórico-cultural da cidade (Figuras 28 e 30) nota-se uma concentração dos edifícios próximo ao Lago Guaíba ou com uma dispersão maioritariamente até três quarteirões da sua margem.

Nas Figuras 31, 32 e 33, são apresentadas as frequências, e as Figuras 34, 35 e 36 representam a distribuição espacial desta componente, assuntos que serão discutidos nos parágrafos seguintes.

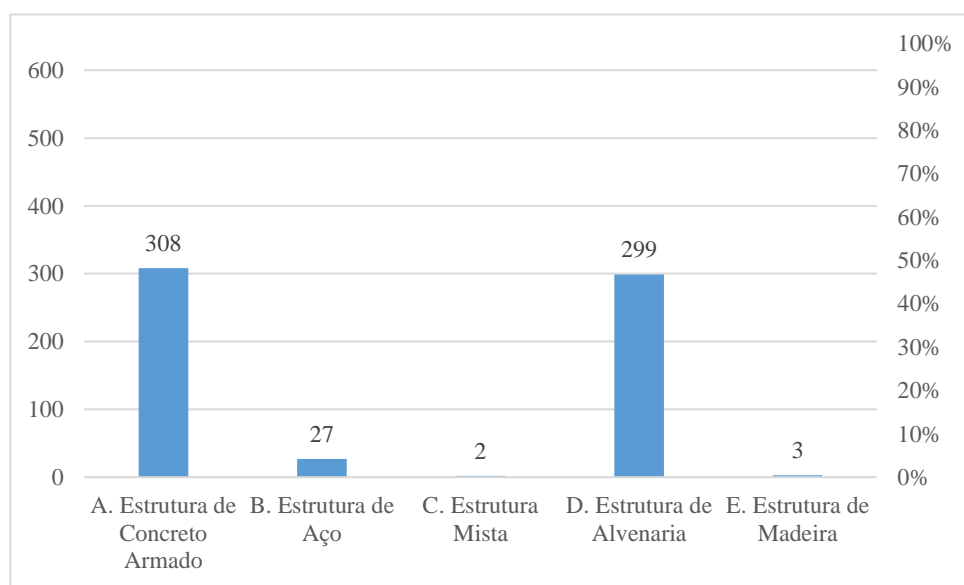


Figura 31 – Histograma dos indicadores de sensibilidade (SC): B1 – Material de construção

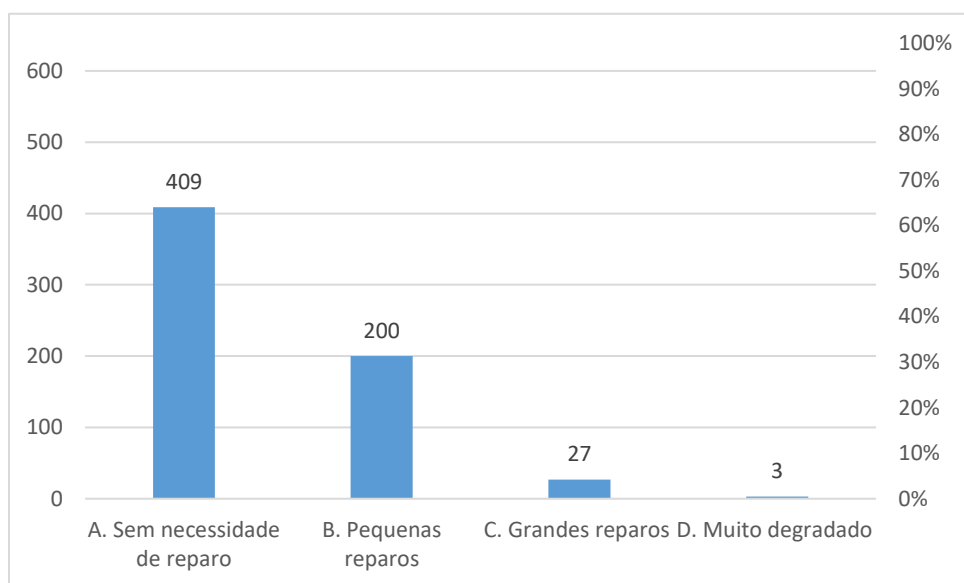


Figura 32 – Histograma dos indicadores de sensibilidade (SC): B2 – Estado de conservação

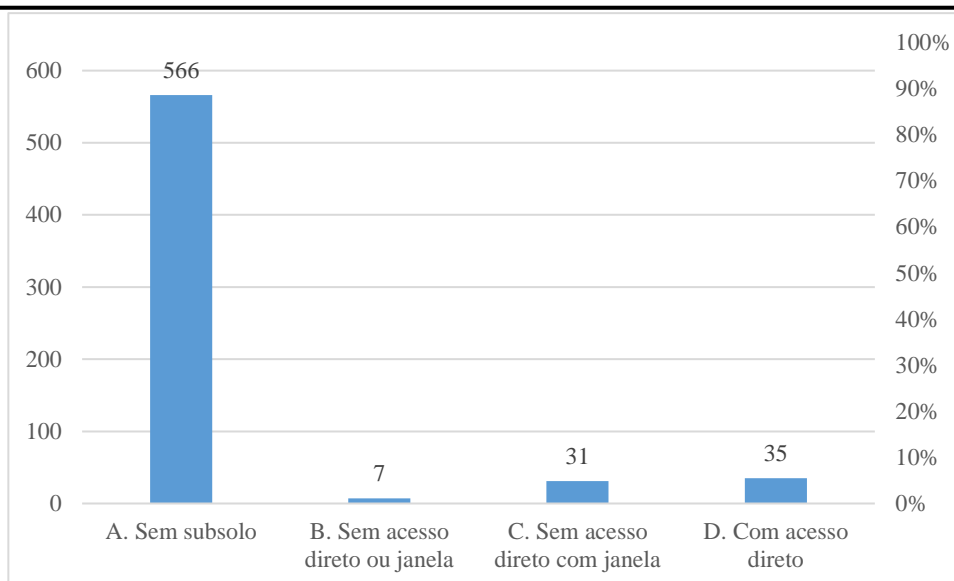


Figura 33 – Histograma dos indicadores de sensibilidade (SC): B3 – Subsolo

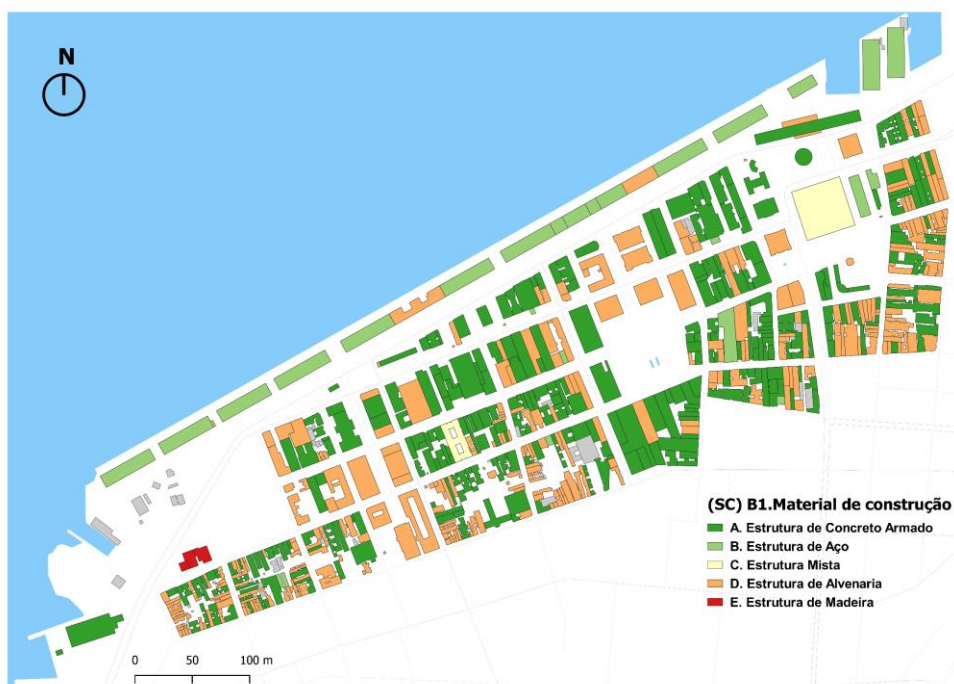


Figura 34 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de sensibilidade (SC): B1 - Material de construção

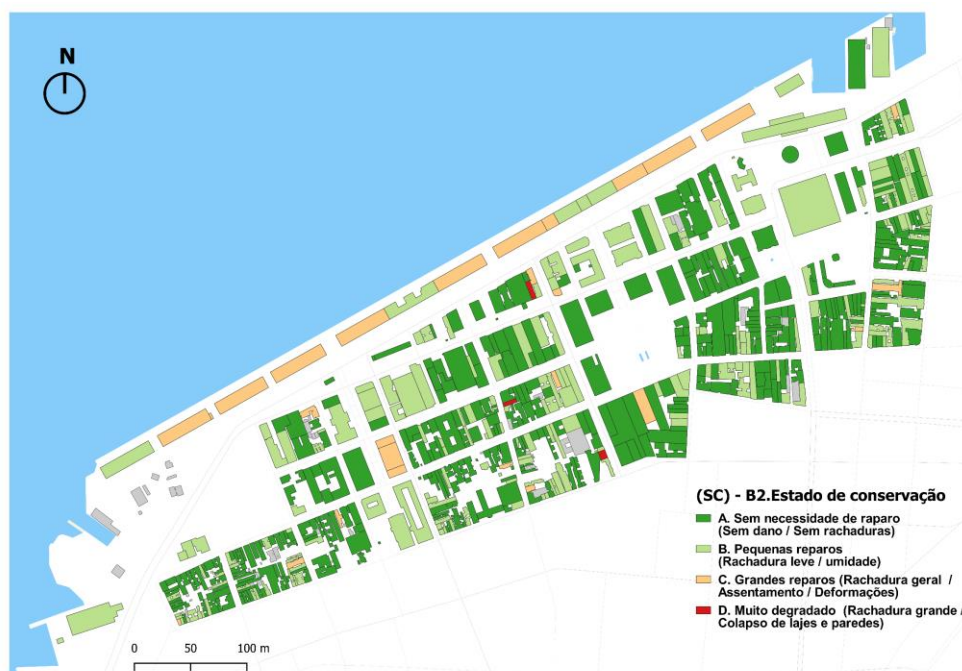


Figura 35 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de sensibilidade (SC): B2 - Estado de conservação



Figura 36 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de sensibilidade (SC): B3 – Subsolo

Na componente de sensibilidade, o primeiro indicador avaliado, material de construção (Figuras 31 e 34), demonstra que cerca de 94,99% dos edifícios contam com uma estrutura de concreto armado e alvenaria. Quando analisado o indicador relativo ao estado de conservação (Figuras 32 e 35) é possível constatar que, no geral, a condição dos

edifícios é boa, visto que apenas 4,22% revelam necessitar de grandes reparos ou encontram-se muito degradados. Cerca de 31,29% encontram-se num estado intermédio, carecendo de pequenos reparos. Já sobre o indicador de subsolo (Figuras 33 e 36), este mostra que, na sua maioria, os edifícios não possuem pavimentos subterrâneos. A única exceção são os edifícios mais afastados do Lago Guaíba. Uma possível explicação para essa distribuição pode ser o uso da cota natural do terreno para a aplicação desta concepção construtiva, salvo os casos em edifícios de importância ou uso específico que adotaram a solução mesmo em cotas menos elevadas.

No que toca ao indicador relativo à componente de funcionalidade, apresentam-se nas Figuras 37, 38 e 39 as suas frequências, e as Figuras 40, 41 e 42 representam a sua distribuição espacial. Tal como nos casos anteriores, os resultados apresentados nestas figuras encontram-se discutidos nos parágrafos seguintes.

