

Metodologia para avaliação técnica e melhoria da resiliência a inundações em meio urbano

Ingrid Tonon Miranda

**Tese de Doutoramento em Alterações Climáticas e
Políticas de Desenvolvimento Sustentável
(versão corrigida)**

Janeiro, 2022

Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas

**Metodologia para avaliação técnica e melhoria da
resiliência a inundações em meio urbano**

Ingrid Tonon Miranda

Tese apresentada para o cumprimento dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Doutor em Alterações
Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável,
realizada sob a orientação científica da Professora Doutora
Maria José Leitão Barroso Roxo e a co-orientação do Professor
Doutor Diogo Costa Buarque

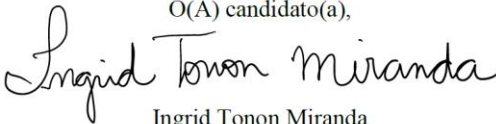
Júri:

Apoio financeiro da Capes-CSF

Janeiro, 2022

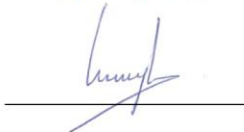
[DECLARAÇÕES]

Declaro que esta tese é o resultado da minha investigação pessoal e independente.
O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas
no texto, nas notas e na bibliografia.

O(A) candidato(a),

Ingrid Tonon Miranda

Lisboa, 03 de Janeiro de 2021

Declaro que esta tese se encontra em condições de ser apreciada pelo júri a
designar.

O(A) orientador(a),


Lisboa, 10 de Janeiro de 2022

Declaro que esta tese se encontra em condições de ser apreciada pelo júri a
designar.

O(A) coorientador(a),


Vitória-ES (Brasil), 10 de Janeiro de 2022

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Ana Maria e Delton, pelo incentivo
à busca do conhecimento e romper barreiras”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha família, meu pai Delton, minha irmã Geniana e principalmente para minha mãe Ana, que me apoiaram em todos os sentidos desde o início da minha jornada.

A minha tia/madrinha Maristela e minha avó Jeni pelo apoio e força.

A Rodolfo e Timá que além de quase irmãos, me ajudaram na obtenção de dados.

Ao meu amigo Tiago Dallapicola que me incentivou e apoiou na minha jornada de estudar no exterior.

Aos meus amigos do programa doutoral em Alterações Climáticas, em especial: Carla, Fabrício, Kátia, Karina, Márcia, Bráulio, Rodrigo; amigos de curso e da vida. Em especial do meu quase irmão Guilherme que além de colega de curso, amigo e coinquilino; me apresentou o curso doutoral em um momento essencial e a Kátia e Carla que disponibilizam tempo para me ajudar na revisão.

Aos amigos “infiltrados”, por todo apoio e troca: Mariani, Maria Rita, Igor, Aninha, Sara, Cassandra.

Aos meus amigos de longa data, que me apoiam desde a minha chegada a Portugal: Cinthia, Aline, Flávio, Karina e Max.

Ao professor Dr. Filipe Duarte Santos, pela chance dada e grande apoio durante minha mudança de curso doutoral.

Ao professor Dr. João Ferrão pelo apoio nos momentos críticos.

À professora Dra. Maria José Roxo que assumiu a orientação e deu esperanças para a conclusão da tese.

Ao professor Dr. Diogo Buarque, por assumir a co-orientação e me dar dicas valiosas.

Ao corpo docente do Programa Doutoral em Alterações Climáticas e Desenvolvimento Sustentável.

À Raquel Brito pela ajuda, disponibilidade e receptividade.

À toda equipa docente e colegas pesquisadores do grupo científico de hidráulica, ambiente e recursos hídricos, em especial a Taiga, Oswaldo, Larissa, além do apoio da querida Gabriela.

Aos colegas de trabalho Francisco, Tiago e João pela dedicação e grande apoio durante o trajeto.

À equipe da Secretaria de obras da Prefeitura de Vitória, principalmente o Flávio e o Marcos, que me receberam, me deram dicas valiosas e me forneceram os dados de estudo.

À Vanilda Lucas, pela disposição e pelas dicas.

Ao professor Daniel Rigo, do departamento de engenharia ambiental da UFES, que acreditou no meu projeto inicial e me incentivou a seguir em frente nos estudos de drenagem urbana.

A todos que nessa jornada me apoiaram e tornaram-se mais que amigos, uma grande família!

“As árvores são poemas
que a terra escreve sob o céu.
Nós derrubámo-las,
e com elas fizemos papel,
para podermos registrar o vazio dentro de nós.”
Kahlil Gibran

RESUMO

A complexidade das grandes cidades, com elevado crescimento e a urbanização sem o devido planejamento, conjugadas com os efeitos das alterações climáticas, podem resultar em transtornos ambientais e socioeconômicos, como são exemplo, as inundações urbanas. Esses eventos constituem uma preocupação relevante para a sociedade, uma vez que interagem com aspectos físicos, sociais e ambientais. Atualmente, o fenômeno tornou-se mais intenso e severo, devido ao agravamento da intensidade das precipitações, à localização costeira de muitas cidades e às características do sistema de drenagem, entre outros fatores. Muitas ações vêm sendo desenvolvidas no âmbito da resiliência urbana, com vista a mitigar os inconvenientes para a sociedade, frente aos distúrbios, decorrentes de inundações. Salienta-se que a resiliência urbana no contexto desta tese propõe uma abordagem integrativa, ou seja, considerando os vários aspectos que a compõem, baseando-se na capacidade do sistema urbano e suas redes constituintes, como os serviços urbanos, em manter ou retornar rapidamente as suas funções principais perante um distúrbio, e adaptar ou transformar os sistemas que limitam a respetiva capacidade. Neste contexto, surge a necessidade de ir mais a fundo nos estudos da resiliência, complementando os estudos sociais à respeito do tema e disponibilizando ferramentas quantitativas, baseadas em indicadores, para avaliação da resiliência em meio urbano. Este estudo propõe uma metodologia replicável, para o cálculo de um índice de resiliência urbana face às inundações, baseado em diversos indicadores e apontam-se as principais intervenções urbanas que podem ser tomadas para aumentar a resiliência urbana em cenário de alterações climáticas. A metodologia foi aplicada ao caso de estudo da bacia de Bento Ferreira da cidade de Vitória, capital do estado de Espírito Santo, Brasil. Esta bacia combina vários fatores negativos: tem interface com o mar, valores de altitude muito baixas é servida por um sistema de drenagem de águas pluviais deficitário, em que o extravasamento da água das redes pluviais e as inundações são recorrentes. O impacto das inundações para diferentes cenários foi avaliado com recurso ao software SWMM (Storm Water Management Model), desenvolvido pela US-EPA (United States Environmental Protection Agency), e programas de Sistema de Informação Geográfica. Para a avaliação da resiliência, teve-se em especial atenção as interdependências entre serviços urbanos

e os efeitos em cascata. Os resultados obtidos foram a classificação dos indicadores de resiliência urbana face às inundações (IRUI), bem como o índice global para avaliação de resiliência face às inundações (ARUIg), sendo essa uma ferramenta interessante para a avaliação das melhores propostas de melhorias em nível estrutural e não-estrutural, favorecendo a gestão urbana face a eventos extremos de precipitação.

Palavras-Chave: Alterações Climáticas, Índice de resiliência urbana, Inundações Urbanas, Resiliência e Sistema de drenagem.

ABSTRACT

The complexity of big cities, with high growth and urbanization without due, combined with the effects of climate change, can result in environmental and socioeconomic disorders, for example, such as urban floods. These events are a relevant concern for society, as they interact with physical, social and environmental aspects. Currently, the phenomenon has become more intense and severe, due to the worsening intensity of rainfall, the coastal location of many cities and the characteristics of the drainage system, among other factors. Many actions have been developed within the scope of urban resilience, with a view to mitigating the inconveniences for society in the face of disturbances resulting from flooding. It should be noted that urban resilience in the context of this thesis proposes an integrative approach, that is, considering the various aspects that compose it, based on the capacity of the urban system and its constituent networks, such as urban services, to maintain or return quickly its primary functions in the face of a disturbance, and adapting or transforming systems that limit its capacity. In this context, there is a need to go deeper into studies of resilience, complementing social studies on the subject and providing quantitative tools, based on indicators, to assess resilience in urban areas. This study proposes a replicable methodology for calculating an urban resilience index against flooding, based on several indicators and pointing out the main urban interventions that can be taken to increase urban resilience in a climate change scenario. The methodology was applied to the case study of the Bento Ferreira basin in the city of Vitória, capital of the state of Espírito Santo, Brazil. This basin combines several negative factors: it has an interface with the sea, very low altitude values and a deficient rainwater drainage system, in which water leakage from the rainwater networks and flooding are recurrent. The impact of flooding for different scenarios was assessed using SWMM (Storm Water Management Model) software, developed by the US-EPA (United States Environmental Protection Agency), and Geographic Information System programs. For the assessment of resilience, special attention was paid to the interdependencies between urban services and cascading effects. The results obtained were the classification of indicators of urban resilience against floods (IRUI), as well as the global index for assessment of resilience against floods (ARUIg), which is an interesting tool for evaluating the best proposals for

improvements at a structural level and non-structural, favoring urban management in the face of extreme precipitation events.

Keywords: Climate change, urban resilience index, urban flooding, resilience and drainage system.

ÍNDICE

1.Introdução	1
1.1. Inundações como eventos extremos: do global ao regional.....	1
1.2. Problemática e objetivos da tese.....	5
1.3. Organização da Tese:.....	8
2. Alterações climáticas e seus efeitos na drenagem urbana	9
2.1. Conceitos de Alterações Climáticas.....	9
2.2. Alterações climáticas e urbanização.....	11
2.3. Impacto das Alterações Climáticas na drenagem urbana	12
2.3.1. Subida do nível do mar	12
2.3.2. Mudanças nos padrões de precipitação	17
2.4. Impacto das inundações nas estruturas físicas urbanas	21
2.4.1. Estruturas residenciais, comerciais e industriais.....	21
2.4.2. Sistemas de transporte	22
2.4.3. Sistemas energéticos	22
2.4.4. Sistemas de abastecimento de água e saneamento	23
2.5. Sistemas de drenagem urbana	24
3. Resiliência urbana	29
3.1. Conceitos de resiliência	29
3.2. Conceitos de Resiliência Urbana.....	32
3.3. Estratégias de avaliação de Resiliência Urbana	34
3.3.1. International Organization for Standardization (ISO)	35
3.3.2. Un-Habitat (ONU).....	36
3.3.3. A Fundação Rockefeller (<i>Rockefeller Foundation</i>).....	38
3.3.4. Programas da União Europeia do Horizon 2020 e Projeto Resccue.....	43
3.4. Medidas para aumentar a resiliência urbana a inundações	49
3.4.1. Medidas físicas para gestão de inundações.....	50
3.4.1.1. Infraestrutura de drenagem	50
3.4.1.2. Técnicas de controlo na origem de águas pluviais	51
3.4.1.3. Intervenções físicas especiais	60
3.4.1.4. Cidades esponja.....	61
3.4.2. Medidas não físicas de gestão de inundações	63
3.4.2.1. Legislação e regulação	65

3.4.2.2.	Instrumentos de organização e gestão de inundações	71
3.4.2.3.	Sensibilização ambiental e capacitação	76
3.4.2.4.	Seguros.....	78
3.4.2.5.	Sistema de monitorização e previsão de alerta.....	81
4.	Metodologia	87
4.1.	Aspetos gerais.....	87
4.2.	Levantamento de dados	91
4.3.	Simulação de variáveis hidráulicas	91
4.3.1	Inserção dos dados de simulação	93
4.4.	Indicadores de desempenho do sistema urbano para inundações	94
4.5.	Índice de Resiliência	109
4.6.	Avaliação da Resiliência Urbana às inundações.....	110
5.	Caso de estudo (Bacia de Bento Ferreira, Vitória – ES, Brasil)	111
5.1.	Caracterização da área de estudo	111
5.2.	Eventos extremos de inundações urbanas no Espírito Santo	119
5.3.	Aspetos históricos da drenagem da cidade de Vitória	129
5.4.	Plano de Diretor de Drenagem Urbana de Vitória – PDDU.....	133
5.4.1	Bacia urbana de Bento Ferreira	136
6.	Avaliação de resiliência urbana e aplicação ao estudo de caso	141
6.1.	Dados do modelo de simulação	141
6.2.	Construção do modelo	142
6.3.	Propostas previstas pelo PDDU	146
6.3.1.	Custo das intervenções propostas	148
6.4.	Cenários de simulação.....	149
6.4.1.	Cenário 1: Simulação do desempenho para a situação atual do sistema.....	151
6.4.2.	Cenário 2: Simulação do desempenho para a situação atual do sistema, com incremento dos efeitos das alterações climáticas	158
6.4.3.	Cenário 3: Simulação do sistema de drenagem com a construção de quatro reservatórios enterrados e sem efeitos das alterações climáticas	163
6.4.4.	Cenário 4: Simulação do sistema de drenagem, com os quatro reservatórios enterrados e com os efeitos das alterações climáticas.	169
6.5.	Indicadores de desempenho.....	174
6.5.1.	Considerações gerais	174
6.5.2.	Apresentação dos resultados	175
6.6.	Índice de Resiliência	181

6.7. Síntese de resultados e análise conclusiva.....	183
7. Considerações finais	188
7.1. Limitações da pesquisa.....	190
7.2. Propostas para estudos futuros	192
Bibliografia.....	194
ANEXO I – City Resilience Index (CRI).....	215
ANEXO II – Matriz organizacional para cidades resilientes.....	221
ANEXO III- Matriz funcional para cidades resilientes	223
ANEXO IV- Reportagens em jornais locais	225

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Principais indicadores de mudanças climáticas globais com indicação dos capítulos do relatório IPCC AR5.....	10
Adaptado de IPCC (2013 a).....	10
Figura 2-2: Diferenças de infiltração e escoamento artificial em áreas urbanas e áreas vegetadas.....	12
Figura 2-3: Série temporal de nível médio do mar usando os cenários RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5, e os comparativos do Quinto Relatório IPCC -AR5 e o Relatório Especial do IPCC sobre oceano e a criosfera nas mudanças climáticas (SROCC).	13
Figura 2-4: Projeção média das variações dinâmicas do nível do mar para o período de 2046-2065 (à esquerda) e 2081 a 2100 (à direita) calculados para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5.	14
Figura 2-5: Gráfico comparativo de elevação do nível do mar ao longo do tempo.	16
Figura 2-6: Distribuição global da precipitação média anual (em cm / ano) do banco de dados do Projeto de Climatologia Global por Precipitação 1979–2010	19
Figura 2-7: Diagrama das principais variantes de esgoto sanitário brasileiro	25
Figura 2-8: Esquema do funcionamento do sistema condominial brasileiro	26
Figura 3-1: Fluxograma com estratégia para avaliar redes de resiliência.....	31
Figura 3-2: Rede Global de Atores da resiliência.....	35
Figura 3-3: Modelo de abordagem transversal para a resiliência	37
Figura 3-4: Roda do CRI com suas dimensões, objetivos e indicadores.....	41
Figura 3-5: Cidades participantes do 100 Resiliente Cities	42
Figura 3-6: Fases da resiliência segundo o Hazur®	45
Figura 3-7: Enfoque transversal de resiliência urbana	46
Figura 3-8: Fases de análise da resiliência urbana segundo Hazur®	47
Figura 3-9: Mapa de interdependências para falhas no sistema de drenagem de parte da cidade de Lisboa (Bacias da Av.Almirante Reis e Av. da Liberdade, J e L).....	48
Figura 3-10: Esquema de medidas para a gestão de inundações urbanas	50
Figura 3-11: Representação esquemática de trincheira de infiltração	53
Figura 3-12 A: Representação esquemática de pavimento poroso	54
Figura 3-12 B: Representação esquemática de pavimento poroso com reservatório.....	54
Figura 3-13: Representação esquemática de um poço absorvente.	55
Figura 3-14: Representação esquemática de uma vala com cobertura vegetal.	55
Figura 3-15: Representação esquemática de uma faixa filtrante.....	56
Figura 3-16: Bacia de retenção do tipo seco	56
Figura 3-17: Exemplo de bacia de retenção com nível de água permanente em meio urbano ..	58
Figura 3-18 A: Prédio com faixada verde	59
Figura 3-18 B: Edifício com telhado verde	59
Figura 3-19: Representação esquemática de um telhado verde “green roof”	60
Figura 3-20: Crescimento da complexidade na gestão de águas urbanas pluviais	63
Figura 3-21: Medidas de preparação contra inundações.	64
Figura 3-22: Processo de pensamento crítico para gerar decisões estratégicas.....	72
Figura 3-23: Espacialização da abrangência de resíduos advindos do rompimento da barragem de Brumadinho (MG – Brasil) ocorrido no dia 25/01/2019. Sensoriamento remoto com uso de imagem de satélite.....	74
Figura 3-24: Imagem de satélite da área inundada de Moçambique após a passagem do ciclone Idai no dia 14/03/2019.	75

Figura 3-25: Visão geral da estrutura de análise de risco, destacando como os impulsionadores de mudança e as medidas não estruturais de gestão de risco de inundação interagem com o cálculo de risco.	79
Figura 3-26: Aviso dado via telemóvel pela EMEL (Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa) no dia 14/10/2018, devido à aproximação da tempestade Leslie. .83	
Figura 3-27: Aviso via telemóvel para risco de inundações na área de estudo (Vitória-ES), para os dias 17 de abril a 18 de abril de 2019.....	83
Figura 4-1: Fluxograma simplificado da metodologia para avaliação de resiliência à inundações	89
Figura 4-2: Fluxograma completo da metodologia.	90
Figura 4-3: Curva da função do indicador de desempenho ID1(Duração da inundação)	95
Figura 4-4: Curva da função do indicador de desempenho ID2 (Duração da inundação crítica) 96	
Figura 4-5: Curva da função do indicador de desempenho ID3 (Perturbação do tráfego)	98
Figura 4-6: Curva da função do indicador de desempenho ID4 (Afetação dos resíduos sólidos)	100
Figura 4-7: Curva da função do indicador de desempenho ID5 (Perturbações no sistema de abastecimento de água)	102
Figura 4-8: Curva da função do indicador de desempenho ID6 (Perturbações na distribuição de energia elétrica)	103
Figura 4-9: Curva da função do indicador de desempenho ID7 (Afetação da rede de telecomunicações)	104
Figura 4-10: Curva da função do indicador de desempenho ID8 (Afetação dos serviços de saúde)	106
Figura 4-11: Gráfico da função comparativa entre hospitais (ID 8.1) e centros de saúde (ID 8.2)	106
Figura 4-12: Curva da função do indicador de desempenho ID9 (Afetação de habitações)	107
Figura 4-13: Curva da função do indicador de desempenho ID10 (Afetação dos serviços terciários).....	108
Figura 5-1: Localização da área de estudo	112
Figura 5-2: Índice de cenários climáticos RCP 8.5 por microrregião para o estado do Espírito Santo.	118
Figura 5-3: Localização dos desastres ocorridos por área no Estado do Espírito Santo em 2019	120
Figura 5-4: Tipos e quantidade de desastres ocorridos no Espírito Santo de 2000 à 2020 (Até 29/02/2020).	120
Figura 5-5: Danos materiais (em milhões de reais) causados por desastres naturais no ES de 2000 a 2009.	121
Figura 5-6: Custos para reabilitação de danos ambientais (em milhões de reais) causados por desastres naturais no ES de 2000 a 2009.	122
Figura 5-7: Prejuízos sociais (em milhões de reais) causados por desastres naturais no ES de 2000 a 2009.....	122
Figura 5-8: Prejuízos econômicos (em milhões de reais) causados por desastres naturais no ES de 2000 a 2009.	123
Figura 5-9: Número de pessoas desalojadas e desabrigadas no Espírito Santo de 2000 a 2020 (Fevereiro de 2020).....	124
Figura 5-10: Número de pessoas mortas em desastres no Espírito Santo de 2000 a 2020 (Fevereiro de 2020).....	125
Figura 5-11 A: Precipitação acumulada em 2013	126

Figura 5-11 B: Precipitação acumulada em dezembro de 2013	126
Figura 5-12: Precipitação acumulada em Vitória nos meses de dezembro	126
Figura 5-13 A: Evento de inundação em dezembro de 2013 em Vitória	127
Figura 5-13 B: Evento de inundação em dezembro de 2013 em Vitória	127
Figura 5-14: Áreas susceptíveis a inundações em Vitória - ES	129
Figura 5-15: Primeiros materiais que chegaram em Vitória para serviços de água, luz e esgoto em fevereiro de 1909.....	130
Figura 5-16: Um dos tanques auxiliares do primeiro sistema de esgoto de Vitória.....	131
Figura 5-17: ETAR de Mulembá, Vitória (2003)	133
Figura 5-18: Localização da bacia de estudo	137
Figura 5-19 A: Coletor retangular fechado	139
Figura 5-19 B: Estação de bombeamento de Bento Ferreira	139
Figura 5-20: Rede de drenagem de Bento Ferreira	139
Figura 6-1: Hietograma de precipitação para os diferentes cenários.	145
Figura 6-2: Nível de maré para os diferentes cenários.	145
Figura 6-3: Opções de solução nº1 (A) e nº 2 (B) proposta pelo PDDU. A opção nº2 substitui o reservatório R2 pelo coletor adicional (17). As caixas em cinza indicam a localização dos reservatórios enterrados e em vermelho a proposta de construção de reservatórios adicionais.	147
Figura 6-4: Simulação SWMM para o Bairro de Bento Ferreira, no momento crítico de chuva (coletores em carga) no período de retorno de 1 ano.....	152
Figura 6-5: Áreas de inundação na bacia de Bento Ferreira, estimada com a simulação SWMM, para o período de retorno de 1 ano.....	153
Figura 6-6: Simulação SWMM para o bairro de Bento Ferreira, no momento crítico de chuva (coletores em carga) no período de retorno de 10 anos.	154
Figura 6-7: Áreas e alturas de inundação no bairro de Bento Ferreira para o período de retorno de 10 anos.	155
Figura 6-8: Simulação SWMM para o bairro de Bento Ferreira no momento crítico de chuva (coletores em carga) para o período de retorno de 50 anos.....	156
Figura 6-9: Áreas e alturas de inundação no bairro de Bento Ferreira para o período de retorno de 50 anos.	157
Figura 6-10: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira com o acréscimo das alterações climáticas, para o período de retorno de 1 ano.	158
Figura 6-11: Comparação de áreas inundadas no bairro de Bento Ferreira para o cenário atual e o cenário com alterações climáticas e período de retorno de 1 ano.....	159
Figura 6-12: Áreas e alturas de inundação no bairro Bento Ferreira com o acréscimo das alterações climáticas, para o período de retorno de 10 anos.	160
Figura 6-13: Comparação de áreas inundadas para o cenário atual e o cenário com alterações climáticas e período de retorno de 10 anos no bairro de Bento Ferreira.	161
Figura 6-14: Áreas e alturas de inundação no bairro Bento Ferreira, com o acréscimo das alterações climáticas, para o período de retorno de 50 anos.	162
Figura 6-15: Comparação de áreas inundadas para o cenário atual e o cenário com alterações climáticas e período de retorno de 50 anos.	163
Figura 6-16: Localização dos reservatórios na bacia de Bento Ferreira.....	164
Figura 6-17: Áreas de inundação no bairro de Bento Ferreira, após melhorias no sistema de drenagem, para o período de retorno de 1 ano.....	165
Figura 6-18 Comparação de áreas inundadas no bairro de Bento Ferreira, para os cenários 1 e 3 e 1 ano de período de retorno.	165

Figura 6-19: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira, com implementação de melhorias no sistema de drenagem, para o período de retorno de 10 anos.....	166
Figura 6-20: Comparação de áreas inundadas no bairro Bento Ferreira para os cenários 1 e 3, para o período de retorno de 10 anos.	167
Figura 6-21: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira após implementação de melhorias no sistema de drenagem, para o período de retorno de 50 anos.	168
Figura 6-22: Comparação de áreas inundadas no bairro Bento Ferreira para os cenários 1 e 3, para o período de retorno de 50 anos.	168
Figura 6-23: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira após implementação de melhorias no sistema de drenagem com incremento das alterações climáticas, para o período de retorno de 1 ano.	169
Figura 6-24: Comparação de áreas inundadas no bairro Bento Ferreira para os cenários 2 e 4 para o período de retorno de 1 ano.....	170
Figura 6-25: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira após a implementação de melhorias no sistema de drenagem sob efeito das alterações climáticas, para o período de retorno de 10 anos.....	171
Figura 6-26: Comparação entre áreas inundadas no bairro Bento Ferreira nos cenários 2 e 4, para o período de retorno de 10 anos.....	172
Figura 6-27: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira após a implementação de melhorias no sistema de drenagem sob efeito das alterações climáticas, para o período de retorno de 50 anos.....	173
Figura 6-28: Comparação entre áreas inundadas no bairro Bento Ferreira nos cenários 2 e 4, para o período de retorno de 50 anos.	174
Figura 6-29: Classificação do sistema viário na bacia de Bento Ferreira	177
Figura 6-30: Obras no sistema de drenagem na área de estudo (março-2020).....	187

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3-1: Análise do conceito de resiliência por sistema de pensamento.	32
Quadro 3-2: Principais componentes de sistemas de água residual e sua respectiva finalidade. 51	
Quadro 3-3: Cronologia da Legislação Federal sobre recursos hídricos e drenagem urbana no Brasil.	68
Quadro 4-1: Classificação da avaliação de resiliência urbana face a inundações	110
Quadro 5-1: Crescimento populacional na cidade de Vitória.....	113
Quadro 5-2 Principais perigos nas áreas costeiras	115
Quadro 5-3: Vulnerabilidades relacionadas com inundações costeiras em Vitória	117
Quadro 5-4: Maiores precipitações acumuladas por mês nos últimos 15 anos.....	127
Quadro 5-5: Maiores precipitações acumuladas por dia nos últimos 15 anos.	128
Quadro 5-6: Características do sistema de drenagem de Vitória – ES.....	135
Quadro 5-7: Características da Bacia de Bento Ferreira, em Vitória.	138
Quadro 6-1: Características das diferentes intervenções propostas pelo PDDU para a Bacia de Bento Ferreira.	147
Quadro 6-2: Análise de custos-benefícios para a instalação progressiva de cada fase/solução.	149
Quadro 6-3: Resumo dos valores para o primeiro cenário	150
Quadro 6-4: Resumo dos valores para o segundo cenário	150
Quadro 6-5: Resumo dos resultados para o período de retorno de 1 ano	153
Quadro 6-6: Resumo dos resultados para o período de retorno de 10 anos	155
Quadro 6-7: Resumo dos resultados de volumes extravasados, áreas inundadas e duração para o período de retorno de 50 anos	157
Quadro 6-8: Resultados do indicador de desempenho ID1.	176
Quadro 6-9: Resultados do indicador de desempenho ID2.....	176
Quadro 6-10: Cálculo do fator $F_{j,i}$	177
Quadro 6-11: Cálculo do M3 para vias coletoras	178
Quadro 6-12: Cálculo do M3 para vias metropolitanas	178
Quadro 6-13: Cálculo do M3 para vias locais	178
Quadro 6-14: Resultados do indicador de desempenho ID3.....	179
Quadro 6-15: Resultados do indicador de desempenho ID4.....	179
Quadro 6-16: Resultados do indicador de desempenho ID5.....	180
Quadro 6-17: Resultados do indicador de desempenho ID6.....	180
Quadro 6-18: Resultados do indicador de desempenho ID7.....	181
Quadro 6-19: Definição dos grupos de indicadores e pesos aplicados aos indicadores de desempenho.....	181
Quadro 6-20: Indicador de Resiliência Urbana face às Inundações (IRUI) da área de estudo .	182
Quadro 6-21: Índice global para a avaliação da Resiliência Urbana face às Inundações (ARUIg) na área de estudo.	183

LISTA DE ACRÓNIMOS E SIMBOLOGIA

100 RC - 100 Resilient Cities

AR5 – Quinto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre mudanças climáticas

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

CE – Comunidade Europeia

CEE – Comunidade Económica Europeia

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

Cesan - Companhia Espírito Santense de Saneamento

CFCs - Clorofluorcarbonetos

CH₄ - Metano

CIRIA – Construction Industry Research and Information Association

CN – Curve Number

CO - Monóxido de carbono

CO₂ - Dióxido de carbono

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CRI - City Resilience Index

CRO - Chief Resilience Officer

DAE - Departamento de Água e Esgoto

DHN -Diretoria de hidrografia e navegação

DQA – Diretiva Quadro da Água

ENOS – El Niño Oscilação Sul (sigla em inglês – ENSO)

EPA – United States Environmental Protection Agency

ES – Espírito Santo

ETAR – Estação de tratamento de águas residuais

ETE – Estação de tratamento de esgoto (designação brasileira)

EWMS – Early-warning and monitoring systems

FF - Frentes Frias

FResI - Flood Resilience Index

FRI – Flood Resilience Index

FRM – Flood Risk Management

FRMC – Flood Resilience Measurement for Communities
FRMF – Flood Resilience Measurement Framework
FRMT – Flood Resilience Measurement Tool
GEE – Gás de efeito estufa
GPS - Global Positioning System
GRID - Global Report on Internal Displacement
GTP – Global Temperature Change Potencial
GWP – Global Warming Potencial
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOC - Comissão Oceanográfica Intergovernamental
IOS – Índice de Oscilação Sul (sigla em inglês – SOI)
IPCC - Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas
IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano
IRB – Instituto de Resseguros do Brasil
IRU – Indicador de Resiliência Urbana
ISO - International Organization for Standardization
LID – Low Impact Development
LIUDD – Low Impact City Design and Development
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MG - Minas Gerais
N₂O - Óxido nitroso
NO_x - Óxidos de nitrogênio
OAN – Oscilação Atlântico Norte (sigla em inglês – NAO)
OCHA - Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (United Nation)
ONG's -Organizações Não Governamentais
ONU – Organização das Nações Unidas
PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

PDU – Plano Diretor Urbano

pEWMS – Participatory early-warning and monitoring systems

PGDL – Plano Geral de Drenagem de Lisboa

PMV – Prefeitura Municipal de Vitória

PNR - Propriedades Não Residenciais

Ppm - Partes por milhão

Prodespol - Programa de Despoluição dos Ecossistema Litorâneos do Estado do Espírito Santo

PVC – Polyvinyl chloride

RCP - Representative Concentration Pathways

RESCCUE - RESilience to cope with Climate Change in Urban arEas

RS – Rio Grande do Sul

SAM – Modo Anular Sul (sigla em inglês)

SCS – Soil Conservation Service

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Gases de Efeito Estufa

SES's - Social-ecological systems

S-FRESI – Spacialized Urban Flood Resilience Index

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SMAS - Sistema de Monções da América do Sul

SO₂ - Dióxido de enxofre

SP - São Paulo

SSP -Shared Socio-Economic Pathways

SUDS – Sustainable Urban Drainage Systems

SWMM - Storm Water Management Model

TC – Tempo de concentração

UE – União Europeia

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change

Un-Habitat - Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos

W m⁻² - Watts por metro quadrado

WSUD – Water Sensitive Urban Design

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCPS - Zona de Convergência do Pacífico Sul

ZFRA – Zurich Flood Resilience Aliance

PREÂMBULO

Como moradora de Vitória-ES, foi possível presenciar várias vezes as inundações da cidade nas áreas mais baixas, principalmente durante as chuvas de Verão, que são mais rápidas e mais intensas. Além de acompanhar ativamente todos os transtornos causados pelas pequenas inundações, como atravessar as vias inundadas, a água que entra nos carros estacionados, o caos na circulação, entre outros.

As grandes catástrofes também estão na memória coletiva, como o deslizamento no Morro do Macaco (Vitória – ES), que aconteceu no Verão de 1985, deixando 30 mortos, 150 feridos, 600 famílias desabrigadas e vários desaparecidos. Apesar da pouca idade nessa época, a tragédia ainda continua na lembrança dos moradores do bairro onde passei grande parte da vida (Tabuazeiro).

Com o meu interesse pela Ciências Naturais, segui meu percurso acadêmico no curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, continuando no curso de Geografia, onde o meu interesse nesse aspeto aumentou e passei a ter contacto com técnicos da defesa civil. Minha monografia do curso de Geografia foi o estudo de áreas inundáveis próximo ao Rio Formate em Viana, Município do Espírito Santo, e as consequências para os moradores.

Prossegui nessa área e fui aceite como aluna especial no mestrado em Engenharia Ambiental, onde os estudos abordavam as inundações e a interface com o mar. Onde passei a compreender com detalhes, simular e prever, o fenómeno muitas vezes visto nas ruas de Vitória, onde as tampas dos bueiros (tampão de poço de visita) saltam e formam uma espécie de chafariz, devido a intrusão da água do mar na rede de drenagem. Infelizmente, por motivos pessoais não prossegui com o curso e decidi estudar no exterior.

Já em Lisboa, segui com os estudos avançados em Geografia para Universidade de Lisboa e migrei para o doutoramento em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável, sempre atuando em pesquisas na área de inundações urbanas.

Com a conclusão da parte letiva do doutoramento, segui para o desenvolvimento da tese no Instituto Superior Técnico, onde pude participar de cursos, eventos e grupos de estudo para o aprofundamento dos estudos de drenagem urbana e modelação de sistemas de drenagem. Além dos estudos e cursos voltados para a área da resiliência. Desse período, com os dados, pesquisas e simulações da área de estudo, o conhecimento adquirido e a troca de conhecimento com os colegas do grupo de estudo, resultaram em duas dissertações de mestrado em engenharia civil e boa parte da presente tese.

A tese foi concluída no departamento de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, com o retorno às bases da minha formação académica, trazendo o conhecimento adquirido das diversas áreas que passei, com a satisfação de conciliá-las de forma a contribuir com sugestões práticas e melhorias de um problema que continua atual.

1.INTRODUÇÃO

1.1. Inundações como eventos extremos: do global ao regional

As inundações urbanas constituem uma preocupação relevante na sociedade, interagindo com aspetos físicos, sociais e ambientais. São acontecimentos tão antigos quanto a formação das cidades, pois as pessoas sempre procuraram estabelecer-se em áreas ribeirinhas, muitas vezes inundáveis, com a finalidade de utilizarem as massas de água para consumo, irrigação, hidrovia, entre outras utilizações. Atualmente, o fenómeno tornou-se mais intenso e severo sendo agravado com o aumento da urbanização, ocupação do território e consequentemente impermeabilização do solo, tornando-se fonte de preocupações para governos e sociedade civil, as quais vivem, frequentemente, mais inseguras e preocupadas com a possibilidade de eventos de impactos elevados (Tucci, 2007). As inundações então entre os eventos extremos de origem natural que são mais comuns, que mais atingem as populações e que podem provocar desastres (OCHA, 2020).

Os desastres desencadeados por eventos extremos dependem de características regionais como as estruturas físicas do local (topografia, geomorfologia, influência do mar), características físicas do território, estrutura socioeconómica, além da influência das alterações climáticas fomentando o aumento das ocorrências de desastres naturais (Debortoli et al., 2016).

Devido às alterações climáticas, tem-se notado o aumento de alguns eventos extremos, são observadas mudanças relativas à frequência dos eventos, à intensidade, à extensão espacial e a duração. Também são observados eventos ligados a causas antrópicas e não-climáticas como as associadas a atividades humanas intensificadas, degradação do ambiente e a negligência com as práticas de desenvolvimento sustentável (Debortoli et al., 2016).

Os desastres de cunho ambiental e climático, tem ampliado os problemas sociais tendo como consequência a ampliação dos problemas como os chamados refugiados ambientais ou os refugiados climáticos. Segundo o Global Report on Internal Displacement - GRID (2020) durante os anos de 2009 a 2019, ocorreram 24,9 milhões de deslocados devido a eventos extremos a nível mundial. Desse total, 23,9 milhões estavam relacionados com o clima, onde 13 mil foram associados a tempestades, ciclones, furacões e tufões; 10 mil foram associados a inundações e o restante associados a secas, deslizamentos, temperaturas extremas, incêndios florestais, entre outros. Cerca de 5,1 milhões de pessoas de 95 países e territórios vivem no *status* de refugiados por desastres climáticos e ambientais, destes 1,2 milhões associam seu deslocamento a situações de secas e inundações. A maioria das deslocções por desastres são associadas a tempestades tropicais e chuvas de monções na Ásia (GRID, 2020).

As Américas possuem 6,4% do total global de deslocados devido a desastres, durante o período de 2009 a 2019, em 2019 foram aproximadamente 1,5 milhões de deslocados por desastres nesse continente (GRID, 2020).

Segundo o relatório OCHA - Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, United Nation, (2020), a América Latina e o Caribe são a segunda região mundial mais propensa a desastres causados por eventos extremos. Entre 2000 e 2019 foram 152 milhões de pessoas atingidas por 1.205 desastres. As inundações estão entre os desastres mais comuns, afetando 41 mil pessoas na América Latina durante esse mesmo período. O Brasil figura no ranking como o 15º país com a população mais exposta a inundações.

O Brasil possui maior tendência a ser afetado por desastres de natureza hidrometeorológica, devido ao seu clima tropical caracterizado pela grande evaporação e elevados valores de precipitação. As condições naturais, podem ser associadas a outros fatores como a exploração de áreas florestais sem o devido manejo sustentável, a expansão das fronteiras agrícolas de forma insustentável, a gestão territorial urbana deficitária, a falta de aplicação de leis ambientais e sanitárias, o desmatamento de áreas de risco como vertentes e margens de rios, assentamentos irregulares, disposição de

resíduos sólidos em vertentes e rios, pavimentação excessiva das áreas urbanas, erosão do solo devido a práticas insustentáveis e assoreamento dos corpos d'água. Portanto, os desastres naturais no Brasil podem ser associados a causas naturais e antrópicas (Debortoli et al., 2016).