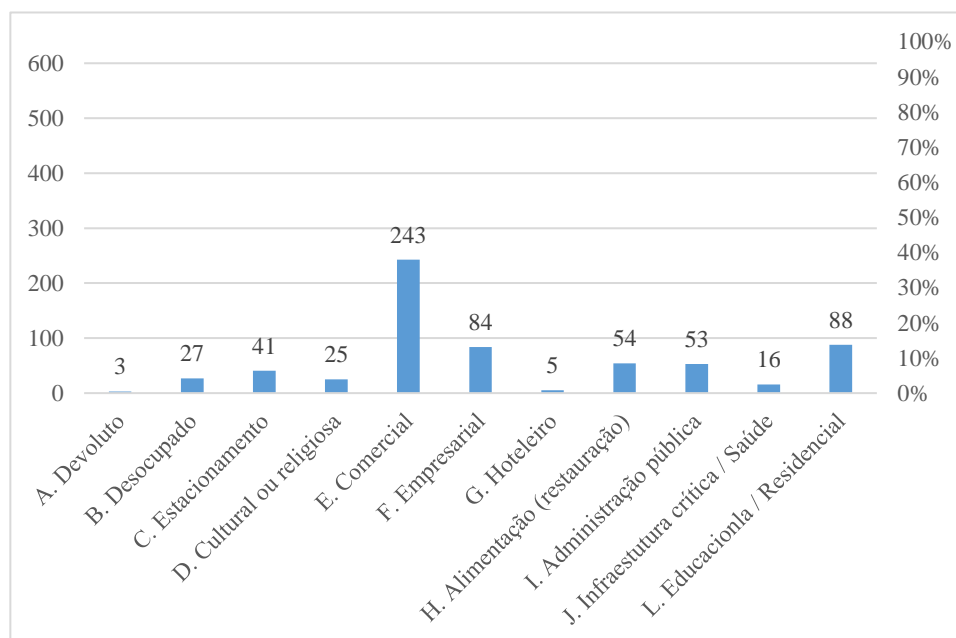


Figura 37 – Histograma dos indicadores de funcionalidade (FC): C1 - Função do térreo

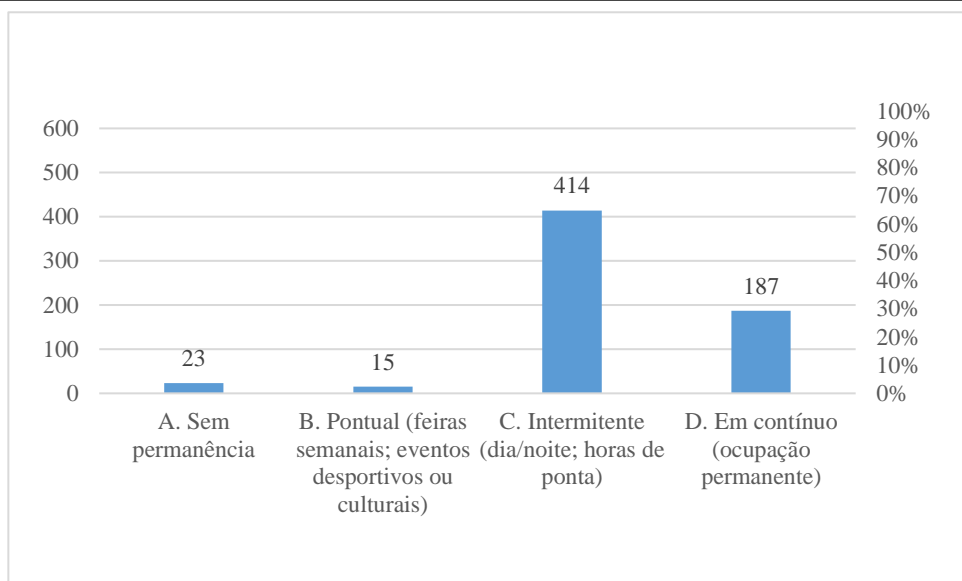


Figura 38 – Histograma dos indicadores de funcionalidade (FC): C2 - Frequência da ocupação predominantes

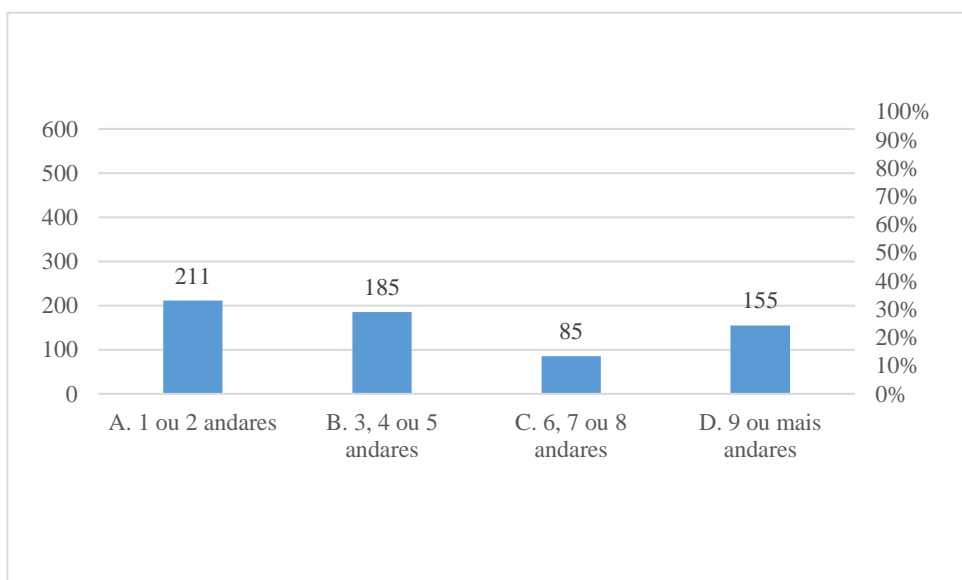


Figura 39 – Histograma dos indicadores de funcionalidade (FC): C3 - Número de pavimentos

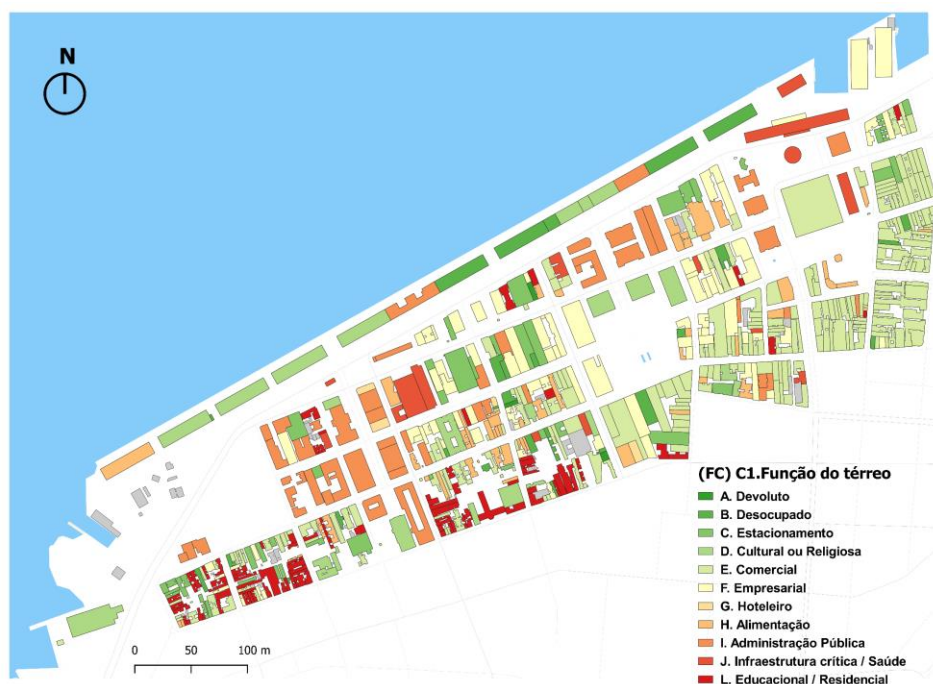


Figura 40 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de funcionalidade (FC): C1 - Função do terreno

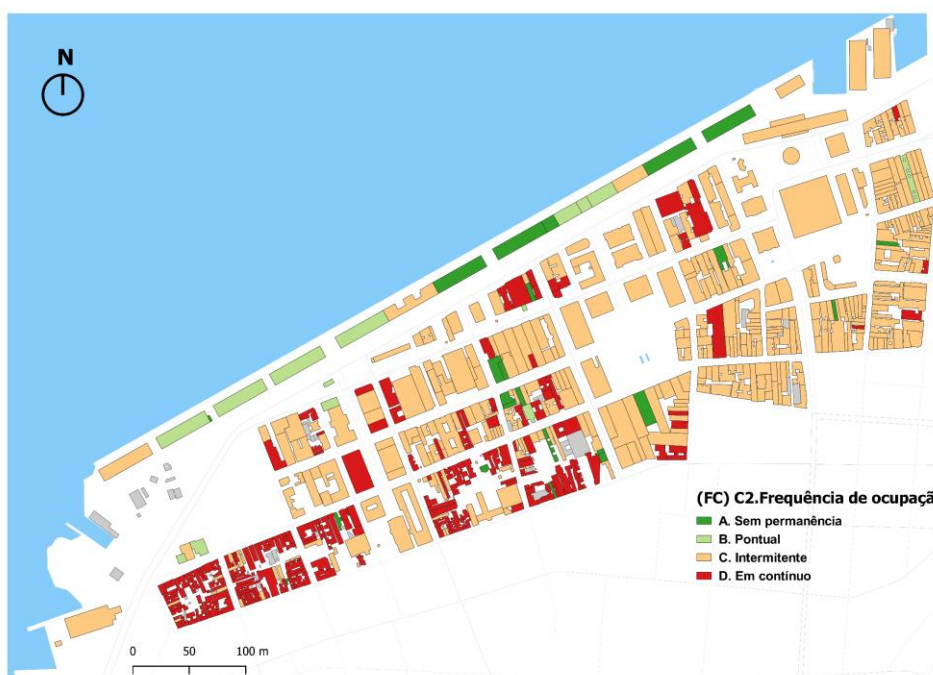


Figura 41 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de funcionalidade (FC): C2 - Frequência da ocupação predominantes

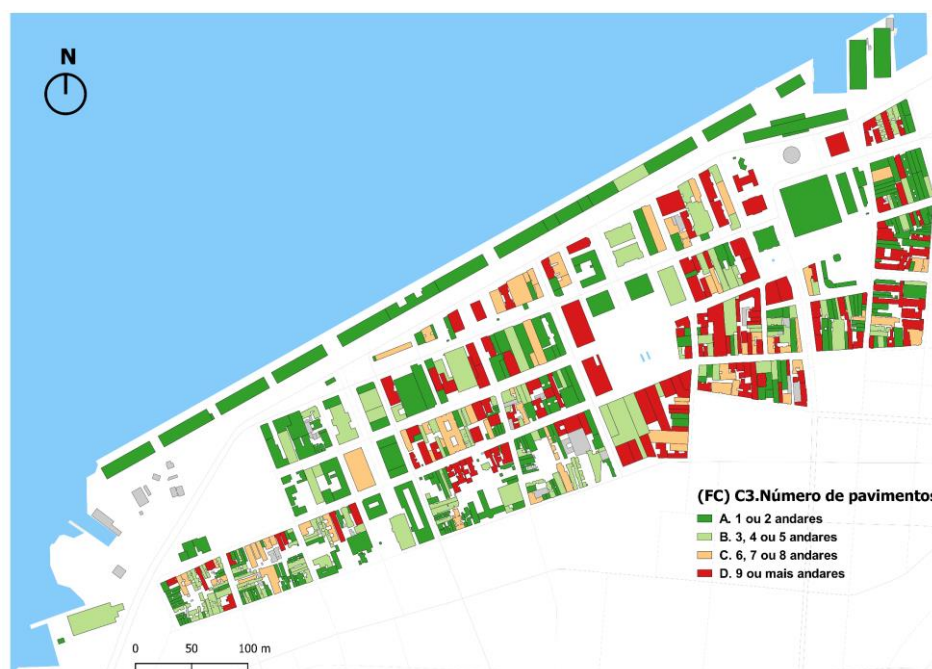


Figura 42 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de funcionalidade (FC): C3 - Número de pavimentos

O indicador de C1, dedicado à análise da fundação do piso térreo, ver Figuras 37 e 40, apresenta-se bem distribuído em termos absolutos. De entre os resultados obtidos para este indicador merecem destaque os edifícios comerciais (38,02%), educacionais/residencial (13,77%) e os edifícios empresariais (13,14%). Já o indicador C2, que avalia a frequência de ocupação predominante, Figuras 38 e 41, revela que 64,78% dos edifícios têm um uso intermitente (dia, noite ou hora de ponta) e 29,26% têm um uso contínuo, ou seja, ocupação permanente independente do dia ou da hora. É importante informar que devido às características da área, assunto abordado com detalhe no Capítulo 3, estes indicadores se complementam satisfatoriamente, uma vez que diversos edifícios apresentam uma função no pavimento térreo diferente dos demais pavimentos tipo, majoritariamente residencial e empresarial. Ainda, o indicador de C3, que avalia o número de pavimentos, Figuras 39 e 42, mostra que edifícios com 1 ou 2 pavimentos representam 33,17% da amostra avaliada; 3, 4 ou 5 andares, representam 29,08%; e 9 ou mais pavimentos, cerca de 24,37%. A sua representação espacial confirma a ideia de que a distribuição predominante a sudoeste do primeiro parâmetro, área conhecida pelo uso predominante residencial, e maior representação a nordeste do último parâmetro, área com concentração de atividades comerciais e empresariais.

Combinando os parâmetros do módulo de vulnerabilidade, a distribuição de indicadores de Vulnerabilidade à Inundação (FV) resulta num valor médio de 0,406 e um desvio padrão de 0,0857 – a Figura 43 apresenta o histograma dos valores, ao passo que a Figura 44 ilustra a distribuição espacial deste indicador. Da análise destes resultados é possível observar que 95,62% dos edifícios na área de estudo apresentam um índice de

vulnerabilidade compreendido entre 0,2 e 0,6, o que representa, respetivamente, vulnerabilidade baixa e vulnerabilidade moderada.

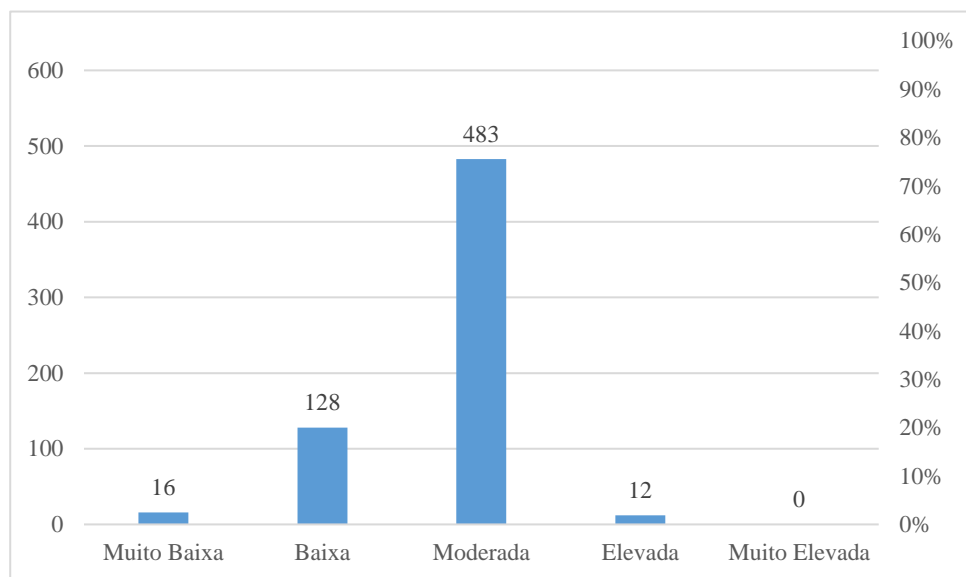


Figura 43 – Histograma dos indicadores de vulnerabilidade à inundação (FV)

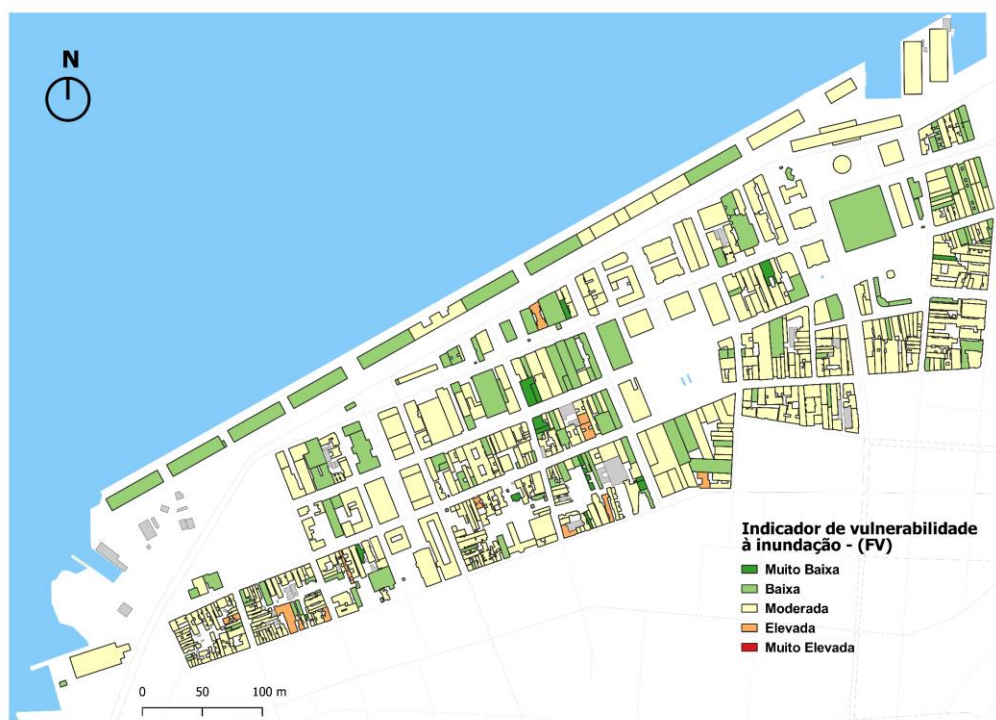


Figura 44 – Cartografia com distribuição espacial dos indicadores de vulnerabilidade à inundação (FV)

Finalmente, analisando os indicadores obtidos, é possível notar que 75,59% dos edifícios apresentam uma vulnerabilidade classificado como moderada e 20,03% dentro da classe baixa.

Tabela 19 – Distribuição dos edifícios (valor absoluto e percentual) para cada classe de vulnerabilidade

Indicador de Vulnerabilidade à Inundação (FV)	Muito baixa	Baixa	Moderada	Elevada	Muito elevada
	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8	0,8 - 1
Absoluta	16 2,50%	128 20,03%	483 75,59%	12 1,88%	0 0,00%

5.2 Matriz de risco

Em resultado da procura por uma compreensão mais aprofundada do risco de inundação associado aos edifícios avaliados no presente caso de estudo, foram obtidos dados suficientes para a definição de um indicador único de representação. Desta forma, e aplicando a matriz de risco proposta na Secção 4.3, as classes do módulo de perigosidade e vulnerabilidade foram relacionadas a fim de obter uma classe específica de risco representativa de cada edificação. A distribuição desse resultado encontra-se apresentada na Figura 45 e na Tabela 20.

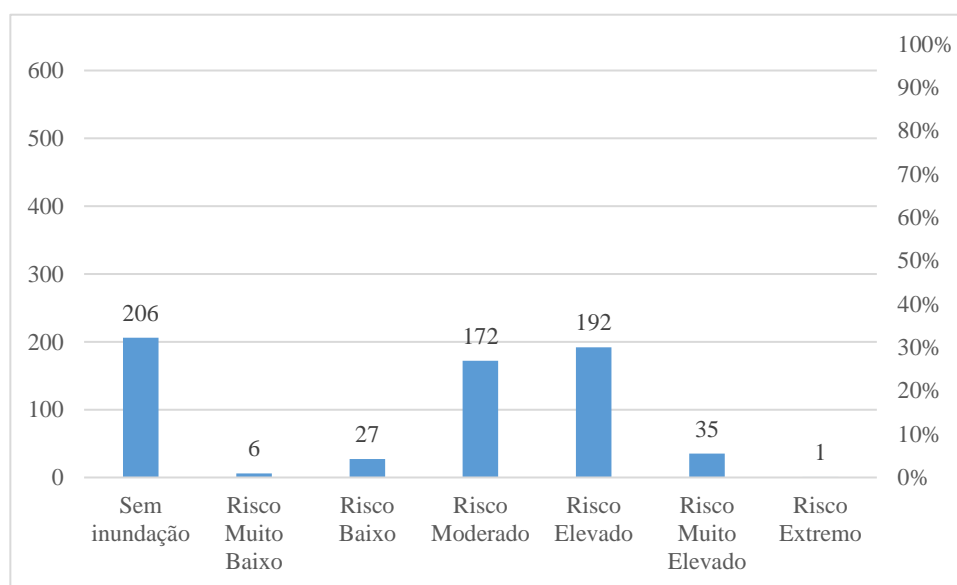


Figura 45 – Histograma do risco de inundação

Tabela 20 – Distribuição dos edifícios (número inteiro e percentagem) em cada classe de risco à inundação

Risco à inundação	Sem inundação	Muito baixo	Baixo	Moderado	Elevado	Muito elevada	Extremo
	206 32,24%	6 0,94%	27 4,23%	172 26,92%	192 30,05%	35 5,48%	1 0,16%

Na análise deste resultado, é possível destacar duas conclusões principais: cerca de um terço do total dos edifícios avaliados (32,08%) apresentam um risco de inundação entre muito baixo e moderado; os edifícios cujo nível de risco de inundação resultou em elevado, muito elevado ou extremo, 228 (35,68%), encontram-se concentrados espacialmente na área delimitada a sul pela Rua dos Andradas, tal como se observa na

Figura 46. De entre estes, os edifícios mais afetados são aqueles que se localizam em zonas com elevada concentração ao nível do térreo de atividades institucionais ou culturais, e comerciais ou empresarial, sendo mais afetados os locais até três quarteirões das margens do Lago Guaíba.

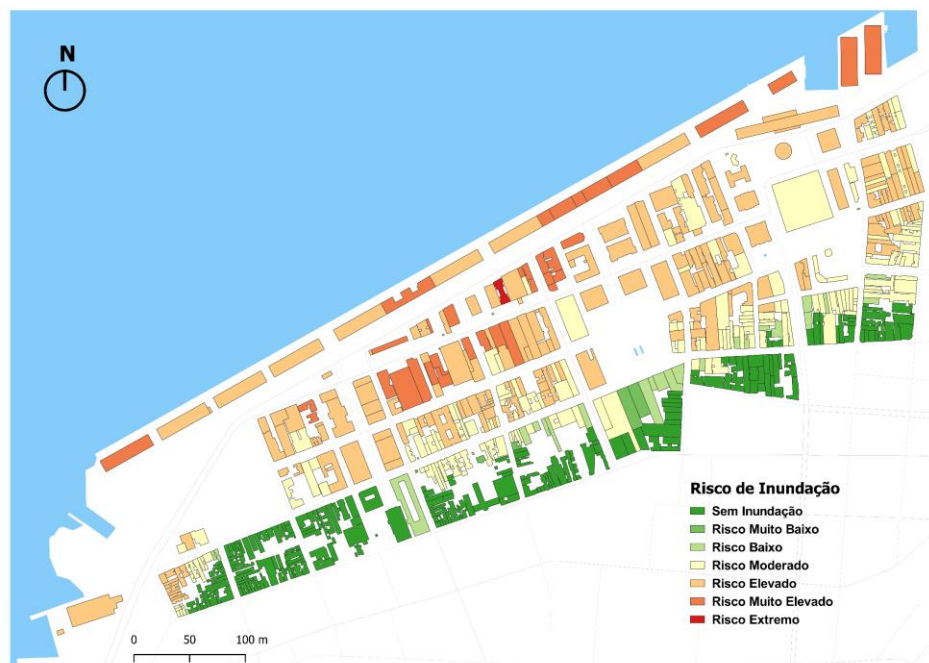


Figura 46 – Cartografia com distribuição espacial do risco de inundação

5.3 Comentários finais

O levantamento de campo envolveu um total de 639 edifícios que resultaram na apresentação dos resultados individuais de vulnerabilidade (frequências e distribuição espacial de cada componente) e perigosidade (valor mínimo, máximo, médio, o desvio padrão, a variância, e a diferença entre os valores mínimos e máximos de altura contidos nos polígonos de cada edifício), no entanto, a análise mais profunda dos indicadores de risco obtidos contribuíram para compreender a composição do edificado da região. Especificamente no módulo de vulnerabilidade, é importante salientar, os indicadores absolutos de Vulnerabilidade à Inundação (FV) resultam num valor médio de 0,406 e 95,62% dos edifícios na área de estudo apresentam um índice de vulnerabilidade baixa ou moderada. Ainda, foi sugerida uma normalização dos indicadores pelo valor máximo obtido, a fim de atribuir um grau de importância aos valores dentro da variância calculada e aproximar a metodologia à outras abordagens na classificação da vulnerabilidade, onde 78,40% dos edifícios apresentam uma vulnerabilidade classificada como elevada ou muito elevada. A aplicação da matriz de risco proposta, cruzamento entre o módulo de vulnerabilidade e a perigosidade, contribuiu para na busca da melhor compreensão frente ao risco de inundação. Cerca de 228 de edifícios avaliados apresentam um risco de inundação entre elevado, muito elevado ou extremo, encontram-se concentrados espacialmente na área delimitada a sul pela Rua dos Andradas.

6 ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS E MITIGAÇÃO DOS RISCOS

Uma visão ampla do ambiente construído, edifício e propriedade, dão forma a um papel fundamental na gestão de risco de inundações. Existe uma prioridade natural de proteger estruturas em planícies de inundação ou áreas próximas e, com isso, surgem as estratégias, mecanismos e sistemas de defesa para mitigar os danos e impactos relacionados a esse tipo de evento. Uma série de danos podem ser percebidos em assentamento urbanos, desde a ameaça pessoal com a necessidade de fuga dos edifícios frente a uma inundação em áreas usualmente secas; *flash flood* podem expulsar pessoas antes do acionamento de serviços de emergência; a infraestrutura pode apresentar danos potencialmente generalizados, pois abrange uma grande conexão de transportes (aviação, estradas, ferrovias) e até mesmo causando a interrupção de negócios simples; os edifícios e seus conteúdos são sensíveis a grande impactos que causam perdas na mesma magnitude, estes custos podem ser graves para os indivíduos, empresas, seguradoras ou fundos governamentais; até os impactos sociais, a perda de serviços essenciais (água, luz, gás) ou fechamento de escolas, negócios, hospitais, serviços administrativos e de culto. Este panorama explicita a necessidade fundamental de proteger o ambiente construído frente as inundações na maior gama possível de bens físicos que compõem os assentamentos urbanos. No entanto, o planejamento para controle de inundações não é uma novidade, séculos atrás como na China em 400 a.C. onde foram construídos diques e canais para proteção das comunidades agrícolas frente as inundações do Rio Amarelo ou a migração e evacuação sazonal no Delta do Rio Nilo, mesmo não protegendo o ambiente construído, era eficaz no gerenciamento do risco de inundação (Proverbs e Lamond, 2017).