Eventos extremos de maior ou menor intensidade têm atingido o Brasil nos últimos anos e são intensificados devido ao aumento da densidade populacional residente em área de risco (Dias et al., 2018). Como por exemplo, os eventos ocorridos no Estado de Santa Catarina em 2008 e 2009¹ e no Rio de Janeiro em 2011², afetaram moradias em áreas de montanha, anteriormente ocupadas por mata nativa.

Como prova dessas ocorrências extremas no Brasil tem-se nos últimos 20 anos, as secas na Amazônia em 2005 e 2010 e as inundações em 2009, 2012, 2014 (Debortoli et al., 2017) e 2021. As últimas inundações na Amazônia (2021), afetaram 52 dos 62 municípios do Estado, sendo que 25 municípios foram enquadrados como situação de emergência e afetaram 400 mil pessoas (G1 AM, 2021).

As inundações e deslizamento de terra, causados pelas fortes chuvas no Vale do Itajaí no Estado de Santa Catarina nos anos de 2008 e 2009, causaram relevantes perdas econômicas e sociais. Esses eventos causaram 135 mortes, milhares de afetados em 60 cidades e um prejuízo de aproximadamente 5 mil milhões de reais (aproximadamente 7,6 milhões de Euros) (Dias et al., 2018).

Além disso, em 2011 ocorreram chuvas intensas na região de montanha do Estado do Rio de Janeiro, provocando inundações e deslizamentos de terra. Foram 900 mortos, 300 desaparecidos e milhares de desalojados e desabrigados após o desastre. Os

¹(<https://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL881606-5598,00-CHUVAS+EM+SANTA+CATARINA+COBERTURA+COMPLETA.html>)

(<http://g1.globo.com/bomdiabrasil/0,,MUL1298820-16020,00-SANTA+CATARINA+DECRETA+SITUACAO+DE+EMERGENCIA+EM+MUNICIPIOS.html>)

² (<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/chuvas-no-rj/noticia/2011/01/chuva-na-regiao-serrana-e-maior-tragedia-climatica-da-historia-do-pais.html>)

prejuízos foram de aproximadamente 4,8 mil milhões de reais (7,3 milhões de Euros) (Dias et al., 2018).

Já na região do semi-árido do nordeste brasileiro entre 2012 e 2017 houve um período de estiagem, sendo um dos maiores períodos de seca já registados nessa região (Rebello, 2018). Já na região sudeste as secas ocorridas durante o período de 2014 a 2017 geraram uma das maiores crises hídricas da região Metropolitana de São Paulo (Rebello, 2018). O principal manancial do sistema de abastecimento de água, o sistema Cantareira, chegou a atingir durante esse período 2,9 % da sua capacidade utilizável (Calixto & Imercio, 2014).

Durante o ano de 2020 o período de seca, associado ao desmatamento, o Brasil registou o recorde de incêndios florestais na região centro-oeste (Pantanal) e na Amazônia. Na região do Pantanal foram registados mais 4 mil focos de incêndio, 1.100 000 hectares do Pantanal foram atingidos pelo fogo na área do Estado do Mato Grosso do Sul, que abriga 65% do bioma, na parte pertencente ao Estado do Mato Grosso, correspondente a 35% do bioma, 120 mil hectares foram consumidos pelo fogo (Lemos, 2020).

Os focos de incêndios na Amazônia em 2020, foram 28% maiores que 2019 chegando a ter mais de 6 mil focos em julho e mais de 29 mil focos em agosto. De janeiro a agosto as queimadas já eram em maior número que nos últimos 10 anos. Nos primeiros 15 dias de setembro, foram registados mais de 20 mil focos de queimadas (WWF Brasil, 2020).

Durante o mês de janeiro de 2020, o Estado do Espírito Santo registou ocorrências de inundações e deslizamentos nos Municípios da região sul e serrana. Nesse mesmo período as chuvas também atingiram os Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. No Espírito Santo, até dia 30 de janeiro, foram contabilizados 10 mortos, 10 feridos, 2030 desabrigados e 12 735 desalojados. Dezenas de rodovias foram interditadas totalmente ou parcialmente (CEPDEC, 2020).

Os prejuízos na agropecuária foram estimados em 88 milhões de reais (13,5 milhões de Euros). As atividades mais afetadas foram a cafeicultura, fruticultura e horticultura (G1 ES, 2020).

Essas ocorrências sinalizam para uma relação entre as alterações climáticas e o aumento da frequência e da magnitude dos eventos extremos, e seus impactos apontam para uma ameaça real para a sociedade, principalmente os mais vulneráveis que se encontram em áreas de risco.

As inundações em meio urbano podem provocar a perda de vidas humanas, prejuízos económicos, danos nas propriedades e no ambiente e a deslocação de população para zonas menos expostas. No caso do município de Vitória – Espírito Santo, Brasil, após um evento de precipitação intensa, são atingidas primeiramente as vias de comunicação, gerando interrupção e trânsito caótico, e chegando a impedir o fluxo continuado de pessoas e bens. Muitas casas e estabelecimentos comerciais são igualmente atingidos, levando a prejuízos económicos graves e a relocação de moradores (Debortoli et al., 2016).

Nesse contexto, ressalta-se a necessidade de investir recursos em desenvolvimento de resiliência e tecnologia, como a introdução de sistemas de monitorização e aviso para eventos extremos, a educação ambiental das comunidades mais susceptíveis e que residem nas áreas de risco. A magnitude do abrangimento de um desastre está diretamente ligada aos aspetos de vulnerabilidade e exposição das populações em áreas de risco (Dias et al., 2018).

1.2. Problemática e objetivos da tese

A motivação inicial dessa pesquisa é a resiliência aos efeitos negativos das inundações em meio urbano, com aplicação à cidade de Vitória -ES (Brasil), que com o passar do tempo apresenta problemas relativos a inundações em meio urbano, principalmente devido o aumento da dinâmica de ocupação.

A problemática central do trabalho são as inundações urbanas, as principais áreas afetadas e suas consequências. A pergunta da tese é: O que pode ser feito para aumentar a resiliência às inundações urbanas, com foco em intervenções sem custos desproporcionados? A hipótese é que o investimento em medidas não físicas é relevante para o aumento da resiliência.

O objetivo geral da pesquisa é apresentar uma estratégia adequada para avaliar e melhorar a resiliência a inundações e que pode ser adaptada segundo as características locais.

Os objetivos específicos incluem:

- Desenvolver uma metodologia simples e clara com indicadores relativamente fáceis de calcular, para a avaliação técnica da resiliência urbana face às inundações, tendo em conta as interdependências e efeitos cascata com outros serviços e infraestruturas;
- Analisar o potencial do modelo desenvolvido de avaliação de resiliência para um caso real com suas devidas adaptações locais;
- Propor medidas físicas e não físicas que resultem em estratégias locais de aumento de resiliência, quantificáveis pela metodologia elaborada.
- Avaliar a resiliência às inundações frente a cenários de alterações climáticas e incremento estrutural do sistema de drenagem.

As ferramentas com as quais se pretende trabalhar são, em parte, inovadoras. As pesquisas no âmbito da resiliência estão avançando e há um esforço em unir as mudanças técnicas e estruturais às mudanças sociais. Por exemplo, no Brasil, a metodologia Fresl (Miguez & Veról, 2016), foi aplicada a uma bacia hidrográfica na região metropolitana do Rio de Janeiro, produzindo mapas de inundação usando um modelo matemático que inclui aspetos socio-económicos.

O caráter inovador da tese reside fundamentalmente no desenvolvimento de uma metodologia de avaliação técnica de resiliência urbana face a eventos de inundações, que inclui as falhas nos equipamentos urbanos, importantes para o funcionamento de uma cidade, as interrelações entre eles e o efeito cascata. Também foram incluídos diferentes cenários de avaliação, a fim de aumentar a resiliência frente às inundações podendo levar em consideração os cenários de alterações climáticas e incremento estrutural no sistema de drenagem.

A pesquisa foi desenvolvida em duas fases: Uma teórica e outra prática (estudo de caso). A fase teórica compreende três etapas: na primeira é definido o problema da investigação e seus objetivos. É feita uma breve contextualização e são apresentados alguns conceitos importantes para esse estudo. Na segunda etapa, é desenvolvida uma revisão bibliográfica de temas pertinentes e importantes à pesquisa que dão suporte para o desenvolvimento prático da fase seguinte. E por fim, a terceira etapa descreve a metodologia adotada nessa investigação.

O estudo de caso é estruturado em cinco etapas. Na primeira etapa é feito o levantamento de dados, que procuram as informações necessárias para o desenvolvimento do estudo. A segunda etapa é a etapa prática, onde são desenvolvidas as simulações de variáveis hidráulicas em cenários definidos (atual e futuro) e aplicados num estudo de caso. Logo após, na terceira etapa, são feitos os cálculos de indicadores de desempenho e índice de resiliência. Na quarta etapa, é feita a avaliação da resiliência do caso de estudo para validação da pesquisa. E por fim, na última etapa (quinta) são propostas medidas físicas e não físicas que podem melhorar a resiliência à inundação na área de estudo e a discussão dos resultados.

Por fim, reflete-se sobre as limitações deste trabalho, identificando linhas de pesquisas futuras e, apresentam-se as considerações finais da investigação.

1.3. Organização da Tese:

A tese é organizada em sete capítulos.

O **primeiro capítulo** apresenta a introdução da tese.

O **segundo capítulo** desenvolve o tema das alterações climáticas e seus efeitos na drenagem urbana. São abordadas as relações entre as alterações climáticas e a urbanização, são discutidos os principais fenômenos físicos que impactam o microclima urbano, e relacionados os impactos das alterações climáticas sobre a drenagem urbana e os impactos das inundações nas infraestruturas urbanas.

O **terceiro capítulo** aborda o tema da resiliência urbana. São apresentados os conceitos de resiliência e resiliência urbana, as estratégias de avaliação da resiliência urbana e as medidas para aumentar a resiliência urbana a inundações.

O **quarto capítulo** apresenta a metodologia da investigação que envolve o levantamento de dados, a simulação de variáveis hidráulicas, a calibração do modelo, os indicadores de desempenho, e o índice de resiliência.

O **quinto capítulo** apresenta o estudo de caso. São apresentados: a área de estudo, os eventos extremos de inundações urbanas no estado, os aspetos históricos da drenagem da cidade de Vitória e o Plano diretor de drenagem urbana de Vitória. É igualmente realizada uma avaliação dos resultados de inquéritos na área de estudo.

O **sexto capítulo** faz a avaliação da resiliência urbana no caso de estudo, definindo as características do sistema. São realizados diagnósticos e propostas para o sistema e realizadas as simulações de acordo com os cenários definidos. Por fim são aplicados os indicadores de desempenho e o índice de resiliência urbana a inundações da área de estudo.

O **sétimo capítulo** apresenta as considerações finais da investigação.

2. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA DRENAGEM URBANA

2.1. Conceitos de Alterações Climáticas

A crescente industrialização e urbanização marcam a história da humanidade a partir da revolução industrial no século XVIII. Além dos grandes avanços tecnológicos, surgiu também a mudança da base energética de biomassa para a combustão de combustíveis fósseis, aumentando, assim, a emissão de gases de efeito estufa.

As ações antrópicas e as próprias características da cidade, como morfologia, densidade e uso dos materiais, podem influenciar na composição da atmosfera e no comportamento das variáveis meteorológicas como radiação, temperatura, circulação do ar e precipitação. Por essa razão e devido a alta concentração de pessoas, infraestruturas e atividades, as áreas urbanas são particularmente vulneráveis aos efeitos das alterações climáticas. (Alcoforado et al, 2009).

Segundo o glossário do IPCC (Weyer et al, 2019), as alterações climáticas podem ser definidas como uma mudança no estado do clima, identificadas por mudanças na média ou na variabilidade de suas características e persistindo por um período prolongado (décadas ou mais). As mudanças climáticas podem ser conduzidas por processos naturais internos ou forçamentos externos, como modulações do ciclo solar, erupções vulcânicas e alterações antropogénicas na composição da atmosfera e alterações no uso do solo.

A convenção sobre mudanças climáticas (UNFCCC), identificou que a mudança no clima é atribuída direta ou indiretamente às atividades humanas que modificam a composição da atmosfera global e alteram a variabilidade natural do clima ao longo de um período de tempo comparável.

O IPCC AR5 (2013 a) utiliza vários parâmetros como indicadores das mudanças climáticas, entre eles: as mudanças das temperaturas da superfície global e regional da

terra, a mudança nas concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera, o aumento do nível do mar, a acidificação dos oceanos e a perda de gelo nas regiões polares (Figura 2-1).

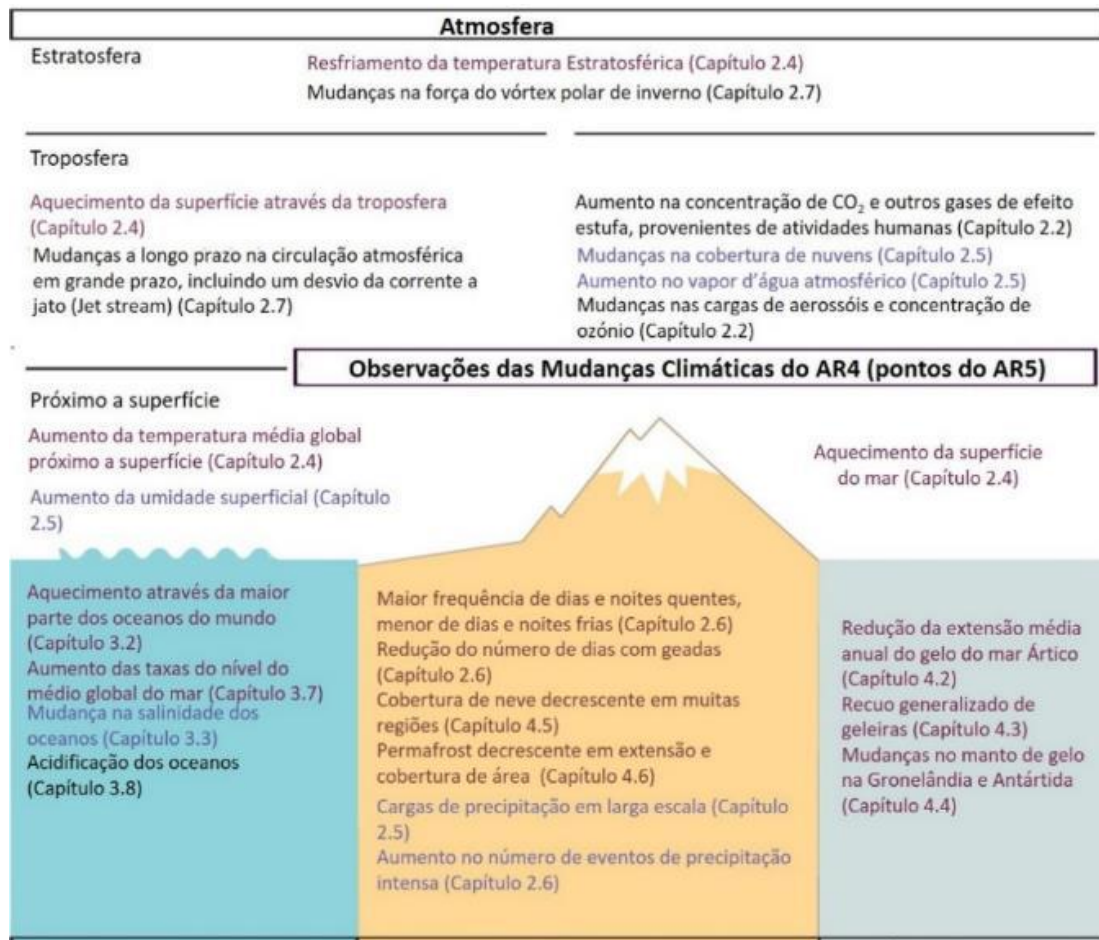


Figura 2-1: Principais indicadores de mudanças climáticas globais com indicação dos capítulos do relatório IPCC AR5.

Adaptado de IPCC (2013 a)

2.2. Alterações climáticas e urbanização

Os efeitos específicos da mudança climática nos sistemas urbanos podem variar dependendo de sua localização, mas incluem graves eventos climáticos, como tempestades e ciclones, aumento da incidência de inundações e um aumento das temperaturas máximas que pode provocar reduções na disponibilidade de água potável.

O IPCC (2014) já previa alguns impactos das alterações climáticas em áreas urbanas durante o século XXI. As vulnerabilidades identificadas concentram-se no aumento acentuado de temperatura devido a conjugação dos efeitos das alterações climáticas com a ilha de calor urbana; aumento dos riscos associados a precipitações intensas, como cheias e inundações; em algumas regiões as precipitações médias irão diminuir, comprometendo o abastecimento de água; nas áreas costeiras, o aumento de tempestades e a subida do nível do mar pode gerar inundações e até a submersão de bairros litorâneos; haverá um aumento da poluição atmosférica provocada pelo tráfego intenso de automóveis e pelas atividades industriais; a qualidade da água vai ser afetada devido à diminuição dos caudais e ao aumento dos efluentes líquidos e gasosos, além dos resíduos sólidos; e prevê-se um aumento da intensidade e frequência de vagas de calor.

No que diz respeito à urbanização, o uso do solo tem impacto significativo, causando a impermeabilização que influencia diretamente o balanço hídrico. Quando um solo possui vegetação (antes da urbanização) o escoamento superficial da água é menor do que em um terreno impermeabilizado, e mais distribuído no tempo, uma vez que a infiltração é maior. A impermeabilização do solo diminui a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial, contribuindo para as inundações urbanas (Figura 2-2).

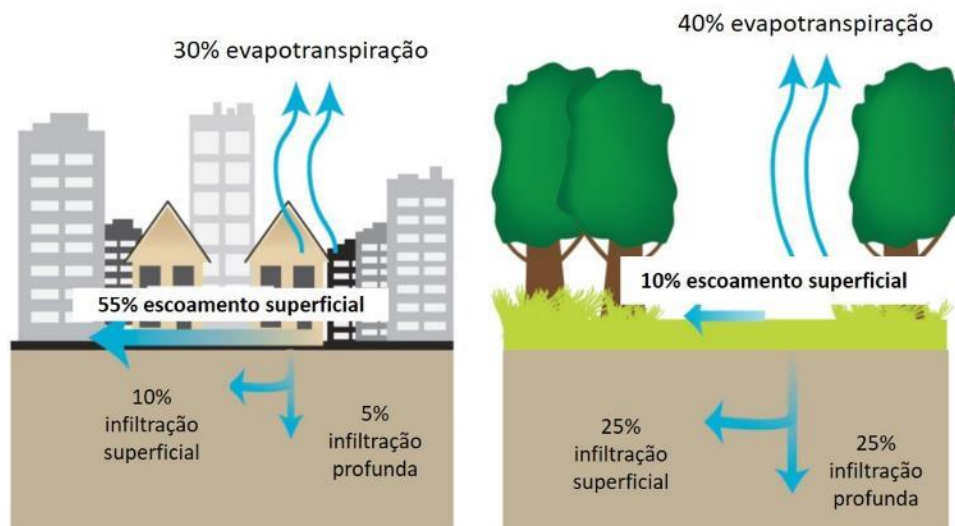


Figura 2-2: Diferenças de infiltração e escoamento artificial em áreas urbanas e áreas vegetadas.

Adaptado de EPA (2008)

2.3. Impacto das Alterações Climáticas na drenagem urbana

As alterações climáticas podem impactar na drenagem urbana de duas formas: pela subida do nível do mar em cidades litorâneas e por mudanças nos padrões de precipitação.

2.3.1. Subida do nível do mar

Segundo o IPCC, as principais razões do aumento do nível do mar são: O aquecimento dos oceanos com a expansão térmica e a fusão das massas de gelo dos polos. O relatório especial IPCC (Oppenheimer et al.,2019), no capítulo 4 apresenta a simulação do aumento do nível do mar em diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa (GEE), utilizando diferentes metodologias.

A partir do relatório IPCC-AR5 (2013), foram incluídos nos relatórios os cenários RCP's (*Representative Concentration Pathways*), que apresentam cenários com séries temporais de emissões e concentrações de GEE's e o consequente forçamento

radioativo. Cada RCP, fornece um dos muitos cenários possíveis e suas características específicas quanto ao forçamento radioativo (Weyer et al.,2019).

Os principais cenários RCP são: RCP 2.6, caracterizado por baixas emissões de GEE's; RCP4.6 e 6.0, caracterizados por médios níveis de emissão de GEE's e RCP 8.5, caracterizado por altos níveis de emissão de GEE's. No relatório especial IPCC de 2019, foram introduzidos novos cenários, contemplando os SSPs (Shared Socio-Economic Pathways), que incluem na metodologia o sequestro de carbono. Para o presente trabalho, utiliza-se apenas os cenários RCP's.

Pode observar-se na Figura 2-3, a série temporal de aumento do nível do mar para os anos de 2000 a 2100, para os RCP's 2.6, 4.5 e 8.5. As faixas média e superior indicam uma divergência entre o relatório IPCC- AR5 e o relatório especial de 2019 (SROCC), para o cenário RCP 8.5 durante a segunda metade do século XXI (Oppenheimer et al.,2019).

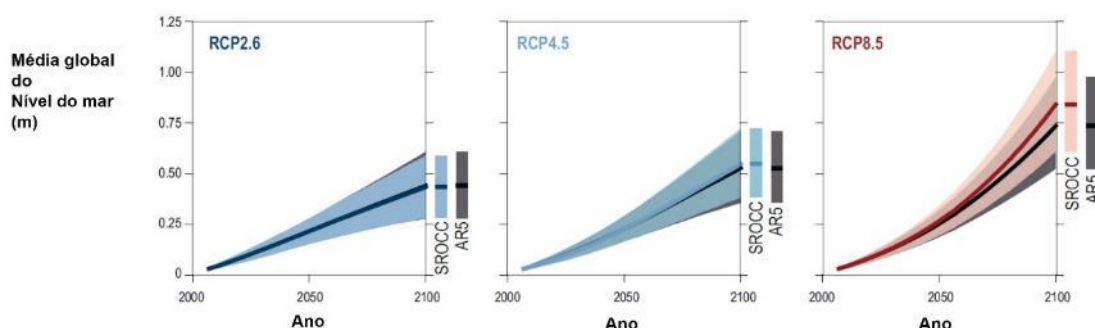


Figura 2-3: Série temporal de nível médio do mar usando os cenários RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5, e os comparativos do Quinto Relatório IPCC -AR5 e o Relatório Especial do IPCC sobre oceano e a criosfera nas mudanças climáticas (SROCC).

Adaptado de Oppenheimer et al. (2019)

As projeções IPCC para o final do século XXI revelam um padrão regional na mudança na dinâmica do nível do mar. O Oceano Austral mostra um declínio líquido em relação à média planetária, enquanto o oceano global exibe aumento do nível do mar. A elevação do nível do mar acompanha algumas correntes marinhas, como por exemplo a Corrente do Atlântico Norte. Os padrões regionais de nível do mar são resultados de várias

componentes, entre elas a força do vento, as mudanças na circulação de correntes e a redistribuição de calor e salinidade (IPCC, 2013 d).

Na Figura 2-4, pode-se observar os padrões regionais de aumento do nível do mar, as diferenças quando se trata do Oceano Austral e a influência das correntes marinhas. As atuais projeções de elevação regional do nível do mar, quando aplicadas para o cenário RCP 8.5, sofrem um aumento em quase todas as áreas, com relação aos resultados apresentados no relatório AR-5 do IPCC (Oppenheimer et al., 2019).

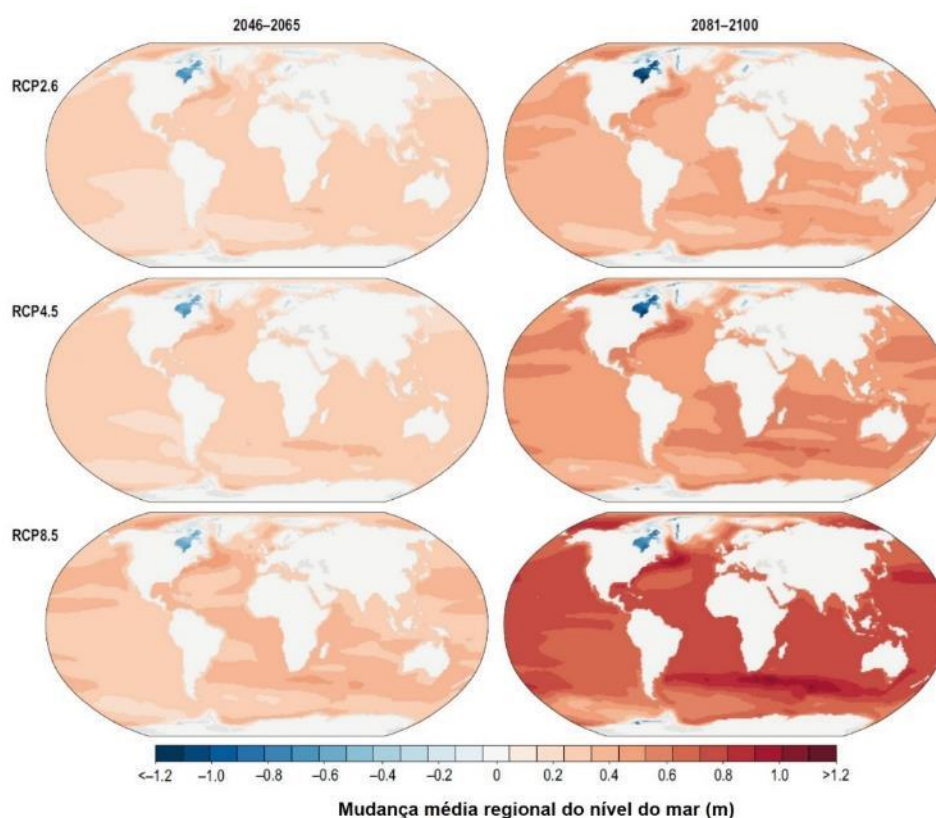


Figura 2-4: Projeção média das variações dinâmicas do nível do mar para o período de 2046-2065 (à esquerda) e 2081 a 2100 (à direita) calculados para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5.

Fonte: Oppenheimer et al. (2019)

Em estudos mais recentes acerca do aumento do nível do mar, foi possível comparar os relatórios anteriormente publicados, contendo projeções de aumento do nível do mar utilizando metodologias diversas (Figura 2-5). Verificou-se que as projeções anteriores

ao Primeiro Relatório IPCC, variavam de 1,32 a 1,81 metros na faixa máxima estimada. Já a faixa mínima variava entre 0,43 e 1,20 metros. A faixa mínima equivalia a um nível de elevação do mar previsto até o ano de 2100 em um cenário de baixas emissões. E os valores máximos equivaliam a cenários de altas emissões em uma escala de tempo maior (Ganner et al., 2018).

Ao longo do tempo, as projeções de subida do nível do mar têm sofrido um decréscimo. Para projeções para o final do século XXI, no Primeiro Relatório do IPCC (FAR) estimava-se a variação entre 0,26 e 1,13 metros. No Segundo Relatório IPCC (SAR) essa variação estava entre 0,13 e 0,94 metros. No Terceiro Relatório IPCC (TAR) ficou entre 0,09 e 0,88 metros e no Quarto Relatório IPCC (AR4), entre de 0,18 e 0,59 (Ganner et al., 2018).

A partir do Quinto Relatório IPCC (AR5), os valores voltaram a crescer, com os limites superiores de aumento do nível do mar variando entre 0,46 e 2,54 metros, e o limite inferior variando entre 0,16 e 1,55 metros (Ganner et al., 2018).

As últimas projeções publicadas no Relatório Especial do IPCC sobre oceano, criosfera e mudanças climáticas, atualiza as projeções de aumento do nível do mar em 0,18 a 0,21 metros até 2050 e 0,39 a 0,85 metros até 2100 (Oppenheimer et al., 2019).

No entanto, as projeções de aumento do nível do mar apresentam uma grande incerteza, devido às diferentes escalas de tempo utilizadas nos estudos da década de 80 do século XX em diante, além do avanço das metodologias utilizadas e das novas informações sobre o comportamento dos calotes polares, após o ano 2000 (Ganner et al., 2018).

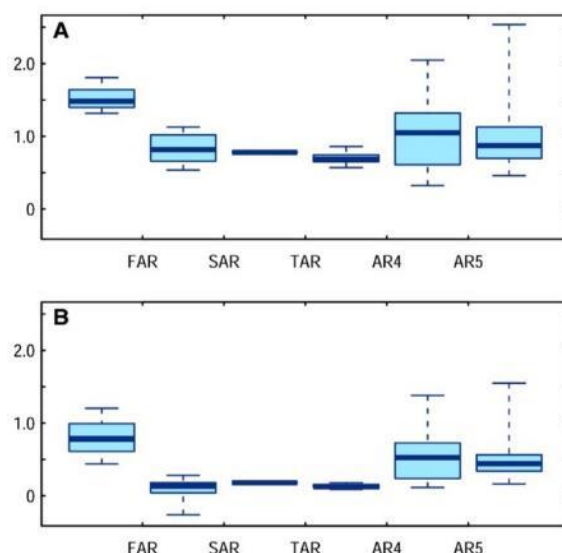


Figura 2-5: Gráfico comparativo de elevação do nível do mar ao longo do tempo. São mostradas as faixas (a) projeções de elevação do nível do mar superiores e (b) projeções de elevação do nível do mar mais baixas. As bordas da caixa se estendem dos percentis 25 a 75; a linha sólida em cada caixa mostra o 50º percentil. Os bigodes se estendem aos dados extremos, essencialmente variando de 0 a 100 percentis para mostrar a gama completa de SLR projeções em cada caso. O eixo horizontal os Relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para dividir a literatura na data de publicação, onde FAR (Primeiro Relatório IPCC), SAR (Segundo Relatório IPCC), TAR (Terceiro Relatório IPCC), AR4 (Quarto Relatório IPCC) e AR5 (Quinto Relatório IPCC).

Adaptado de Garner et al. (2018)

No Brasil, grande parte das projeções de aumento do nível do mar para o século XXI, apontam para variações de 20 a 30 cm (PBMC, 2014 a). Para os cenários previstos pelo relatório IPCC (2014), os valores variam entre 0,26 e 0,82 m até o ano de 2100.

Segundo a metodologia utilizada por Alfredini & Arasaki (2018), um cenário mais apropriado para o caso do Brasil, apresenta um aumento do nível do mar de 0,5 a 1,0 m até o ano de 2100. Apesar disso, os autores ressaltam as dificuldades de tal previsão, levando em conta a inviabilidade de se prever com precisão o comportamento do nível do mar e todos os fatores associados ao fenômeno.

Os efeitos diretos da elevação do nível do mar, incluem o aumento das inundações, erosões costeiras, aumento da salinidade em estuários e aquíferos, obstrução de sistema de drenagem, entre outros. Há também as perdas socioeconômicas, como

danos em edifícios, estruturas costeiras, perdas na agricultura e pecuária, perdas na produção industrial, serviços urbanos, favorecimento de epidemias de veiculação hídrica, culminando com o deslocamento forçado das populações (Murali, R & Kumar, P; 2015).

2.3.2. Mudanças nos padrões de precipitação

O ciclo sazonal de precipitação na América do Sul é influenciado pelo Sistema de Monções da América do Sul (SMAS). Um sistema de monção é definido pela inversão sazonal dos ventos nos baixos níveis da troposfera em resposta ao contraste térmico entre regiões continentais e oceânicas adjacentes (QUADRO et al., 2012b).

Os principais sistemas de monções estão associados às zonas de convergência atmosférica, que leva a alterações nos ciclos hídricos locais. As zonas de convergência juntamente com os oceanos tropicais desempenham um papel fundamental na determinação dos climas regionais, assim como podem influenciar a circulação atmosférica global (IPCC, 2013 e).

O SMAS tem um papel importante para o transporte de humidade para a região central da América do Sul e a configuração da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), modulando o ciclo sazonal da precipitação, sobre a América do Sul em distintas estações (seca e chuvosa), entre o equador e a latitude de 25° S (QUADRO, 2012 a).

Ferreira et al. (2011), indicam o início das monções no hemisfério sul em meados do mês de outubro, quando ocorre o início das precipitações na porção noroeste da América do Sul e gradualmente avança de sul para sudeste. Em seguida, inicia-se a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), por volta dos últimos dias do mês de outubro e início de novembro. A etapa final das monções da América do Sul ocorre com a chegada à região Amazônica, onde sua influência se associa à Zona de Convergência Intertropical.

Desse modo, tem-se sugerido que a formação da ZCAS está relacionada com o SMAS e segundo os estudos de modelação de Ferreira e Chao (2013), a presença da bacia Amazônica também é imprescindível para o estabelecimento desse sistema. Há cada vez mais evidências das mudanças nos sistemas de monções mundial, como o aumento da sua área de influência e de sua intensidade.

Como o SMAS ocorre graças à variação térmica entre continente e oceanos, uma variação na temperatura continental pode afetar o sistema de monções. Os diferentes usos do solo afetam o albedo (refletividade) das superfícies e a absorção da radiação solar da superfície terrestre aumentando o aquecimento continental. Além disso, é importante observar o aumento de aerossóis atmosféricos e a poluição atmosférica, que também podem ser uma fonte de acréscimo do aquecimento continental.

O aumento da humidade atmosférica é decorrente dos efeitos dessas mudanças no SMAS, e está associado ao aquecimento da atmosfera e aumento da precipitação total, mesmo se a força de circulação da monção enfraquece ou não muda.

Os últimos modelos climáticos preveem uma expansão das regiões monçônicas dos trópicos em direção aos polos, e um incremento de aproximadamente 15% na precipitação das monções mundiais, aumentando os riscos de eventos extremos, dependendo do cenário (Figura 2-6) (IPCC, 2013 e).

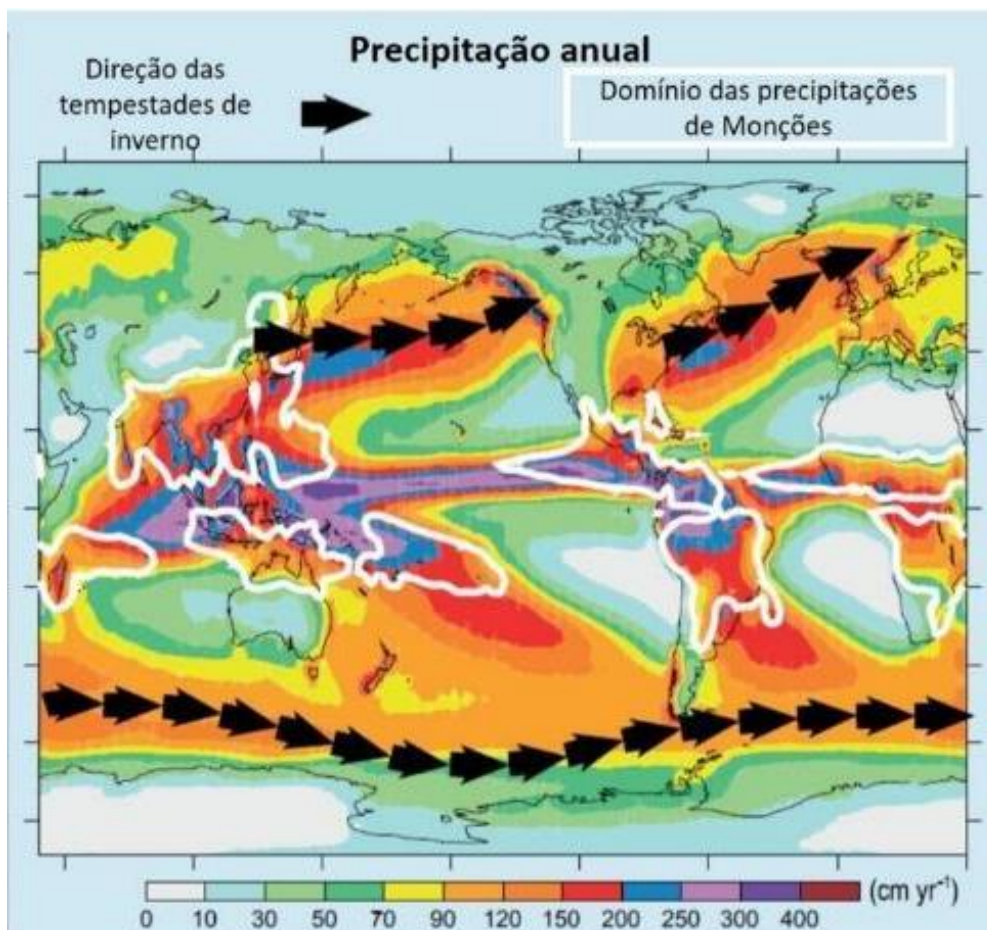


Figura 2-6: Distribuição global da precipitação média anual (em cm / ano) do banco de dados do Projeto de Climatologia Global por Precipitação 1979–2010. Os domínios de precipitações monçônicas (contornos brancos) e direção das tempestades de inverno em ambos os hemisférios (setas pretas). Os índices de modo foram retirados Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA, <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>), temperaturas globais do NASA Goddard Institute de Estudos Espaciais Análise da Temperatura da Superfície (GISTEMP, <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>) e precipitações globais do GPCP (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html>).

Fonte: IPCC (2013 e)

Segundo CUNNINGHAM et al. (2006), os episódios de chuva persistente ao longo do sudeste do Brasil relacionados com as ocorrências de ZCAS têm sido associados à interação entre a convecção tropical da América do Sul e o deslocamento de sistemas frontais de maiores latitudes.