O levantamento histórico dos eventos que circundam as estratégias frente aos eventos de inundação nos Estados Unidos, descrito por Proverbs e Lamond (2017), indica que existe o registo da construção de diques há cerca de 150 anos, inicialmente, a necessidade agrícola levou fazendeiros as terras férteis de planícies inundáveis e foram responsáveis pela construção de diques para proteção das fazendas e terras, no entanto, após enchentes devastadoras, outros diques já foram construídos para proteger cidades e vilas. Já no início do Século XX, período em que as inundações foram o perigo natural responsável pelo maior número de vidas perdidas e danos à propriedade, surgiu a Lei de Controle de Inundações mostrando como o tema foi tomado como prioridade nacional, onde, por exemplo, o Corpo de Engenheiros do Exército do EUA foi incumbido de projetar e construir projetos de controle de inundações. Conhecido como o "pai da administração das planícies de inundação", Gilbert Fowler White, escreveu em 1945 o livro *Human Adjustment to Floods* (Ajuste Humano às Inundações) e foi forte crítico da política de gerenciamento do risco de inundação nos EUA, uma vez que acredita que o excesso de confiança nas estruturas de defesa contra inundações resultava na verdade em um aumento das perdas quando diques e barragens eram superados. Como pode ser

observado nos impactos do Furacão Katrina em Nova Orleans, o desenvolvimento urbano em uma área alagável com proteção de sistemas estruturais, levam a inundações catastróficas quando os sistemas falham.

Já na Europa, Proverbs e Lamond (2017) mostram que a gestão de risco de inundação está diretamente relacionada a sistema de bombeamentos e drenagem visto a escassez de terras cultiváveis, em país como Holanda e partes do Reino Unido, conduzirem a recuperação de terras para esse fim, gerando o uso de grandes extensões de campos e assentamento urbanos em áreas abaixo do nível do mar. No Reino Unido, especificamente, o enfrentamento as inundações como gestão de risco em um nível nacional teve início com a Lei de Drenagem da Terra em 1930 e suas ampliações pela lei de 1961. Ainda, as inundações costeiras e fluviais culminaram na mudança de entendimento e direção aos grandes projetos de infraestrutura, como a Barreira do Tamisa e sistema de diques holandês. Recentemente, a filosofia de vida com água surgiu como evolução da abordagem do gerenciamento do risco de inundação (Fleming, 2001), esse tipo de evento é aceito e envolto no conceito de cidades *bluen-green* (verde-azuladas) (Lawson et al., 2014), e a necessidade de um entendimento renovado da resiliência às inundações ao nível dos bens construídos.

Como apresentado, as medidas para prevenir e mitigar as inundações são os estudos mais usuais no gerenciamento integrado do risco do que os mais recentes investimentos científicos em tecnologias construtivas e construções resilientes a esses eventos. Historicamente, o desenvolvimento de tecnologias construtivas e construções resilientes às ações de inundação, se desenvolveram como um processo paralelo ao estudo de medidas para prevenir as inundações, apoiado pela indústria da construção, comunidades locais ou especialistas. Algumas causas podem ser apontadas para esse comportamento: o entendimento que as intervenções ao nível do edificado tem pequena contribuição para o gerenciamento do risco, uma vez que é considerado como risco “risco residual” e o sucesso das medidas reside no controle das inundações; a aceitação que o evento natural é inevitável e que mesmo com um grande investimento em sistemas de prevenção as inundações podem gerar perdas ao nível das propriedades, ao passo que nos países em desenvolvimento (controle das inundações não é tão prioritário), Hughes (1982) sustenta que a destruição de casas frente as estes eventos é uma expectativa e outros fatores (como a preservação da vida) têm prioridade; e por fim, que sistemas de defesa em larga escala exigem uma menor diversificação metodológica, materiais, tipologias construtivas e características urbanas locais. Também, percebe-se que certas vezes o progresso no campo de enfrenamento as inundações é impulsionado pela experiência de enfrentar o evento de inundação e seu processo de reconstrução (volta à normalidade), por exemplo, como aconteceu após os furacões Katrina (Popkin et al., 2006; Eamon et al., 2007; Coulbourne, 2012) e Sandy (John Ingargiola et al., 2015). No entanto, já se reconhece que comunidades podem enfrentar um risco maior de inundações devido as mudanças climáticas e degradação do meio ambiente, como planícies aluviais, o que motiva as

pesquisas que buscam estabelecer melhores orientações para uma construção segura nessas áreas, sejam em comunidades existentes ou restrições de planejamento. Atualmente, esses estudos são compartilhados internacionalmente e buscam compreender as ações e danos das inundações no edificado, especificamente, procuram desenvolver tecnologias aplicadas na redução dos futuros impactos nos edifícios.

Antes da definição de estratégias na mitigação do risco, a metodologia sugerida no “Guia para Reduzir a Vulnerabilidade dos Edifícios a Inundações” (CCS e DGA, 2017), resumidamente, propõe que seja feito um diagnóstico do risco atual, avaliando os possíveis danos e seus valores, para que se busque as melhores soluções de intervenção. Esquemáticamente, a etapa de investigação dos possíveis riscos pode ser dividida em 3 partes: (i) verificar os elementos que podem permitir a entrada de água nos edifícios e a estabilidade e resistência das estruturas frente a ação da inundação; (ii) identificar e inventariar os elementos de valor no edifício (seres vivos, forma e conteúdo); (iii) realizar o diagnóstico com os possíveis danos face à entrada de água. Analisando os impactos em diferentes níveis de água e identificando as possíveis perdas, apresentam exemplos dos prontos fracos de um edifício com as suas consequências e danos causados pela inundação (Tabela 21).

Tabela 21– Danos causados pela água durante uma enchente, dependendo do nível da água (Adaptado CCS e DGA, 2017)

(continua)

Altura da água de inundação	Edifício	Equipamentos e serviços	Bens
0 - 0,3 m	<p>Danos mínimos ao edifício principal.</p> <p>A água pode entrar em subsolos (caves), garagens, piscinas, adegas e porões vazios sob o piso.</p> <p>Possível erosão das fundações.</p> <p>Possível corrosão de elementos metálicos.</p> <p>Deformação da madeira devido à absorção excessiva de umidade.</p> <p>Rachadura de contrapiso devido ao aumento da subpressão.</p> <p>Acumulação de sedimentos contaminados.</p> <p>Aspecto de fraquezas estruturais e materiais devido à inadequada secagem.</p> <p>Podridão e mofo.</p>	<p>Tomadas elétricas e outros serviços, instalações localizadas em subsolos, adegas, garagens e piscinas podem sofrer danos significativos.</p> <p>Danos em tanques de água ou combustíveis e caldeiras devido à umidificação ou desancoramento, uma vez que estes elementos podem flutuar.</p>	<p>Danos nas mercadorias, móveis, etc. armazenadas em porões e adegas.</p> <p>Danos aos tapetes.</p>

(conclusão)			
Altura da água de inundação	Edifício	Equipamentos e serviços	Bens
0,3 - 0,5 m	<p>Danos em acabamentos internos, tais como revestimentos de paredes e fachadas.</p> <p>O piso e as paredes ficarão saturados.</p> <p>Possíveis problemas de umidade. Pode ser necessário eliminar o revestimento para permitir que as paredes sequem.</p> <p>Piso, paredes e rodapés de madeira provavelmente precisarão de substituição.</p> <p>Danos em portas internas e externas e rodapés.</p> <p>Corrosão de elementos metálicos.</p>	<p>Danos elétricos: soquetes, medidores, sistemas de segurança.</p> <p>Danos aos medidores de gás, caldeiras de baixo nível e serviços telefônicos.</p> <p>Possíveis danos ao isolamento das tubulações.</p>	<p>Danos nos móveis e artigos elétricos.</p> <p>Danos nos pequenos itens pessoais, tais como documentos, livros, DVDs, vídeos e fotos.</p> <p>Os alimentos nos armários inferiores da cozinha podem ficar contaminados.</p> <p>Móveis baixos da cozinha feitos de aglomerado requerem substituição.</p> <p>Pode ser necessário substituir máquinas de lavar roupa, fornos, eladeiras, freezers, TV, etc.</p>
> 0,5 m	<p>Danos significativos às fachadas e paredes.</p> <p>Possível dano estrutural devido à subpressão.</p> <p>Corrosão, especialmente em inundações costeiras.</p>	<p>Danos generalizados no sistema elétrico.</p> <p>Problemas com saneamento, etc.</p>	<p>Danos as mercadorias em prateleiras mais altas e mezaninos.</p>

Para além dos danos óbvios que podem ser observados, como alguns móveis que não podem ser recuperados no caso de uma inundação, existem efeitos indiretos ou derivados que precisam ser levados em conta já que se repetem sistematicamente, nomeadamente: danos humanos (morte, ferimento, etc.), organização dos trabalhos de reparação, perda de pertences pessoais, limpeza dos edifícios após a inundação, riscos biológicos, custos adicionais com acomodações temporárias, risco psicológico e preocupação com a segurança da propriedade desabitada (CCS e DGA, 2017).

Mesmo que as abordagens para mitigar os danos da inundação no nível do edificado possam ser expostas de diversas formas. O documento de orientação proposto por DCLG²⁷ (2007), de maneira geral, sugere que podem ser divididas em duas linhas de estratégias para o gerenciamento do risco ao nível do edificado (novas construções): exclusão de água – evitar as inundações com a escolha de locais sem a presença destes eventos ou projetando a construção de edifícios, ou uso de locais, elevados; uso de barreiras ou tecnologias “resistentes” que impeçam a entrada de água nos edifícios, conhecida como impermeabilização a seco; e resiliência – impermeabilização a úmido,

onde a entrada de água é admitida e busca limitar a perturbação e danos causados pela inundação. Dependendo de alguns parâmetros básicos, como profundidade, frequência e duração da inundação, este documento de recomendações ajuda projetistas e desenvolvedores, no entanto, também é útil para reguladores, autoridades e tomadores de decisão, buscando a melhor opção ou estratégia de projeto para incorporação da resiliência na construção, estas duas abordagens são ilustradas na Figura 47:

	Profundidade da água de projeto*	Abordagem	Medidas de Mitigação
Resistência / Resiliência **	Profundidade de água acima de 0,6 m	Permitir a água através da propriedade para evitar o risco de danos estruturais. Tentativa de manter a água fora para baixas profundidades de inundação. (Water Entry Strategy / Estratégia de entrada de água)***	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais com baixa permeabilidade acima de 0,3 m - Aceitar a passagem de água pelo edificação em maiores profundidades de água - Projeto para drenar a água após a inundação - Acesso a todos os espaços para permitir a secagem e limpeza
	Profundidade de água de 0,3 m até 0,6 m	Tentar manter a água fora, no todo ou em parte, dependendo da avaliação estrutural. Se existem preocupações estruturais, seguir a abordagem acima.***	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais com baixa permeabilidade a pelo menos 0,3 m - Projetos e materiais resistentes à inundação - Acesso a todos os espaços para permitir a secagem e limpeza
	Profundidade de água até 0,3 m	Tentativa de manter a água fora. (Water Exclusion Strategy / Estratégia de exclusão de água)***	<ul style="list-style-type: none"> - Construções e materiais com baixa permeabilidade
Evitar		Remover o edifício/construção do risco de inundação. (Avoidance)	<ul style="list-style-type: none"> - Terrenos elevados, paisagismo e limites elevados

Notas:
 * A profundidade da água do projeto deve ser baseada na avaliação de todos os tipos de inundação que podem ter impacto no edifício.
 ** Medidas de Resistência/Resiliência podem ser usadas em conjunto com medidas de Evitar (*Avoidance*) para minimizar o risco de inundações excessivas.
 *** Em todos casos de *Water Exclusion Strategy* /Estratégia de exclusão de água podem ser seguidas para águas de inundação de até 0,3 m.

Figura 47 – Ilustração com opções para evitar inundações ao nível local (Adaptado DCLG, 2008)

6.1 Investigação e solução propostas

Com base no trabalho de campo e dados recolhidos, considerando o objetivo estabelecido para aplicação e análise, principalmente, podemos constatar alguns pontos fracos do edificado, (i) entrada de água na inundação: rachaduras nas fachadas (35,51% dos edifícios tem pequenos e grandes reparos), juntas entre elementos de construção (94,99% dos edifícios são de estrutura de concreto armado e alvenaria), janelas e portas ou grandes aberturas representam 92,64% dos edifícios investigados, acesso direto ou janelas para subsolo representam 10,32% dos edifícios, falta de impermeabilização do solo ou sistema de drenagem ao nível do edificado e falta de preparo para entrada de água de refluxo em tubos de esgoto; e (ii) verificação dos elementos estruturais frente à ação da água: contato direto da água com os elementos, pressão lateral ao redor do edifícios – ação hidrostática (56,12% dos edifícios seriam afetados com água entre 0,01 m até 2 m), ação flutuante onde elementos podem mover-se em relação a sua posição original pois dependem do seu peso para estabilidade (tanques de óleo ou gás) e ações causadas pelo transporte de sólidos (tanto forças estáticas quanto dinâmicas).

Com caráter informativo para maior contextualização na investigação, mesmo que fora do escopo pretendido, ainda poderiam ser inventariados elementos de valor nos edifícios ou instalações: o edificado abriga maioritariamente pessoas e animais de estimação; nos elementos que compõem a forma do próprio edifício pode-se observar que a generalidade dos elementos estruturais são de concreto armado e alvenaria, com grandes aberturas, sem sistema de impermeabilização ou drenagem; os equipamentos e instalações (eletricidade, água, comunicação, gás, etc.) encontram-se maioritariamente subterrados ou instalados em centrais ao nível do piso térreo; relativamente ao conteúdo, devido a composição da uso da área, impacta em todos aspectos relacionados a móveis, eletrodomésticos, decoração, objetos pessoais, equipamento comercial, materiais perigosos (combustíveis, materiais inflamáveis, etc.), jardinagem, veículos e etc.

As duas etapas de investigação deste subcapítulo e a análise no Capítulo 5 sintetizam um diagnóstico geral do risco e possíveis danos causados pela inundação na área de estudo, logo, podem-se sugerir possíveis medidas para a redução dos danos, redução da vulnerabilidade dos edifícios, devido as suas principais causas identificadas.

As soluções discutidas baseiam-se na adaptação e reforço do edificado e partem das abordagens propostas por DCLG (2008), onde a abordagem de retirar (*avoidance*) não foi considerada devido à impossibilidade ou indesejabilidade de abandono da região ou da remoção do edificado da zona de inundação. Na mesma linha, a abordagem de evitar que a água alcance o edifício não foi sugerida, devido ao atual sistema de proteção (Muros da Av. Mauá). No entanto, complementarmente poderia ser feito o uso de clapeta anti-retorno para evitar o retorno das águas às redes de esgoto.

Pensando na lógica de resistir (*water exclusion strategy*), uma vez que a água chega até o edifício, sugere-se a vedação de portas e grandes aberturas (módulo para inundação adaptável a esquadria existente), proteção de janelas à prova de água (fixadores instalados na parte externa ou interna da janela, que podem ser inflados quando necessário com uma bomba de ar), impermeabilização de subsolos e térreos, substituição por materiais exteriores resistentes e uso de válvulas anti-retorno para evitar o refluxo de águas residuais para os esgotos de banheiros e cozinhas. Neste ponto, ainda seria possível sugerir a elevação da cota de soleira requerendo a adaptação das edificações existentes, que acarreta, contudo, um alto custo e deverá ser ponderada apenas após uma avaliação de custos e benefícios, face à probabilidade e magnitude dos eventos de inundação.

E por fim, considera-se a abordagem de tolerar a inundação (*water entry strategy*), ponto em que se admite a entrada da água no edifício, mas propõe-se medidas para mitigar os danos e reduzir o tempo da mesma, para que seja possível retornar à normalidade. É possível fazer a adaptação dos acessos (caminhos ou escadas para demais pavimentos das edificações, áreas de emergência seca – abrigos), substituição por materiais externos e internos resistentes a água, adaptação das instalações (água, eletricidade, comunicação, gás, etc.) para que fiquem elevadas, estanques e ancoradas.

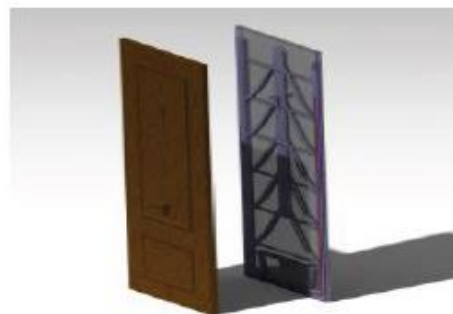
Ainda, parte da tomada de decisão para implementação e manutenção das medidas frente a uma inundação, passaria pela análise de ações que buscassem reduzir a vulnerabilidade dos equipamentos e serviços, e das pessoas e bens.

Aprofundando a possibilidade de intervenção no edifício com o intuito de mitigar as condições de vulnerabilidade, é proposto a contextualização de uma estratégia de adaptação e reforço do edificado, para identificar e quantificar os seus impactos. A simulação com um novo cenário para análise parte da premissa que as aberturas da edificação ao nível do piso térreo, componente de exposição (EC) no indicador A1 – Exposição do Térreo, pudessem passar por intervenção ao ponto de serem consideradas estanques, ou seja, como se os parâmetros “B. Portas / sem janelas”, “C. Janelas e portas”, e “D. Grandes aberturas” tivessem o mesmo peso (pontuação de 0.1) do parâmetro “A. Sem aberturas” e, por isso, seriam menos influentes na vulnerabilidade. Ainda, seguindo a premissa assumida e a abordagem de resistir a entrada de água no edifício, esse cenário repercute também na componente de sensibilidade (SC) no indicador “B3 – Subsolo”, onde os parâmetros “C. Sem acesso direto com janela” e “D. Com acesso direto” tivessem o mesmo peso (pontuação de 0.4) do parâmetro “B. Com acesso direto”, considerando estanques após passar por intervenção.

Nomeadamente, a medida proposta consiste na instalação de barreiras em todas as aberturas existentes ao nível do pavimento térreo para evitar a entrada de água no edifício com o uso (Figura 48): portas e grandes aberturas estanques com a instalação de módulo anti-inundações permanentes, substituição permanente por portas anti-inundação com juntas, instalação temporal de placas de proteção, fechamentos expansivos para as janelas e uso provisório de sacos de contenção com materiais absorventes.



Sacos de contenção Hydrosack



Módulo anti-inundações



Placas de proteção para janelas



Portas anti-inundações com juntas



Proteção com fechamentos expansivos para janelas

Figura 48 – Medidas propostas para intervenção (Adaptado CCS e DGA, 2017)

Aplicando novamente a metodologia proposta neste novo cenário, pode-se constatar uma mudança nos indicadores de vulnerabilidade à inundação (FV), observável de forma clara no histograma dos valores absolutos de vulnerabilidade e na nova distribuição espacial dos resultados, apresentados respectivamente na Figura 49, juntamente aos valores obtidos inicialmente no levantamento, e Figura 50.

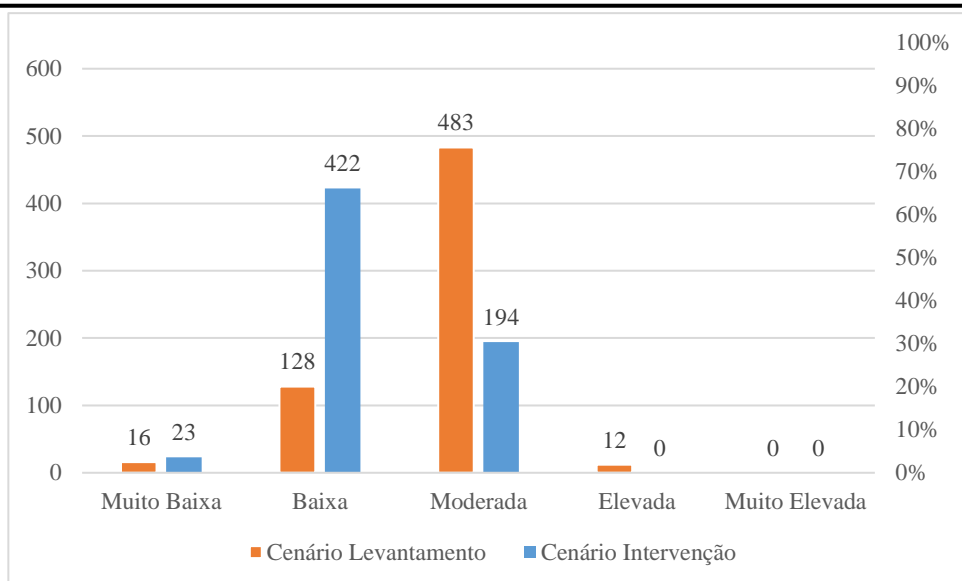


Figura 49 – Histograma comparativo dos valores iniciais do levantamento e novos indicadores absolutos de vulnerabilidade à inundação (FV)

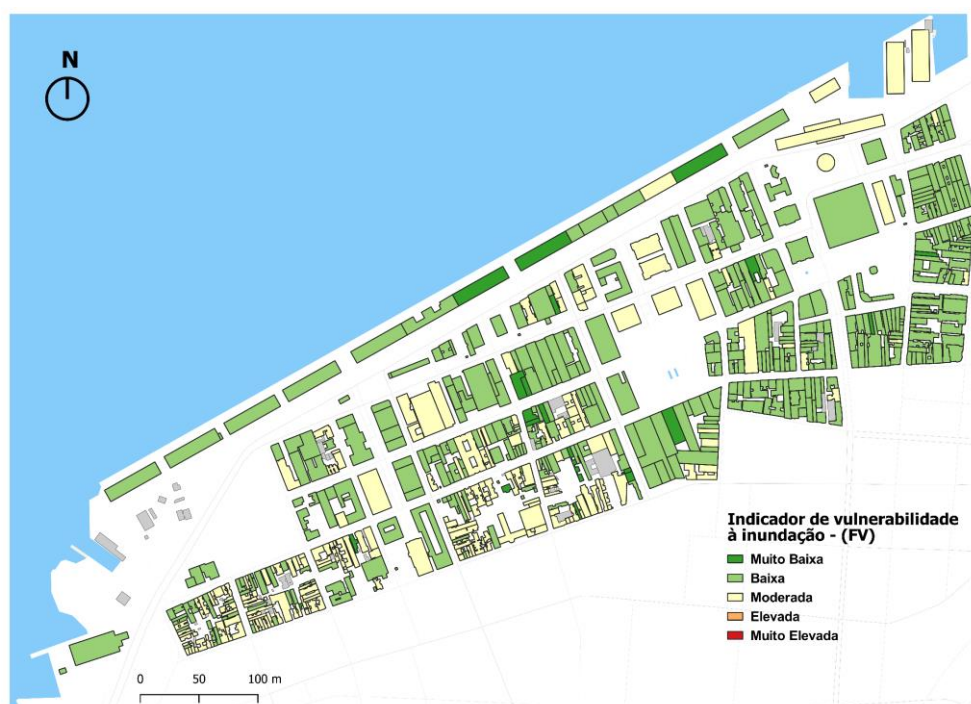


Figura 50 – Cartografia com distribuição espacial dos novos indicadores absolutos de vulnerabilidade à inundação (FV)

Inicialmente, em comparação aos indicadores de vulnerabilidade obtidos no levantamento – Figura 43 e Figura 44, a classe elevada fica sem nenhum edifício (12 edifícios inicialmente); a tendência de concentração dos edifícios se desloca para a classe baixa (mais que 3 vezes o original), observando-se uma redução de 59,83% dos edifícios na classe moderada e um acréscimo de 43,75% dos edifícios na classe muito baixa. A sua representação espacial, para além da ausência dos edifícios com vulnerabilidade elevada,

apresenta uma concentração predominante a nordeste e um aumento de presença nos quarteirões entre a Rua dos Andradas e o Cais Mauá da classe baixa (66,04% dos edifícios). Resultando para o novo indicador um valor médio de 0,3434, máximo de 0,5260 e um desvio padrão de 0,0804.

Desta forma, e aplicando a matriz de risco, as classes do módulo de perigosidade e vulnerabilidade foram relacionadas novamente a fim de obter uma classe específica de risco representativa de cada edificação. A distribuição desse novo resultado encontra-se apresentada na Figura 51, ao lado dos valores iniciais, e Figura 52.