Vários fatores podem influenciar a variabilidade da precipitação sobre a região leste do Brasil e ZCAS: temperatura da superfície do mar, uso e ocupação do solo, força das zonas

de convergência tropicais, transporte de humidade e circulação atmosférica de grande escala. A anomalia na temperatura superficial dos oceanos tem influências significativas nas chuvas tropicais da América do Sul, assim como, o efeito de larga escala produzido pelo El Niño. Através de modelos experimentais da circulação geral, foi sugerido que a ZCAS está intimamente ligada à variabilidade da Convecção Tropical do Pacífico Ocidental e à Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) (Ma et al. 2011).

Os episódios de ZCAS são importantes contribuintes para a precipitação sazonal durante o verão, na América do Sul, principalmente nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil (Rocha et al. 2009).

O sudeste do Brasil é a região mais industrializada e povoada do país e, consequentemente, uma região que é altamente vulnerável a impactos sociais e económicos adversos devido a eventos extremos de precipitação. A chuva excessiva provoca deslizamentos de terras perto da costa densamente povoada e inundações em áreas urbanas. Quando não ocorrem episódios de ZCAS, a região sudeste, que também é importante na geração de energia eléctrica e manutenção hídrica das grandes cidades, sofre com efeitos contrários, ou seja, as secas (CUNNINGHAM et al., 2006).

Em relação às precipitações, os modelos utilizados confirmam alterações em quase toda a América do Sul. O modelo CMIP5 prevê, para o final do século XXI (2081-2100), um aumento das precipitações de outubro a março sobre a parte sudeste do Brasil e Bacia do Prata, no extremo sul do Chile, na costa noroeste da América do Sul e na zona continental intertropical do Atlântico, estendendo-se a uma pequena área da costa nordeste do Brasil, e precipitações reduzidas de outubro a março no Leste do Brasil e região central do Chile. De abril a setembro são previstos aumentos da precipitação ao longo da bacia do Prata e noroeste da América do Sul. Está prevista redução da precipitação para as regiões nordeste e leste da Amazônia do Brasil e na região central do Chile (IPCC, 2013 e).

Projeções de modelo regional, e um modelo de conjunto de alta resolução indicam um aumento no número de dias secos consecutivos no nordeste da América do Sul, e o

aumento de eventos extremos de precipitação ao longo de quase todo o continente, especialmente na Amazônia, região sul do Brasil e norte da Argentina (IPCC, 2013 e).

2.4. Impacto das inundações nas estruturas físicas urbanas

As inundações são responsáveis por uma variedade de consequências que podem resultar em impactos ambientais, económicos e sociais significativos. Estes impactos podem ser desencadeados diretamente por um evento ou verificar-se ao longo de largos períodos de tempo, sob a forma de efeitos indiretos. A estimativa dos custos associados à gestão destes riscos é de natureza extremamente complexa, na medida em que os danos podem ser potencialmente reduzidos ou serem evitados (Kull, et al., 2013). Existe também a dificuldade de quantificar danos ao nível emocional.

Presentemente, os benefícios de medidas de controlo e mitigação são ainda muito subestimados tendo em conta a frequência destas catástrofes e especialmente a sua incidência em países menos desenvolvidos (Shreve & Kelman, 2014). Mas à medida que os custos associados a estes eventos continuam a aumentar, surge a necessidade de demonstrar o benefício económico das medidas de mitigação e adaptação ao risco, assim como é premente a necessidade de se analisar a exposição das populações e do património, construído e natural, a estes fenómenos.

Os impactos das inundações em cidades podem resultar em efeitos cascata ao longo dos diferentes sistemas urbanos de infraestrutura, que são interdependentes entre si, como os setores de edificações, água, saneamento, energia e transporte. A vulnerabilidade desses setores às mudanças climáticas varia de acordo com seu grau de desenvolvimento, resiliência e adaptabilidade (PBMC, 2016).

2.4.1. Estruturas residenciais, comerciais e industriais

As consequências das inundações são consideráveis. As inundações danificam as construções de diversas formas. Os danos causados por inundações podem ser diretos

ou indiretos e as medições tangíveis ou intangíveis. Danos tangíveis são aqueles possíveis de mensuração em termos monetários, o que não se aplica para os bens intangíveis.

Os danos que resultam do contato físico da água de inundação com bens e pessoas são considerados diretos, e os outros, decorrentes de interrupções e perturbações das atividades sociais e económicas durante e após as inundações, são classificados como danos indiretos (Jonov et al, 2013). Por exemplo: danos causados em um edifício são diretos e tangíveis. No entanto, se os danos englobarem um sítio arqueológico, a medição passa a ser intangível.

As perdas indiretas estão associadas aos processos desencadeados pelo evento, como perdas de produção industrial ou prejuízos para o comércio (Flood – CBA, 2014). Outro dano difícil de quantificar em toda sua extensão, abrange os desalojados e a geração de “refugiados do clima”, nomeadamente atendendo a que algumas áreas costeiras atingidas pelo aumento do nível do mar, se tornam inabitáveis.

2.4.2. Sistemas de transporte

As inundações e deslizamentos de terra, podem causar danos às infraestruturas de transporte como rodovias, ferrovias, serviços aéreos, metro, portos e pontes. Além disso, os danos nesse sistema têm um efeito cascata, transmitindo os prejuízos a outros setores e serviços, ao interromper os fluxos de pessoas e mercadorias.

Os impactos potenciais na mobilidade urbana são: redução da segurança e/ou de desempenho dos modos de transporte; redução do conforto de passageiros, pedestres e ciclistas; aumento de tempos de viagem; bloqueio de vias; restrições na logística de distribuição de produtos e serviços; aumento de custos operacionais; redução da participação de modos de transporte coletivo e não motorizado (Santos et al., 2015).

2.4.3. Sistemas energéticos

A infraestrutura urbana é responsável hoje por mais de 70% do consumo global de energia (ECF, 2014). O setor energético pode ser afetado de diversas formas pelas

mudanças climáticas, tanto no que diz respeito à base de recursos energéticos e aos processos de transformação, quanto aos aspectos de transporte e consumo de energia. Em termos de oferta de energia, praticamente todas as opções estão expostas a algum grau de vulnerabilidade às mudanças climáticas (PBMC, 2016). Episódios de tempestades seguidas por quedas no fornecimento de energia são comuns nacionalmente.

O Brasil conta com mais de 125 mil km de linhas de transmissão e distribuição, sendo a grande maioria linhas aéreas (ONS, 2014). Esse formato é o mais utilizado quando comparado às linhas subterrâneas, pela facilidade e, conseqüentemente, pelo custo reduzido de instalação. No entanto, as linhas aéreas estão expostas à ocorrência de eventos extremos que, de acordo com o IPCC (2014), tendem a ser mais frequentes e intensos.

A interrupção de energia por causa de tempestades e inundações pode deixar centenas de milhares de pessoas às escuras, e afetar setores chaves de abastecimento e de manutenção de uma cidade.

2.4.4. Sistemas de abastecimento de água e saneamento

Os sistemas de abastecimento água e saneamento constituem serviços essenciais à população urbana e ao desenvolvimento. Esses sistemas estão relacionados ao abastecimento de água potável, a gestão de água pluvial, a coleta e tratamento de esgoto, a limpeza urbana, a gestão de resíduos sólidos e o controle de pragas e qualquer outro tipo de agente patogênico, sempre com o objetivo direcionado a saúde da população e a proporcionar uma situação higiênica salutar para as comunidades (Tucci, 2012). As águas das enchentes são consideradas potencialmente poluídas, pois entram em contato direto com esgoto, resíduos sólidos, produtos químicos e uma série de outras impurezas, desta forma podendo transmitir vários tipos de doenças.

As enchentes também geram impactos ambientais como a contaminação das fontes para abastecimento urbano, deteriorando sua qualidade. Em alguns casos, há redução

dos mananciais de água disponíveis para abastecimento, contribuindo para a ocorrência de crises hídricas.

O maior impacto das alterações climáticas sobre os sistemas de abastecimento de água diz respeito aos riscos de falta de disponibilidade de água e redução da sua qualidade. A variabilidade das precipitações afetará as condições operacionais de captação e tratamento de água. Essas infraestruturas de tratamento deverão estar preparadas para tratar de uma água de qualidade inferior, e utilizar mais produtos químicos nos processos de tratamento (Proença, Saldanha & Monteiro, 2015).

As mudanças climáticas também podem afetar indiretamente os sistemas hídricos urbanos, no que se refere aos seus usos. O aumento das atividades industriais, o aumento do consumo urbano, o uso na agricultura e geração de energia são desafios que colocarão à prova o atual sistema de gestão de água. A adoção de novas medidas de gestão de água, novas práticas de gestão de águas pluviais, soluções descentralizadas, uso de tecnologias inovadoras e origens alternativas de abastecimento de água devem ser levados em conta para fazer face às solicitações de consumo e conferir resiliência dos sistemas e serviços a alterações climáticas (Proença, Saldanha & Monteiro, 2015).

2.5. Sistemas de drenagem urbana

Segundo Von Sperling (2014), o tipo de rede de esgoto pode ser classificado como: sistema individual ou sistema estático e sistema coletivo ou sistema dinâmico (Figura 2-7). No sistema individual o esgoto é realizado pressupostamente para residências unifamiliares, podendo englobar algumas residências próximas. Constitui uma solução no local, através do uso de fossa séptica e tanque séptico para infiltração.

O uso do sistema individual de esgoto, como as fossas sépticas, é uma solução satisfatória e económica para locais com baixa densidade populacional no meio rural, porém é necessária atenção ao tipo de solo (que precisa de ter elevada taxa de infiltração) e para o nível de água subterrânea, para que não haja contaminação do

lençol freático. No caso do esgoto coletivo, é feito para populações maiores, através de uma rede coletora, com afastamento dos esgotos da área servida e encaminhamento para uma ETAR. O sistema coletivo pode ser dividido em sistema unitário e sistema separativo, que pode ser subdividido em sistema convencional e sistema simplificado ou condominial.

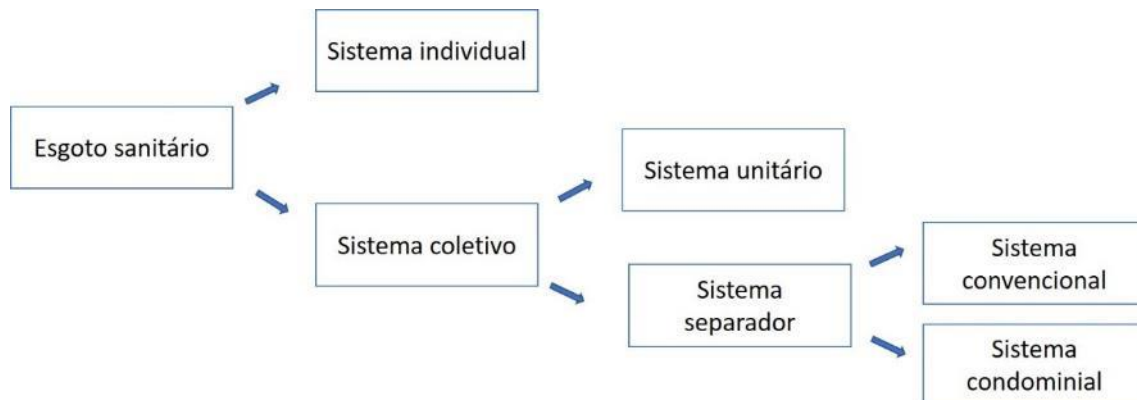


Figura 2-7: Diagrama das principais variantes de esgoto sanitário brasileiro
Adaptado de Von Sperling (2014)

Em alguns países é utilizado o sistema unitário, onde os esgotos domésticos e águas pluviais seguem nos mesmos coletores. Nesse caso, as tubagens possuem diâmetro mais elevado para receber as descargas de esgoto e chuva. Além do sistema de coleta, a ETAR também precisa dispor de maior capacidade para encaixar parte da água que chega em situação de chuva. Vazões pluviais em excesso, além da capacidade da ETAR, levam a extravasamento nos meios recetores, sem tratamento (Von Sperling, 2014).

No Brasil, o sistema adotado majoritariamente, é o sistema separativo que apresenta como vantagem, entre outras: a separação das águas pluviais, uso de menores dimensões nas canalizações, possibilidade de emprego de diversos materiais para as tubagens (cerâmico, betão, PVC, entre outros), redução de custos e prazos de construção, possível planeamento de obras por partes, melhoria nas condições de tratamento dos esgotos e não ocorrência de extravasamento no caso de chuvas intensas (Von Sperling, 2014).

Tecnicamente não existe grande diferença entre os sistemas condominial e convencional. Basicamente o sistema condominial considera um conjunto de casas como uma unidade de atendimento, proporcionando um traçado de rede mais econômico (Figura 2-8). A rede do sistema público não passa em todas as ruas para receber ligações, passando na parte mais baixa (concentração natural das águas) (Scaramussa e Henkes, 2014). O traçado do ramal passa entre quintais no interior dos lotes e/ou nos passeios, de forma mais racional e menos dispendiosa possível, tendo atenção também à segurança sanitária.

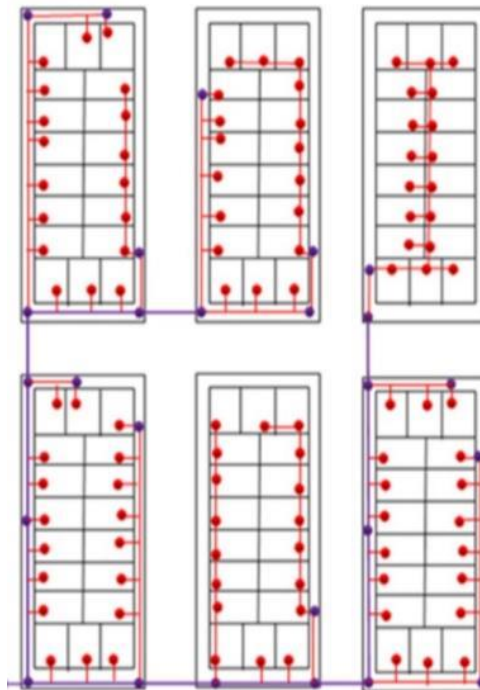


Figura 2-8: Esquema do funcionamento do sistema condominial brasileiro

Fonte: Rissoli, 2015

As vantagens desse sistema são a diminuição da rede pública, aproveitamento da topografia natural do terreno, localização de ramais em áreas protegidas (calçadas, jardins ou fundos de lote), flexibilidade de localização dos ramais dando preferência a locais com menos obstáculos, redução dos volumes de escavação e utilização de menores diâmetros de tubulação e a redução de câmaras de coleta. (Santiago, 2008).

Uma premissa importante no sistema condominial é a participação da comunidade nas várias etapas, desde a escolha do local de passagem das tubagens, até a sua manutenção. A inclusão social se deve ao fato de vários adensamentos e desordenamento espacial (vide favelas nos morros), diversidade de usos do espaço, topografia complexa, improvisação de soluções técnicas e (in)viabilidade de projetos urbanísticos de infraestrutura (Santiago, 2008).

Uma cidade pode possuir a combinação de todos os sistemas apresentados e ainda assim é difícil que ocorra a separação total das águas pluviais e esgoto devido as conexões clandestinas de águas pluviais dos sistemas de esgoto sanitário e vice-versa, o que constitui um desafio para a operação adequada dos sistemas (Von Sperling, 2014).

No Brasil, o sistema de drenagem está dividido, na origem, como microdrenagem e macrodrenagem. A drenagem na origem é caracterizada como o escoamento que ocorre em um lote, condomínio, estacionamentos, parques e passeios. A macrodrenagem envolve os sistemas de microdrenagem de diferentes sistemas, para áreas até 2 km². Esse tipo de sistema é dimensionado para acomodar precipitações superiores às da microdrenagem (Tucci & Bertoni, 2003).

As mudanças climáticas caracterizam outra fonte de vulnerabilidade para as estruturas de drenagem urbana. Uma rede de drenagem urbana bem estruturada, contribui para a minimização das inundações pluviais urbanas. Porém, em situações extremas, uma rede de drenagem funcional pode alcançar seu limite. A esse respeito, ressalta-se a importância da resiliência urbana, a fim de preparar as cidades para os impactos das mudanças climáticas, sendo essas graduais ou extremas.

3. RESILIÊNCIA URBANA

3.1. Conceitos de resiliência

Embora o conceito de resiliência seja ainda amplamente discutido não é um conceito novo. A palavra deriva do latim *resiliere*, que significa saltar para trás (Beatley e Newman, 2013).

Segundo Dieleman (2013), o conceito de resiliência surgiu no campo da epidemiologia e mais tarde foi introduzido na psicologia, física, engenharia, gestão de risco, entre outros. Na física, foi utilizada para descrever a estabilidade dos materiais e sua resistência a choques externos. Um exemplo é a característica de uma mola que, comprimida sob pressão, retorna ao seu estado normal assim que essa pressão desapareça (Norris, 2008; Davoudi, 2012). Também está associado à noção de estabilidade, chamada de resiliência de engenharia por muitos autores (Folke, 2006; Gunderson, 2000). É definida como a capacidade de um sistema retornar ao equilíbrio ou a um estado estável após uma perturbação (Holling, 1973).

Atualmente, o conceito de resiliência tem uma variedade de definições confere as diferentes disciplinas. Além da ecologia, também é encontrada na antropologia, planejamento e inovação social. A maioria das definições deriva da teoria dos sistemas e da teoria da complexidade. Mas a teoria da resiliência foi mais bem desenvolvida no âmbito da análise dos sistemas socioeconômicos (SESs). Isso ocorreu porque este conceito se encaixa perfeitamente com a análise de sistemas dinâmicos, não-lineares e mudanças inesperadas (Cañellas, 2017).

Holling (1973), distinguiu o conceito de resiliência da definição de estabilidade, relacionando a resiliência à capacidade dos ecossistemas absorver choques e ainda continuar a funcionar. A definição de resiliência de Holling foi, portanto, "[...] a persistência do relacionamento dentro de um sistema e uma medida da capacidade desse sistema de absorver mudanças de variáveis de estado, variáveis e parâmetros de condução e ainda persistir [...]" (Holling, 1973, pg. 17). Assim, Holling assumiu a possível

coexistência de equilíbrios múltiplos no mesmo sistema, sendo o tempo necessário para retornar ao seu estado de equilíbrio original apenas uma das formas de avaliar um sistema, em termos de resiliência (Gunderson, 2000).

Segundo Arciniega (2013) existem a resiliência como estabilidade/resistência, como recuperação e como transformação. A resiliência como resistência consiste na capacidade de um sistema permanecer íntegro e suportar uma situação difícil que abala a normalidade e pode gerar danos materiais e “stress”. A resiliência como recuperação refere-se à capacidade de voltar ao estado original, após a alteração devido a alguma situação adversa. E a resiliência como transformação implica uma situação mais complexa, onde as pessoas são capazes de resistir a uma situação, proteger sua integridade e, apesar das ameaças, saírem fortalecidas e transformarem a experiência em algo positivo.

Dieleman (2013) discute algumas noções da teoria de resiliência, analisando-a como um sistema complexo que envolve um grande número de elementos que interagem entre si, que se encontra em equilíbrio entre a centralização e a descentralização. A vitalidade ou resiliência de uma cidade não pode ser desenvolvida como algo isolado, pois depende da capacidade de responder aos estímulos e perturbações dentro e fora do sistema. Com isso, é exigido certo nível de centralização. Porém um excesso de centralização enfraquece o sistema e o torna mais vulnerável a ataques ou rupturas.

A segunda ideia explorada por Dieleman aponta para o facto da resiliência de um sistema pode ser encontrada no equilíbrio entre a diversidade e a padronização; baseada no conceito de reserva de energia, que deve ser constante e flutuante em torno dos vários elementos que compõem o todo. Essa categoria abstrata de “energia” refere-se a aspetos como conhecimento, experiências, comunicação, entre outros. Assim, a governança precisa ser multinível, abrangendo fundamentalmente os relacionamentos intercomunitários, a capacidade de autossuficiência, a auto-organização, a capacidade de aprendizagem, a inclusão económica, a capacidade de inovação, as infraestruturas e a tecnologia.

Assim, vê-se que devem ser analisadas três capacidades para o estudo da resiliência: a capacidade de resistência, a capacidade de absorção e a capacidade de recuperação (Figura 3-1). A capacidade de resistência analisa disfunções produzidas por danos e leva em conta as interdependências entre as redes a capacidade de absorção está focada na avaliação da redundância das redes e a análise da capacidade de recuperação considera a avaliação da acessibilidade (Lhomme et al. 2013).



Figura 3-1: Fluxograma com estratégia para avaliar redes de resiliência

Adaptado de Lhomme et al. (2013)

Existe uma diferença entre a abordagem da resiliência como noção de equilíbrio para os conceitos da engenharia, da ecologia e socio-ecologia. Os estados de equilíbrio podem variar para apenas o retorno ao estado normal (engenharia); a múltiplos estados de equilíbrio (ecológico) tendo em vista que face a um distúrbio, o sistema pode absorve-lo, transforma-lo e atingir um novo estado de equilíbrio; e o chamado não equilíbrio (socio-ecológico), que visualiza alternadamente a resiliência como um processo de evolução e/ou transformação, reconhecendo as constantes mudanças de um sistema e ajustando-se conforme as condições de mudança (Quadro 3-1). Segundo Unhabitat (2017), a resiliência socio-ecológica também pode ser referida como resiliência evolutiva.

Quadro 3-1: Análise do conceito de resiliência por sistema de pensamento.

	Nº de estados de equilíbrio	Medida para a resiliência	Natureza dos distúrbios	Ênfase
Resiliência de Engenharia	Um	Velocidade de retorno ao estado de equilíbrio.	Previsíveis Externos Choques	Resistência e Recuperação Eficiência e Capacidade de previsão
Resiliência Ecológica	Múltiplos	Magnitude dos distúrbios que podem ser absorvidos, antes de se atingir o limite que transporta o sistema para um novo estado de equilíbrio, bem como o grau de auto-organização e capacidade de aprendizagem.	Previsíveis e Imprevisíveis Externos Choques	Persistência Adaptabilidade e Flexibilidade Capacidade dos recursos, Eficiência e Diversidade
Resiliência Sócio - Ecológica	Nenhum, alteração contínua	Magnitude dos distúrbios que são continuamente absorvidos, bem como o grau avançado de auto-organização e capacidade de aprendizagem por sistemas socio-ecológicos.	Previsíveis e Imprevisíveis Internos e Externos Choques e Stresses	Persistência Adaptabilidade e Flexibilidade Potencial humano para transformar o seu ambiente

Fonte: Barreiro (2017). (Adaptado de UN-Habitat, 2017)

Alguns conceitos levam em consideração a escala temporal, caracterizando o tempo de recuperação. A escala temporal está relacionada, muitas vezes, com o tipo de evento, que pode ser desde um temporal a um evento com efeitos a longo prazo. No entanto, é difícil definir uma recuperação “rápida”, podendo ser expressa em horas, semanas e até anos (Meerow et al., 2016).

3.2. Conceitos de Resiliência Urbana

A resiliência é um conceito que vem sendo cada vez mais explorado nos estudos sobre os territórios, em especial o espaço urbano, como uma oportunidade para enriquecer ou renovar a gestão e as políticas públicas (FARIAS, 2017).

A resiliência urbana é entendida como a capacidade de uma cidade absorver perturbações, mantendo seu funcionamento normal, sem entrar em colapso (IPCC, 2014). Uma cidade é resiliente quando possui a propriedade de garantir o seu funcionamento para que as pessoas que vivem e trabalham em seu território, principalmente os mais vulneráveis, sobrevivam e prosperem independentemente da ocorrência de eventos extremos (STRENGARI *et al.*, 2015).

A cidade é um sistema vivo, dinâmico, gerador de (e gerado por) conectividades e aberto a constantes interações, quer no seu interior, quer por via da exposição a fatores externos. Como um sistema complexo e multi escalar, não é apenas um sistema ecológico, mas também social que está em constante processo de mudança e adaptação. Por isso, o processo adaptativo não requer necessariamente que o sistema retorne a um estado de equilíbrio após ter sido atingido.

O meio urbano engloba redes de governança, fluxos de materiais e energia, dinâmicas socioeconômicas e infraestrutura do ambiente construído (MEEROW *et al.*, 2016). Os fluxos metabólicos se relacionam à produção, suprimentos e cadeias de consumo e sustentam as funções urbanas, do bem-estar humano e da qualidade de vida. As redes governamentais compreendem as estruturas institucionais e as organizações que definem a capacidade da sociedade de aprender, se adaptar e se reorganizar para enfrentar os desafios urbanos. As dinâmicas sociais envolvem a demografia, o capital humano e a equidade. Elas definem as pessoas como cidadãos, membros de comunidades, usuários de serviços e consumidores de produtos. E por fim, o ambiente construído é caracterizado por sistemas na paisagem urbana. Ele define os padrões físicos da forma urbana e suas relações e interconexões espaciais (RESILIENCE ALLIANCE, 2007).

A evolução da resiliência em meio urbano pode ser vista, como um contínuo, desde a persistência até a transformação. O sistema mantém o foco na capacidade de reter as principais funções desejáveis e o percurso para a resiliência passa por diferentes graus de mudança. Por isso, ele é considerado um sistema não equilíbrio (TYLER & MOENCH, 2012).

A resiliência urbana às mudanças climáticas abrange a adaptação, ações de mitigação e redução do risco de desastres. Porém, a resiliência climática se diferencia da adaptação à mudança climática pois a adaptação é focada principalmente em absorver e / ou evitar danos de pressões climáticas. Já a resiliência é definida de forma mais ampla, de modo que envolve os vários sistemas que afetam a capacidade de uma cidade de se antecipar,

absorver e se reorganizar em relação a ameaças conhecidas e desconhecidas (MEEROW *et al.*, 2016).

Uma das características mais úteis em adotar o conceito de resiliência como uma estrutura de análise da vulnerabilidade às mudanças climáticas em sistemas urbanos é a sua capacidade de enquadrar as questões dentro de uma abordagem sistêmica. O pensamento sistêmico fornece uma plataforma para uma abordagem mais holística em que as áreas urbanas são consideradas como sistemas "vivos" complexos que passam por inúmeras trocas dinâmicas a qualquer momento.

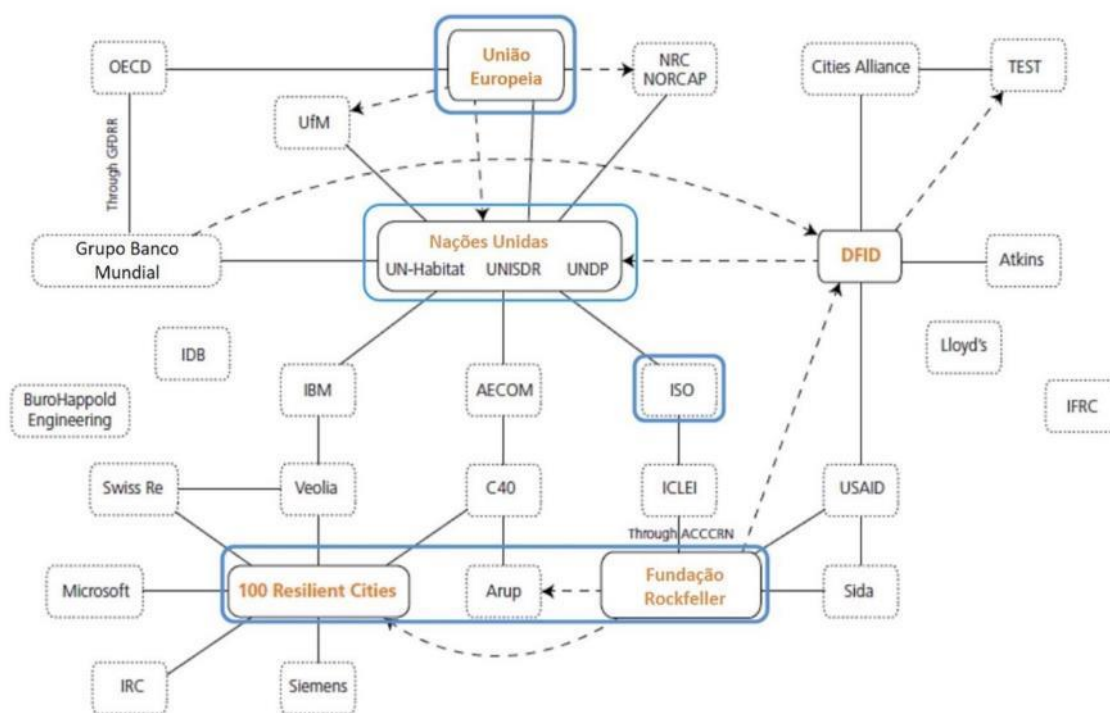
Isso é relevante pois os choques afetam simultaneamente famílias e comunidades inteiras. Da mesma forma, o grande número de processos e dinâmicas que afetam pessoas e ambientes estão ocorrendo em diferentes escalas, local e global, e frequentemente são caracterizados por *feedbacks* (BÉNÉ *et al.*, 2012).

3.3. Estratégias de avaliação de Resiliência Urbana

Embora tenham já sido desenvolvidos vários estudos e iniciativas no âmbito da resiliência urbana, sente-se, em parte, a necessidade do desenvolvimento de ferramentas quantitativas, bem como de procedimentos e normas internacionais para quantificação da resiliência à escala urbana.

As Nações Unidas disponibilizam um organograma (Figura 3-2) incluindo os principais interessados ("*stakeholders*") envolvidos em atividades relacionados com a resiliência urbana, integrando órgãos das nações, governamentais ou intergovernamentais, organizações não governamentais, atores privados, fundações filantrópicas, universidades, institutos de investigação, entre outros (UN-Habitat, 2017).

As principais instituições que lidam com a resiliência são seguidamente detalhadas: *International Organization for standardization* (ISO), Sistemas das Nações Unidas (Un-Habitat), Fundação Rockefeller e 100 *Resilient cities* e Projetos da União Europeia.



Legenda:

--- ➔ Financiamento: Provisão de recursos financeiros de um ator para outro, quer como subsídios, doações, ou em troca de resultados ou serviços.

—— Parceria estratégica: acordo bilateral ou multilateral entre dois ou mais atores para trocar de experiência, conhecimento ou recursos de forma a alcançar um objetivo comum.

Figura 3-2: Rede Global de Atores da resiliência.

Adaptado de UN-Habitat (2017)

3.3.1. International Organization for Standardization (ISO)

A *International Organization for Standardization* (ISO) com sede na Suíça, é uma organização internacional independente, não governamental, com membros de 162 órgãos de padronização. Funciona como regulador de padrões internacionais de produtos, serviços e sistemas, para garantir qualidade, segurança e eficiência. A ISO possui padrões internacionais cobrindo quase todas as indústrias desde tecnologia, até segurança alimentar, agricultura e cuidados com a saúde (ISO, 2018).

A ISO 268 para Cidades Sustentáveis e Comunidades, foi criada em 2012 e rege a padronização no campo das cidades e comunidades sustentáveis inclui o

desenvolvimento de requisitos, estruturas, orientações e técnicas de apoio, relativos ao desenvolvimento sustentável e contribuindo para os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU (ISO, 2018).

No fim de 2016, foi lançada a primeira norma ISO que menciona a resiliência (ISO/TR 37121 – *Inventory of existing guidelines and approaches on sustainable development and resilient cities*). Essa norma contém orientações gerais acerca da contribuição social, económica e ambiental para o desenvolvimento sustentável e resiliente nas cidades (Barreiro, 2017).

A ISO 37123, está em desenvolvimento e pretende abordar as definições e metodologias para indicadores de resiliência. Esses indicadores irão permitir a avaliação das cidades quanto à sua capacidade de assistir os habitantes, comércio, instituições e infraestruturas, na redução de riscos e na capacitação para situações de emergência e planeamento urbano de longo prazo (Barreiro, 2017).

A ISO 292 para Segurança e Resiliência tem como objetivo melhorar a proteção e a resiliência da sociedade. Para tal, foram publicados vários guias para permitir o aumento da perceção em relação às fragilidades, capacitar as comunidades, melhorar a agilidade e capacidade de adaptação e fomentar o envolvimento de *stakeholders*. Foram já publicadas 27 normas e existem, à data, 15 normas em desenvolvimento.

3.3.2. Un-Habitat (ONU)

Un-habitat (*United Nations Human Settlements Programme*) é um programa das Nações Unidas para o desenvolvimento urbano sustentável, que tem como missão promover o desenvolvimento social e sustentável de vilas e cidades, com o objetivo de oferecer habitações adequadas para todos. Atua em mais de 70 países, concentrando-se nas áreas de legislação urbana, solo e governança; urbanismo e projeto; economia urbana; serviços básicos urbanos; habitações; redução de risco e reabilitação; investigação urbana e desenvolvimento de capacidades (Un-Habitat, 2018).

As conferências são realizadas de 20 em 20 anos, tendo a primeira ocorrida em 1976. A conferência Habitat III ocorreu em outubro de 2016 no Equador, e teve como foco a

implementação de uma “Nova Agenda Urbana”, baseada no planejamento e gestão de cidades e vilas para o desenvolvimento sustentável. As reflexões abordaram temas como o desenvolvimento global e as alterações climáticas (Un-Habitat, 2016).

O Un-Habitat utiliza um conceito de resiliência que é ambicioso e operacional, podendo ser usado como base para intervenções e investimentos estratégicos para o desenvolvimento urbano. A ideia, nesse caso, não se concentra apenas na forma, mas também nos indivíduos, comunidades e negócios. O documento temático da Habitat III apresenta um modelo de abordagem de ênfase transversal (Figura 3-3). Nessa figura observa-se as linhas de resiliência organizacional (governança e liderança), resiliência espacial (planeamento e “design” urbano), resiliência física (infraestruturas) e resiliência funcional (geração de receitas); cingindo as colunas que apresentam as ameaças naturais, tecnológicas, económicas, sociais e políticas (Un-Habitat III, 2015).

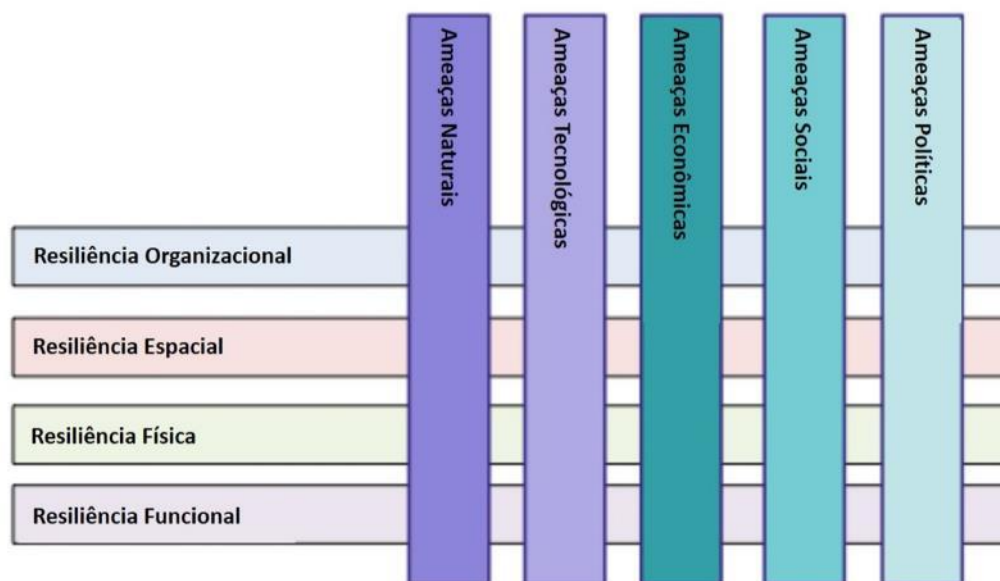


Figura 3-3: Modelo de abordagem transversal para a resiliência

Adaptado de Un-Habitat III (2015)

Esse sistema apresenta conexões que envolvem as ameaças prováveis em uma cidade e os tipos de resiliência. Todos os países, em desenvolvimento ou desenvolvidos, são vulneráveis a choques, sejam eles causados por desastres naturais, recessão econômica e epidemias, entre outros, que remete para a importância da governança para lidar com

as fraquezas do sistema urbano e agir com estratégias inteligentes. Segundo o UN-Habitat III (2015), “Estratégias resilientes implicam uma forte compreensão dessa inerente relação de interdependência entre as partes, pois as cidades não podem ser resilientes por si só, isoladamente”.

O estudo da resiliência trouxe um estímulo e maior atenção para os impactos que podem afetar um centro urbano, assim como para a necessidade de aumento do conhecimento na identificação dos riscos, exposições e vulnerabilidades, dando um grande passo para o desenvolvimento transformacional (Un-Habitat III, 2015).

As tensões no sistema urbano podem levar as populações vulneráveis à pobreza e/ou mantê-las nessas condições. Portanto, a construção da resiliência deve abarcar, além da compreensão dos riscos e impactos imediatos, as consequências de efeitos profundos e prolongados nos sistemas financeiros e nas fronteiras geográficas (Un-Habitat III, 2015).

À escala global, tem sido realizada muitas ações com participação de governos, ONG's, atores sociais e instituições de financiamento, com o objetivo de discutir a resiliência e o desenvolvimento sustentável. Uma dessas ações foi o Marco de Sendai para a redução de riscos de desastres, que foi assinado por 185 países e trouxe metas globais para a redução da perda de vidas, moradia e bens econômicos. O Marco de Sendai forneceu um guia para a operacionalização da agenda da resiliência (Un-Habitat III, 2015).

3.3.3. A Fundação Rockefeller (*Rockefeller Foundation*)

A fundação Rockefeller é uma fundação privada que foi estabelecida em 1912 em Nova York. A fundação tem como objetivo “promover o bem-estar da humanidade em todo o mundo” fornecendo financiamento para setores de investigação em várias áreas incluindo: saúde, agricultura, segurança alimentas, artes, cultura, resiliência, mudanças climáticas, energia, economia inclusiva, inovação e transportes, entre outros. Desde o final de 2010, essa fundação tem financiado diversos projetos relacionados com resiliência urbana, dentre eles: *Rebuild by Design*, *Asian Cities Climate Change Resilience Network*, *Global Resilience Partnership*, *100 Resilient Cities*, *Rebuilding New Orleans*, *Zilient.org*. (Un-Habitat, 2017).