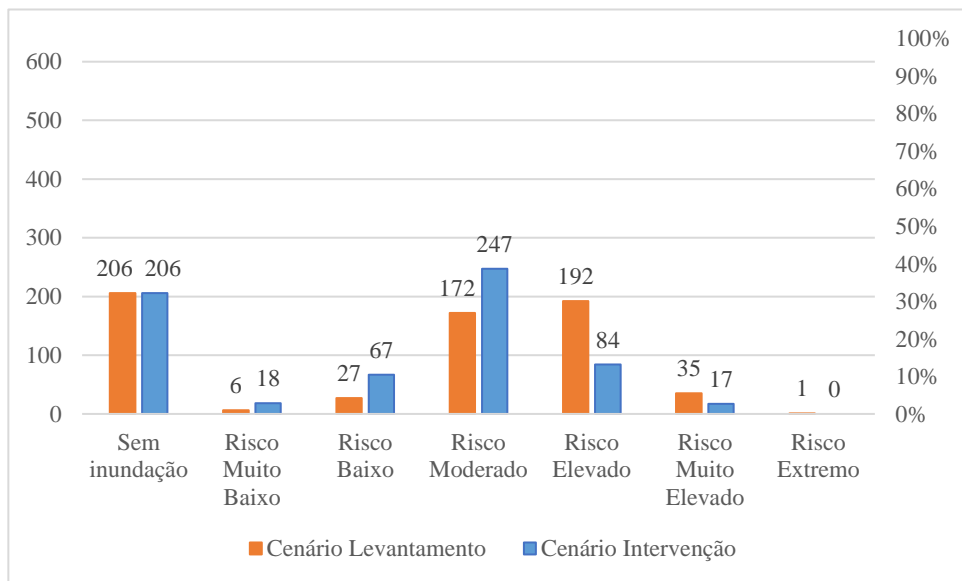


Figura 51 – Histograma comparativo dos valores iniciais e novos do risco de inundação

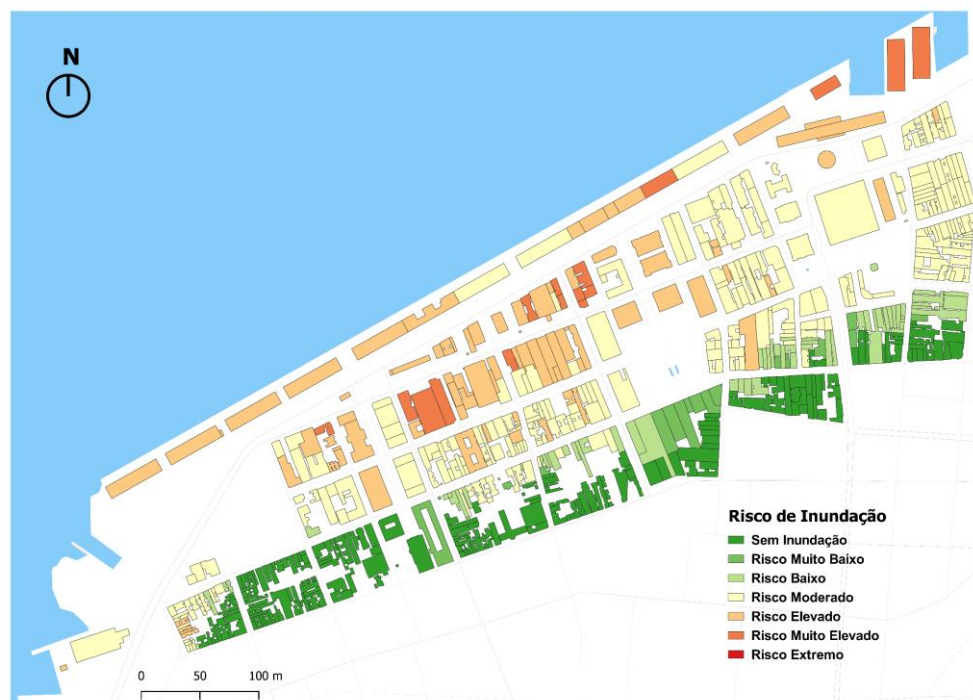


Figura 52 – Cartografia com distribuição espacial do novo risco de inundação

Analisando o impacto das mudanças sugeridas e aos resultados iniciais, é possível observar que não existem edifícios com o risco extremo e a redução de 51,42% no risco muito elevado e 56,25% no risco elevado. Por outro lado, observa-se um aumento de 43,60% da classe moderado, quase 2,5 vezes maior na classe baixo, e 2 vezes maior da classe muito baixo. Especialmente acontece uma concentração a nordeste na classe no risco moderado (predominantemente risco elevado no cenário original).

6.2 Comentários finais

A construção resistente às inundações acontece há séculos, embora tenha sido reconhecida recentemente como uma componente fundamental na abordagem integrada do gerenciamento de risco de inundação, principalmente quando acolhe conceitos como o “viver com a água”. Sistemas projetados para a defesa contra enchentes possuem registros na China e no Egito, mas recentemente, diques foram construídos há cerca de 150 anos nos Estados Unidos em conjunto com a implementação de regulamentos e atos no controle destes eventos. Na Europa, se viu a necessidade de esquemas para a recuperação de terras e ações de drenagem em locais após grandes eventos de enchentes, estes culminaram na mudança de pensamento em direção a grandes esquemas de defesa na engenharia, como a barreira do Tâmis ou o sistema de diques holandeses.

Os estudos em tecnologia e desenvolvimento de métodos construtivos resistentes a inundações são relativamente recentes, e para além de todas as causas subjacentes, isto se deve a mudança de entendimento do risco de inundação aliado às experiências de vários eventos de enchente e todo seu processo de recuperação aos impactos. Neste sentido, ao nível da propriedade (edificado) a compreensão destes eventos vem sendo refinada em relação às suas abordagens para evitar danos que resultam a duas linhas no pensamento: estratégias para evitar a água e de resiliência, onde temos tecnologias para exclusão e de entrada da água. E ao que tange uma propriedade resiliente, principalmente, tem ganhado muita atenção no desenvolvimento de pesquisas sobre materiais resistentes a inundações, e processos de reparo e restauração, um reconhecimento que estas ações provocam respostas ao ponto que oportunizam a implementação de boas medidas resilientes. Devido aos locais onde existe a pressão que novas construções sejam permitidas dentro do contexto da presença de água, há agora a consolidação de uma linha de conhecimento relativa aos impactos nos edifícios e construção atingidas por inundações. Mas devido a uma complexa variedade de tipologia, arquitetura, técnicas construtivas e diferentes exposições ao risco, ainda existem lacunas no conhecimento que promovem o uso de tentativa e erro ou outras abordagens pragmáticas.

Tendo em conta a área de estudo definida, foram sugeridas medidas de adaptação e reforço do edificado a fim de mitigar os danos em caso de inundação. A abordagem de evitar que a água alcance o edifício não foi considerada, devido ao atual sistema de proteção. No entanto, complementarmente às medidas consideradas, poderia ser feito o uso de clapeta anti-retorno para evitar o retorno das águas às redes de esgoto. Pensando

na lógica de resistir, uma vez que a água chega até o edifício, sugere-se a vedação de portas e grandes aberturas, proteção de janelas à prova de água, impermeabilização de subsolos e térreos, substituição por matérias resistentes e uso de válvulas anti-retorno para evitar o refluxo de águas residuais para os esgotos de banheiros e cozinhas. Por fim, na lógica de tolerar a inundação, ponto em que se admite a entrada da água no edifício, mas propõe-se medidas para mitigar os danos e reduzir o tempo para que seja possível retornar à normalidade, sugere-se fazer a adaptação dos acessos, substituição por materiais resistentes a água, adaptação das instalações para que fiquem elevadas, estanques e ancoradas.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresenta um novo método para avaliação da vulnerabilidade e risco de inundação ao nível do edifício, especificamente, em um núcleo urbano aplicado na área de estudo definida no bairro do Centro Histórico de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Para isso, foram considerados dois módulos de análise, perigosidade e vulnerabilidade. Inicialmente foi definido o cenário de perigosidade com a modelação do cenário de inundação com a maior cota de inundação histórica já registrada. Quanto à vulnerabilidade, foi adotada a metodologia simplificada de avaliação de componentes de exposição (exposição do piso térreo e status do patrimônio), sensibilidade (material de construção, estado de conservação e subsolo) e funcionalidade (função do térreo, frequência de ocupação predominante e número de pavimentos). A coleta de informações no campo foi diretamente relacionada a um ambiente SIG, o que possibilitou a sua representação espacial imediata. Os módulos de perigosidade e vulnerabilidade foram computados diretamente em uma planilha eletrônica e posteriormente, também foram representados. Com os seus valores também foi possível realizar uma análise cruzada de informações, resultando em uma matriz de risco.

Analisando isoladamente cada módulo definido, apresentam-se uma compreensão detalhada do risco de inundação e suas possíveis causas, considerando que este aspecto é fundamental no embasamento dos tomadores de decisão e gestores de risco sobre quais os fatores mais impactantes ao risco, seja ao nível do quarteirão ou edifício.

Dentre as componentes avaliadas se destacam as de sensibilidade e exposição pois tangem as características físicas do edificado, como a relação das aberturas que se encontram no térreo, o seu material construtivo e o respectivo estado de conservação. Ainda, a componente de funcionalidade apresenta características que poderiam passar despercebidas de uma análise e os possíveis impactos relacionados ao evento da inundação. Pela agregação e análise através da matriz de risco, identificaram-se alguns edifícios classificados entre um risco de elevado a extremo que, geralmente, seguem a tendência dos indicadores individuais de perigosidade e vulnerabilidade.

O conhecimento gerado neste estudo buscou contribuir em diversos níveis para a gestão de risco, e pretende viabilizar a sua aplicação em outros casos de estudo. Caracterizar os possíveis impactos em eventos como inundações, pode promover mudanças estratégicas formais ou informais que propiciam, em última instância, a redução do risco.

7.1 Principais considerações

De forma geral, a área de estudo não apresenta um cenário tão alarmante frente aos seus principais resultados individuais: não tem um indicador geral de vulnerabilidade elevado, sendo o valor médio de FV de 0,4069; e uma altura média de inundação de 1,02 m para o indicador de perigosidade. Mesmo que a metodologia sugerida exija uma análise e interpretação cautelosa dos resultados, devido aos poucos indicadores adotados, o estudo

pode indicar uma área que demanda uma atenção especial e, principalmente, edifícios que necessitam de intervenção imediata.

Considerando a combinação dos resultados, a matriz de risco apresenta uma concentração em uma faixa moderado-elevado que representa uma preocupação maior. Mesmo que a tipologia, métodos construtivos e materiais dos edifícios da região, na sua maioria, não represente diretamente um risco de eminente colapso nas estruturas, é importante fazer algumas observações: 402 edifícios, ao nível do térreo, têm ocupação de 80% ou mais com água, 299 edifícios são afetados por uma altura de inundação de 1,5 m ou mais, e dentro de uma ponderação, 499 edifícios têm indicadores de vulnerabilidade alta ou muito alta (mostrando a tendência de maior vulnerabilidade dentro da avaliação).

Como principal conclusão com os resultados obtidos, observando especificamente o cenário atual sem considerar a inexistência ou falha do sistema de proteção contra inundações, a região do Cais Mauá é a mais afetada por estes eventos. Conta com subutilização das funções devido ao seu estado geral de conservação, falta de planejamento estratégico e desconexão com o restante da cidade, mesmo sendo uma área com valor histórico. Seguindo a premissa para a definição do perigo para a região neste trabalho, é possível notar a concentração mais preocupante entre a perigosidade *versus* vulnerabilidade em uma faixa de dois quarteirões próximos ao Lago Guaíba. Esta faixa conta com uma concentração do patrimônio declarado e locais históricos, edificações menores considerando a característica da região, atividades de interesse público e infraestrutura crítica de mobilidade.

Considerando o cenário de intervenção sugerido no Capítulo 6, para além da óbvia alteração de peso (pontuação) nos parâmetros, observa-se a nova concentração dos índices de vulnerabilidade à inundação (FV), altera a média na classe baixa de 0,3573 para 0,3458 e na classe moderada a média passa a ser 0,4641, ao invés de 0,4699. Mesmo que a variação pareça pequena, é importante perceber que esta mudança tem impacto direto em relação as alturas máximas de inundação, por exemplo, a altura média nos edifícios enquadrados na classe de vulnerabilidade moderada vai de 0,96 m para 0,67 m. Ou seja, esta mudança impacta em uma redução da média de alturas máximas nestas duas classes, respectivamente, 14,52% e 43,28%. Já ao que tange o risco de inundação, a proposta altera a distribuição espacial da classe do risco elevado que fica concentrada nos dois quarteirões próximos ao Lago Guaíba e a noroeste, uma vez que predominantemente acontece uma redistribuição a nordeste e a partir da Rua 7 de Setembro para o risco moderado.

Por fim, como constatado na revisão bibliográfica, existe uma baixa frequência nos eventos de cheia na região nas últimas décadas e pela ausência de impactos tão recentes, o perigo tende a ser desprezado pela população ocupante destas áreas. Neste contexto, uma recorrente discussão acontece sobre a sustentação do sistema de proteção contra cheias (Muro da Av. Mauá), uma vez que é um elemento segregador de uma área histórica do bairro, além de ser subutilizada, com o restante do centro histórico. Mesmo que exista

uma pressão popular e vontade de agentes públicos para realizar a integração da área portuária ao convívio da cidade, a discussão sempre volta a ser amenizada, como exemplo, após o evento de 2015 e suas consequências (pequeno impacto). No cenário de uma inundação de grande magnitude, como a máxima histórica, os edifícios na área de estudo apresentam um cenário predominante de vulnerabilidade entre as classes baixa e moderada, no entanto, para além da proteção ao nível comunitário, o edificado estudado não está preparado para responder esse tipo de evento mitigando os seus danos, tão pouco existam políticas de enfrentamento ao nível governamental.

7.2 Trabalhos futuros

Baseando-se nos resultados apresentando, recomenda-se tais trabalhos futuros:

1. Avaliação dos impactos socioeconômicos causados por inundações (curvas de danos *versus* profundidade de inundação);
2. Definição de políticas e estratégias de reabilitação do edifício para aumento da resiliência visando a mitigação dos impactos;
3. Definição de métodos para mitigação dos danos as pessoas e bens;
4. Definição dos valores monetários para os danos relativos à inundação;
5. Desenvolvimento de uma análise custo-benefício;
6. Aplicação da metodologia proposta no mesmo contexto considerando estratégias de adaptação do edificado (item 2);
7. Aplicação da metodologia proposta em outros casos de estudos com expansão e aprimoramento dos indicadores de avaliação.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allasia D.G.; R. Tassi; D. Bemfica e J. A. Goldenfum, (2015). Decreasing flood risk perception in Porto Alegre – Brazil and its influence on water resource management decisions.
- Apel H, G. Aronica, H. Kreibich and A. Thienken (2009) Flood risk analyses—How detailed do we need to be? *Nat Hazards* 49(1):79–98. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9277-8>
- Asian Development Bank, (2007); Tajikistan: Emergency Flood Rehabilitation Project.
- Aven, T., e Renn, O. (2010) Risk Management and Governance. Concepts, guidelines and applications. Springer, Texas.
- Balica SF, Wright NG, van der Meulen F (2012). A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat Hazards* 64:73–105. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0234-1>
- Barroca B., P. Bervardara, J. Mouchel and G. Hubert (2006). Indicators for identification of urban flooding vulnerability. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pp. 553-561.
- Bevacqua E., D. Maraun, I. Hobæk Haff, M. Widmann and M. Vrac (2017). Multivariate Statistical Modelling of Compound Events via Pair-Copula Constructions: Analysis of Floods in Ravenna (Italy). *Hydrology and Earth System Sciences*. <http://www.hydrol-earthysyst-sci-discuss.net/hess-2016-652/>.
- BRE Digest, (2012). Flood-resilient building: Two part set (DG 523).
- Brink H.W. van den, G.P. Können, J.D. Opsteegh, G.J. van Oldenborgh and G. Burgers (2005). Estimating Return Periods of Extreme Events from ECMWF Seasonal Forecast Ensembles. *International Journal of Climatology*. <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1155>.
- Cabette, A.; Strohaecker, T. M. (2015). A dinâmica demográfica e a produção do espaço urbano em Porto Alegre, Brasil. *Cadernos Metr pole.*, v.17,n.34,p.481-501. <http://www.scielo.br/pdf/cm/v17n34/2236-9996-cm-17-34-0481.pdf>.
- CCS e DGA (2017). Guía para reducción de la vulnerabilidad de edificios frente a las inundaciones. Convênio entre o Consorcio de Compensaci n de Seguros (CCS) e Dirección General del Agua (DGA). Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Madrid. 2017.
- Consortium CIRIA, (2007). Improving the Flood Performance of New Buildings (Flood Resilient Construction).
- Consórcio Guaíba (2011). Relatório de planejamento da elabora o da base cartográfica.
- Consórcio Guaíba (2012). Relatório final da execu o da cobertura laser.
- Dias T. S. (2014). Análise das interven es na morfologia original e na dinâmica geomorfom lica em áreas alag veis no Município de Porto Alegre – RS.
- Dilling L., Morss R. e O. Wilhelmi (2017). Learning to Expect Surprise: Hurricanes Harvey, Irma, Maria, and Beyond. *Journal of Extreme Events*. <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2345737617710014>.
- Dilley M., Chen R. S., Deichmann U., et al. (2005) Natural disaster hotspots: a global risk analysis. In: Disaster risk management series, Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/621711468175150317/Natural-disaster-hotspots-A-global-risk-analysis>
-

- DCLG (2007). Improving the Flood Performance of New Business; Flood Resilient Construction. Communities and Local Government. RIBA Publishing, London, ISBN 9781859462874
- EC (2019). Global Flood Partnership. <https://gfp.jrc.ec.europa.eu/about-us>.
- English Heritage, (2015) Flooding and Historic Buildings.
- Environment Agency (2012). Managing Flood Risk Through London and the Thames Estuary. TE2100 Plan 27. OECD Working Papers on Public Governance. Thames Estuary 2100 Environment Agency.
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/322061/LIT7540_43858f.pdf.
- EXCIMAP (2007). European exchange circle on flood mapping. Handbook on good practices for flood mapping in Europe.
https://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas/pdf/handbook_goodpractice.pdf
- Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho – IFRC (2017). Vulnerability and Capacity Assessment (VCA) Guidelines.
https://www.ifrc.org/Global/Publications/disasters/vca/Vca_en.pdf
- Fleming, G. (2001). Learning to live with rivers. London: The Institution of Civil Engineers.
- Gandini A, Egusquiza A, Garmendia L, San-José JT (2018). Vulnerability assessment of cultural heritage sites towards flooding events. IOP Conf Ser Mater Sci Eng.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/364/1/012028>
- Guimaraens R., (2009). A enchente de 41. 3ª ed. Porto Alegre: Libretos. 100p.
- Hammond MJ, Chen AS, Djordjević S, Butler D, Mark O (2015) Urban flood impact assessment: a state-of-the-art review. Urban Water J 12(1):14–29. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.857421>
- Hasenack H.; Weber E.; Marcuzzo S. (2008). Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação e Ocupação. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, p. 84.
- Hasenack H.; Weber E.J.; Lucatelli L.M.L (2010). Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-03-6. <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.
- Hawkes P. (2008). Joint Probability Analysis for Estimation of Extremes. Journal of Hydraulic Research.
- HR Wallingford (2006). Flood Hazard Research Centre and Risk and Policy Analysts Ltd. Flood Risks to people. Phase 2.
- Huang D., Zhang R., Huo Z. et al. (2012) An assessment of multidimensional flood vulnerability at the provincial scale in China based on the DEA method. Nat Hazards 64:1575–1586. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0323-1>
- Hurk B. van den, E. van Meijgaard, P. de Valk, K. van Heeringen and J. Gooijer (2015). Analysis of a Compounding Surge and Precipitation Event in the Netherlands. Environmental Research Letters. <http://stacks.iop.org/1748-9326/10/i=3/a=035001>.
- IBGE (2019). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acessado em 2 de julho de 2020. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-alegre/panorama>
- Ikeuchi H., Y. Hirabayashi, D. Yamazaki, S. Muis, P. Ward, H. Winsemius, M. Verlaan and S. Kanae (2017). Compound Simulation of Fluvial Floods and Storm Surges in a Global Coupled River-Coast Flood Model: Model Development and Its Application

- to 2007 Cyclone Sidr in Bangladesh: A Global Coupled River-Coast Flood Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*.
<http://doi.wiley.com/10.1002/2017MS000943>.
- Julià P. B., Ferreira T. M. (2021). From single- to multi-hazard vulnerability and risk in Historic Urban Areas: a literature review.
<https://doi.org/10.1007/s11069-021-04734-5>
- Juliao R., F. Nery, J.L. Ribeiro, M. Branco e J. Zêzere (2009). Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal. ISBN: 978-989-96121-4-3
https://www.researchgate.net/publication/292310302_Guia_metodologico_para_a_producao_de_cartografia_municipal_de_risco_e_para_a_criacao_de_sistemas_de_informacao_geografica_de_base_municipal
- Kelman I. (2002). Physical flood vulnerability of residential properties in coastal eastern England. University of Cambridge, UK.
- Kew, S.F., F.M. Selten, G. Lenderink and W. Hazeleger (2013). The Simultaneous Occurrence of Surge and Discharge Extremes for the Rhine Delta. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*.
- Klerk W., H. Winsemius, W. van Verseveld, A. Bakker and F. Diermanse (2015). The Co-Incidence of Storm Surges and Extreme Discharges within the Rhine–Meuse Delta. *Environmental Research Letters*. <http://stacks.iop.org/1748-9326/10/i=3/a=035005?key=crossref.287111c9edc05af173da8af5e197a05b>.
- Kokla M., Mostafavi M.A., Noardo F., Spanò A. (2019). Towards building a semantic formalization of (small) historical centres. *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci* 42:675–683. <https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLII-2-W11-675-2019>.
- Lawson, E., Thorne, C., Ahilan, S., Allen, D., Arthur, S., Everett, G., Fenner R., Glenis V., Guan D., Hoang L., Kilsby C., Lamond J., Mant J., Maskrey S., Mount N., Sleigh A., Smith L., Wright, N., et al. (2014). Delivering and evaluating the multiple flood risk benefits in blue-green cities: An interdisciplinary approach; Flood Recovery Innovation and Response IV. Southampton, U.K.: WIT Press.
- Lian J.J., K. Xu and C. Ma (2013). Joint Impact of Rainfall and Tidal Level on Flood Risk in a Coastal City with a Complex River Network: A Case Study of Fuzhou City, China. *Hydrology and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/hess-17-679-2013>.
- Loganathan G., C. Kuo and J. Yannaccon (1987). Joint Probability Distribution of Streamflows and Tides in Estuaries. *Hydrology Research*.
<https://iwaponline.com/hr/article/18/4-5/237-246/3353>.
- Machado, F. P. (1950). Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul. Serviço gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv14127.pdf>
- Maiwald H., Schwarz J. (2012). Damage and loss prediction model considering inundation level, flow velocity and vulnerability of building types. *WIT Trans Ecol Environ* 159:53–65. <https://doi.org/10.2495/FRIAR.120051>
- Mebarki A., N. Valencia, J. Salagnac and B. Barroca (2012). Flood hazards and masonry constructions: a probabilistic framework for damage, risk and resilience at urban scale. *Nat Hazard Earth Syst Sci* 15(5):1799–1809. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-1799-2012>

-
- Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2007). Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 176 p.
- Miranda F. N., T. M. Ferreira (2018). An approach for assessing flood risk in urban centres: The historic centre of Guimarães, Portugal, as a case study.
- Miranda F. N., T. M. Ferreira, (2019). A simplified approach for flood vulnerability assessment of historic sites.
- Muis S., M. Verlaan, H. Winsemius, J. Aerts and P. Ward (2016). A Global Reanalysis of Storm Surges and Extreme Sea Levels. *Nature Communications*. <http://www.nature.com/articles/ncomms11969>.
- Müller Neto J. A. (2018). Estimativa de impacto das cheias de 1941, 1967 e 2015 em porto alegre na hipótese de inexistência do sistema de proteção contra cheias do lago guaíba.
- Naghetini, M., Pinto, É. J. A. (2007). Hidrologia estatística. CPRM. <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/454?show=full>
- Nasiri H., Mohd Yusof M. J., Mohammad Ali T. A., et al. (2016). An overview to flood vulnerability assessment methods. *Sustain Water Resour Manag* 2:331–336. <https://doi.org/10.1007/s40899-016-0051-x>
- National Park Service US (2019). Guidelines on Flood Adaptation for Rehabilitating Historic Buildings.
- Navia F (2017) An approach for assessing flood risk in historic urban centres. M.Sc. thesis. Advanced Masters in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions (SAHC). University of Minho, Guimarães, Portugal
- Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (2017). Revista do Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba – março/2017 - Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba. http://comitedolagogaiba.com.br/wp-content/uploads/2017/08/Revista_planoLago_rev14-comp.pdf
- Prefeitura de Porto Alegre (2009). Projeto Viva o Centro. Síntese do Plano Estratégico – Reabilitação da Área Central de Porto Alegre. http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/vivaocentro/usu_doc/relatorio_vivoecentro.pdf
- Prefeitura de Porto Alegre (2014). Projeto Viva o Centro. Acesso em 8 de julho de 2020. http://www2.portoalegre.rs.gov.br/vivaocentro/default.php?p_secao=41
- Prefeitura de Porto Alegre (2015). Projeto Viva o Centro. Acesso em 2 de julho de 2020. http://www2.portoalegre.rs.gov.br/vivaocentro/default.php?reg=1&p_secao=19
- Prefeitura de Porto Alegre (2020). Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Acesso em 2 de julho de 2020. <https://prefeitura.poa.br/gp/projetos/conheca-porto-alegre>
- Priest, S., Tapsell, S., Penning-Orwell, E., Viavattene, C., and Wilson, T. (2008). Task 10: Building models to estimate loss of life for flood events. Produced for FLOOD site, Report number T10-08-10.
- Priest, S., Tapsell, S., Penning-Orwell, E., Viavattene, C., and Wilson, T. (2009). Task 10: Building models to estimate loss of life for flood events. Produced for FLOOD site, Report number T10-08-10, Revision number 1_3_P01.
- Proverbs, D., Lamond, J. (2017). Flood resilient construction and adaptation of buildings. In S. Cutter (Ed.), *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*, Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.111>
-

-
- Pugh D.T. (1987). Tides, Surges and Mean Sea Level—A Handbook for Engineers and Scientists. *Geophysical Journal International*. <https://academic.oup.com/gji/article-lookup/doi/10.1111/j.1365-246X.1988.tb06710.x>.
- Rak J.R. (2004). A essência do risco no funcionamento do sistema de abastecimento de água. Rzeszów, Polônia. Referência cruzada.
- Rak J.R., Tchórzewska-Cieślak B. (2005). Métodos de análise e avaliação de risco no sistema de abastecimento de água. Rzeszów, Polônia. Referência cruzada.
- Ramos C. (2009). Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de Unidade Curricular do 2º ciclo). SLIF- 6, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa. ISBN: 978-972-636-195-4
- Ramos C. (2013). Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações. <http://hdl.handle.net/10437/5308>.
- Rana I.A., J.K. Routray (2016). Actual vis-à-vis perceived risk of flood prone urban communities in Pakistan. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.08.028>
- Ranger N., A. Millner, S. Dietz, S. Fankhauser, A. Lopez and G. Ruta (2010). Adaptation in the UK: A Decision-Making Process. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, Centre for Climate Change Economics and Policy. <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2014/03/PB-Ranger-adaptation-UK.pdf>.
- Rauber, V. (1992) Prevenir é o melhor remédio. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, p. 47.
- Reckziegel E. W. (2018). Áreas com risco de inundação do lago Guaíba e delta do Jacuí. Tese de Doutorado. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/174530>.
- Reckziegel, E. W., Weschenfelder, J., Bazzan, T., et al. (2018). Dinâmica Temporal e Espacial das Inundações no Lago Guaíba e Delta do Jacuí (RS) entre 1940 e 2015. http://www.researchgate.net/profile/Jair_Weschenfelder/publication/327850216.
- Samuels P. and N. Burt (2002). A New Joint Probability Appraisal of Flood Risk. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water and Maritime Engineering. <http://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/wame.2002.154.2.109>.
- Santos, P. P.; A. O. Tavares; P. Freire; A. Rilo (2018). Estuarine flooding in urban areas. Enhancing vulnerability assessment. *Natural Hazards, Special Issue: Natural hazards, modelling, risk assessment and the role of scale*. 93(S1): 77-95. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3067-0>.
- Schanze J., E. Zeman, and J. Marsalek (2006). Flood Risk Management: Hazards, vulnerability and mitigation. *Nato Science Series: IV*. Schanze, J., Zeman, E., Marsalek, J. (Eds.), The Netherlands: Springer.
- Serviço Nacional de Meteorologia U.S.A (2020). (n.d.) National weather service Glossary. Acesso 1 de julho de 2020. <https://www.weather.gov/ggw/GlossaryF>
- Souza, C.R. de G. (1998). Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil. *Anais Academia Brasileira Ciências*, 70 (2): 353-366.
- State Historical Society of Wisconsin's (2009). Treatment of Flood-Damaged Older and Historic Buildings.
- Stephenson V, D'Ayala D (2014) A new approach to flood vulnerability assessment for historic buildings in England. *Nat Hazards Earth Syst Sci*. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1035-2014>
-