Segundo o guia da Fundação Rockefeller (Arup & The Rockefeller Foundation, 2016), existem sete qualidades de um sistema resiliente urbano:

- **Refletividade:** são sistemas que aceitam a incerteza inerente e crescente mudança no mundo atual. Constituem mecanismos para evoluir continuamente e modificar padrões e normas ao invés de procurar soluções permanentes baseadas no “status quo.”, examinam e aprendem sistematicamente com experiências passadas e aproveita essa aprendizagem para decisões futuras.
- **Robustez:** caracterizam sistemas robustos e bem concebidos, compostos por infraestruturas físicas bem construídas e geridas para que tenham a capacidade de suportar os impactos de eventos catastróficos, sem danos significativos e perda de função. Um projeto robusto prevê as possíveis falhas no sistema e avalia a previsibilidade e segurança, diminuindo o risco de efeitos cascata e evitando o colapso de outros sistemas.
- **Redundância:** refere-se à capacidade extra do sistema com o propósito de assegurar a continuidade do sistema, mesmo em condições de interrupções, pressões externas ou aumento da procura. Isso inclui, por exemplo, redes de infraestruturas bem distribuídas e reserva de recursos. As redundâncias devem seguir a escala da cidade e serem vantajosas em termos de custo-benefício.
- **Flexibilidade:** pressupõe que os sistemas podem mudar, evoluir e adaptar em resposta à uma tensão. Para tal, é interessante trabalhar a descentralização, abordagens modulares de infraestrutura e gestão dos ecossistemas. Pode ser alcançada através do conhecimento e tecnologias, incorporando conhecimentos tradicionais locais.
- **Qualificação:** aumenta a capacidade das pessoas e instituições encontrarem maneiras de perceber as necessidades e forma de agir durante um choque. Pode incluir investimentos para antecipar condições futuras, estabelecer prioridades e respostas. A capacitação é fundamental para a restauração do funcionamento de um sistema urbano que opera em condições críticas.

- **Inclusão:** destaca a importância de envolver todos os atores sociais, inclusive os grupos mais vulneráveis, abordando as tensões enfrentadas por um setor, local ou comunidade. Uma abordagem inclusiva contribui para a resiliência.
- **Integração:** a integração de cidade e sistemas promove uma melhor coerência na tomada de decisões e garante que as ações sejam tomadas para um fim comum. O intercâmbio de informações e “feedback” permitem que o sistema funcione coletivamente, e que a resposta seja mais rápida.

Nesse mesmo guia, e no âmbito de uma parceria com a Arup³, são apresentados os *City Resilience Index* (CRI) (Figura 3-4), que fornece um instrumento para medir a resiliência através de diversos fatores. Esse índice é dividido em quatro dimensões: saúde e bem-estar, economia e sociedade, infraestrutura e ambiente, liderança e estratégia; através de doze objetivos e cinquenta e dois indicadores (Anexo I). Uma das incumbências do CRI é que seja relevante e acessível, incluído uma base comum e adaptável para a criação e manutenção da resiliência, criando oportunidades de intercâmbio de informações e estudos comparativos para as melhores práticas (Arup & The Rockefeller Foundation, 2016).

³ Empresa multinacional com sede em Londres, que fornece serviços de engenharia, design, planejamento, gerenciamento de projetos e consultoria.

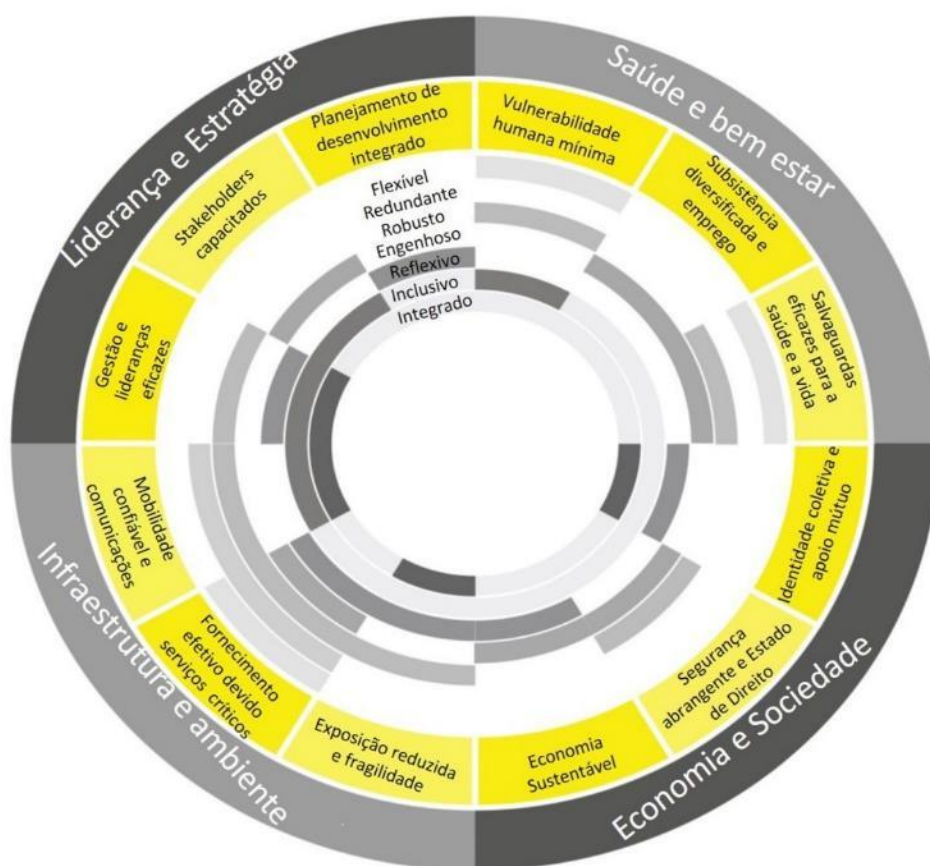


Figura 3-4: Roda do CRI com suas dimensões, objetivos e indicadores

Adaptado de Arup & The Rockefeller Foundation (2016)

Um dos projetos de maior destaque da fundação Rockefeller é o das 100 *Resiliente Cities*. O projeto 100 *Resiliente Cities* tem o propósito de ajudar as cidades na evolução da resiliência a nível espacial, económico e social. O objetivo era reunir uma rede de 100 cidades em países desenvolvidos e em desenvolvimento para torna-las mais resilientes.

As 32 primeiras cidades foram anunciadas em dezembro de 2013, e em de março de 2017, as 100 cidades já tinham sido escolhidas com a finalidade de desenvolver estratégias para o processo de construção da resiliência. Na figura abaixo (Figura 3-5), destaca-se as primeiras cidades a participar do projeto (UN-Habitat, 2017).



Figura 3-5: Cidades participantes do 100 Resilient Cities

Adaptado de Arup & The Rockefeller Foundation (2016)

O projeto 100 *Resilient Cities* (100 RC), trabalha a estratégia de resiliência através da nomeação de um *Chief Resilience Officer* (CRO), que assume uma posição inovadora sendo encarregado de aconselhar diretamente o presidente de câmara e fazer a ligação entre os outros atores envolvidos, a fim melhorar a comunicação e a coordenação. Dentro desse projeto, a RC ajuda os parceiros com assistência técnica e financeira e obtém fundos para a manutenção do CRO, além de consultoria e capacitação (Un-Habitat, 2017).

Quando uma cidade é incluída no projeto 100 RC, ela passa a fazer parte de uma rede onde tem lugar troca de informações, experiências e práticas bem-sucedidas. O acesso a essa plataforma também oferece recursos para a implementação de iniciativas e estratégias, com vista a melhorar a resiliência (*The Rockefeller Foundation*, 2016).

Podem-se citar algumas experiências do 100 RC, como na cidade de Surat, na Índia, onde o projeto atua nos desafios de crescimento e alta procura de infraestruturas e serviços, e os desafios referentes a inundações. Nessa cidade em 1994 um evento de inundação, teve lugar seguido de um surto de peste pneumónica, principalmente devido ao saneamento precário. Após essa catástrofe, tiveram lugar obras de melhorias de infraestrutura principalmente no sistema de drenagem e um esforço para a gestão de inundações. Um comissário municipal foi destacado para acompanhar o caso e reestabelecer a confiança entre os atores sociais. A câmara de comércio uniu esforços no sentido de disseminar informações e recursos, complementando a ação do governo (Arup & The Rockefeller Foundation, 2016).

Em Concepcion, no Chile, após um terremoto de grau 8,8 em 2010, teve lugar o corte das redes de eletricidade, água e esgoto, transporte, além dos serviços de comunicação. As autoridades não conseguiam comunicar e, houve escassez de alimentos e roubos. A única rede de comunicação que continuou a funcionar foi a rádio Bio, que passou a ser a única fonte de comunicação. A ordem foi gradualmente restaurada após a chegada de militares e imposição de toque de recolher. Segundo esse estudo, foi levantada a hipótese de que uma cidade pode levar mais tempo a recuperar dos impactos sociais, do que dos impactos físicos (Arup & The Rockefeller Foundation, 2016).

3.3.4. Programas da União Europeia do Horizon 2020 e Projeto Resccue

O maior programa de investigação e inovação financiado pela União Europeia (UE) é o Horizon 2020. Esse programa tem o apoio de dirigentes europeus e membros do Parlamento Europeu. É pautado em três pilares (excelência científica, liderança industrial e desafios sociais) com o objetivo de um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo (União Europeia, 2014).

O estímulo a excelência científica se deu através de um investimento perto de 80 mil milhões de Euros disponíveis de 2014 a 2020. Foi concedido para a comunidade científica, com a participação de investigadores do mundo inteiro. Quanto à liderança industrial, os investimentos foram focados em tecnologias promissoras como a

tecnologia da informação, tecnologia espacial, biotecnologia e nanotecnologia (União Europeia, 2014).

Os investimentos em desafios sociais foram direcionados para as áreas prioritárias, sendo elas: saúde, segurança alimentar, energia limpa, transportes inteligentes, ação climática, inclusão social e segurança pública (União Europeia, 2014).

No âmbito da EU, um dos projetos cofinanciados no âmbito da resiliência é o Projeto *“RESCCUE - RESilience to cope with Climate Change in Urban arEas: a multi-sectorial approach focusing on water”*, iniciado em maio de 2016 e com final previsto para maio de 2020. O consórcio é constituído por 18 entidades públicas e privadas em três cidades europeias: Lisboa (Portugal), Bristol (Reino Unido) e Barcelona (Espanha). Essas cidades foram escolhidas devido aos riscos, nomeadamente decorrentes das alterações climáticas: ondas de calor, eventos extremos de precipitação e inundações urbanas (Barreiro, 2017).

No âmbito do Projeto RESCCUE foi desenvolvida uma ferramenta denominada Hazur®, para o uso prático dos conceitos de resiliência urbana no estudo da avaliação e gestão. Para o *Opticits Ingenieria Urbana* (2016) o ciclo da resiliência é dividido em quatro fases: Operar, Planificar, Melhorar e Prevenir (Figura 3-6).

- Operar: a habilidade para resistir, responder ou recuperar após um evento crítico;
- Planificar: simular eventos e decidir com base nos resultados de simulação;
- Melhorar: aprender com a experiência para corrigir e projetar estratégias orientadas para assegurar a continuidade dos serviços da cidade, no caso de um evento crítico;
- Prevenir: prever perigos potenciais antes que se sucedam, identificando riscos e validando, relacionando ou diagnosticando os efeitos do impacto.

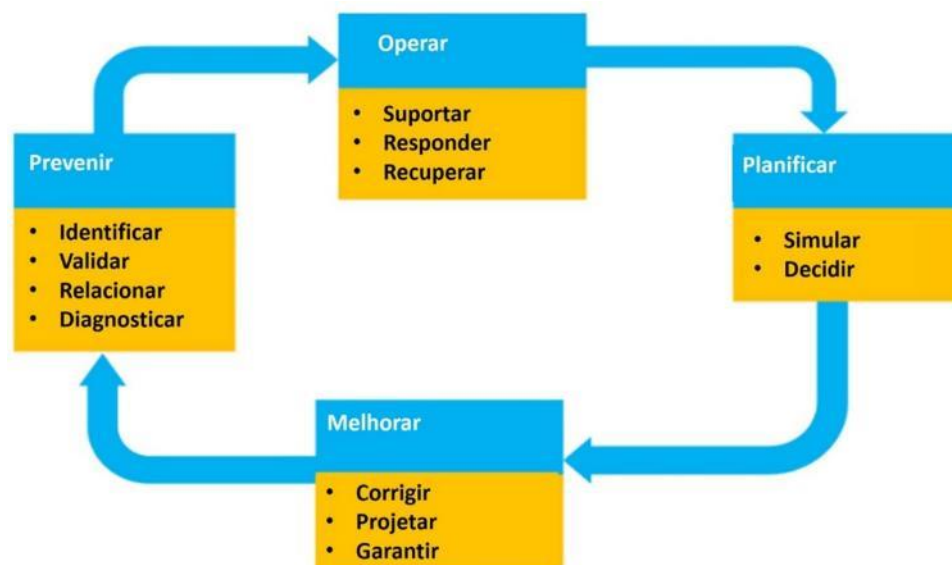


Figura 3-6: Fases da resiliência segundo o Hazur®⁴

Adaptado de Opticits Ingenieria Urbana (2016)

Nesse tipo de visão, é fundamental observar a cidade como um ecossistema de serviços urbanos, em que serviços dependam uns dos outros (Figura 3-7) (Opticits Ingenieria Urbana, 2016).

⁴ O Hazur® é utilizado como uma ferramenta para ajudar os CRO de uma cidade, para estudar e visualizar as interdependências entre serviços e infraestrutura e simular as consequências das crises na cidade, a fim de que possa ser melhor gerido.

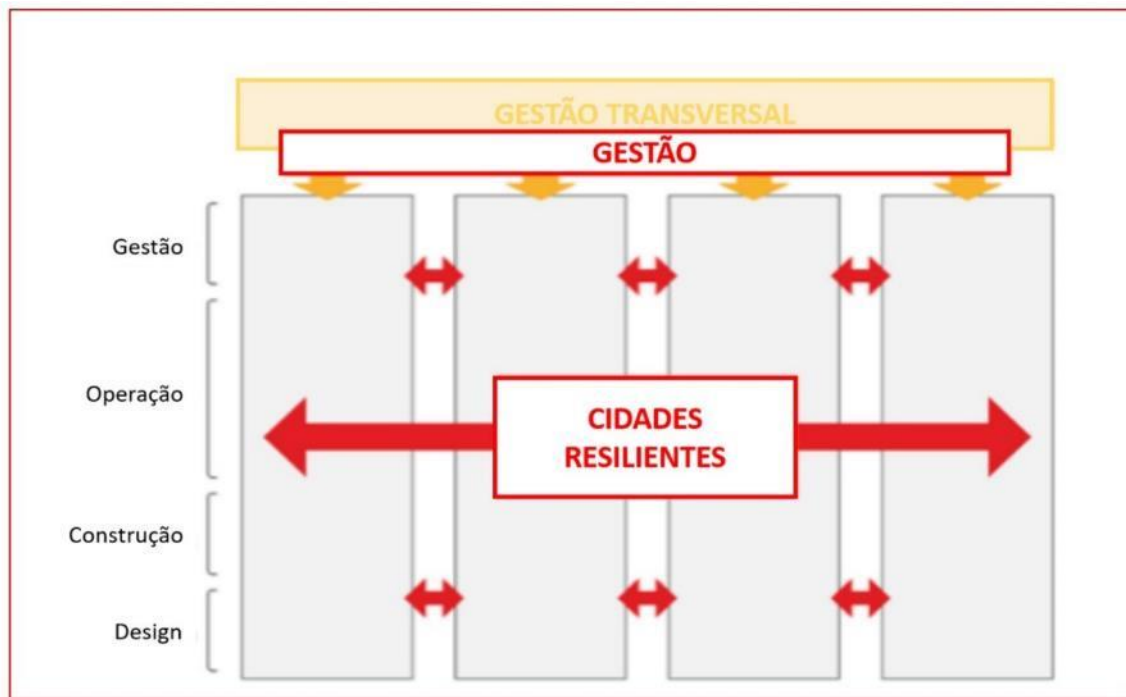


Figura 3-7: Enfoque transversal de resiliência urbana

Adaptado de *Opticits Ingenieria Urbana* (2016)

Segundo *Opticits Ingenieria Urbana* (2016) para uma cidade se enquadrar no conceito de “cidade inteligente”, deve ter as seguintes características:

- Partilha de bens e serviços;
- Consumo ambiental mínimo e eficiência energética;
- Comunicação livre e fluida entre os agentes;
- Integração na cidade de novas tecnologias de informação e comunicação;
- Operação em rede;
- Infraestruturas com redundâncias e interconexões;
- Serviços centrados em polivalências que se apoiem entre si;
- Comportamento da parte dos cidadãos, como elemento fundamental de qualquer estratégia para melhorar a resiliência urbana.

A cidade deve ser preparada tecnologicamente, no sentido de utilizar ferramentas como: sensores em pontos estratégicos e com informações em tempo real, sistema de informações adequado, modelos preditivos de alerta e sistemas de videovigilância e

Na Figura 3-9 apresenta a título de exemplo, o mapa de interdependências de parte da cidade de Lisboa, tal como referido no RESCCUE (2017), focado no estudo do funcionamento do sistema de drenagem e possíveis inundações nas bacias da Avenida Almirante Reis e Avenida da Liberdade. A princípio, o trabalho foi estruturado para áreas específicas e infraestruturas críticas. No entanto, a metodologia pode ser expandida para toda a cidade.

Os efeitos negativos associados à eventos extremos como inundações, efeito das marés, movimento de encostas, terremotos e tsunamis; conduz à necessidade de melhorar a resiliência. Utilizando o Hazur® ou ferramentas análogas, é possível preencher essa necessidade e contribuir para uma maior compreensão do funcionamento dos serviços e reação perante um evento e responder a questões como: Quais serviços falharão ou entrarão em serviço mínimo, quanto tempo levará a cidade a recuperar, se forem tomadas as medidas adequadas. Esse mapa de interdependências, juntamente com dados em tempo real pode contribuir com as ferramentas de monitorização, avaliação e gestão de risco, assim como acelerar o processo de tomada de decisão (Lopes et al., 2017).

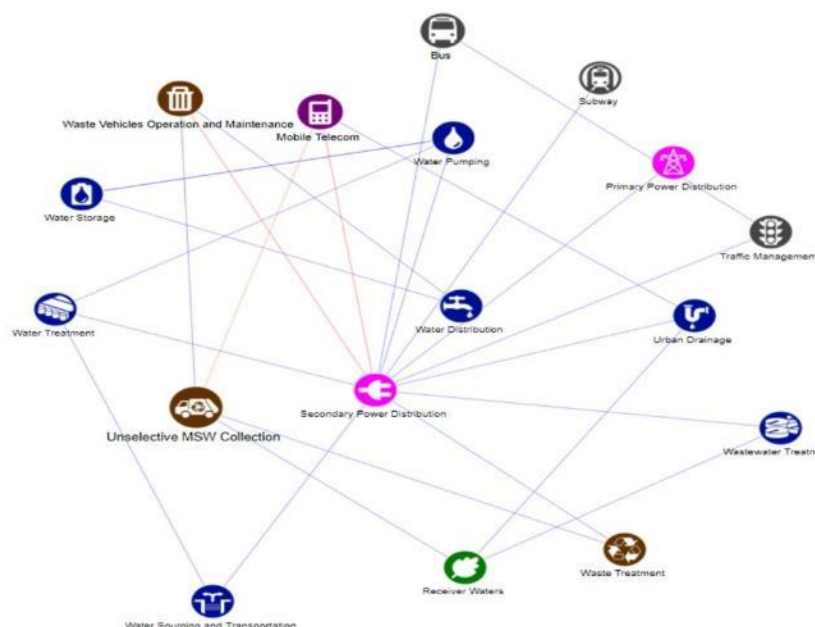


Figura 3-9: Mapa de interdepências para falhas no sistema de drenagem de parte da cidade de Lisboa (Bacias da Av. Almirante Reis e Av. da Liberdade, J e L).

Fonte: RESCCUE (2017)

A metodologia proposta para esse trabalho, usa como inspiração parte da abordagem da metodologia Hazur, nomeadamente o mapa de interdependências e o efeito cascata. Somado a esse aspeto, foram incluídas as simulações do sistema de drenagem em cenários atuais e com incremento das alterações climáticas, o cálculo dos indicadores de resiliência e do índice global de resiliência.

3.4. Medidas para aumentar a resiliência urbana a inundações

A complexidade do funcionamento das grandes cidades com múltiplas exigências e serviços básicos, o crescimento e a urbanização sem o devido planeamento, geram graves problemas nas comunidades urbanas. Essas situações concorrem para dificultar a gestão de inundações e eventos de contaminação e poluição do meio recetor, entre outros. É corrente o desenvolvimento de soluções que se pretendem sustentáveis. Existem as medidas físicas, com a construção de coletores e reservatórios de dimensões variáveis e de equipamentos de controle do escoamento e gestão em tempo real, assim como, medidas não físicas, baseadas em melhor gestão de informação e conhecimento, e que conduzem também a uma maior adaptação e resiliência dos sistemas para minimizar e controlar os efeitos desses eventos (Figura 3-10).

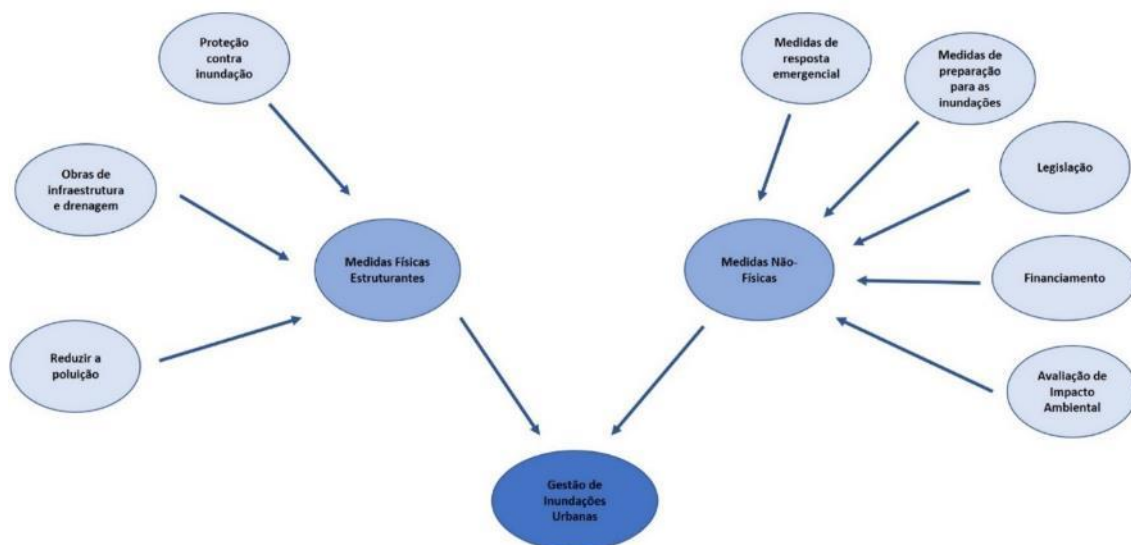


Figura 3-10: Esquema de medidas para a gestão de inundações urbanas

Adaptado de Andjelkovic (2001)

3.4.1. Medidas físicas para gestão de inundações

3.4.1.1. Infraestrutura de drenagem

A habilitação e expansão de sistema de drenagem urbana requerem elevados investimentos, pelo que se torna fundamental, quando possível, o estudo para a implementação de soluções mais adequadas e economicamente viáveis de acordo com as características locais e situações a serem resolvidas (Matos & Ferreira, 2012).

Os principais componentes constituintes de uma rede de drenagem são: ramais de ligação, coletores, câmaras de visita, sarjetas e sumidouros (Lopes, 2017). Além desses órgãos, existem instalações complementares como, por exemplo, os descarregadores, sistemas elevatórios, sifões invertidos e bacias de retenção (Quadro 3-2). Excepcionalmente, pode-se recorrer ao uso de túneis e pontes-canal (Matos & Ferreira, 2012).

A rede de drenagem urbana possui um conjunto de tubagens que garante o transporte dos caudais pluviais desde o dispositivo de entrada até o ponto de lançamento. As redes são usualmente constituídas por coletores de betão ou PVC de secção circular.

A concessão de um sistema de drenagem deve incluir toda área urbana de forma eficiente com redução da extensão e diâmetro das redes e o aumento do percurso superficial da água pluvial.

A solução adequada para um sistema de drenagem pluvial tem frequentemente como objetivo viável aumentar o volume de água infiltrada; promover o máximo de intercetção da água por árvores, arbustos, solo, trincheiras, entre outros a promover o armazenamento temporário em locais pré-definidos, como em bacias de retenção enterradas ou superficiais e criar condições controladas de escoamento para o caso de chuvas intensas (Matos & Ferreira, 2012).

Quadro 3-2: Principais componentes de sistemas de água residual e sua respetiva finalidade.

Componente	Tipo	Finalidade
Redes interiores dos edifícios	Comum	Transporte de águas pluviais e de águas de lavagem ou de “excreta” para o exterior da edificação.
Ramais de ligação	Comum	Promover a ligação ou descarga de águas residuais (domésticas, comerciais, industriais e pluviais) para a rede de drenagem.
Rede de drenagem	Comum	Destina-se à recolha das águas residuais do aglomerado ou conjunto de aglomerados – apresenta serviço de percurso.
Emissários e interceptores	Comum	Destina-se ao transporte das águas residuais recolhidas pelas redes de drenagem, que têm serviço de percurso, para o local de tratamento ou de destino final. No caso de descarga no oceano, designam-se por emissários submarinos.
Sistemas elevatórios	Complementar	Destina-se ao transporte das águas residuais em situação em que a drenagem gravítica não é considerada tecnicamente e economicamente a solução adequada.
Descarregadores	Complementar	Órgãos dos sistemas, em regra ligados a coletores de recurso e que entram em operação, por exemplo para fazer face à ocorrência de avarias ou necessidade de colocar fora de serviço componentes que se dispõem a jusante, ou para fazer face à afluência excessiva de águas residuais.
Sifões invertidos	Complementar e excecional	Órgãos que incluem um ou mais trechos com escoamento sob pressão gravítica, a que se recorre quando o escoamento com superfície livre não é tecnicamente e economicamente exequível.
Bacias de retenção	Complementar	Órgãos por vezes usados em sistemas pluviais, e mais raramente em sistemas unitários, e que se destinam principalmente, e em regra, a reduzir os caudais de ponta de cheia à custa de ponta de cheia à custa de efeitos de retenção e amortecimento.
Túneis	Complementar e excecional	Por vezes, quando as condições topográficas e geológicas o justifiquem economicamente, pode recorrer-se a construção de coletores em túnel (sem recurso à abertura de valas a céu aberto).

Fonte: Matos & Ferreira (2012).

3.4.1.2. Técnicas de controlo na origem de águas pluviais

O controlo na origem baseia-se em um conjunto diversificado de técnicas, a montante da rede, que permite a redução dos caudais de ponta e volumes de águas pluviais através de processos de retenção, infiltração ou combinação de ambos. Tem

frequentemente vantagens nas componentes técnicas, ambientais, sociais e económicas (Matos & Ferreira, 2012).

As vantagens técnicas resultam da contribuição direta para a redução dos caudais e volume de escoamento superficial, as vantagens ambientais estão relacionadas com o controlo de poluição através da redução da carga poluente e significativa diminuição de sólidos em suspensão, as vantagens sociais estão associadas à valorização e aproveitamento dos espaços para lazer e desporto, garantindo uma integração paisagística e estética. As vantagens financeiras respeitam a redução dos custos iniciais, redução e/ou eliminação de coletores, redução e/ou eliminação de ramais de ligação pluvial e adequação da capacidade de transporte das redes de drenagem primárias e secundárias existentes (Matos & Ferreira, 2012).

Entre as obras de controlo na origem podem-se citar as trincheiras de infiltração, pavimentos porosos, poços absorventes, valas com cobertura vegetal e faixas filtrantes, bacias de retenção e coberturas e paredes verdes (telhados ou fachadas verdes – “*green roofs*”) (Ferreira, 2006).

As trincheiras de infiltração (Figura 3-11) são estruturas não muito profundas, destinadas a recolha de águas pluviais em zonas urbanas de até 4 ha. Assim, as águas pluviais são recolhidas e retidas na trincheira e posteriormente transportadas a um meio recetor de preenchimento granular poroso (brita, seixo, cascalho) envolvido em material geotêxtil. Quanto ao funcionamento, a água poderá infiltrar lateralmente, através da ligação da rede à trincheira ou diretamente pela superfície. As trincheiras devem possuir o tubo perfurado para melhorar a distribuição da água em toda a extensão. As trincheiras reduzem o caudal de ponta e viabilizam a recarga dos aquíferos, podem ser inseridos em meio urbano em locais como parque de estacionamento, áreas residenciais e estradas, desde que se implementem em solos de alta permeabilidade com o lençol freático abaixo do fundo da trincheira. Essa estrutura não é aconselhável em terrenos inclinados, pois podem aumentar a probabilidade de deslizamentos (Lopes, 2017).

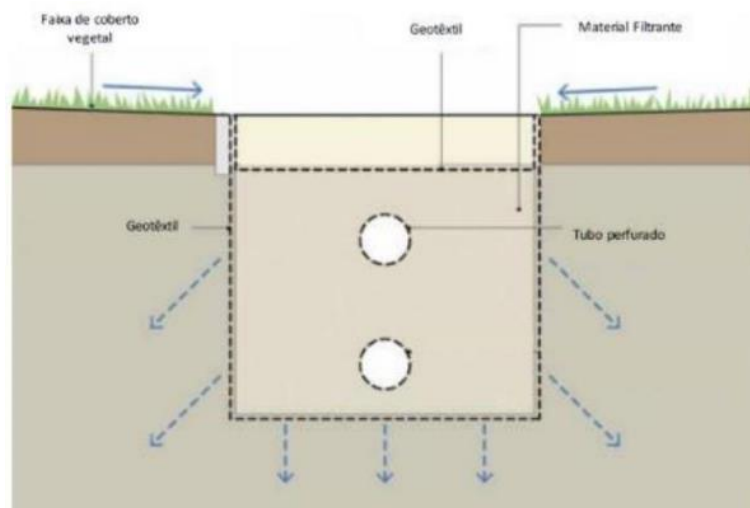


Figura 3-11: Representação esquemática de trincheira de infiltração

Fonte: Lopes, 2017 (Adaptado de Woods et al., 2015)

Os pavimentos porosos (Figura 3-12 A), são basicamente revestimentos impermeáveis permitindo a infiltração de água para as camadas inferiores. Nessa categoria também se enquadram os pavimentos reservatórios (Figura 3-12 B), que se distingue do anterior por possuírem uma camada onde é possível armazenar a água pluvial, que posteriormente é infiltrada no solo ou é encaminhada para coletores. São técnicas aconselhadas quando o armazenamento de água por unidade de área é reduzido, locais com pouca inclinação, solos permeáveis e lençol freático relativamente profundo. As vantagens condizem principalmente com relação ao controle de poluentes, os pavimentos com reservatório apresentam um benefício extra, pois não ocupam zonas adicionais além das próprias vias. Como principal desvantagem estão o elevado risco de colmatção superficial e o fato de não haver retenção de óleos, gorduras e sedimentos superficiais (Lopes, 2017).

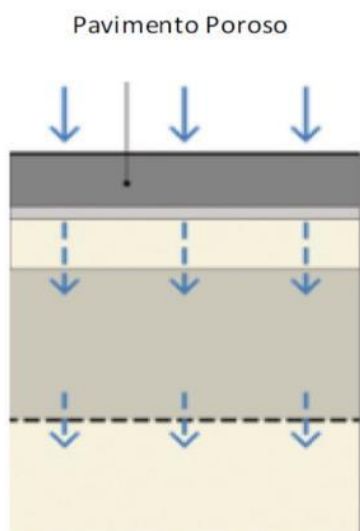


Figura 3-12 A: Representação esquemática de pavimento poroso
 Fonte: Lopes, 2017 (Adaptado de Woods et al., 2015)

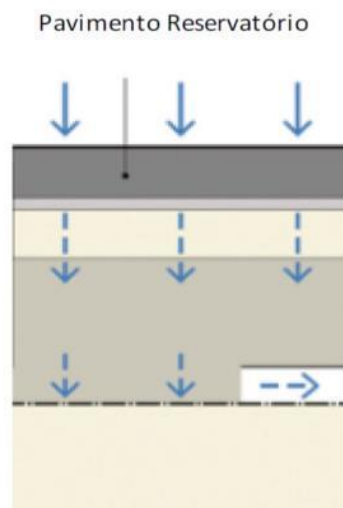


Figura 3-12 B: Representação esquemática de pavimento poroso com reservatório
 Fonte: Lopes, 2017 (Adaptado de Woods et al., 2015)

Os poços absorventes (Figura 3-13) são estruturas que permitem a infiltração da água pluvial no solo através da superfície ou por meio de tubos coletores. Usualmente, essa estrutura é preenchida por material poroso, como brita, que permite armazenar temporariamente a água e garantir condições da alimentação ao longo do tempo. Podem-se distinguir dois tipos de poço de infiltração, de acordo com a altura do lençol freático: o poço cuja cota do nível da base está acima do lençol freático e onde a água pluvial é percolada e faz recarga do aquífero e o poço de injeção, cuja cota do nível da base está abaixo do lençol freático e a água pluvial é encaminhada diretamente para o aquífero (Lopes, 2017).

As vantagens destas técnicas são o seu baixo custo de construção e manutenção, potencial de aplicação em meio urbano e uso em solos de camada superficial permeável e pouco permeável. As limitações incluem a possibilidade de contaminação dos aquíferos, a não compatibilidade com terrenos rochosos e locais com elevado nível de lençol freático e a necessidade de manutenção com certa frequência para evitar a colmatção do solo (Lopes, 2017).

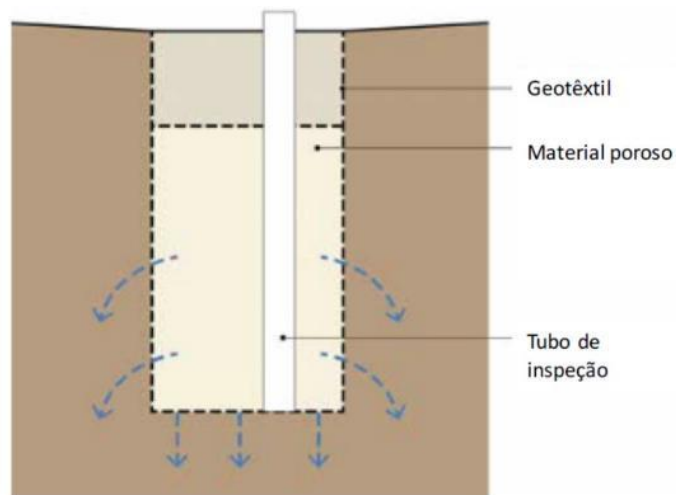


Figura 3-13: Representação esquemática de um poço absorvente.

Fonte: Lopes, 2017 (Adaptado de Woods et al., 2015)

Valas com cobertura vegetal são estruturas longitudinais e de pouca profundidade, de secção variável, contendo uma cobertura vegetal (relva e plantas rasteiras) (Figura 3-14). O seu principal propósito é atenuar o escoamento e propiciar o armazenamento e infiltração ao longo do percurso, promovendo assim a depuração através de processos físicos e biológicos. Essa estrutura é adequada para locais que possuem pluviosidade pouco intensa e são implantadas usualmente paralelamente a arruamentos. As vantagens são o baixo custo de instalação e manutenção e a fácil execução.

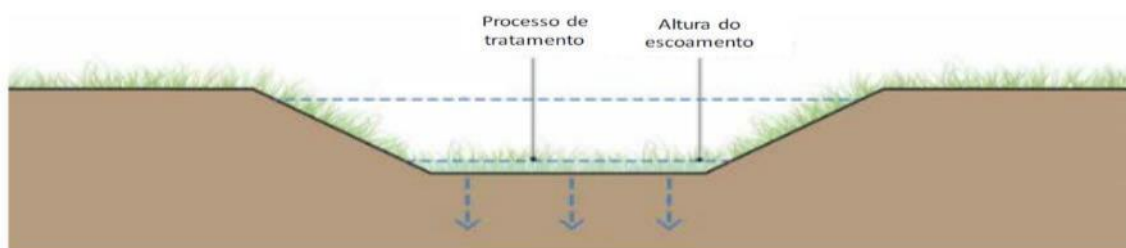


Figura 3-14: Representação esquemática de uma vala com cobertura vegetal.

Fonte: Lopes, 2017 (Adaptado de Woods et al., 2015)

As faixas filtrantes são faixas de vegetação que recobrem taludes suaves, onde, durante as ocorrências pluviais a água escoar até atingir o sistema de drenagem ou meio receptor (Figura 3-15). Estas estruturas foram concebidas para executarem um pré-tratamento

às águas pluviais, através da filtragem de sedimentos e outros materiais, que poderiam prejudicar outros componentes do sistema à jusante. São adequadas para a drenagem de bacias com áreas pequenas, como estradas e parques de estacionamento.

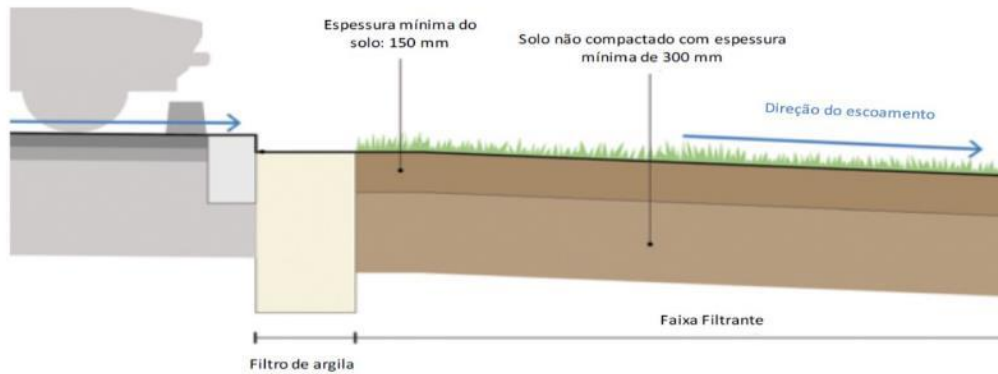


Figura 3-15: Representação esquemática de uma faixa filtrante

Fonte: Lopes, 2017 (Adaptado de Woods et al., 2015)

As bacias de retenção são via de regra, depressões do terreno destinadas a receber o excesso de água durante os eventos chuvosos. Podem ser classificadas em bacias secas (Figura 3-16) e bacias com nível de água permanente e a céu aberto ou enterradas. As bacias secas podem ser vegetadas com relvados e plantas de pequeno porte (Woods et al., 2015).



Figura 3-16: Bacia de retenção do tipo seco

Fonte: Woods et al. (2015)

As bacias de retenção são destinadas a regularizar os caudais, através do armazenamento da água (Figura 3-17). Quanto à localização em relação ao sistema de drenagem, podem ser bacias em série ou em paralelo. Os pontos positivos, é que esse tipo de solução concilia os aspetos técnicos, ambientais e socioeconómicos. Podem ter as funções urbanas paisagística, recreativa, de desporto ou lazer e contribuir com a redução da poluição, e para a redução do risco de inundações, podem constituir volumes de armazenamento de água para o caso de incêndios, limpeza de arruamentos, uso industrial e uso agrícola, entre outros (Matos & Ferreira, 2012).

As bacias enterradas ou reservatórios enterrados, são indicadas para áreas urbanas densas e com pouca disponibilidade de terreno. Podem ser construídas em áreas públicas como parques de estacionamento, zonas ajardinadas e garagens. São construídas, em geral, utilizando betão armado similar aos reservatórios de água de abastecimento e, em relação ao sistema de drenagem são usualmente construídos em paralelo (Matos & Ferreira, 2012).

Para a conceção e projeto da bacia de retenção deve levar-se a cabo um estudo hidrológico com a previsão dos caudais e volume afluentes, identificação do destino final, escolha do local de implantação através de estudo socio- económico- ambiental; levantamento geológico, topológico, geotécnico, hidrogeológico e de proteções ambientais e patrimoniais (Matos & Ferreira, 2012).



Figura 3-17: Exemplo de bacia de retenção com nível de água permanente em meio urbano

Fonte: Câmara Municipal de Guimarães (2018)

As dificuldades para a implantação e exploração desse tipo de estrutura são a disponibilidade de espaço; a necessidade de manutenção, a entrada de águas não pluviais; a recolha de sobrenadantes; a limpeza dos dispositivos (desarenadores, câmaras de grades, retentores de óleos); a proteção, tratamento e limpeza de fundo do reservatório e dos seus taludes, e o controlo de qualidade da água armazenada.

Os telhados e fachadas verdes, são estruturas que comportam espécies vegetais, e que podem ser implantados em edifícios (Figuras 3-18 A e B). Os telhados verdes podem ser divididos em dois tipos: os telhados extensivos e os telhados intensivos. Os telhados extensivos possuem substrato com pouca profundidade, simples plantio e pouca manutenção. Os telhados intensivos possuem substrato mais profundo e suportam uma diversidade vegetal maior. Porém, necessitam de mais manutenção e consequentemente requerem acessibilidade ao telhado (Woods et al., 2015).



Figura 3-18 A: Prédio com fachada verde

Fonte: Woods et al. (2015)

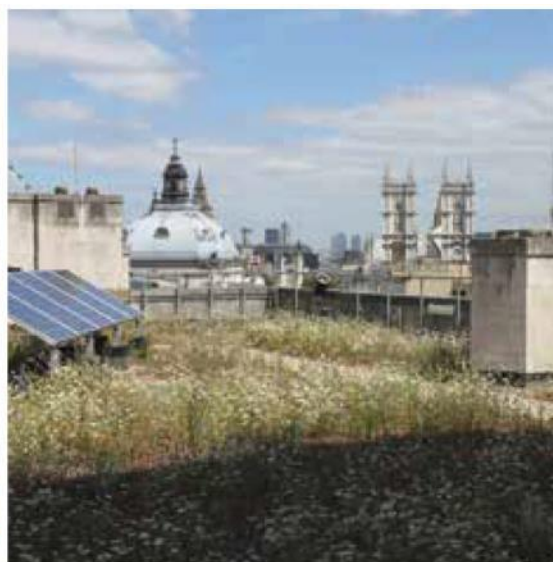


Figura 3-18 B: Edifício com telhado verde

Fonte: Woods et al. (2015)

Os telhados devem ter uma inclinação de mais ou menos 1,5% e uma espessura de 100 a 200 mm. A seguir é feita a impermeabilização, instalada uma barreira para a raiz, uma camada para recepção da água drenada, uma camada com uma manta permeável, o substrato e camada de vegetação (Figura 3-19).

As vantagens do telhado verde são o aumento do desempenho térmico dos edifícios; redução dos custos com energia; combate ao efeito “ilhas de calor”; aumento da qualidade de ar; melhoria do isolamento acústico dos edifícios; drena e filtra a água, que poderá ser utilizada para irrigação, limpeza urbana e promoverem efeito paisagístico favorável. As desvantagens são os custos de instalação, e manutenção, e restrição de uso de acordo com a estrutura do edifício.

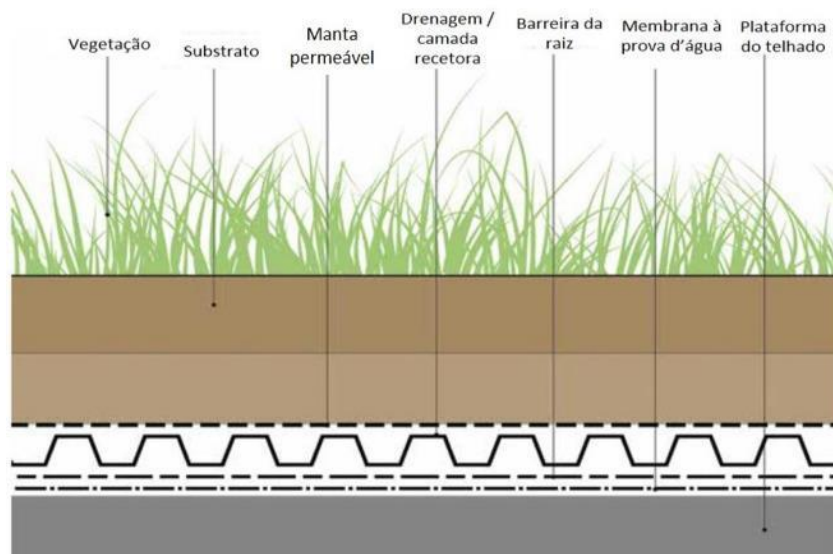


Figura 3-19: Representação esquemática de um telhado verde("green roof")

Adaptado de Woods et al. (2015)

3.4.1.3. Intervenções físicas especiais

Em uma rede de drenagem, são usados alguns equipamentos, com o objetivo de vencer os desafios que podem ser encontrados no terreno. Estes, contribuem para facilitar a drenagem. Podem citar-se como exemplo de equipamentos especiais do sistema de drenagem os sifões invertidos, descarregadores e instalações elevatórias (Matos & Ferreira, 2012).

Os sifões invertidos são utilizados para vencer obstáculos, com escoamento inteiramente gravítico. No entanto, são equipamentos que devem ser evitados, já que podem ocorrer deposição de sólidos transportados em suspensão, quando a tensão de arrastamento é insuficiente para garantir a autolimpeza. No caso da água pluviais, os sifões invertidos devem ser só usados em último recurso (Matos & Ferreira, 2012).

Os descarregadores são utilizados em sistemas de drenagem unitários ou pseudo-separativos com a função de desviar os caudais domésticos para emissários afluentes à ETAR. Dessa forma, os descarregadores devem ser dimensionados de forma que os caudais desviados atendam ao dimensionamento das estruturas a jusante. Os principais tipos são descarregadores laterais, descarregadores frontais e o de salto. Um descarregador pode ser caracterizado como lateral, quando está inserido na parede de

um canal e as linhas de corrente do escoamento a montante do descarregador são paralelas a este. O descarregador frontal pode ser utilizado quando os caudais são mais ou menos contudentes, com regime permanente ao longo da crista⁵. O descarregador de salto possui um orifício concebido para a vazão de caudais de estiagem, o caudal pluvial excedente transpõe esse orifício que deve ser dimensionado de acordo com o cálculo de caudal.

3.4.1.4. Cidades esponja

Uma cidade esponja é definida como: um aglomerado urbano que atua como esponja, por ter a capacidade de absorver e armazenar a água durante uma chuva e posteriormente torná-la utilizável (Ma et al., 2018) diminuindo, assim, o fluxo do escoamento superficial e evitando inundações. Esse novo conceito de gestão integrada de águas pluviais urbanas, permite o aumento da resiliência e adaptação da cidade face às alterações climáticas.

O foco de uma cidade esponja são os corpos de água, instalações urbanas, jardins e vias, que deve tornar-se o mais permeáveis possível. A água da chuva é infiltrada, tratada, armazenada e reutilizada utilizando um sistema estrutural que inclui redes de tubagens, reservatórios e estações de bombagem (Wang et al., 2019).

O conceito de cidade esponja foi inspirado em estratégias de gestão pluvial já desenvolvidos em outros países, como: Desenvolvimento de baixo impacto (“Low Impact Development” - LID) desenvolvido nos EUA para melhores práticas de gestão, design urbano sensível à água (“Water Sensitive Urban Design” - WSUD) da Austrália, o conceito de sistema de drenagem urbana sustentável (“Sustainable Urban Drainage Systems” - SUDS) do Reino Unido, Sistema integrado de gestão de água urbana na Dinamarca e Suécia, desenvolvimento de cidade de baixo impacto (“Low Impact City Design and Development” - LIUDD) da Nova Zelândia e a gestão ABC do sistema de água de Singapura (Zhang et al., 2019).

⁵ Parte superior de uma estrutura de drenagem ou barragem, em que a água deve atingir antes de sobrepor tal estrutura.

Copenhague, por exemplo, possui boa parte do sistema de drenagem e esgoto bem estruturado. Porém, eventos de chuvas extremas mostraram a necessidade de melhorias estruturais e de adaptação. Nesse caso, a reestruturação está concentrada nas modificações da conectividade combinada do sistema de drenagem e uso integrado de superfícies em espaços públicos (bacia de retenção), como parques, campos desportivos e demais espaços abertos para armazenamento temporário de águas pluviais (Wang et al., 2019).

Atualmente a China possui 30 cidades piloto, previstas no plano nacional de urbanização que articulou o modelo de transição para a sustentabilidade com planos de melhoria da resiliência ao longo do período de 2014-2020, esforçando-se para que as suas cidades tenham um desenvolvimento socioeconómico sustentável.

Um dos principais desafios para a implementação das cidades esponja, está ligado à gestão estrutural e de recursos humanos. Os contactos e cooperação entre agentes envolvidos e a aplicação de tecnologias de sistemas de informação podem melhorar a eficiência da comunicação. A gestão de águas pluviais tem recebido uma maior atenção nos últimos tempos, em resposta às necessidades de melhoria, às mudanças no clima e nas condições urbanas. Portanto, tem-se notado uma evolução nos sistemas de drenagem, com uma maior sofisticação, multidimensionalidade e sustentabilidade, deixando de ser caracterizado simplesmente por obras de adaptação, para abranger uma maior gama de usos e funções, como uso recreativo e de lazer, manutenção da qualidade da água, entre outros (Figura 3-20). A mudança do paradigma da gestão de águas pluviais implicou uma maior complexidade (Jiang et al. 2017).

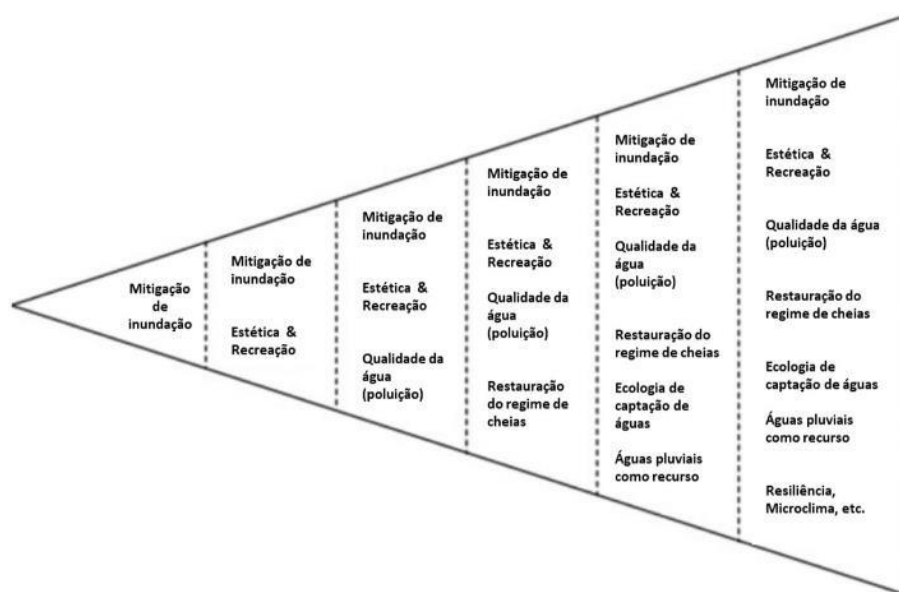


Figura 3-20: Crescimento da complexidade na gestão de águas urbanas pluviais

Adaptado de Jiang et al. (2017)

As cidades-esponja colocam em prática um novo sistema de desenvolvimento urbano com foco no ecossistema, otimização da gestão, sustentabilidade dos recursos hídricos, capacidade de resiliência e adaptação. Através do tratamento da água pluvial coletada, o que anteriormente era a causa de inundações e poluição, é transformado em um recurso favorável, tornando-se um meio económico, ecológico e eficaz de resolver problemas comuns do ciclo urbano da água (Zhang et al.,2019).

3.4.2. Medidas não físicas de gestão de inundações

As medidas não físicas de gestão de inundações urbanas passam, regra geral, por um trabalho comunitário, com apoio e regulação do Estado. As medidas envolvem frequentemente a conscientização pública, o fortalecimento da estrutura social, políticas de regulação do uso e ocupação do solo, políticas de desenvolvimento local, aviso e previsão de eventos, planeamento de resposta em caso de emergência e capacitação e aprendizagem, medidas individuais descentralizadas e planos alternativos, como indicado na Figura 3-21 (Andjelkovic, 2001).

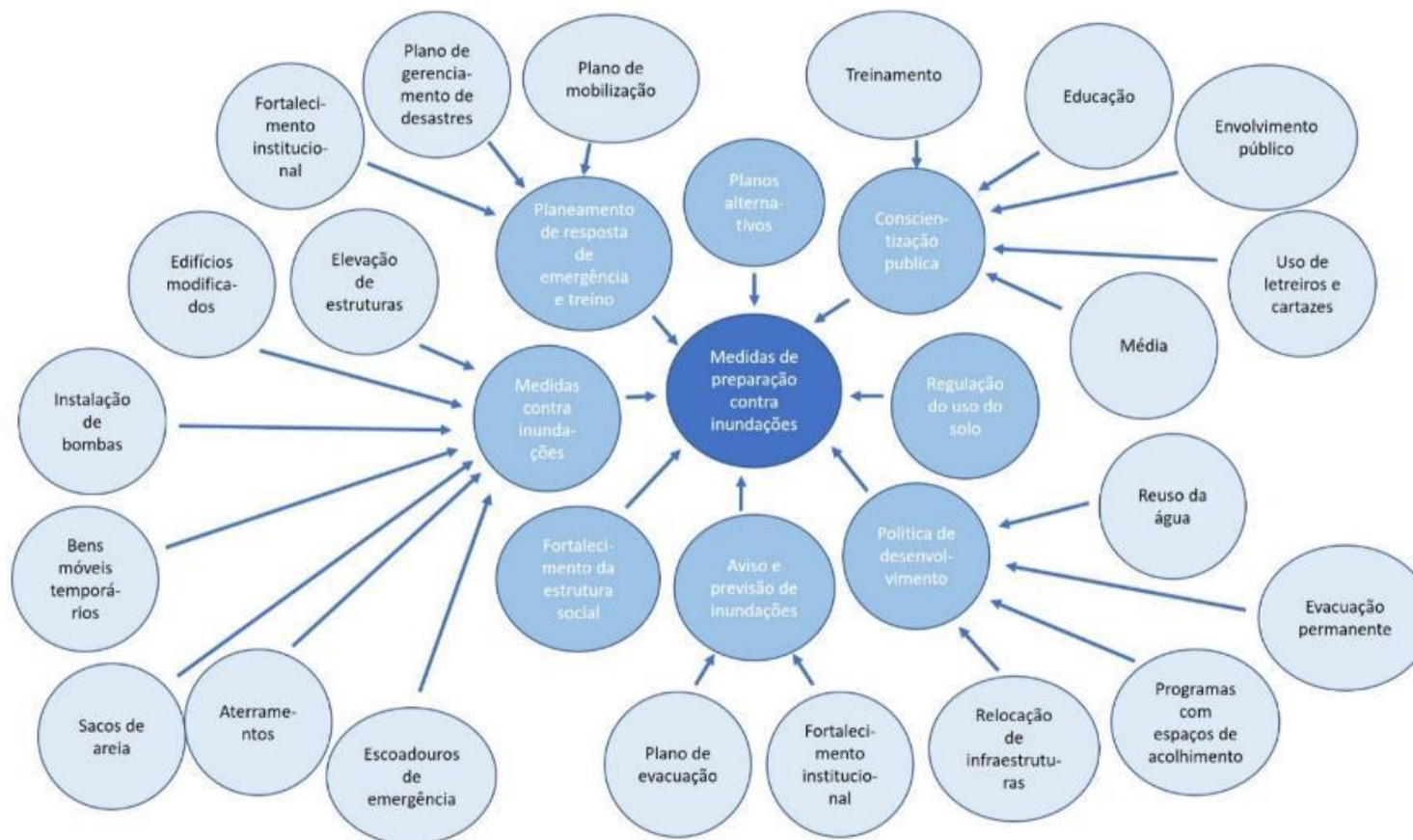


Figura 3-21: Medidas de preparação contra inundações.

Adaptado de Andjelkovic (2001)

As medidas e respostas de emergências contam com o voluntariado e gestão de donativos, informação pública, coordenação de busca e resgate, gestão de alimentos e provisões, gestão de finanças, cuidados médicos, gestão da comunicação, gestão de abrigos e gestão de resíduos. Após os eventos, é importante que também haja um planeamento no que respeita a reabilitação e recuperação, que inclua relatórios sobre os danos e vítimas, facilitação do processo de pedidos materiais, a reconstrução, os fundos de caridade e as medidas terapêuticas sociais (Andjelkovic, 2001). As medidas não-estruturais, podem ser exploradas através dos seguintes tópicos principais: legislação e regulação, planeamento urbano, educação ambiental, constituição de seguros e melhoria de sistemas de previsão e aviso, como serão expostos a seguir.

3.4.2.1. Legislação e regulação

É usual a responsabilização do governo nacional, compartilhado com as autoridades regionais ou locais, no caso de grandes desastres. Um dos papéis do Governo é a formulação de uma política de prevenção, a fim de conscientizar a população a respeito dos perigos para a vida, a saúde e propriedade, de eventos críticos, como as inundações. O planeamento central, é partilhado por vários níveis de governação e envolve várias áreas. No caso das inundações, é importante o estudo das bacias hidrográficas, a preparação de Leis e a prestação de assistência técnica e financeira a nível local (Andjekkovic, 2001).

A criação de Leis e Portarias contribuem para o zoneamento, planeamento e ordenamento do território, de acordo com as características físicas do local. É importante que essa política seja estendida a áreas urbanas, onde podem ser estabelecidas metas, políticas e programas de desenvolvimento sustentável. A disseminação de informação é outro dos papéis importantes da administração pública, recorrendo à memória coletiva para prever eventos cíclicos e prevenir a ocupação das áreas de risco (Andjekkovic, 2001).

Entre algumas medidas que podem ser organizadas pelo Poder Público de qualquer nação com recursos para tal, podem citar-se: Criação de um plano diretor de drenagem

pluvial, com especial atenção para o controlo de cheias e poluição e projeto de conscientização da população para medidas de atuação em face de inundações, dando ênfase às melhores práticas, simulações e treinamento para situações de emergência e sistemas de previsão e alerta; plano integrado envolvendo os diversos estratos sociais, com medidas de resposta de emergência, planos de evacuação, coordenação de busca e salvamento, assistência médica e disseminação de informação; programa de recuperação pós inundações, com recurso a seguros, assistência financeira, medidas de reabilitação, e programas de saúde, abrigo e emprego (Andjekkovic, 2001).

Uma importante legislação relativa à água, no nível de União Europeia, é a Directiva Quadro da Água (DQA) 60/2000/CE, de 23 de outubro de 2000. A DQA estabelece um panorama de ações comunitárias para a proteção das águas subterrâneas, superficiais, interiores, de transição e costeiras com o intuito de evitar a degradação dos ecossistemas aquáticos e regular as emissões e descargas, através da regulação de limites de emissão e padrões de qualidade (Ferreira, 2006; Lopes, 2017).

Em Portugal, a DQA foi transposta pelo direito nacional através da Lei nº 58/2005 de 29 de dezembro e alterada pelo Decreto-Lei nº 130/2012 de 22 de junho, com os objetivos de implementar o uso sustentável da água e evitar a poluição na origem e estabelecer mecanismos de uso e gestão sustentáveis, a fim de garantir a manutenção dos ecossistemas aquáticos. (Ferreira, 2006; Lopes, 2017).

A Directiva 2007/60/CE de 23 de outubro de 2007, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações, complementa o disposto na Directiva 2000/60/CE e tem como objetivo estabelecer um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, que possam causar prejuízos à saúde humana, ambiente, património cultural e atividades económicas, dentro da comunidade europeia.

A avaliação preliminar de risco de inundações deve ser organizada com base nas informações disponíveis, incluindo estudos, registos e evolução a longo prazo, isto é, alterações climáticas. Devem ser incluídos dados de bacias e sub-bacias hidrográficas, zonas costeiras, solos, dados de inundações históricas e avaliação das potenciais

consequências prejudiciais das inundações. Deve ser garantido o intercâmbio de informações relevantes entre as autoridades competentes dos Estados membro.

Com base na avaliação preliminar, são elaboradas as cartas das zonas inundáveis e cartas de riscos de inundações com cenários de fraca, média e elevada probabilidade de fenómenos extremos. Esse estudo também deve abranger o número de pessoas potencialmente afetadas, a atividade económica afetada, as instalações que possam causar poluição accidental e as zonas protegidas nas áreas afetadas. O prazo para a conclusão dessa etapa foi 22 de dezembro de 2013.

O plano de gestão de risco deve levar em conta aspetos como custos e benefícios, amplitude das inundações, zonas com potencialidades de retenção de água, ordenamento do território, entre outros. Também inclui a gestão de inundações provocadas pelo mar e a implementação de ferramentas de prevenção, proteção e de alerta. O prazo para conclusão dessa etapa foi 22 de dezembro de 2015.

Deve ser encaminhado à Comissão da Europeia, um relatório sobre a aplicação da Directiva sobre a avaliação e gestão dos riscos de inundações, tendo em conta os efeitos das alterações climáticas. O primeiro relatório teve como data limite 22 de dezembro de 2018, devendo seguir-se o envio com periodicidade de seis em seis anos.

A legislação brasileira de recursos hídricos e sistemas de saneamento iniciou-se em 1934 com o chamado Código das Águas (Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934), culminando na lei que dispõe sobre o plano de saneamento básico (Lei nº11.445/2007), entre outras (Quadro 3-2). Nas últimas décadas tiveram lugar experiências importantes a nível Municipal, como o Plano de Desenvolvimento Urbano de Belo Horizonte - MG em 1996, o Programa de conservação e uso racional da água nas edificações de Curitiba -PR em 2003, o Código de obras edificações em São Paulo – SP em 1992, o Plano diretor de desenvolvimento urbano e ambiental de Porto Alegre – RS em 1999, entre outros (Cruz et. al.2007).

Quadro 3-3: Cronologia da Legislação Federal sobre recursos hídricos e drenagem urbana no Brasil.

Ano	Assunto
1934	Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934 “Código das Águas”. Iniciou a regulamentação do uso da água.
1988	Constituição Federal. Artigos 20, 21 e 26 que dispõem sobre Recursos Hídricos.
1997	Lei nº 9.433/1997. Política Nacional de Recursos Hídricos
2007	Lei nº 11.445/2007. Dispõe sobre a Política e Plano de Saneamento Básico (água, esgoto, resíduo e drenagem)
2016	Lei 13.308/ 2016. Altera a Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determinando a manutenção preventiva das redes de drenagem pluvial

Fonte: Elaborado pelo autor

Concentrando-se nas iniciativas ao nível Federal, o Decreto 24.643/1934, também conhecido como Código das Águas, caracteriza os corpos hídricos e enquadrava-os em águas comuns ou dominicais⁶, também dispõe acerca do aproveitamento das águas, navegação, portos, caça e pesca, transposição de rios, águas subterrâneas, águas pluviais, energia hidráulica, entre outros.

A Constituição Federal de 1988 avançou em termos de gestão de recursos hídricos, definindo a água como bem de uso comum e alterando a dominialidade as águas do território nacional (Porto & Porto, 2008). Segundo o Art. 20, inciso III, da Constituição de 88, são bens da União “os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais” (Brasil, 1988).

⁶ São públicas dominicais, todas as águas situadas em terrenos que também o sejam, quando as mesmas não forem do domínio público, de uso comum, ou não forem comuns (Art. 6º, Decreto nº 24.643 de 10/07/1934)

Segundo o Art. 21, compete a União:

“XVIII – planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações;

XIX – instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso;

XX – instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos [...]” (Brasil, 1988, pg. 27).

No Art. 26, inciso I, são incluídos como bens dos Estados as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito (Brasil, 1988). O Art. 21 da Constituição Federal de 88, deu origem a Lei 9.433/1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e deu origem ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos, oferecendo ao país um instrumento legal visando garantir qualidade e quantidade desse recurso para as gerações futuras (Porto & Porto, 2008).

A Política Nacional de Recursos Hídricos tem como fundamento que a água é um bem de domínio público, é um recurso limitado com valor econômico, em situações de escassez o uso prioritário é o humano e saciação de animais, a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema de Gerenciamento de Recursos hídricos, a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e garantir o uso múltiplo da água (Brasil, 1997).

Os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos incluem a garantia de disponibilidade de água para as gerações futuras, o uso racional da água e a prevenção contra eventos hidrológicos críticos de ordem natural ou por uso inadequado dos recursos naturais (Brasil, 1997).

Como diretriz de ação do plano de recursos hídricos prevê a gestão integrada, o enquadramento dos corpos de água em classes, de acordo com o uso, a outorga dos direitos de uso, a cobrança pelo uso, a compensação aos municípios e o sistema de informações sobre recursos hídricos (Brasil, 1997).

Foi criado em 2001 a Agência Nacional de Águas (ANA) como órgão de gestão de recursos hídricos no Brasil. Essa é a entidade responsável pela implantação da política nacional de recursos hídricos e tem o poder de fiscalização e cobrança pelo seu uso. Dada a gestão descentralizada e as bacias hidrográficas como unidade de gestão, as decisões sobre uma bacia são discutidas publicamente, através do comitê de bacias hidrográficas, que reúne sociedade civil e utilizadores (Porto & Porto, 2008).

A Lei nº 11.445/2007 estabelece as diretrizes para o saneamento básico no Brasil. Essa Lei define saneamento básico como o conjunto de atividades, infraestruturas, serviços e instalações relacionados com o abastecimento de água potável, drenagem de águas residuais, limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos e de águas pluviais (Brasil, 2007).

Entre os princípios mais relevantes do fornecimento público de serviços de saneamento estão a universalização do acesso; a integralidade dos serviços para a máxima eficácia dos resultados, em abastecimento de água, “esgoto” sanitário, limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública e proteção do ambiente; disponibilidade de serviços de drenagem em todas as áreas urbanas; adoção de técnicas considerando as realidades locais e regionais; articulação com as políticas de desenvolvimento urbano, de habitação, de combate à pobreza, de proteção ambiental e promoção da saúde; eficiência e sustentabilidade econômica; utilização de tecnologias apropriadas e integração de infraestruturas e serviços com a gestão de recursos hídricos (Brasil, 2007).

A Lei 13.308/2016 fez algumas alterações à Lei 11.445/2007, principalmente no tocante ao saneamento básico e a manutenção das redes de drenagem pluvial. Essa Lei realça a importância da disponibilidade dos serviços de drenagem e gestão das águas pluviais em áreas urbanas e adequados serviços de fiscalização e limpeza das redes, para que sejam adequadas à saúde pública e segurança da vida e patrimônio público e privado (Brasil, 2016).

Essa Lei também inclui preocupação com as infraestruturas de retenção ou retenção para o amortecimento de caudais de cheias, e tratamento e disposição final das águas

pluviais nas áreas urbanas. Também se ressalta que está sobre alçada da União, além dos serviços de abastecimento de água, esgoto sanitário, gestão de resíduos sólidos e gestão das águas pluviais, o fornecimento de banheiros e unidades hidrossanitárias para populações de baixa renda (Brasil, 2016).

3.4.2.2. Instrumentos de organização e gestão de inundações

Um desastre natural acarreta perdas diretas como destruição de infraestruturas, queda de serviços como água, energia, comunicação e transportes públicos, assim como perdas indiretas, como prejuízos para o comércio, disponibilidade de mão de obra e falta de segurança, entre outros. Os instrumentos de organização e gestão de desastres devem abranger todos os tipos de prejuízos, sendo, portanto, um desafio para o poder público apresentar respostas a uma ampla gama de desafios que englobam o humano, social, financeiro, económico e ambiental com efeitos que podem ser duradouros e multigeracionais. A rede de interdependência também é um fator a ser levado em consideração, já que consiste em numerosas interações e efeitos cascata (Ganapathy, 2018).

Segundo Andjelkovic (2001), os principais aspetos da gestão e redução de desastres são: a aceitação do facto que eles podem acontecer; a perceção das causas dos seus riscos; a integração dos atores sociais numa política de desenvolvimento; a existência de diretrizes para redução de desastres e a avaliação das propostas de desenvolvimento. Para o sistema de gestão de desastres existem dois paradigmas principais: o paradigma da complexidade, que utiliza escalas temporais mais longas e considera as necessidades das gerações futuras. Nesse paradigma é necessário um aumento do processamento de informações e precisão das simulações. O segundo paradigma é o da incerteza, que defende que todos os elementos de incerteza aumentam gradualmente no tempo e no espaço, à medida que a disponibilidade de dados fiáveis de desastres diminui. A incerteza é sobretudo causada pela variabilidade dos componentes físicos do sistema e pela falta de elementos informativos (Jahangiri et al, 2017).

Albanese e Panturas (2018) também destacam a importância do pensamento crítico e julgamento reflexivo na gestão de desastres. A informação é um fator valioso, quando

integrado no processo crítico, gerando ações eficazes. Nesse processo, as informações seriam os dados de entrada e as decisões são os resultados que determinam o quanto são eficientes as respostas frente aos desastres (Figura 3-22). Para alcançar o processo de pensamento crítico, os autores enumeram como etapas principais: o enquadramento do problema, a interpretação das informações, a análise da informação de forma objetiva, a avaliação de argumentos, o raciocínio indutivo e o raciocínio dedutivo.

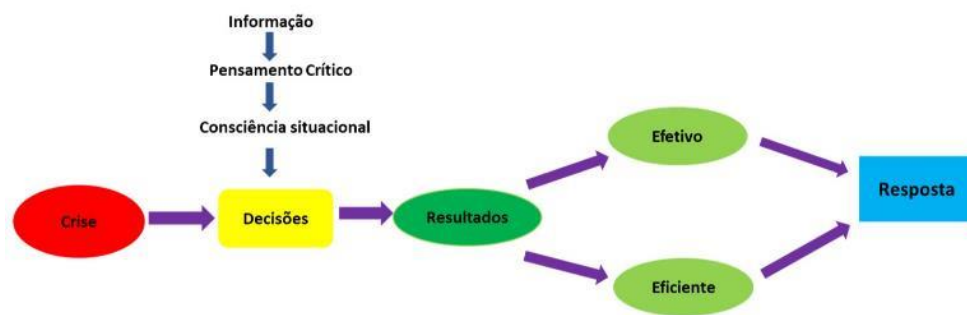


Figura 3-22: Processo de pensamento crítico para gerar decisões estratégicas

Fonte: Albanese e Panturas (2018)

Em uma situação crítica, as informações resultam de diversos meios: media, notas impressas, telefone, internet, aplicativos, informação cara a cara, entre outros. Algumas informações são essenciais para a tomada de decisões, outras nem tanto. A filtração de tanta informação, baseada no pensamento crítico, vão garantir a diferença no resultado final. As informações mais relevantes respeitam a localização, hora, causa e gravidade, condições do tempo, disponibilidade de recursos físicos e humanos e a integração de agências para garantir a partilha de informações e o trabalho conjunto (Albanese e Panturas, 2018).

A avaliação de risco é essencial para o planejamento e gestão, o mapeamento das áreas suscetíveis, por exemplo, permite conhecer os pontos fracos e os processos locais, funcionando como diagnóstico e possibilitando ações de planejamento. A espacialização da informação pode resultar em dados temporais, espaciais, frequência de ocorrência, duração e gravidade. Essas informações podem ser utilizadas não só para a utilização no

dia-a-dia como também para projeções e simulações que podem determinar as prioridades futuras (Andjelkovic, 2001).

O uso do SIG (Sistema de Informações Geográficas) pode desempenhar uma contribuição ativa em várias etapas de um acontecimento, através da integração do Sistema de Posicionamento Global (GPS) a sites e aplicações, pode fornecer mapas de emergências com rotas de evacuação e identificação de abrigos; identificação de populações vulneráveis e áreas de risco, desempenhando uma importante função na gestão de informações. Os mapas podem fornecer dados para suporte operacional no antes, durante e pós evento, além de permitir a visualização da abrangência do problema como pode-se visualizar nas Figuras 3-23 e 3-24, que abordam algumas últimas situações catastróficas em Brumadinho (Brasil) e em Moçambique (Tomaszewski, 2015).



Figura 3-23: Espacialização da abrangência de resíduos advindos do rompimento da barragem de Brumadinho (MG – Brasil) ocorrido no dia 25/01/2019. Sensoriamento remoto com uso de imagem de satélite.

Fonte: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/02/veja-como-funcionava-a-mina-da-vale-em-brumadinho-e-entenda-a-tragedia.shtml> (2019).

O SIG pode ser utilizado nos pós desastre para a visualização e orientação da recuperação, reconstrução e/ou melhorias de áreas afetadas, podendo incorporar diversas informações como as relativas a : uso do solo, população atingida, recursos naturais atingidos e localização de corpos d'água. Tornando-se uma ferramenta visual

relevante para os diálogos de planeamento comunitário, de gestores e de equipas de resgate (Tomaszewski, 2015).

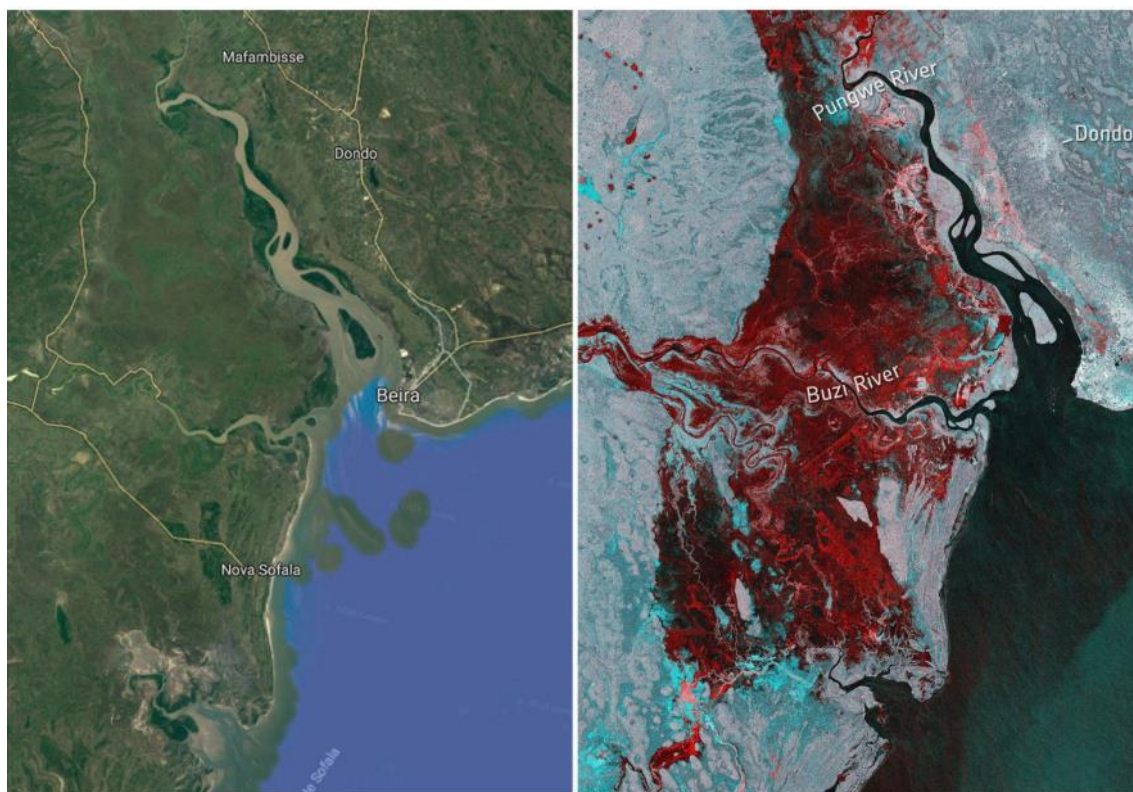


Figura 3-24: Imagem de satélite da área inundada de Moçambique após a passagem do ciclone Idai no dia 14/03/2019.