-
- Sul21 (2015). Histórias e fotos da maior enchente de Porto Alegre. Acessado em 2 de julho de 2020. <https://www.sul21.com.br/em-destaque/2015/10/historias-e-fotos-da-maior-enchente-de-porto-alegre/>
- Svensson C. and D. Jones (2002). Dependence between Extreme Sea Surge, River Flow and Precipitation in Eastern Britain. *International Journal of Climatology*. <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.794>.
- Svensson C. and D. Jones (2004). Dependence between Sea Surge, River Flow and Precipitation in South and West Britain. *Hydrology and Earth System Sciences*. <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/8/973/2004/>.
- Tavares A.C, Silva A.C.F. (2008). Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. *Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro. Vol. 3, n.1, 2008.
- Tchórzewska-Cieślak B., Pietrucha-Urbanik K., Zygmunt A., et al. (2018). Implementation of matrix methods in flood risk analysis and assessment. *Journal Ekonomia i Środowisko*, 3 (66).
- TUCCI, C. E. M. (2003). Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana. http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf.
- Thieken A., Piroth K., Schwarz J., et al. (2008) Methods for the evaluation of direct and indirect flood losses. In: 4th international symposium flood defense: managing flood risk, reliability and vulnerability. Toronto, Ontario, Canada.
- UN/ISDR (2004). The United Nations/International Strategy for Disaster Reduction. Living with Risk A global review of disaster reduction initiatives. https://www.preventionweb.net/files/657_lwr1.pdf
https://www.preventionweb.net/files/657_lwr21.pdf
- UN/ISDR (2007). The United Nations/International Strategy for Disaster Reduction. United Nations documents related to disaster reduction 2000-2007: Advance copy.
- UN/ISDR (2009). The United Nations/International Strategy for Disaster Reduction. Terminology on Disaster Risk Reduction. https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf
- UNDRR (2015). The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction: A Technical Review.
- UNDRR (2019). The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. https://gar.undrr.org/sites/default/files/reports/2019-05/full_gar_report.pdf
- UNDRR (2021) Words into Action: Nature-based Solutions for Disaster Risk Reduction. Gabinete das Nações Unidas para a Redução do Risco de Catástrofes, 259 p.
- Valenti E. S.; S. B. A. Rolim; R. S. Rocha, (2011). Modelo cartográfico digital temático para simulação e previsão de inundações no município de Porto Alegre – RS.
- Veyret Y., (2007). Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.
- Vörösmarty C. J., E. M. Douglas, P. A. Green, and C. Revenga (2005). Geospatial indicators of emerging water stress: An application to Africa, *Ambio*, pp. 230–236. doi:10.1579/0044-7447-34.3.230.
- Westen C.J. T.W.J. Van Asch and R. Soeters, (2016) Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult?, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, pp. 167 – 184.
-

-
- Wollmann, C. A. (2014). Enchentes no Rio Grande do Sul no século XXI (the floods in Rio Grande do Sul during 21th century). *Mercator*, v. 13,n.1,p.79a 91-79 a 91. <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/951>
- Wrachien D., S. Mambretti and B. Schultz (2011). Food management and risk assessment in floodprone areas: Measures and solutions. *Irrigation and Drainage*, pp. 229-240.
- Yamazaki D., S. Kanae, H. Kim and T. Oki (2011). A Physically Based Description of Floodplain Inundation Dynamics in a Global River Routing Model: Floodplain Inundation Dynamics. <http://doi.wiley.com/10.1029/2010WR009726>.
- Zanardi R. P., et al. (2014). Análise da qualidade dos modelos digitais de terreno e de superfície do município de Porto Alegre. <https://www.researchgate.net/publication/274001028>.
- Zheng F., S. Westra, M. Leonard. and S. Sisson (2014). Modeling Dependence between Extreme Rainfall and Storm Surge to Estimate Coastal Flooding Risk. *Water Resources Research*. <http://doi.wiley.com/10.1002/2013WR014616>.
- Zheng Z, Qi S, Xu Y (2013) Questionable frequent occurrence of urban flood hazards in modern cities of China. *Nat Hazards* 65:1009–1010. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0397-9>
- Zscheischler J., S. Westra, B. Hurk, S. Seneviratne, P. Ward, A. Pitman, A. AghaKouchak, et al. (2018). Future Climate Risk from Compound Events. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>.
- Zygmunt A. (2017). Princípios de análise de risco de inundação. Tese de mestrado. Rzeszów, Polônia. Referência cruzada.

NOTAS DE FIM

¹ Evento extremo e perigoso (*hazard*) é definido como: “a ocorrência de um fenômeno natural ou induzido pelo homem num determinado lugar durante um determinado período, devido à existência de um perigo. O(s) evento(s) perigoso(s) grave(s) pode(m) levar a um desastre como resultado da combinação de ocorrência de perigo e fatores de risco (UNDRR, 2015)” (tradução do autor)

² Exposição é definido como: “Pessoas, bens, outros bens ou sistemas expostos a perigos. As medidas de exposição podem incluir o número de pessoas ou tipos de bens em uma área. Estes podem ser combinados com a vulnerabilidade específica dos elementos expostos a qualquer perigo em particular para estimar os riscos quantitativos associados a esse perigo na área de interesse. UN/ISDR. 2009.” (tradução do autor)

³ Vulnerabilidade é definido como: “condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto dos perigos (UN/ISDR, 2004).” (tradução do autor)

⁴ Resiliência é definido como: “A capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta a perigos para resistir, absorver, acomodar e recuperar dos efeitos de um perigo de forma oportuna e eficiente, inclusive através da preservação e restauração de suas estruturas e funções básicas essenciais. Resiliência significa a capacidade de "resiliência de" ou "ressuscitar de" um choque. A resiliência de uma comunidade em relação a qualquer perigo ou evento é determinada pelo grau em que a comunidade tem os recursos necessários e é capaz de se organizar tanto antes como durante os momentos de necessidade. (UN/ISDR, 2009).” (tradução do autor)

⁵ GAR: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland. United Nations Office for Disaster Risk Reduction UNDRR, 2019

⁶ Risco é definido como: “combinação probabilística de um evento perigoso e suas consequências que resultam da interação entre o perigo natural ou provocado pelo homem, vulnerabilidade, exposição e capacidade. UN/ISDR. 2004.” (tradução do autor) Contextos sociais são importantes a serem considerados no risco visto afetar as pessoas que não necessariamente compartilham o mesmo entendimento sobre o risco e seus fatores implícitos, para além, são inerentes ou podem surgir ou encontrar-se no sistema social.

⁷ Desastre é definido como: “Uma séria perturbação do funcionamento de uma comunidade ou sociedade devido a eventos perigosos que interagem com condições de vulnerabilidade e exposição, levando a perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais generalizados. UNDRR, 2015.” (tradução do autor)

⁸ Global Flood Partnership (GPF): é um programa multidisciplinar de grupos de cientistas, agências e gestores de risco concentrados no desenvolvimento de ferramentas eficazes para uma cooperação global de previsão de inundações, monitorização de impacto e resposta na redução de perda (EC, 2019) .

⁹ Plano Estuário do Tamisa 2100 (TE2100): “apresenta as recomendações para a gestão de riscos de inundação para Londres e o estuário do Tamisa até ao fim do século e mais além. Londres e o Tamisa comunidades estuarinas se beneficiam de um poço robusto e sistema organizado de gestão de risco de inundação por maré, mas pressões crescentes, incluindo as alterações climáticas, significa que o risco de inundação está a aumentar. *Environment Agency*. 2012.” (tradução do autor)

¹⁰ IFRC: é uma organização humanitária fundada em 1919, em Paris, logo após a I Guerra Mundial, quando se constatou a necessidade de criar uma organização que reunisse as distintas Sociedades Nacionais da Cruz Vermelha, visando aumentar a cooperação entre elas.

¹¹ MIVES: sigla em espanhol para Modelo Integrado de Valor para a Avaliação de Sustentabilidade.

¹² CityGML é um modelo de dados padronizado aberto e formato de troca para armazenar modelos 3D digitais de cidades e paisagens.

¹³ Molines: Modelling floods in estuaries: projeto teve por objetivo contribuir no conhecimento e gestão das inundações aprimorando o entendimento sobre a interação de diversos perigos (hazard) em estuários e desenvolver diretrizes e estratégias coordenadas para a gestão do risco adequada em áreas de transição. O projeto enfrentou seu principal desafio quando pretendeu integrar diferentes estratégias e abordagens usualmente utilizadas de forma independente nas análises do risco de inundação, trabalhando com duas escalas diferentes em sua análise, em nível regional e local.

¹⁴ Tratado de Madrid: foi um tratado firmado na capital espanhola entre os reis João V de Portugal e Fernando VI de Espanha, em 13 de janeiro de 1750, para definir os limites entre as respectivas colônias sul-americanas, pondo fim assim às disputas. O objetivo do tratado era substituir o Tratado de Tordesilhas, que já não era mais respeitado na prática. Pelo tratado, ambas as partes reconheciam ter violado o Tratado de Tordesilhas na América e concordavam que, a partir de então, os limites deste tratado se sobreporiam aos limites anteriores.

¹⁵ Lago Guaíba: lagoa de água doce navegável por embarcações de grande porte com 482,25 km² de área, banhando as cidades de Porto Alegre, Eldorado do Sul, Guaíba, Barra do Ribeiro e Viamão.

¹⁶ IPHAN: é uma autarquia federal do Governo do Brasil, criada em 1937, vinculada ao Ministério do Turismo, responsável pela preservação e divulgação do patrimônio material e imaterial do país. Tem a função de defender e favorecer os bens culturais do país proporcionando sua existência e usufruto para as gerações presentes e também futuras. Buscando a preservação dos tesouros da cultura nacional.

¹⁷ IPHAE: é o órgão no estado do Rio Grande do Sul responsável pela preservação dos bens considerados de relevância histórica e/ou artística.

¹⁸ Livro do Tombo: registro de bens tombados pelo Município, que são aqueles que, por seu valor histórico, paisagístico, morfológico ou técnico sejam de interesse público preservar e proteger. Passam a integrar o Patrimônio Cultural de Porto Alegre e são protegidos pela Lei de Tombamento - Lei Complementar 275/92.

¹⁹ Estimativa realizada pelo órgão recém-criado Instituto Nacional de Estatísticas, o qual posteriormente tornar-se-ia o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

²⁰ Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS: autarquia federal criada pela Lei nº 4.089, de 13 de julho de 1962, com personalidade jurídica de direito público, autonomia administrativa, financeira e patrimonial, vinculada ao Ministério do Interior, tem por finalidade executar a política nacional de saneamento ambiental, em áreas rurais e urbanas

²¹ *ArcGIS*: é um sistema de informações geográficas para trabalhar com mapas e informações geográficas mantido pelo Environmental Systems Research Institute – Esri.

²² *ArcMap*: é o principal componente do pacote ArcGIS de programas de processamento geoespacial da Esri e é usado principalmente para visualizar, editar, criar e analisar dados geoespaciais

²³ *Input*: é um simples aplicativo de pesquisa que permite aos usuários capturar dados em campo, formulários e preparação de dados podem ser feitos em software QGIS (<https://inputapp.io/en/>)

²⁴ *QGIS*: é um software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

²⁵ OpenStreetMap (OSM): projeto de mapeamento colaborativo com objetivo de criar um mapa livre e editável do mundo.

²⁶ *Mergin*: é um repositório de geo-dados para trabalho colaborativo (<https://public.cloudmergin.com>)

²⁷ DCLC: Department for Communities and Local Government Buildings Regulations (Sanitation) Research Framework – UK. Responsável pelo projeto de pesquisa “Improving the Flood Resilience of Buildings through Improved Materials, Methods and Details” (Ref CI71/8/5 BD2471).