Fonte: <http://visao.sapo.pt/actualidade/mundo/2019-03-21-Imagens-de-satelite-mostram-o-antes-e-o-depois-das-inundacoes-na-regiao-da-Beira> (2019)

Ressalta-se, nesse contexto, a importância do poder público no que respeita às estratégias de organização e gestão de uma região. Os sistemas devem ser planeados e implementados visando a sustentabilidade e a resiliência. Uma estrutura robusta, inovativa e inteligente pode reduzir as falhas do sistema e concentra-se mais na prevenção do que na recuperação, mitigação e adaptação. A elasticidade no tecido da sociedade promove uma recuperação mais rápida e o retorno às condições iniciais, independentemente da magnitude do desastre. Portanto a inclusão das estratégias de organização e gestão de risco associadas ao pensamento proativo deve ser implementada na fase de concepção de qualquer sistema de serviço público (Ferguson, 2017).

O setor privado também pode atuar no financiamento de ações de prevenção e recuperação. Segundo Ganapathy (2018), essa contribuição pode ocorrer de duas formas: apoiando e financiando a economia local ou através de organizações privadas sem fins lucrativos. O apoio privado pode estender-se ao sistema de saúde, disponibilizando serviços médicos móveis e hospitais de campanha. O setor privado pode ainda ajudar a gestão de desastres através de iniciativas de prevenção e planejamento; investimentos na melhoria da resiliência em comunidades vulneráveis; definição de padrões e garantia de qualidade em estruturas urbanas; apoiar avaliações de risco; incluir funcionários, família e comunidade na geração de consciência de risco e fomentar iniciativas de apoio e suporte em situações de crise.

Destaca-se a importância da ação conjunta do poder público, iniciativa privada e comunidade, para que o processo da prevenção, até a recuperação ocorra com um fluxo de informações pertinentes e claras, apoiada em tecnologia, para a obtenção de uma rápida e eficiente resposta.

3.4.2.3. Sensibilização ambiental e capacitação

Historicamente, as comunidades mais pobres instalam-se nas áreas desvalorizadas do meio urbano, que geralmente incluem zonas instáveis, de elevada suscetibilidade física e inapropriadas para a construção de residências. No entanto, com o advento da educação ambiental foi abordada a busca pela criticidade e o conhecimento sobre a interação da comunidade com o meio, contribuindo para uma melhor compreensão da realidade e conscientização da sociedade sobre seus direitos e responsabilidades (Rosa, et al., 2015).

As populações de baixa renda são geralmente as mais atingidas por desastres, isso se deve a diversos fatores como o nível socioeducacional e cultural, alfabetização, barreiras linguísticas (no caso de imigrantes), pouca mobilidade, pouco acesso aos media (rádio, tv, internet), pouca ou nenhuma infraestrutura de saneamento, entre outros. Os fatores socioeconômicos impactam na capacidade de preparar, responder e recuperar em caso de desastre. Mesmo que exista um alerta prévio, essas pessoas tendem a não responder

devido a precariedade da mobilidade ou simplesmente por não terem para onde ir (Teo et al.,2018).

Para avaliar a sensibilização ambiental da população, foram desenvolvidos muitos estudos. No âmbito da redução de riscos de desastres, um procedimento já utilizado, é denominado por Henriksen (2018), de sistema de monitoramento e alerta rápido (EWMS – Early-warning and monitoring systems). O EWMS, envolve uma série de práticas comuns de previsão e aviso, como por exemplo, o serviço de previsão meteorológica atrelado aos avisos a comunidade nos casos de eventos extremos (Henriksen, 2018).

Porém, Henriksen (2018), ressaltou no mesmo trabalho a importância de incluir as contribuições da comunidade em um sistema de alerta, tornando um sistema de monitoramento participativo (pEWMS – Participatory early-warning and monitoring systems). Esse sistema tem como finalidade gerar e disseminar informações significativas, diminuir o tempo de resposta, envolver a comunidade e organizações e aumentar a resiliência urbana (Henriksen, 2018).

Para estudo de caso do monitoramento participativo (pEWMS), foram escolhidos os problemas com inundações por cheias fluviais na Dinamarca, os vulcões sub-glaciais na Islândia e as inundações severas na Finlândia (Henriksen, 2018).

O pEWMS forneceu cursos e treinamento para a comunidade, aumentando a percepção dos moradores, permitindo maior colaboração na tomada de decisões e gestão de risco, além de uma maior transparência na participação do poder público, aumentando, assim, a confiança das partes envolvidas. Para desenvolvimento do pEWMS foram seguidas quatro etapas: avaliação participativa do conhecimento sobre o risco (neste caso inundações), sistema participativo de alerta precoce e monitorização do risco, acesso a base de dados e simulações e capacidade de resposta consciente (Henriksen, 2018).

As medidas pré e pós evento adotadas pelo poder público e ONG's são essenciais para lidar com os impactos das inundações. No entanto, ressaltando a abordagem transversal

entre atores sociais, destaca-se o estudo de Dewan (2015), que retrata a importância dos conhecimentos tradicionais indígenas que podem ser usados como contribuição de alerta precoce de inundações em uma comunidade do Nepal.

Essa comunidade usa como indicadores de chuvas fortes a posição das nuvens no céu, a mobilidade das formigas, o som anormal dos pássaros e outros animais, a intensidade dos ventos, o som dos rios, o cheiro da lama na água, entre outros. Tal conhecimento associado a alertas precoces são ferramentas valiosas para o planejamento e preparação pré-inundação. Também é interessante a incorporação desses conhecimentos nas ações de capacitação, discussões e workshops locais sobre o assunto (Dewan, 2015).

De acordo com Mabuku et al. (2018), entre os elementos que podem influenciar a sensibilização ambiental incluem-se os seguintes: fatores sociocognitivos; fatores económicos; percepção de risco; senso da comunidade; sentimento de pertencimento; consciência crítica; fatores demográficos como género, idade e estado civil; acesso à informação; nível educacional; acessibilidade a mecanismos de resposta e disponibilidade de treino e sistema de alerta.

A avaliação da percepção de risco é potencialmente subjetiva, pois apesar de incluir fatores possíveis de serem quantificados, outros aspetos são subjetivos e de difícil avaliação. O aumento da percepção no sentido de desencadear ação preventiva e intervenção rápida, em casos extremos, podem significar salvar vidas. É interessante que o treino para a redução e gestão de risco de desastres sejam levados para as escolas a fim de que as próximas gerações consigam discernir as situações de risco e saber como atuar da melhor forma possível.

3.4.2.4. Seguros

O seguro é uma maneira de transferir para outra entidade os prejuízos, por exemplo no caso de um evento catastrófico, funcionando também como um gestor de riscos de perdas maiores e minimizando custos financeiros incompatíveis para o indivíduo. O seguro analisa vários componentes para qualificar e quantificar as perdas.

Uma das estruturas de análise de risco é apresentada na figura abaixo (Figura 3-25), onde são apresentados vários componentes. A influência dos cenários socioeconômicos, climáticos e os instrumentos e políticas de gestão de risco podem ser explorados e ajustados ao sistema integrado de avaliação, que conta com a modelação do uso e ocupação do solo, o sistema de gestão de uso do solo e o desempenho das estruturas de proteção para analisar os perfis de risco (Dawson, 2011).

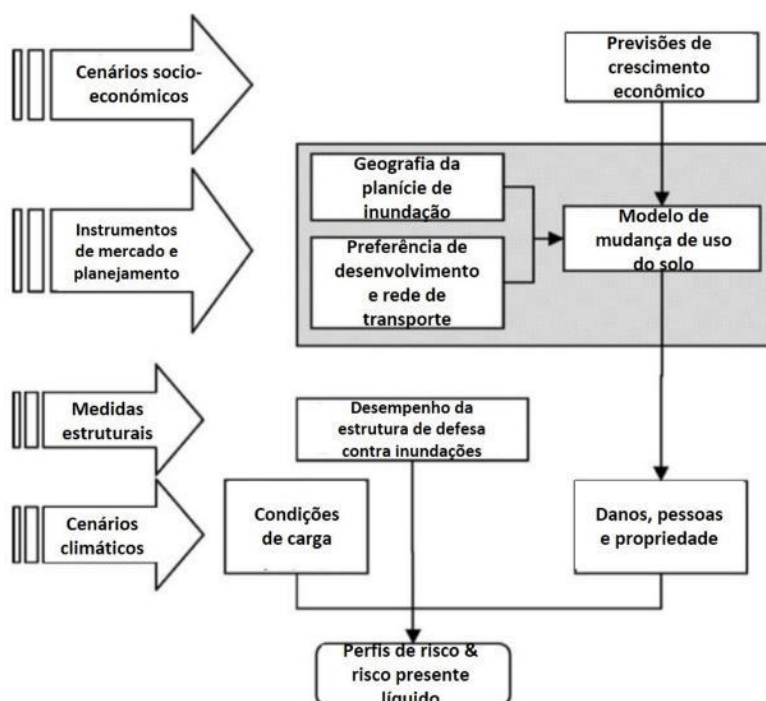


Figura 3-25: Visão geral da estrutura de análise de risco, destacando como os impulsionadores de mudança e as medidas não estruturais de gestão de risco de inundação interagem com o cálculo de risco.

Adaptado de Dawson (2011)

Outra forma de metodologia de cálculo utilizada por seguradoras pode ser apreciada no site do projeto Flood-CBA⁷. Nesse caso, o cálculo é feito através da metodologia de análise de custo-benefício especificamente para cada caso de risco de inundações. Nesse site é feita a estimativa da valoração de propriedades residenciais e não residenciais, através do levantamento do número de casas em área de risco, a valoração do dano por casa, o número de propriedades não residências em risco, a média da área

⁷ http://www.floodcba.eu/main/?page_id=8067&lang=en

construída e o dano por área construída, sendo os dados cruzados com o período de retorno da precipitação. Ao preencher o primeiro quadro, os outros quadros são automaticamente preenchidos, sendo calculados também os benefícios totais (total de danos e dano médio anual com descontos por período de retorno; o total de custos por período de retorno e o resultado final, com os benefícios menos custos e a relação custo-benefício para cada período de retorno.

O resseguro ocorre para situações onde os custos com perdas ficam por volta de 100-200 milhões de euros, portanto, as seguradoras têm que compensar a exposição a tão grande risco. Na maioria dos casos, a última instância é o Estado, mas há exceções. Na Europa, a Grã-Bretanha é o exemplo de um país que não possui o Estado como último recurso. O resseguro é um mercado atrativo para investidores, já que os valores pagos têm sido relativamente limitados. O mercado de resseguro é global, diverso e progressivo (Dawson et. al, 2011).

No Brasil, o mercado de resseguro foi monopolizado pelo Instituto de Resseguros do Brasil (IRB) até 2007, quando através da Lei nº 126 de 15 de janeiro de 2007, foi feita a abertura para empresas privadas. As empresas privadas podem ter 3 tipos de licença e há limites regulatórios para a cessão de resseguros, limitando os resseguradores estrangeiros. Nesse caso, o Brasil trabalha com uma forma mista de resseguro, pois não existe monopólio e nem situação de livre mercado (Mendes, 2019).

As seguradoras também podem atuar no que toca os estudos e projetos associados aos riscos potenciais. No caso de Lisboa, a Associação Portuguesa de Seguradores (APS) em conjunto com a Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FFCUL) desenvolveram um projeto chamado Cartas de inundações e de risco em cenários de alterações climáticas (CIRAC). De acordo com a APS um projeto como o CIRAC funciona como um instrumento de avaliação de riscos potenciais além de ser um contributo útil face o conjunto da sociedade portuguesa (CCIAM, 2014).

O CIRAC além do mapeamento de vulnerabilidade às inundações em Portugal continental, realizou um trabalho nas bacias da Baixa de Lisboa, Algués, Coimbra e Porto,

com a avaliação de riscos de inundações e o dano médio anual nos edifícios e nas diferentes ocupações (CCIAM, 2014).

3.4.2.5. Sistema de monitorização e previsão de alerta

Apesar de não haver maneira de evitar que ocorram fenómenos naturais, o sistema de previsão de cheias é antigo e cada vez mais apurado, por forma a aumentar a segurança de pessoas e bens. Para garantir que essa informação seja acessível, é necessário que esteja vinculado a um sistema de alerta que vai desde notificações via rádio e televisão, pontos públicos de comunicação ou sirene, até avisos via telemóvel e aplicativos.

Foster (1980) idealizou uma metodologia para a estruturação de um sistema de alerta, que envolvia o reconhecimento da ameaça, escolha de um design de sistema de aviso, instalação, treino de utilizadores e testes do sistema.

Deve-se ressaltar que a escolha do sistema de alerta deve ser integrativa e fácil, sendo de suma importância o envolvimento da comunidade, além de passar por testes para averiguação da eficácia. Dentro desse contexto, a UNISDR (2006) propõe que os sistemas de alerta precoce ou *early warning system* (EWA) tenham quatro elementos interligados: o conhecimento do risco, serviços de monitorização e aviso, disseminação e comunicação e capacidade de resposta. A qualidade do sistema de aviso vai depender da inter-relação entres esses quatro fatores.

Relativo à importância do envolvimento dos agentes sociais, Melo et al. (2017) apresenta o sistema de alerta por sirene no Rio de Janeiro, intitulado “Alerta Rio”. Esse sistema foi instalado em 102 pontos, tidos como área de risco de deslizamentos. Porém, devido à falta de capacitação e envolvimento da comunidade, durante os alertas os moradores não deixavam as suas casas, não utilizavam as rotas de fuga nem se dirigiam aos abrigos temporários. Os líderes comunitários assinalaram que a falta de confiança nos políticos e técnicos da prefeitura também constituem fatores relevantes, juntamente com a falta de percepção das atividades de prevenção.

Na Europa um exemplo de gestão de inundações, é o Sistema Europeu de Alerta de Cheias (EFAS). Esse sistema fornece aos Estados membros (Europa) informações de aviso prévio de cheias em rios transnacionais e de inundações, com antecedência de até dez dias garantindo assim, a preparação da comunidade. O EFAS é composto pelo centro computacional, centro de dissiminação de informações, centro de dados hidrologicos e centro de dados meteorologicos (EFAS, 2018).

Também se insere nesse contexto o sistema HIDRALERTA, que é um sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias, a partir de medições da oscilação marítima. Esse sistema também permite a previsão de eventos e estudos no âmbito da avaliação de riscos (Poseiro et al., 2014).

O HIDRALERTA inclui previsão em tempo real de situações de emergência, emissão de alerta às entidades envolvidas e construção de mapas de risco, a partir de simulações em cenários de alterações climáticas e eventos extremos. O projeto desenvolve uma ferramenta informática de uso simples e sua aplicação vem sendo feita em projetos piloto no porto da Praia da Vitória (Ilha Terceira) e na Costa da Caparica (Poseiro et al., 2014).

Atualmente, devido a fácil acessibilidade, tornou-se uma maneira prática efetuar os sistemas de aviso à população via telemóvel, como se pode verificar nas Figuras 3-26 e 3-27.

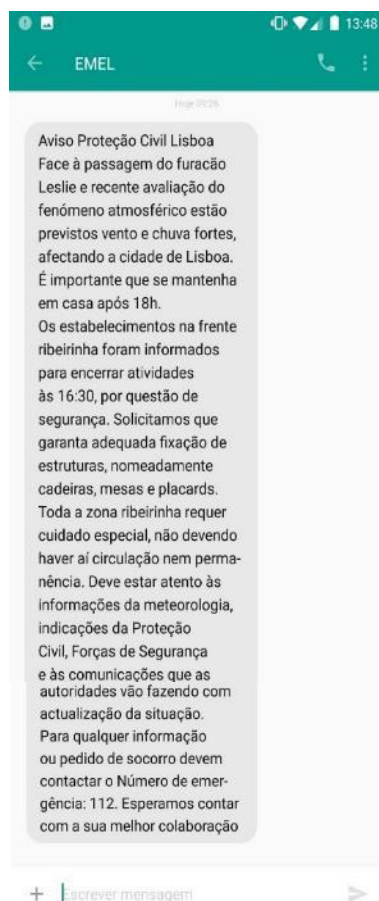


Figura 3-26: Aviso dado via telemóvel pela EMEL (Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa) no dia 14/10/2018, devido à aproximação da tempestade Leslie.

⚠ Risco moderado Estado do Espírito Santo	
Fenómeno	Acumulado de Chuva
Âmbito Geográfico	
Aviso para as áreas: Costa Verde, Noroeste Fluminense, Baixadas Litorâneas, Metropolitana Do Rio De Janeiro, Norte Fluminense, Médio Paraíba, Centrosul Fluminense, Serrana Fluminense, Serrana Capixaba, Metropolitana De Vitória, Litoral Sul Capixaba, Central Sul/Caparaó Capixaba, Rio Doce Capixaba, Centro-Oeste Capixaba, Nordeste Capixaba, Noroeste Capixaba	
Hora do início	17 de abril de 2019 16:20
Hora do fim	18 de abril de 2019 10:00
Probabilidade	Likely
Comentários	
INMET publica aviso iniciando em: 17/04/2019 16:20. Chuva entre 20 a 30 mm/h ou até 50 mm/dia. Baixo risco de alagamentos e pequenos deslizamentos, em cidades com tais áreas de risco.	

Figura 3-27: Aviso via telemóvel para risco de inundações na área de estudo (Vitória-ES), para os dias 17 de abril a 18 de abril de 2019.

Outro sistema interessante e que envolve a participação popular é o sistema PetaJakarta, projeto piloto realizado em Jacarta, Indonésia, e atualmente substituído pelo sistema PetaBencana. Esse sistema tem como objetivo solicitar, coletar, classificar e mapear relatórios de inundações em tempo real, utilizando dados da media social. O sistema depende do envio de dados aos cidadãos, relatando locais e condições de inundação geralmente acompanhados de fotografias e/ou vídeos georreferenciados para redes sociais (nesse caso o mais utilizado era o Twitter Inc.). Através dessas informações emitidas pela população, os dados são cruzados, e mapeados, resultando na disponibilização de mapas de risco e emissão de alertas em tempo real. Essa estratégia foi facilitada por já existir um canal de comunicação entre o governo de Jacarta e a população através das medias socias, nos casos de situações de emergência (Ogie et al., 2019).

Os pontos fortes do sistema PetaJakarta foi constatar a importância da participação social nas iniciativas de aumento da resiliência a desastres. Durante as temporadas de monções de 2013/2014 foram contabilizados 150.000 tweets geolocalizados, com contribuição de 100.000 utilizadores. Esses dados foram uteis para calibrar os dados geográficos e testar o software Cognicity que, por fim, foi implantado com um mínimo de problemas (Ogie et al., 2019).

O software Cognicity foi projetado para permitir aos técnicos visualizar, avaliar, cruzar os dados de diversas fontes e atualizar o mapa de inundações que é publicamente acessível, permitindo assim um tempo de resposta menor, tanto para a atuação dos serviços de emergência como para a reação da própria sociedade (Ogie et al., 2019).

Os desafios enfrentados pelo sistema foi o declínio da emissão de dados pela população, sendo necessário um grande investimento em publicidade, a longo prazo, para a ferramenta não ser esquecida. Atualmente, o projeto foi substituído pelo projeto PetaBencana, que leva em consideração os pontos fortes do projeto PetaJakarta e esforça-se para atuar na melhoria dos pontos fracos. Esse novo sistema abrange as cidades de Jacarta, Surabaya, Bandung e Semarang (Ogie et al., 2019).

No Brasil, existem plataformas de monitoramento do clima como do INMET, CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos)/INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). Dentre esses, o mais voltado aos desastres como inundações urbanas é o CEMADEN.

O CEMADEN foi criado em 2011, após o desastre na região do Estado do Rio de Janeiro (enchentes e deslizamentos), através do Decreto nº 7.513, com o intuito de promover uma política nacional para a gestão de risco e catástrofes e divulgar uma cultura de prevenção (CEMADEN, 2021).

As atividades iniciaram-se 5 meses após o Decreto, com a instalação de uma rede de sensores com radares meteorológicos, pluviômetros, estações hidrológicas, sensores geotécnicos e plataformas de monitoramento de chuva e água no solo. Foram estabelecidas parcerias com instituições Federais, Estaduais e Municipais, permitindo a criação de um banco de dados único (CEMADEN, 2021).

No site do CEMADEN, é possível aceder uma plataforma com um mapa interativo, com as informações das estações hidrológicas, geotécnicas, pluviômetros e radares meteorológicos. Apesar do livre acesso, a interface não é muito intuitiva e os dados são técnicos, o que dificulta a utilização do público em geral, ficando assim, restrita a utilização para pesquisadores e técnicos da área de defesa civil.

A aplicação de estratégias não estruturais, como os sistemas de alerta e aviso, pode contribuir para a promoção de uma cidade resiliente. No entanto, surge a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia prática e simplificada, que possa ser adaptada para diversas áreas e situações (eventos extremos). A metodologia a seguir, tem o intuito de ser uma mais-valia para a aplicação da resiliência urbana.

4. METODOLOGIA

4.1. Aspectos gerais

O desenvolvimento de uma metodologia prática para tornar uma cidade resiliente envolve muitos desafios, pois trata-se de usar um conceito abstrato, que envolve muitos fatores e simplificá-lo da forma mais completa possível. Para alcançar as variáveis principais, principalmente as do campo sociológico, são utilizadas algumas matrizes de apoio, como a já citada *City Resilience Index* (Anexo I), que visa englobar as diversas dimensões e objetivos, para detalhar indicadores de resiliência.

Inspirado no trabalho da Arup & Rockefeller Foundation (2016) e Un-Habitat III (2015) neste estudo foram estabelecidas duas matrizes (Anexo II e Anexo III), onde se incluem as dimensões organizacionais e funcionais dos serviços urbanos de abastecimento de água, de águas pluviais, de águas residuais, de energia, de resíduos sólidos e de mobilidade.

No âmbito dessa tese, foram escolhidos os principais serviços urbanos e estudados os efeitos das inundações, levando em consideração a geração de interdependências e os efeitos cascata. Nesse contexto, apresenta-se o desenvolvimento de uma ferramenta quantitativa, baseada em indicadores para a avaliação da resiliência em meio urbano relativamente a inundações, sendo proposto um procedimento simplificado e replicável que aponte quais intervenções urbanas devem ser tomadas e onde se deve atuar para o aumento da resiliência, em cenário atual e sob efeito de alterações climáticas.

A metodologia dessa investigação divide-se em 5 etapas como ilustrada nas Figuras 4-1 e 4-2:

1. Levantamento de dados (tracejado amarelo) – inclui a recolha e tratamento de informações necessárias para as simulações, construções de mapas e cálculo dos índices de resiliência. Entre eles: planta da rede de drenagem, limites da bacia de drenagem, cadastro do sistema de drenagem (traçado, diâmetros, caixas de visita, cota de soleira, quedas e profundidade das caixas de visita), topometria do terreno, curvas IDF, histórico de precipitação, equipamentos urbanos da área (vias, comércio, residência, hospitais, paragem de autocarro, prédios institucionais, entre outros), informações e registos de precipitações.
2. Simulações e cálculos (tracejado laranja) – simulação no SWMM⁸ para períodos de retorno pré definidos gerando a localização de pontos de extravasamento, volume de extravasamento do sistema, caudais extravasados, duração das inundações e mapeamento das áreas inundadas com o auxílio do Arcgis⁹ e Qgis¹⁰.
3. Calibração do modelo e cálculo de indicadores de desempenho e índice de resiliência (tracejado castanho) – escolha dos indicadores mais apropriados para a área de estudo e aplicação do IRUIe¹¹ e ARUIg¹².
4. Classificação e avaliação de resiliência (tracejado rosa) – Classificação dos resultados através de um quadro de classificação que vai de péssimo à ótimo.
5. Proposição de medidas físicas e não físicas (tracejado roxo) – Para o caso de uma classificação baixa do índice de resiliência, proposta de medidas físicas e não físicas de acordo com as características da área de estudo.

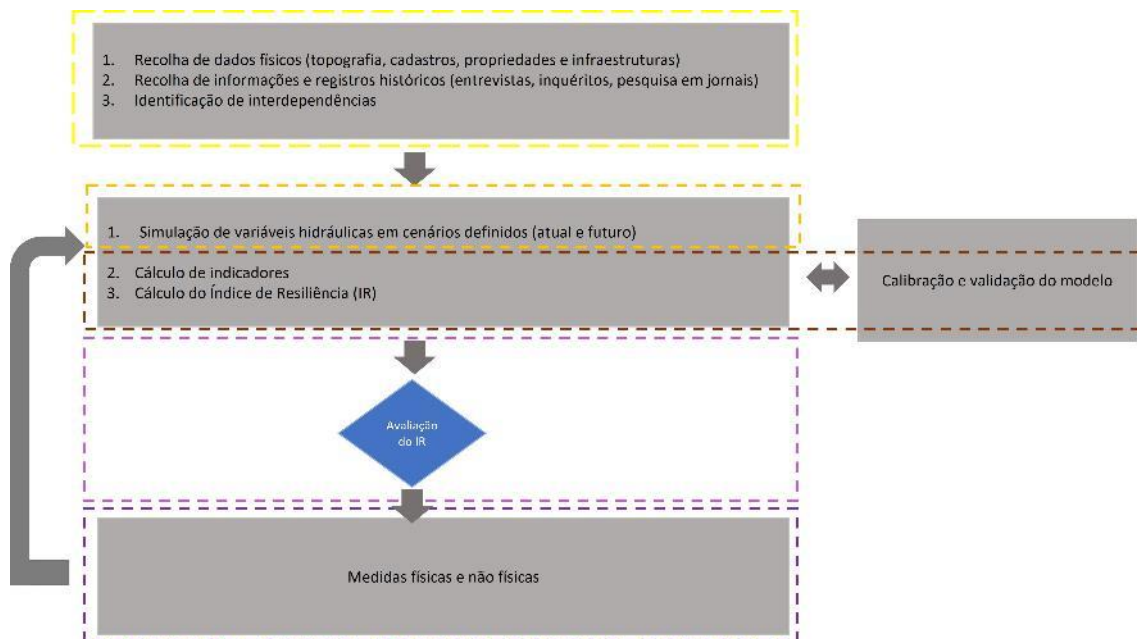
⁸ Storm Water Management Model – Software de simulação de sistema de drenagem

⁹ Software de sistema de informações geográficas

¹⁰ Software de sistema de informações geográficas

¹¹ Índice de resiliência urbana específico face às inundações

¹² Índice global de avaliação de resiliência urbana face às inundações



*Figura 4-1: Fluxograma simplificado da metodologia para avaliação de resiliência à inundações
Elaborado pelo autor*

O fluxograma completo das etapas da metodologia pode ser visto na Figura 4-2.

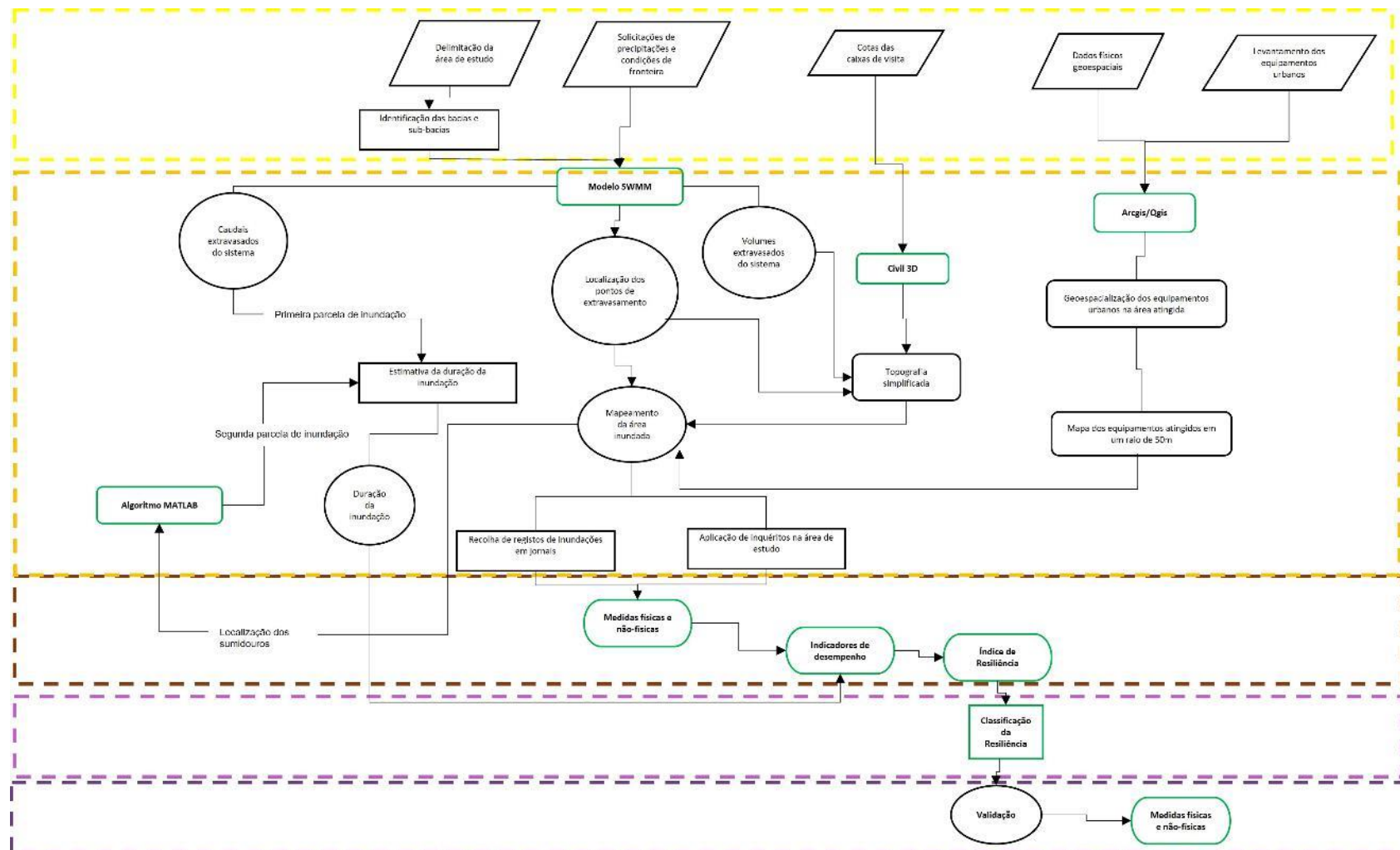


Figura 4-2: Fluxograma completo da metodologia.

Elaborado pelo autor

4.2. Levantamento de dados

Na etapa 1, trata da recolha e tratamento de dados físicos. Para as simulações do sistema de drenagem, é importante coletar os dados de planta da rede de drenagem, limites da bacia de drenagem, cadastro do sistema de drenagem (traçado, diâmetros, caixas de visita, cota de soleira, quedas e profundidade das caixas de visita), estruturas da bacia (bombas, reservatórios, comportas, descarregadores, bacias de armazenamento, entre outros), topometria do terreno, curvas IDF, e histórico de precipitação.

Também são necessários os dados georreferenciados, para mapeamento das inundações e das infraestruturas. Alguns dados recomendáveis são: Ortofoto da área de estudo com boa resolução, estrutura viária, bairros, área da bacia, curva de nível, uso do solo, zoneamento PDU, sumidouros (bueiros), edificações, paragens de autocarro, áreas comerciais, hospitais, escolas, igrejas, prédios públicos, clubes, centrais de eletricidade, empresa de telecomunicações, parques, posto policial, entre outros.

O levantamento de dados inclui pesquisa dos registos de incidência de inundação na área de estudo e identificação das áreas críticas. Isso pode ser feito por meio de pesquisa por artigos e trabalhos desenvolvidos na área, por publicações em jornais de notícias locais, visitas em campo, entrevistas e/ou aplicação de inquéritos com moradores.

4.3. Simulação de variáveis hidráulicas

Para a simulação do sistema de drenagem foi utilizado o software Storm Water Management Model - SWMM 5.1[®].

Para construção do modelo é necessária a inclusão de algumas estruturas obrigatórias e outras facultativas, dependendo da área a ser trabalhada. Entre eles estão os nós de

conexão, nós de enxutório, condutos, pluviômetro, bombas (se houver), unidades de armazenamento ou reservatórios (se houver).

Os nós de conexão são estruturas do sistema de drenagem, que conectam diferentes trechos entre si. Podem representar poços de visita e conexões de tubulação. O excesso de água em um nó pode colocar os condutos em carga, gerando uma perda de água para fora do sistema de drenagem, ou seja, uma inundação no terreno acima do nó. Os dados obrigatórios para essa estrutura são as coordenadas XY, a cota de implantação e a cota de profundidade (Rossman, 2010).

Os nós de enxutório são estruturas terminais do sistema de drenagem, utilizados para definir as condições à jusante do sistema. Quando o sistema desagua no mar é utilizada a tábua de marés para definir o tipo de enxutório (condição de contorno de jusante). Os dados obrigatórios para essa estrutura são as coordenadas XY, a cota de soleira (profundidade), se há dispositivo de retenção (comporta de contenção) e o tipo de descarga com sua respectiva curva (Rossman, 2010).

Os condutos são tubulações dos canais que fazem a ligação entre nós e podem ter diferentes formas (circular, retangular, trapezoidais, entre outros), ser abertos ou fechados e serem construídos de diferentes materiais (com diferentes índices de rugosidade). Os elementos obrigatórios para a construção dos condutos são os nós de entrada e saída, a forma do conduto, a cota de profundidade máxima, o comprimento e o coeficiente de rugosidade (Rossman, 2010).

Os pluviômetros fornecem os dados de precipitação para a simulação, os dados de histórico podem ser inseridos diretamente no programa ou vir de um arquivo externo. Os dados obrigatórios de um pluviômetro são as características da chuva, que levam em consideração a intensidade da chuva, volume ou volume acumulado e a origem dos dados de chuva (se é um arquivo externo ou não) (Rossman, 2010).

As bombas são estruturas incluídas no sistema de drenagem com o intuito de impulsionar a água de forma pressurizada. É um elemento facultativo, de acordo com o

sistema de drenagem em questão. Os dados obrigatórios para inserção de bombas no sistema são a identificação dos nós de entrada e saída, identificação do tipo de curva de funcionamento da bomba, o estado inicial da bomba (ligado ou desligado) e os níveis de água no nó de entrada durante acionamento e parada da bomba (Rossman, 2010).

4.3.1 Inserção dos dados de simulação

Quando a simulação é rodada é possível observar e identificar os nós com extravasamento de água e o volume de água extravasado. Além da obtenção de relatórios, gráficos e análise de trechos específicos do sistema.

O passo seguinte é a análise das áreas de extravasamento. Com base nos cálculos do modelo, atendendo a topografia, é possível identificar a altura de escoamento à superfície e o espalhamento da água, considerando as áreas de arruamentos, de passeio e as áreas edificadas. Especificamente para o estudo de caso apresentado no capítulo 6, o desenho da área afetada foi desenvolvido no Civil 3D®, gerando os dados para a posterior confecção de mapas no Arcgis® e Qgis®. Após a obtenção das áreas inundadas é possível a identificação dos serviços afetados, podendo assim, seguir com a aplicação dos cálculos de indicadores e índices de resiliência.

A simulação de variáveis hidráulicas pode ser executada em vários cenários. Nesta tese, foram considerados cenários atuais; cenários com os acréscimos previstos nos cenários IPCC de alterações climáticas (de chuvas e aumento do nível do mar) e cenários que incluem melhorias físicas do sistema de drenagem.

A calibração do modelo pode ser feita de forma indireta, utilizando dados de eventos chuvosos conhecidos, simulando no SWMM e comparando seus resultados de área inundada e cotas com informações obtidas a partir de fotos e notícias dos jornais locais as principais áreas atingidas por inundações. Também com visitas de campo, onde se pode ter o registo oral dos moradores/trabalhadores da área de estudo.

4.4. Indicadores de desempenho do sistema urbano para inundações

No âmbito dessa tese procurou-se adotar indicadores de desempenho que permitam traduzir, de forma mensurável, o desempenho das funções da cidade e avaliar o desempenho do sistema para diferentes cenários de precipitação (eventos correntes e eventos mais extremos). As áreas de inundações, portanto, serão dadas por meio de simulação do sistema de drenagem. Utilizou-se os instrumentos disponíveis (modelação 1D no SWMM e SIG), simples, de fácil interpretação e com significado físico.

A escolha dos indicadores, foi inspirada pela matriz organizacional para cidades resilientes (Anexo II) e a matriz funcional para cidades resilientes (Anexo III), do Projeto Resccue. Para entender o funcionamento, gestão e principais atores envolvidos na prática de uma cidade resiliente, foi utilizada a matriz organizacional. Para a escolha dos indicadores usados, além do entendimento do processo de interdependências e efeito cascata, foi utilizado a matriz funcional.

Foi determinado o número de 10 indicadores, dos principais serviços urbanos e que possuem maior interdependência e efeito cascata, ou seja, a falta de funcionamento ou funcionamento precário de um serviço, pode afetar outros serviços.

Em determinadas situações, atendendo à complexidade e diversidade de medidas de beneficiação aplicáveis, foi feita uma avaliação preliminar das medidas mais eficazes (eventualmente com base numa análise custo-benefício, em que o benefício é aferido com recurso à modelação 1D). Também podem ser equacionadas medidas não físicas, que contribuam para o incremento da resiliência da cidade.

Posteriormente, para as medidas de intervenção, consideradas na estratégia selecionada, poderão ser avaliadas as áreas inundadas e os impactos decorrentes na resiliência da cidade e ao cálculo de indicadores de resiliência.

A seguir estão descritos os 10 indicadores físicos de desempenho adotados:

Indicador de desempenho – ID1

Duração da inundação

Definição: Indicador da duração de inundações com alturas de água no solo superiores a 10 cm.

Valor de referência (VR): 24 horas

Unidade do cálculo final: Horas

Origem dos dados: Monitoração, simulação

Justificativa: Pretende-se com esse indicador analisar as falhas do sistema de drenagem para inundações de até 10 cm. O valor de referência (VR) de 24 horas serve de orientação para avaliação do sistema de drenagem. Se após 24h uma inundação de 10 cm não é escoada, o sistema de drenagem possui falhas e não é eficiente.

Função genérica: A função estabelece o comportamento da inundação em termos de duração (Figura 4-3). Na Equação (4.1), M_1 = Tempo de duração de inundações com altura de água no solo superiores a 10 cm. Para durações igual ou superior a 24 horas, o indicador é zero. Se não houver inundação de altura igual a 10 cm, o indicador assume o valor 100.

$$ID_1 = \begin{cases} 100 \times \left(1 - \frac{M_1}{VR}\right) & , M_1 < VR \\ 0 & , M_1 \geq VR \end{cases} \quad (4.1)$$

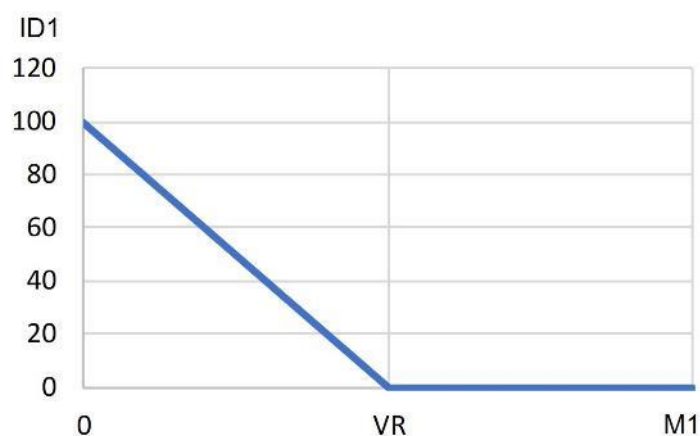


Figura 4-3: Curva da função do indicador de desempenho ID1(Duração da inundação)

Indicador de desempenho – ID2

Duração da inundação crítica

Definição: Indicador da duração de inundações com altura de água no solo superiores a 30 cm.

Valor de referência (VR): 12 horas

Unidade do cálculo final: Horas

Origem dos dados: Monitoração, simulação

Justificativa: Pretende-se com esse indicador analisar as falhas do sistema de drenagem para inundações críticas. O valor de referência (VR) de 12 horas, foi considerado para as inundações críticas com alturas de água no solo superiores à 30 cm. Para inundações até 12 horas o indicador é zero, para inundações menores de 30 cm dentro do limite de 12 horas o indicador assume o valor 100. Se após 12h uma inundação de 30 cm não é escoada, o sistema de drenagem possui falhas para inundações críticas.

Função genérica: A função estabelece o comportamento da em termos de duração da inundação (Figura 4-4). Onde apresenta-se a função genérica na Equação (4.2), onde: M2= Tempo de duração de inundações com altura de água no solo superior a 30 cm. Para duração igual ou superior a 12 h, o indicador assume o valor zero. Se a inundação não atingir 30 cm em nenhum local, o indicador assume o valor 100.

$$ID_2 = \begin{cases} 100 \times \left(1 - \frac{M_2}{VR}\right) & , M_2 < VR \\ 0 & , M_2 \geq VR \end{cases} \quad (4.2)$$

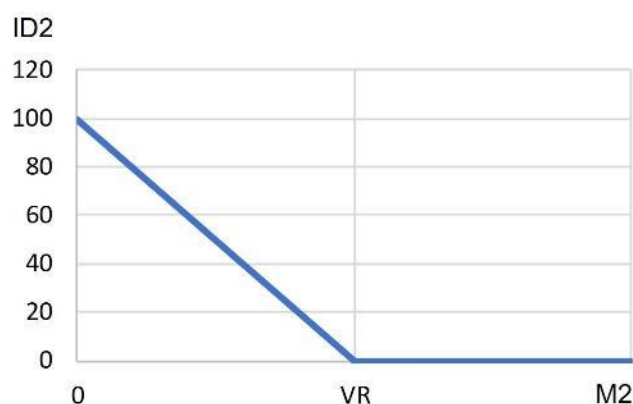


Figura 4-4: Curva da função do indicador de desempenho ID2 (Duração da inundação crítica)

Indicador de desempenho – ID3

Perturbação do tráfego

Definição: Indicador de perturbações no tráfego rodoviário.

Valor de referência: O valor de referência está sinalizado como M3 e pode ser calculado através da Equação (4.3).

Unidade do cálculo final: Adimensional

Origem dos dados: Levantamento espacial, simulação

Justificativa: Pretende-se com esse indicador avaliar os efeitos das inundações nas vias, levando em consideração o nível de importância dessas (principal, secundária ou local).

A classificação das vias é um ponto significativo, já que as vias locais podem ser fechadas com menor prejuízo que uma via principal que além de gerar trânsito, atrapalha a circulação de pessoas e bens. Para o cálculo de M3 são tidas em conta as velocidades máximas permitidas nas vias de tráfego, componente que é levada em conta para a classificação de importância das vias. Na função final é utilizado um parâmetro de acordo com o tipo de via afetada. De acordo com este indicador, se a altura de água em todas as vias for superior a 30 cm, em mais de duas horas, o valor é “zero”. Se não se registarem locais com altura de água superior a 15 cm, o valor do indicador é 100. Os valores de altura de inundação levam em consideração a média da altura dos veículos, onde 15 cm geraria muito pouco ou nenhum prejuízo aos veículos automotores e 30 cm de altura de água no solo, já poderia impedir o tráfego e causar prejuízos aos veículos.

Função genérica: A função estabelece o efeito da inundação do ponto de vista de circulação (Figura 4-5). Onde apresenta-se a função genérica na Equação (4.4).

$$M_3 = \frac{\sum_i^n L_i \times \frac{F_{j,i}}{V_j^{máx}}}{\sum_i^n L_i} \times 100 \quad (4.3)$$

Onde:

$$F_{j,i} = \begin{cases} 0 & , \quad h_i < 0.15 \\ 20 & , \quad 0.15 \leq h_i < 0.30 \\ V_j^{máx} & , \quad h_i \geq 0.30 \end{cases}$$

L_i = Comprimento da via afetada em m

$V_j^{máx}$ = Velocidade máxima permitida na via

H_i = Altura da água

$$ID_3 = \sum_j^m \rho_j \times (100 - M_3) \quad (4.4)$$

Onde:

$$\rho_j = \begin{cases} 0,4 & j = 1 \text{ Principal }^{13} \\ 0,4 & j = 2 \text{ Secundária }^{14} \\ 0,2 & j = 3 \text{ Local }^{15} \end{cases}$$

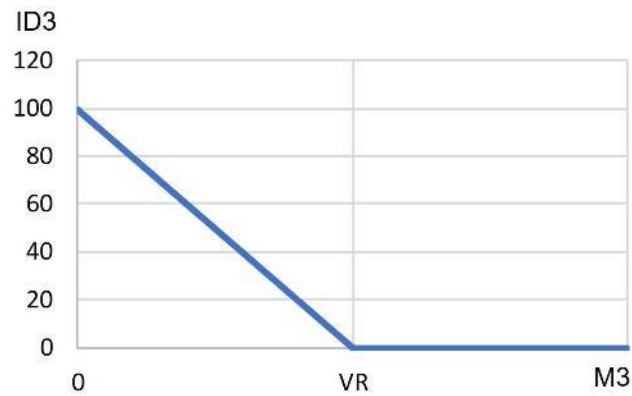


Figura 4-5: Curva da função do indicador de desempenho ID3 (Perturbação do tráfego)

¹³ Ou via arterial, segundo o Código de Trânsito Brasileiro, são vias caracterizadas por interseções em nível, controlada por semáforo com acesso às vias secundárias e locais. A velocidade recomendada é 60 km/h, podendo variar de acordo com a área. No caso da área de estudo, as vias metropolitanas possuem a velocidade limite de 40km/h (Brasil, 1997).

¹⁴ Ou via coletora, é destinada a distribuir o trânsito de vias rápidas ou arteriais e dar acesso a áreas restritas. A velocidade recomendada é 40 km/h, podendo variar de acordo com a área (Brasil, 1997).

¹⁵ São as vias com interseções em nível sem semáforos, destinadas ao acesso local e/ou áreas restritas. A velocidade recomendada é 30 km/h (Brasil, 1997).

Indicador de desempenho – ID4

Afetação dos resíduos sólidos

Definição: Indicador de perturbações nos serviços de resíduos sólidos.

Valor de referência: Número total de contentores afetados x 0,2

Unidade do cálculo final: Adimensional

Origem dos dados: Levantamento espacial, simulação

Justificativa: Pretende-se com esse indicador avaliar os efeitos das inundações ao nível de perturbação nos resíduos sólidos. De acordo com esse indicador, já existe significativo impacto da inundação nos contentores, quando a altura de água é igual ou superior a 30 cm (que pode levar ao deslocamento e queda do contentor). Se essa situação ocorre para uma percentagem igual ou superior a 20% do número de contentores da zona em análise, o indicador assume o valor “zero”, assume o valor 100 se houver inundação em altura de água superior a 30 cm. Em alguns casos esse facto pode refletir em entupimentos do sistema de drenagem e poluição das zonas inundadas. O indicador leva em consideração a aplicação em áreas que possuem contentores de resíduos sólidos, ou seja, em uma situação ideal. Para aplicação em locais com outro tipo de armazenagem e coleta, esse indicador deve ser revisto e adequado.

Função genérica: A função apresenta-se graficamente na (Figura 4-6) e numericamente na Equação (4.5), onde M_4 = Número de contentores de resíduos sólidos afetados por inundação superior a 30 cm, e VR = Número total de contentores da zona x 0,2.

$$ID_4 = \begin{cases} 100 \times \left(1 - \frac{M_4}{VR}\right) & , M_4 < VR \\ 0 & , M_4 \geq VR \end{cases} \quad (4.5)$$

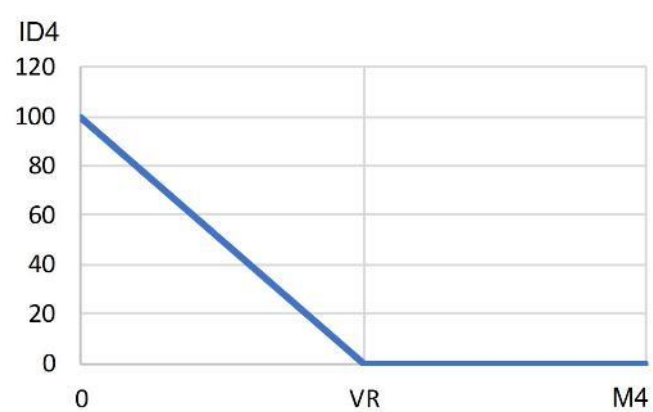


Figura 4-6: Curva da função do indicador de desempenho ID4 (Afetação dos resíduos sólidos)

Indicador de desempenho – ID5

Perturbações no sistema de abastecimento de água

Definição: Indicador de perturbações na distribuição de água.

Valor de referência: 1

Unidade do cálculo final: Adimensional

Origem dos dados: Levantamento espacial, simulação

Justificativa: Pretende-se com esse indicador avaliar os efeitos das inundações em infraestruturas críticas de abastecimento de água (reservatórios e estações elevatórias).

As infraestruturas de abastecimento de água, se atingidas por inundações, podem gerar falhas no abastecimento ou até contaminação da água potável. De acordo com este indicador, basta haver uma estação elevatória e um reservatório enterrado ou semiestruturado afetado por inundação com altura de água no solo superior a 30 cm, para assumir o valor 0, assumindo o valor 100 caso essa situação não se verifique.

Função genérica: A função apresenta-se graficamente na Figura 4-7 e analiticamente pela Equação (4.6), onde: M5= Número de infraestruturas críticas afetadas por inundação superior à 30 cm e VR= 1.

$$ID_5 = \begin{cases} 100 & , M_5 = VR \\ 1 & , M_5 > VR \end{cases} \quad (4.6)$$

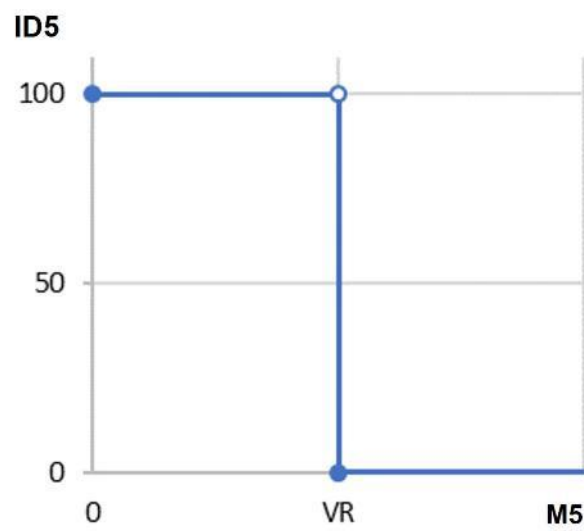


Figura 4-7: Curva da função do indicador de desempenho ID5 (Perturbações no sistema de abastecimento de água)

Indicador de desempenho – ID6

Perturbações na distribuição de energia elétrica

Definição: Indicador de perturbações na distribuição de energia elétrica.

Valor de referência: Número total de PT (postos de transformação) na área afetada x 0,1

Unidade do cálculo final: Adimensional

Origem dos dados: Levantamento espacial, simulação

justificativa: Pretende-se com esse indicador avaliar os impactos das inundações em infraestruturas elétricas críticas, como postos de transformação de energia elétrica sem redundância. Caso uma infraestrutura de distribuição de energia elétrica seja atingida, pode causar pane elétrica em alguns bairros e até risco de acidentes por choque elétrico. Se essa situação ocorre para uma percentagem igual ou superior a 10% do número de infraestrutura elétrica na zona em análise, o indicador assume o valor “zero”, assume o valor 100 se o número de infraestruturas atingidas for maior que 10%.

Função genérica: A função é apresentada graficamente na Figura 4-8 e analiticamente sob a forma da Equação (4.7), onde: M6= Número de PT afetado na área de inundação e VR= Número total de PT na área de estudos x 0,1.

$$ID_6 = \begin{cases} 100 \times \left(1 - \frac{M_6}{VR}\right) & , M_6 = 0 \\ 0 & , M_6 \geq VR \end{cases} \quad (4.7)$$

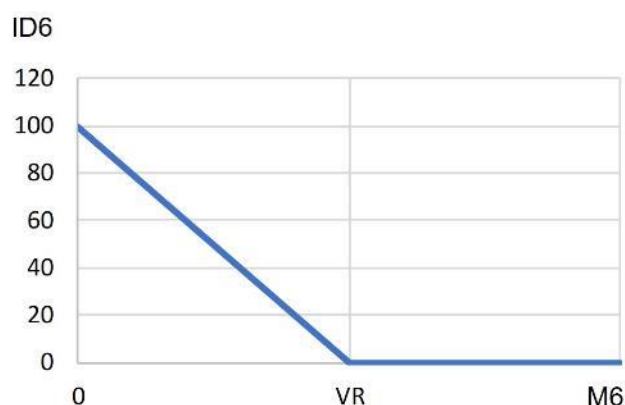


Figura 4-8: Curva da função do indicador de desempenho ID6 (Perturbações na distribuição de energia elétrica)

Indicador de desempenho – ID7

Afetação da rede de telecomunicações

Definição: Indicador de perturbações na rede de telecomunicações.

Valor de referência: 1

Unidade do cálculo final: Adimensional

Origem dos dados: Levantamento espacial, simulação

Justificativa: Pretende-se com esse indicador avaliar os impactos das inundações nas infraestruturas de telecomunicações. Nesse indicador avalia-se a importância das redes de telecomunicações, principalmente em situações críticas. Nesse caso pode-se incluir no cálculo, além das bases emissoras de telecomunicações, as antenas de distribuição de rádio e TV e Internet e seus respectivos cabos. Assume-se que o impacto tem lugar quando a altura da água é superior a 30 cm e que basta esse impacto ser nas infraestruturas, para o valor do indicador ser “0”, assumindo o valor “100”, no caso contrário.

Função genérica: A função é apresentada graficamente na Figura 4-9 e analiticamente sob a forma da Equação (4.8), onde: M7= Números de infraestruturas críticas atingidas por inundações e VR= 1.

$$ID_7 = \begin{cases} 100 \times \left(1 - \frac{M_7}{VR}\right) & , M_7 = 0 \\ 0 & , M_7 \geq VR \end{cases} \quad (4.8)$$

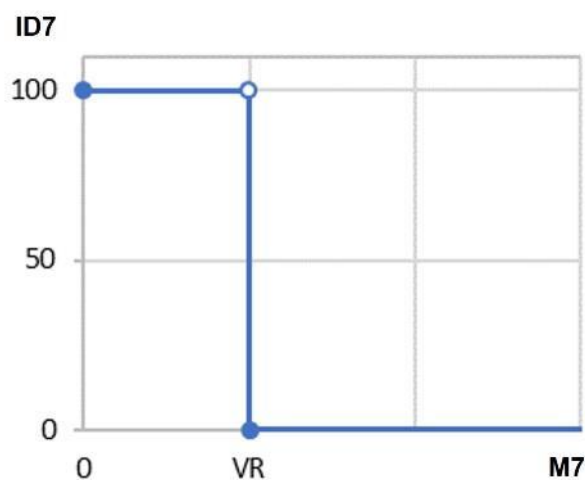


Figura 4-9: Curva da função do indicador de desempenho ID7 (Afetação da rede de telecomunicações)

Indicador de desempenho – ID8

Afetação dos serviços de saúde

Definição: Indicador de afetação dos serviços de saúde, incluído hospitais e centros de saúde.

Valor de referência ID8.1:1

Valor de referência ID8.2:3

Unidade do cálculo final: Adimensional

Origem dos dados: Levantamento espacial, simulação

Justificativa: Pretende-se com esse indicador avaliar os impactos das inundações nos serviços de saúde (hospitais e centros de saúde), resguardando a devida importância desses serviços para um complexo urbano. Esse indicador foi repartido em dois subindicadores: ID8.1 e ID 8.2, onde o primeiro representa o número de hospitais afetados e o último o número de centros de saúde afetados. O indicador ID8 assume o valor “zero”, se forem afetados 1 ou mais hospitais e 3 ou mais centros de saúde, e assume o valor “100” se não for afetado nenhum hospital ou centro de saúde. Este indicador considera que um serviço de saúde é afetado quando a altura de inundação é superior a 30 cm.

Função ID8.1: A função é apresentada graficamente e analiticamente, respetivamente na Figura 4-11 e na Equação (4.9), em que, $M_{8.1}$ = Número de hospitais atingidos por inundações e $VR= 1$.

Função ID8.2: A função é apresentada graficamente e analiticamente, respetivamente na Figura 5.12 e na Equação (4.10), em que, $M_{8.2}$ = Número de centros de saúde atingidos por inundações e $VR=3$.

Função genérica ID8: A função considera os indicadores 8.1 e 8.2, estabelecendo pesos conforme a importância dos equipamentos. Nesse caso, os hospitais assumem peso de 0,67 e os outros serviços de saúde o peso 0,33 (Figuras 4-10 e 4-11). Esses pesos foram estabelecidos pela própria autora, levando em consideração o nível de importância dos hospitais em relação aos demais serviços de saúde. Em baixo é apresentado a função (Equação 4.11).

$$ID_{8,1} = \begin{cases} 100 \times \left(1 - \frac{M_{8,1}}{VR1}\right) & , M_{8,1} = 0 \\ 0 & , M_{8,1} \geq VR1 \end{cases} \quad (4.9)$$

$$ID_{8,2} = \begin{cases} 100 \times \left(1 - \frac{M_{8,2}}{VR2}\right) & , M_{8,2} = 0 \\ 0 & , M_{8,2} \geq VR2 \end{cases} \quad (4.10)$$

$$ID_8 = \sum_i^n \rho_i \times I_{8,i} \quad (4.11)$$

Onde: $\rho_i = \begin{cases} \rho_1 = 0,67 \\ \rho_2 = 0,33 \end{cases}$

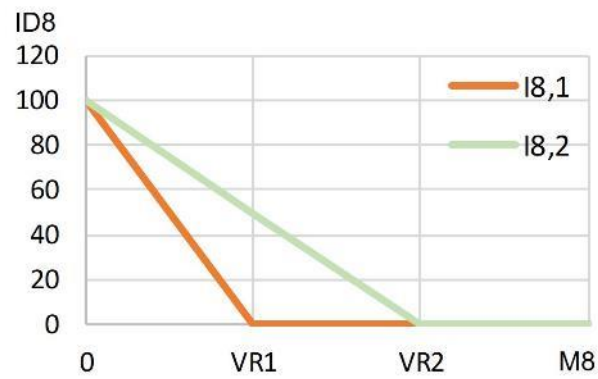


Figura 4-10: Curva da função do indicador de desempenho ID8 (Afetação dos serviços de saúde)

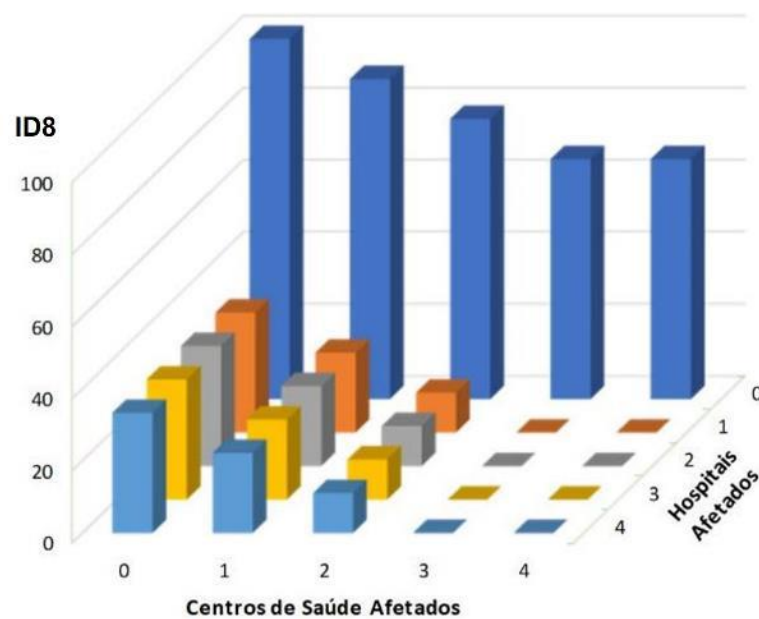


Figura 4-11: Gráfico da função comparativa entre hospitais (ID 8.1) e centros de saúde (ID 8.2)

Indicador de desempenho – ID9

Afetação de habitações

Definição: Indicador de habitações afetadas pelas inundações.

Valor de referência: Número de fogos nos edifícios afetados na área afetada x 0,10

Unidade do cálculo final: Adimensional

Origem dos dados: Levantamento espacial, simulação

Justificativa: Pretende-se com esse indicador avaliar os impactos das inundações nas habitações para altura da água superior a 30 cm. Nesse caso trata-se de uma afetação direta aos moradores da área, que podem causar além de perdas materiais, danos na saúde por doenças de veiculação hídrica e até morte.

Considera-se que se só existe impacto para uma altura de água superior a 30 cm, e que o indicador assume o valor “zero”, para um número de fogos afetados superior a 10% do número total de fogos da zona, assumindo o valor “100”, se esse valor for nulo.

Função genérica: A função é apresentada numericamente pela Equação (4.12) e graficamente pela Figura 4-12, em que: M9= Número de fogos nos edifícios afetados na área inundada e VR= Número total de fogos x 10%.

$$ID_9 = \begin{cases} 100 \times \left(1 - \frac{M_9}{VR}\right) & , M_9 = 0 \\ 0 & , M_9 \geq VR \end{cases} \quad 4.12$$

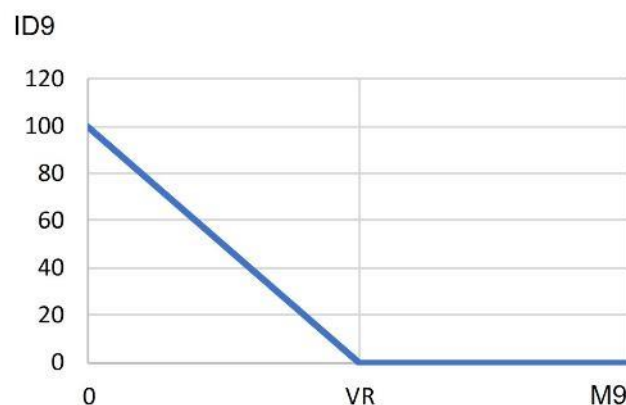


Figura 4-12: Curva da função do indicador de desempenho ID9 (Afetação de habitações)

Indicador de desempenho – ID10

Afetação dos serviços terciários

Definição: Indicador de serviços terciários afetados pelas inundações.

Valor de referência: Número total de estabelecimentos na área afetada x 0,20.

Unidade do cálculo final: Adimensional

Origem dos dados: Levantamento espacial, simulação

Justificativa: Pretende-se com esse indicador avaliar os impactos das inundações nos serviços terciários, e que tem lugar para altura de água superior a 30 cm. A afetação desses serviços pode gerar perdas materiais, prejuízos no fluxo de trabalho e circulação e até desemprego.

Considera-se que só existe impacto para uma altura de água superior a 30 cm, e que o indicador assume o valor “zero”, para um número de serviços terciários afetados superior a 20% do número total de serviços terciários na zona, assumindo o valor “100”, se esse valor for nulo.

Função genérica: A função é apresentada graficamente na Figura 4-13 e analiticamente pela Equação (4.13), em que, M10= Número de estabelecimentos afetados na área inundada e VR= Número total de estabelecimentos na área afetada x 0,20.

$$ID_{10} = \begin{cases} 100 \times \left(1 - \frac{M_{10}}{VR}\right) & , M_{10} = 0 \\ 0 & , M_{10} \geq VR \end{cases} \quad (4.13)$$

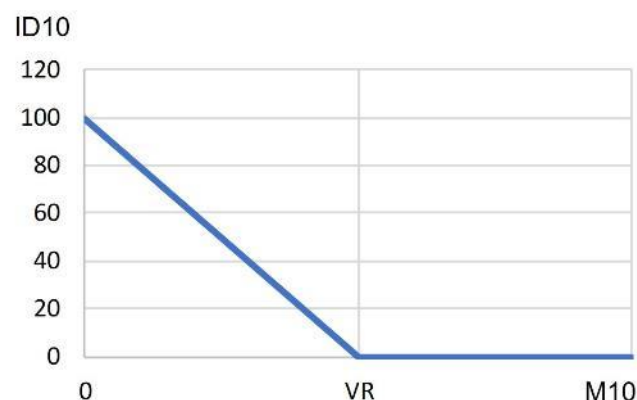


Figura 4-13: Curva da função do indicador de desempenho ID10 (Afetação dos serviços terciários)

4.5. Índice de Resiliência

Para a quantificação dos indicadores, é calculado o índice de resiliência urbana específico face às inundações (IRUIe) como apresentado na Equação (4.14), em face do peso dos vários indicadores, e para um dado cenário de simulação.

$$\left\{ \begin{array}{l} IRUIe = \frac{\sum_i^j \alpha_i \times I_i}{n} \\ \sum_i^n \alpha_i = n \end{array} \right. \quad (4.14)$$

Onde:

j: número total de indicadores

α_i : peso do indicador i

Para um dado sistema a simular, a cada cenário de precipitação (isto é, período de retorno) corresponde um índice de resiliência específico. Para a avaliação do índice global de resiliência, devem combinar-se num único índice, os valores de índice obtidos para as precipitações de diversos períodos de retorno.

O índice global para a avaliação da resiliência urbana face às inundações (ARUIg) para um dado cenário e período de retorno, é apresentado pela Equação (4.15).

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_i = e^{\frac{1}{T_i}} \\ ARUIg = \frac{\sum_i^n \beta_i \times IRUI_i}{\sum_i^n \beta_i} \end{array} \right. \quad (4.15)$$

Onde:

T: período de retorno

β_i : ponderador do período de retorno T_i

n: número total de períodos de retorno considerados no cenário em análise

IRUI_i: Indicador de Resiliência Urbana face a Inundações para o período de retorno T_i do cenário em análise.

4.6. Avaliação da Resiliência Urbana às inundações

Após a aplicação do ARUIg, foi integrado o quadro de classificação da avaliação de resiliência urbana face às inundações (Quadro 4-1). A resiliência urbana face às inundações na área de estudo, foi categorizada como ótimo, bom, aceitável, insuficiente e péssimo conforme as percentagens abaixo.

Quadro 4-1: Classificação da avaliação de resiliência urbana face a inundações

90- 100%	Ótimo
75 - 90%	Bom
50 – 75%	Aceitável
30 – 50%	Insuficiente
0 -30%	Péssimo

Conforme os resultados obtidos, quando necessário, propôs-se medidas físicas e não físicas para melhorar a resiliência do sistema às inundações. Para aplicação da metodologia proposta, foi escolhido o bairro de Bento Ferreira¹⁶, localizado na cidade de Vitória-ES, Brasil. Esse local foi escolhido devido as características associadas: Possui problemas de inundações, o sistema de drenagem requer renovações, possui interface com o mar e na área localizam-se infraestruturas importantes como por exemplo hospitais, escolas, comércio, rede de telecomunicações e residências.

¹⁶ Para a proposta de simulação e cálculos hidráulicos, a pesquisa foi expandida para o nível de bacia hidrológica, que se expande além dos limites do bairro Bento Ferreira.

5. CASO DE ESTUDO (BACIA DE BENTO FERREIRA, VITÓRIA – ES, BRASIL)

5.1. Caracterização da área de estudo

O Município de Vitória localiza-se na costa sudeste do Brasil (lat. -20.3222; long. -40.3381), é formada por um conjunto de ilhas que foram agregadas por meio de aterro, formando uma área territorial de 98,51 km² onde vivem cerca de 369 534 habitantes.¹⁷ É dividido em 2 Distritos (Vitória e Goiabeiras), que são subdivididos em nove Regiões e 80 bairros (IBGE, 2020). É a capital do Estado do Espírito Santo.

A hipsometria do Município inclui áreas com baixas altitudes a nível do mar (0 a 13 m) até elevações de até 300 metros. Isso se deve ao fato da ilha ser formada por um maciço rochoso central e uma série de afloramentos rochosos, que são cercados por planícies litorâneas de baixa cota altimétrica (Correa, 2014).

O clima é tropical com estação seca (de acordo com a classificação climática de *Köppen-Geiser*) (IBGE, 2021). Segundo o INCAPER (2018), a média anual das temperaturas máxima e mínima varia entre 18 a 32°C segundo os dados dos anos de 1976 a 2014. Quanto à pluviometria, os meses chuvosos concentram-se entre outubro e março e os meses de estiagem entre os meses de maio a setembro (Coelho, A.L.N., 2017).

Os principais sistemas atmosféricos que influenciam as condições climáticas no Município estão ligados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frente Frias (FF) e o Anticiclone ou Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (Coelho, A.L.N., 2017).

¹⁷ População estimada para 2021, pelo IBGE.

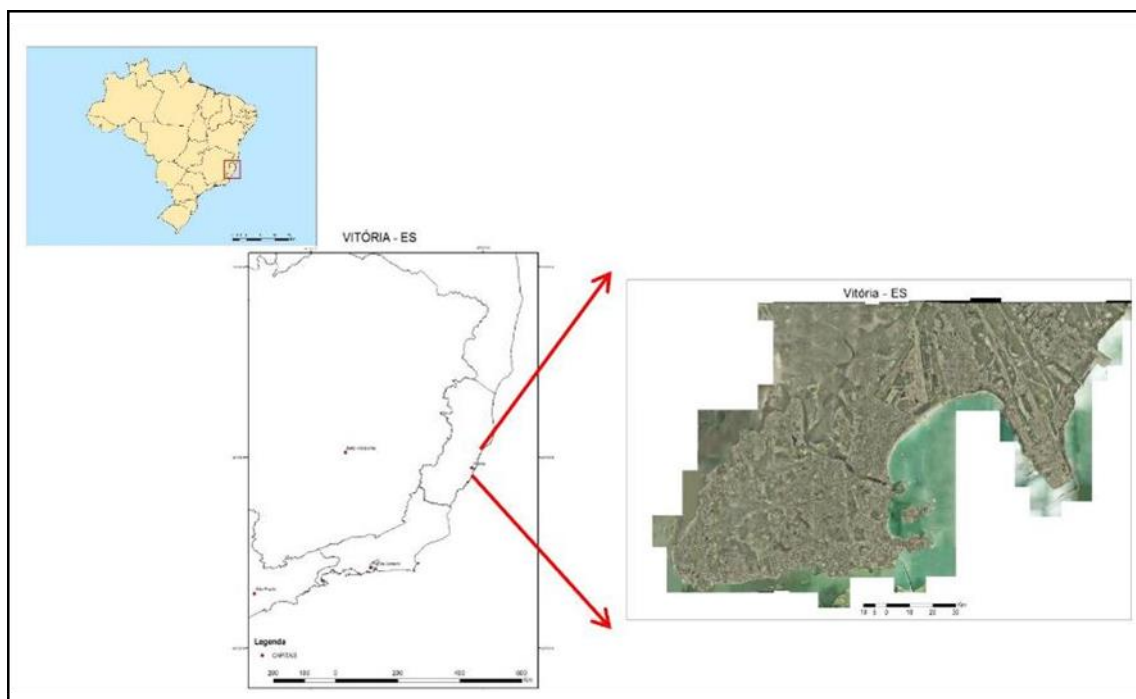


Figura 5-1: Localização da área de estudo

Fonte: Elaborado pelo autor

O processo de urbanização da cidade de Vitória, a princípio, evoluiu com obras de expansão sobre aterros, no qual foram expandidos uma área de 15,7 km² com o objetivo de ampliação de avenidas, instalação de praças e portos. Com essas obras a cidade adquiriu novos contornos, foram eliminadas algumas praias e enseadas, e feita a ligação da ilha principal com ilhas menores. Boa parte dos aterros resultaram em áreas a nível do mar, tornando a área susceptível ao processo de inundação costeira, quando há eventos chuvosos que coincidem com a maré alta (Coelho, A.L.N., 2017).

A ocupação da área continental da cidade tornou-se relevante a partir da década de 60 do séc. XX. Também nessa época nota-se a intensificação do êxodo rural e ocupação dos morros e regiões de manguezal. Um fato importante que contribuiu para o aumento da taxa de crescimento populacional foi a instalação de grandes empreendimentos como a Companhia Siderúrgica de Tubarão (1976) e a Companhia Vale do Rio Doce, entre outras instalações industriais de grande porte (Lorena R.B et al., 2016).

No período entre 1980 e 1990, teve lugar a ocupação do sector noroeste da ilha com o nascimento de novos bairros. Foram ocupações caracterizadas como “invasões” de

população de baixa renda, em áreas de risco e sem infraestruturas (Lorena R.B et al., 2016).

Segundo Rocha & Morandi (2012), a região metropolitana da Grande Vitória¹⁸

“[...] detinha , em 1950, apenas 11,6% da população estadual, sendo 74,6% de população urbana [...] em 1985 passou a concentrar 39,6% da população estadual, sendo praticamente toda ela urbana.” (Rocha & Morandi, 2012, p. 153)

O período de 1990 a 2000 é caracterizado pela densificação dos bairros, restando poucas áreas por ocupar. A mancha urbana do município de Vitória atinge todos os limites do município, exceto o Maciço Central, topos de morros, mangues do Lameirão, o estuário do rio Santa Maria e a área do aeroporto (Lorena R.B et al., 2016). No Quadro 5-1 é possível observar o crescimento populacional de Vitória entre os anos 1940 e 2016, estimado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Quadro 5-1: Crescimento populacional na cidade de Vitória

Ano	1940	1950	1960	1980	1991	2000	2007	2016
População	45 212	50 922	83 351	207 736	258 243	292 304	314 042	359 555

Fonte: IBGE, 2020

Segundo Nicolodi e Petermann (2010), a região litorânea do ES, que abrange os municípios de Vitória, Vila Velha e Guarapari é classificada como vulnerável à inundações, enumerando principalmente o nível de ocupação elevado na costa desses municípios, tendo esses uma densidade demográfica superior à média da ocupação do restante do litoral capixaba. Quanto à suscetibilidade física, observam-se as grandes

¹⁸ A região Metropolitana da Grande Vitória é composta pelos Municípios de Vitória, Vila Velha, Cariacica, Serra, Viana, Guarapari e Fundão.

áreas a nível do mar com presença de plataformas de abrasão¹⁹ da Formação Barreiras²⁰ e pequeno aporte fluvial (Albino et al., 2006).

A geomorfologia da ilha de Vitória segue o padrão das regiões costeiras brasileiras, em que se nota a presença de áreas planas circundadas por elevações que se destacam, como o caso do maciço central em Vitória. Essa configuração do relevo restringe a ocupação humana, uma vez que se divide em áreas de fundo de vale, encostas e aterros. Associado a esses aspetos, deve considerar-se o aumento da população urbana a partir da década de 60 do Séc. XX e a influência das marés no regime de escoamento pluvial. A associação desses fatores reflete-se diretamente na ocorrência de inundações, que se tornam mais frequentes, sujeitando a população a vários transtornos e comprometendo o desempenho da cidade.

O Complexo Portuário de Tubarão, que iniciou suas atividades na década de 60 do Séc. XX, alterou o padrão de ondas, gerando inúmeras modificações na costa e acarretando desequilíbrios sedimentares e processos erosivos. Foram feitas obras físicas na porção litorânea como a construção de espigões e píers e a recarga de areia na praia de Camburi, a fim de viabilizar o crescimento urbano e solucionar o processo erosivo (Albino et al. 2006).

A Comissão Oceanográfica Intergovernamental (IOC, 2009) organizou um quadro de definições (Quadro 5-2) relacionando os principais perigos das áreas costeiras. Pode-se abordar, na área de estudo, a suscetibilidade à sobrelevação do nível do mar, as ondas geradas por ventos extremos e a erosão costeira.

¹⁹ Plataforma litorânea aplanada e irregular, formada pelo desmoronamento de arribas e sendo constituída por blocos e sedimentos de grandes dimensões. Forma-se pela ação do ataque direto das ondas na base das arribas, nessa ação também intervêm areias e seixos transportados pela água do mar e gerando efeito abrasivo. A plataforma de abrasão na fase ativa caracteriza-se pela ligeira inclinação para o mar.

²⁰ Estrutura geomorfológica que abrange grande parte do litoral brasileiro. Possui origem sedimentar fluvial e marinha, caracterizado pela presença de arribas ativas, arribas não ativas e terraços (ou plataformas) de abrasão.

Quadro 5-2 Principais perigos nas áreas costeiras

	Perigo “Hazard”	Definição
Perigo de rápido início	Tsunami	Série de ondas oceânicas geradas por deslocamento do fundo oceânico devido a terremotos, eventos vulcânicos ou grandes impactos de asteroides.
	Sobrelevação do nível do mar (Storm surge)	Elevação temporária no nível do mar causado por tempestades intensas associadas à baixas pressões e fortes ventos.
	Ondas geradas por ventos extremos	Casos de ondas extremas geradas por ventos locais ou de offshore.
Perigo cumulativo ou progressivo	Elevação do nível do mar	Elevação global do nível dos mares devido à expansão térmica dos oceanos e aumento do derretimento de geleiras.
	Erosão costeira	Perda de terras costeiras causada pela ação de ondas, marés, correntes. Interferências antrópicas podem potencializar esse processo.

Adaptado de Comissão Oceanográfica Intergovernamental, IOC (2009).

Entre as vulnerabilidades observadas nas áreas costeiras, devido a atuação do mar, destaca-se na área de estudo, a sobrelevação do nível do mar (storm surge), as ondas

geradas por ventos extremos no caso de tempestades marítimas, a elevação do nível do mar e a erosão costeira.

Quadro 5-3: Vulnerabilidades relacionadas com inundações costeiras em Vitória

	Sobrelevação do nível do mar (Storm surge)	Ondas geradas por ventos extremos	Elevação do nível do mar	Erosão costeira
Tipo de Impacto	Inundações rápidas	Múltiplas inundações e problemas de drenagem	Aumento progressivo do nível do mar com graves consequências a longo prazo	Mudanças progressivas no litoral
Vulnerabilidades físicas	Inundações nas áreas suscetíveis	Inundações nas áreas suscetíveis	Inundações nas áreas suscetíveis	Diminuição da faixa de areia na praia de Camburi
Vulnerabilidades ambientais	Impactos nos ecossistemas litorais, principalmente manguezal	Impactos nos ecossistemas litorais, principalmente manguezal	Impactos nos ecossistemas litorais, principalmente manguezal	Impacto nos ecossistemas litorais devido aumento do transporte sedimentar
Vulnerabilidades sociais	Inundações nos bairros sociais gerando perdas econômicas, ênfase nas áreas de comunidades tradicionais (pescadores, desfiadeiras de siri ²¹ e paneleiras ²²)	Inundações nos bairros sociais gerando perdas econômicas, ênfase nas áreas de comunidades tradicionais (pescadores, desfiadeiras de siri e paneleiras)	Inundações nos bairros sociais gerando perdas econômicas, ênfase nas áreas de comunidades tradicionais (pescadores, desfiadeiras de siri e paneleiras)	Perdas econômicas para turismo local (sol e mar)

Elaborado pelo autor

²¹ Crustáceo de carapaça dura de prolongamento longitudinal e decapoda, sendo o último par de patas, modificados em nadadeiras. Também conhecido como swimming crabs (EUA).

²² As paneleiras constituem uma comunidade tradicional próximo ao mangal da onde retiram o barro para confecção de panelas e outros artefatos. As panelas de barro são essenciais para os pratos típicos da região como a moqueca capixaba, e são enquadrados como bem imaterial pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional).

Os estudos de Santos, R.B.; et al (2019), indicam que na microrregião que engloba a área metropolitana, as consequências causadas por precipitações (diminuição ou aumento) são mais significativas que as causadas pelo aumento de temperatura. Pode-se verificar através da Figura 5-2, a área em destaque, atribuída a esse mesmo estudo, onde tem-se “agregado” por temperatura consta como 0,39 e por precipitação como 0,61. A previsão para essa área, dentro do cenário IPCC -RCP 8.5, é o aumento de precipitações intensas, que são responsáveis por inundações, enxurradas e deslizamentos (Santos, 2019).

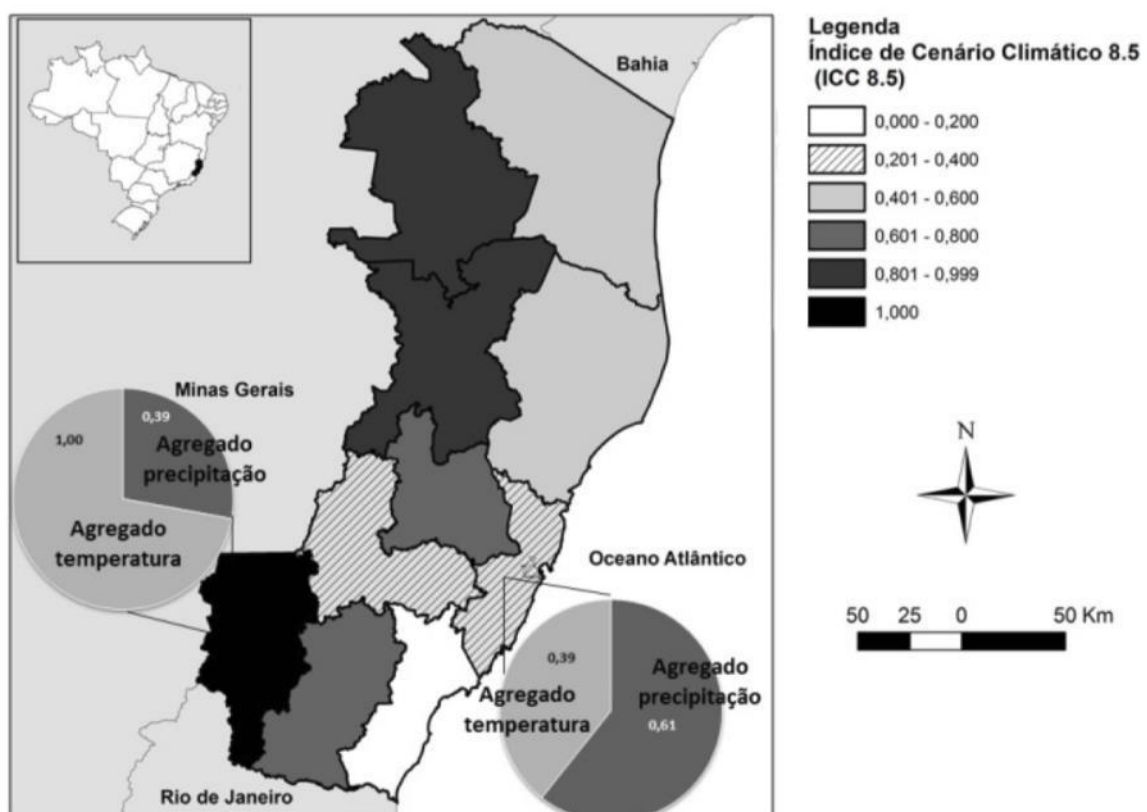


Figura 5-2: Índice de cenários climáticos RCP 8.5 por microrregião para o estado do Espírito Santo.

Fonte: Santos, R.B.; et al. (2019)

5.2. Eventos extremos de inundações urbanas no Espírito Santo

No Brasil, existem três classificações de eventos associados à hidrologia: enxurradas, inundações e alagamentos. Nesse caso é necessário contextualizar as definições, para o entendimento de alguns dados. No contexto desse trabalho, o termo utilizado é inundações urbanas o equivalente em termos brasileiros para alagamentos (Castro,1998).

Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE, o termo enxurrada é equivalente ao termo em inglês “flash flood”, ou seja, “Escoamento superficial de alta velocidade, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado (COBRADE,2020).”

As inundações no Brasil são consideradas “[...] submersão de áreas fora do limite de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de forma gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície [...] (COBRADE,2020).”

Para as inundações urbanas ou “urban flooding”, é utilizado no Brasil o termo alagamento, e definido como: “Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequentemente acúmulo da água nas ruas, calçadas e outras infraestruturas urbanas em decorrência de precipitações extremas (COBRADE,2020).”

Os desastres associados às inundações estão entre as maiores ocorrências no Estado do Espírito Santo, como é possível observar na Figura 5-3, que fornece os desastres ocorridos por área no ES em 2019. Já as enxurradas ou inundações rápidas são os eventos com mais ocorrência nos últimos 20 anos (Figura 5-4).

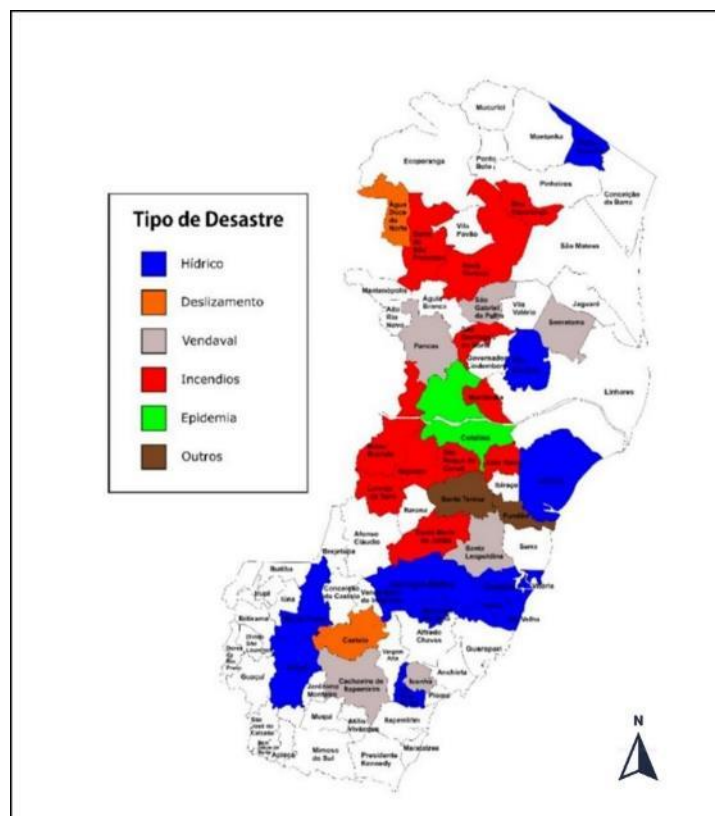


Figura 5-3: Localização dos desastres ocorridos por área no Estado do Espírito Santo em 2019
Fonte: PEPDEC, 2020 s/escala

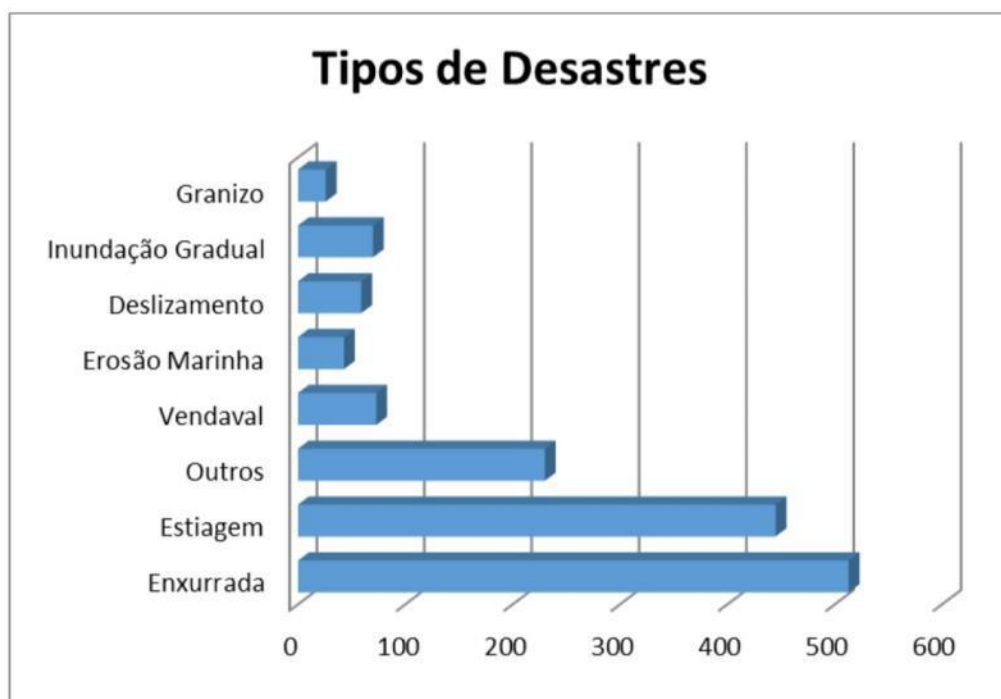


Figura 5-4: Tipos e quantidade de desastres ocorridos no Espírito Santo de 2000 à 2020 (Até 29/02/2020).
Fonte: PEPDEC, 2020

O Espírito Santo possui 14 registros oficiais de eventos hidrológicos extremos entre os anos de 1991 e 2002 (CEPED/UFSC, 2013). Quanto aos prejuízos causados pelas precipitações intensas, de acordo com dados da Defesa Civil do Estado do Espírito Santo, de 2000 a 2009 cerca de 4 mil pessoas foram afetadas e os prejuízos rondaram mil milhões de reais (aproximadamente 6 mil milhões de euros), incluindo os danos materiais, ambientais, económicos e sociais (Langa et al., 2015).

Na Figura 5-5, pode-se observar os valores (em milhões de reais) dos danos materiais causados por desastres naturais no ES de 2000 a 2009, esses valores referem-se ao que seria necessário para recuperar ou reconstruir os danos causados em residências, escolas, hospitais, pontes e estradas, de acordo com o valor de mercado da época.

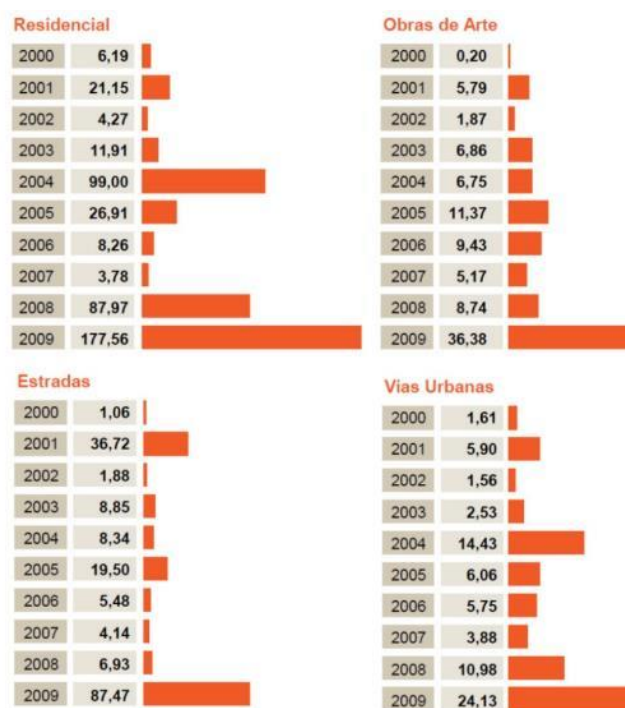


Figura 5-5: Danos materiais (em milhões de reais) causados por desastres naturais no ES de 2000 a 2009.

Fonte: Defesa Civil, (sem ano)

Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0625.pdf>

Entre os anos de 2013 até fevereiro de 2020, foram registadas 673 ocorrências, sendo o ano de 2013 o ano de maiores ocorrências associadas a eventos hidrológicos, como enxurradas, inundações, alagamentos e deslizamentos de terra (PEDDEC, 2020).

Na Figura 5-6, estão expressos os valores necessários para a reabilitação de ecossistemas, despoluição da água por esgotos e resíduos químicos, descontaminação

de solos e reabilitação de solos erodidos relativos a danos ambientais pós desastres naturais, entre os anos de 2000 e 2009, sendo esses os valores da época.

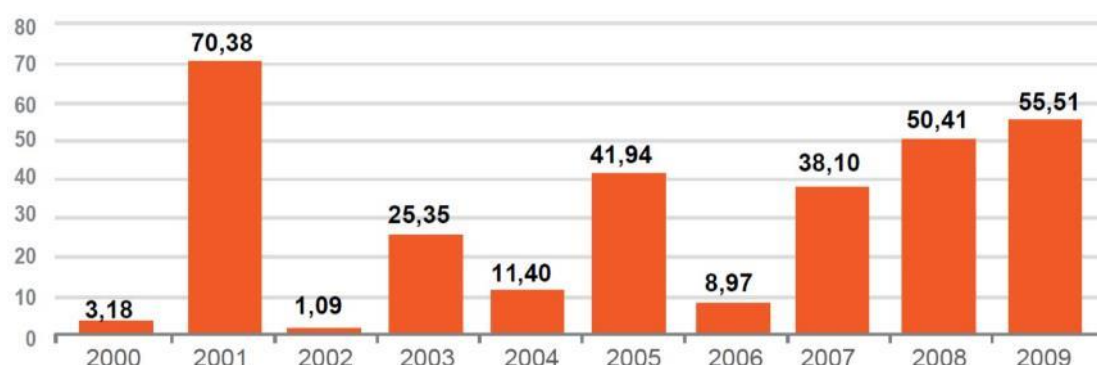


Figura 5-6: Custos para reabilitação de danos ambientais (em milhões de reais) causados por desastres naturais no ES de 2000 a 2009.

Fonte: Defesa Civil, (sem ano)

Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0625.pdf>

Na Figura 5-7, apresenta-se os custos de prejuízos sociais, nesse caso referem-se aos danos causados aos serviços essenciais à comunidade como transporte, comunicação, abastecimento de água, funcionamento do sistema de esgoto, coleta e tratamento de resíduos sólidos, abastecimento de gás, abastecimento de alimentos e interrupção de aulas. Os valores apresentados em milhões de reais, são correspondentes aos da época (2000-2009).

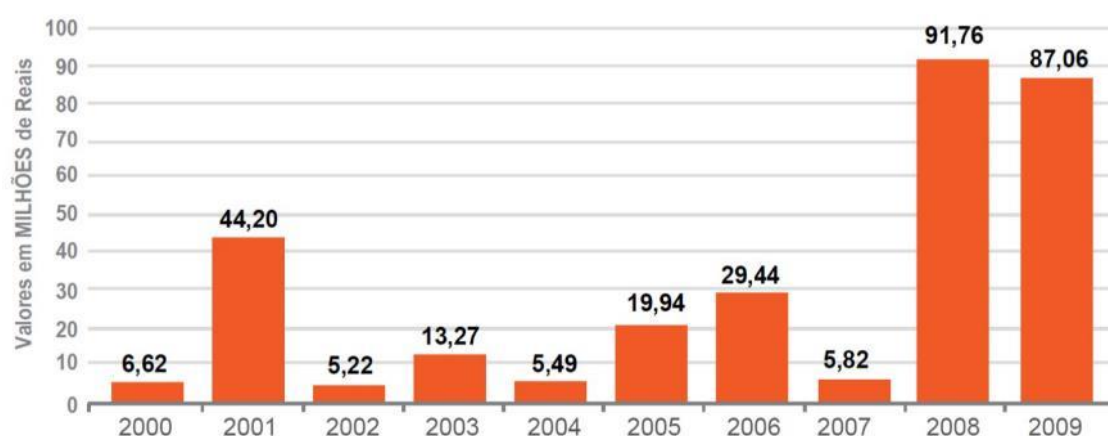


Figura 5-7: Prejuízos sociais (em milhões de reais) causados por desastres naturais no ES de 2000 a 2009.

Fonte: Defesa Civil, (sem ano)

Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0625.pdf>

Na Figura 5-8, observa-se os prejuízos económicos causados por desastres naturais no ES, nesse caso são relativos à quebra da produção estimada e o tempo estimado para a normalização das atividades de indústria, comércio, bancos, pecuária e agricultura. Os valores apresentados em milhões de reais, são correspondentes aos da época (2000-2009).

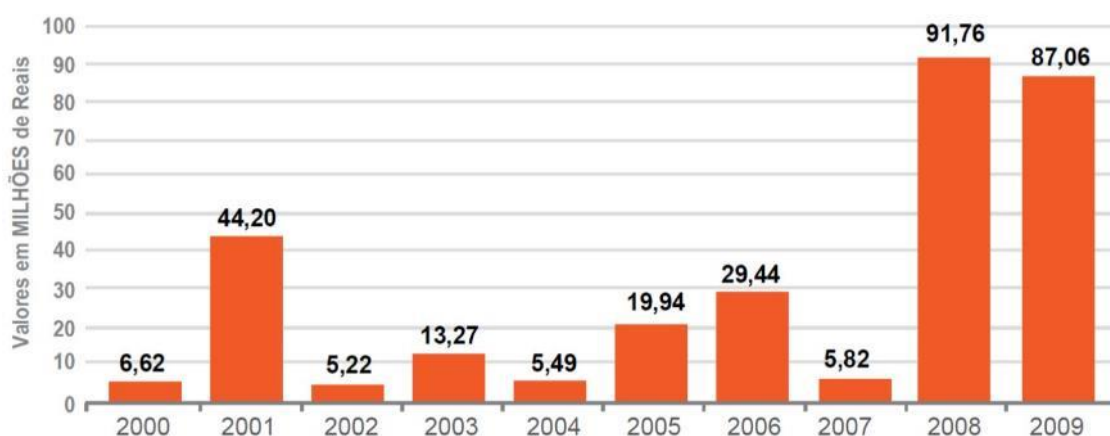


Figura 5-8: Prejuízos econômicos (em milhões de reais) causados por desastres naturais no ES de 2000 a 2009.

Fonte: Defesa Civil, (sem ano)

Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0625.pdf>

Relativamente às vítimas de eventos extremos no Brasil, a Defesa Civil classifica-os como desabrigados, desalojados, feridos e vítimas fatais. Os desabrigados, são aqueles cuja habitação foi afetada por dano ou ameaça de dano e que necessita de abrigo provido pelo Governo. Já os desalojados são aqueles que foram obrigados a abandonar temporária ou definitivamente sua habitação, em função de evacuações preventivas, destruição ou avaria grave, decorrentes do desastre, e que, não necessariamente, carecem de abrigo provido pelo Governo (Castro, 1998).

Nos eventos de 2013, 5.689 pessoas ficaram desabrigadas, 55.690 desalojadas e contabilizou-se 23 vítimas fatais (Langa et al., 2015). Na Figura 5-9, pode-se observar o gráfico de pessoas desalojadas e desabrigadas devido eventos extremos no Espírito Santo, entre os anos de 2000 a 2020 (até fevereiro de 2020).

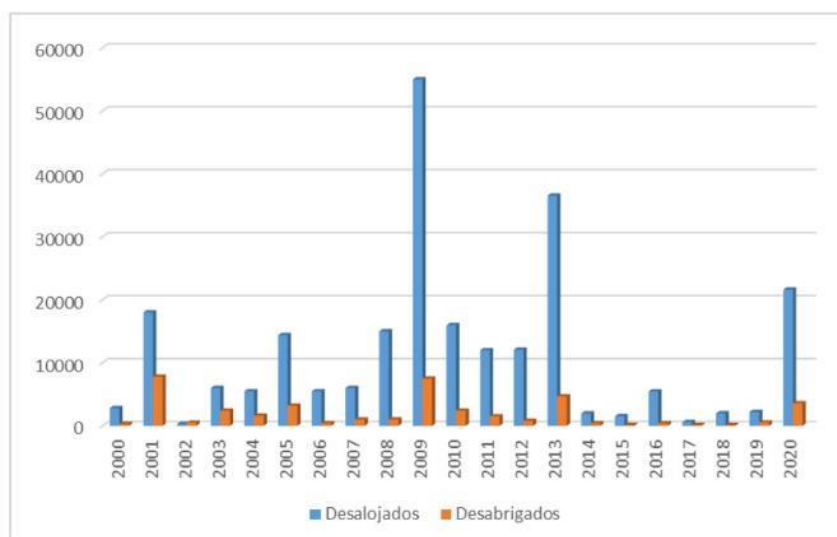


Figura 5-9: Número de pessoas desalojadas e desabrigadas no Espírito Santo de 2000 a 2020 (Fevereiro de 2020)

Fonte: PEPDEC, 2020

No gráfico da figura 5-9, observa-se um maior número de desalojados nos eventos de 2009, enquanto o pior evento registrado (com maior mm de chuva) foi em 2013 (Figura 5-12). Levando em consideração que os gráficos são dados oficiais da defesa civil do Espírito Santo e que não existem estudos a respeito dessa divergência, teoriza-se o possível aumento da resiliência com relação às moradias ou até algum erro gráfico do documento, principalmente se considerarmos que o número de vítimas fatais foi maior em 2013 (Figura 5-10).

Na Figura 5-10 apresenta-se o número de vítimas fatais, devido a eventos extremos de natureza climática, no Espírito Santo, entre os anos de 2000 a 2020 (Fevereiro de 2020).

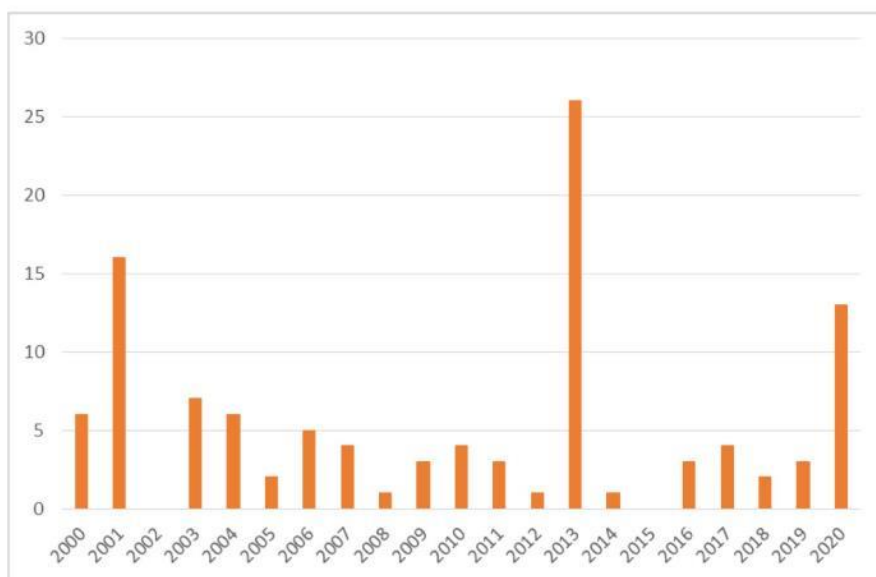


Figura 5-10: Número de pessoas mortas em desastres no Espírito Santo de 2000 a 2020 (Fevereiro de 2020)

Fonte: PEPDEC, 2020

O mais atual evento extremo chuvoso, como já citado, ocorreu em dezembro de 2013, quando as chuvas no Estado do Espírito Santo, alcançam um nível catastrófico, tornando-se o maior evento dos últimos 50 anos, segundo o INMET (2018). A precipitação durou 15 dias ininterruptos (ver Anexo IV-A).

Na cidade de Vitória, a chuva acumulada no mês de dezembro foi de 746,6 mm (Figura 5-11 A). Os piores dias foram 23/12/2013 e 19/12/2013 (Figura 5-11 B), com uma precipitação acumulada de 127 mm de chuva. Para efeito comparativo foi feito um gráfico com os acumulados de precipitação nos meses de dezembro para os anos de 2006 a 2020 (Figura 5-12). Como resultado desse evento, teve lugar a inundação de 74 bairros em todo o Estado, sendo quatro bairros localizados na cidade de Vitória (Figura 5-13 A e 5-13 B) (Langa et al., 2015)



Figura 5-11 A: Precipitação acumulada em 2013

Fonte: INMET (2018)

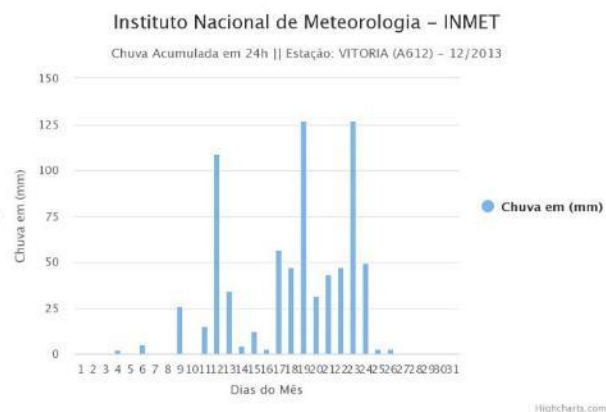


Figura 5-11 B: Precipitação acumulada em dezembro de 2013

Fonte: INMET (2018)



Figura 5-12: Precipitação acumulada em Vitória nos meses de dezembro

Fonte: Dados INMET (2018)



Figura 5-13 A: Evento de inundação em dezembro de 2013 em Vitória

Fonte: Fotógrafo Vitor Jubini



Figura 5-13 B: Evento de inundação em dezembro de 2013 em Vitória

Fonte: Fotógrafo Vitor Jubini

Dos eventos pluviométricos extremos nos últimos 15 anos, destaca-se as chuvas de dezembro de 2013, que alcançou um acumulado mensal de 746,6 mm, de novembro de 2018 com o acumulado mensal 619 mm e de novembro de 2019 com o acumulado mensal de 549,6 mm (Quadro 5-4). Pode-se observar também que os meses com o maior acumulado de chuvas estão entre os meses de novembro à janeiro, ou seja, durante o período que abrange o fim da primavera e o auge do verão no hemisfério sul (21 de dezembro – 20 de março).

Quadro 5-4: Maiores precipitações acumuladas por mês nos últimos 15 anos.

Meses com maior precipitação acumulada	
Mês/ano	Precipitação (mm)
dez/06	349,8
jan/07	202
nov/08	619
out/09	457,6
mar/10	359,6
abr/11	426,4
nov/12	433
dez/13	746,6
out/14	321,6
dez/15	91,4
jan/16	221,2
dez/17	229,6
abr/18	354,2
nov/19	549,6
jan/20	250

Fonte: INMET

Com relação aos dias com maior acumulado de precipitação, destaca-se o dia 19/03/2013 com o acumulado diário de 260,6 mm (Quadro 5-5). Também vale ressaltar

que a maioria dos dias com maior acumulado diário, nos últimos 15 anos, estão nos meses de dezembro e março.

Quadro 5-5: Maiores precipitações acumuladas por dia nos últimos 15 anos.

Dias com maior precipitação acumulada	
Data	Precipitação (mm)
01/12/2006	101,6
17/11/2007	54
24/11/2008	103
30/10/2009	137
05/03/2010	124,2
28/03/2011	105,8
14/05/2012	200,6
19/03/2013	260,6
30/10/2014	140,6
26/12/2015	45,4
30/07/2016	48,6
01/12/2017	92,8
16/03/2018	130
13/11/2019	206,8
03/01/2020	67,6

Fonte: INMET

No ano de 2016, teve lugar um problema de inundação nas Ruas de Bento Ferreira, mesmo sem ocorrência de precipitação. O evento foi atribuído à subida da maré (vide Anexo IV-D).

A bacia de Bento Ferreira faz parte das áreas suscetíveis à inundação, tanto no que consta a geomorfologia como no que tange a drenagem urbana. Coelho (2016), estimou utilizando ferramentas de SIG, o risco de inundação da cidade de Vitória (Figura 5-14). Foi utilizada como metodologia a taxa de impermeabilização, a altitude e o declive dos terrenos e como resultado foram obtidos os espaços de acumulação de água. Os resultados mostraram que a bacia de Bento Ferreira (destacado no círculo vermelho) apresentou vários pontos classificados como de alto risco (destacado em azul-escuro). As áreas em destaque na bacia de Bento Ferreira, coincidem com as áreas inundáveis do estudo de caso (apresentadas no capítulo seis). Ressalta-se que o trabalho apresentado não considerou a eficiência (ou não) do sistema de drenagem e a influência do nível da

maré, onde pode-se deduzir que a área possui um nível de suscetibilidade maior que o apresentado.

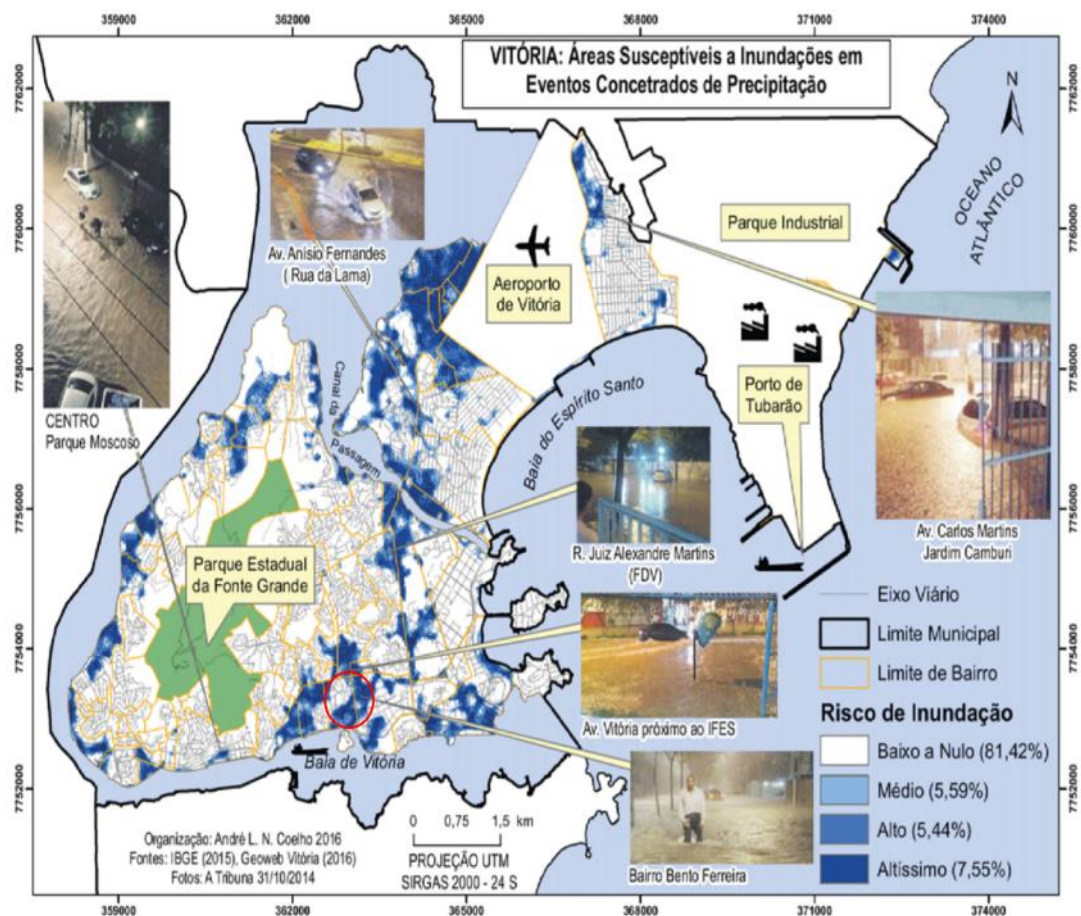


Figura 5-14: Áreas suscetíveis a inundações em Vitória - ES
Fonte: Coelho (2016)

5.3. Aspectos históricos da drenagem da cidade de Vitória

A vila de Vitória foi fundada em 1551, sendo uma das seis mais antigas do Brasil. Os jesuítas instalaram-se na parte alta da ilha e fundaram uma igreja e um colégio. Com a proclamação da independência do Brasil, a ilha de Vitória passou a categoria de cidade, em 17 de março de 1823. Até o início do século XIX o abastecimento de água em Vitória era feito através de chafarizes e carroças que carregavam barris de água. Apenas em 1891 surgiram os primeiros estudos para canalização de água. Porém a empresa

contratada abandonou as obras e rescindiu o contrato. Em 1896, visando a expansão dos princípios de higiene e salubridade do Rio de Janeiro e São Paulo (período higienista), iniciou-se um projeto denominado “Novo Arrabalde” (Caus, 2012).

O Novo Arrabalde, pretendia aumentar a mancha populacional da cidade com a ocupação de praias e mangais. O projeto incluiu estudos de saneamento, abastecimento de água e drenagem, e execução de aterros (Figura 5-15). O projeto ficou a cargo do engenheiro Saturnino de Brito, pioneiro da engenharia sanitária do Brasil e responsável por projetos em mais de 40 cidades do Brasil (Caus, 2012).

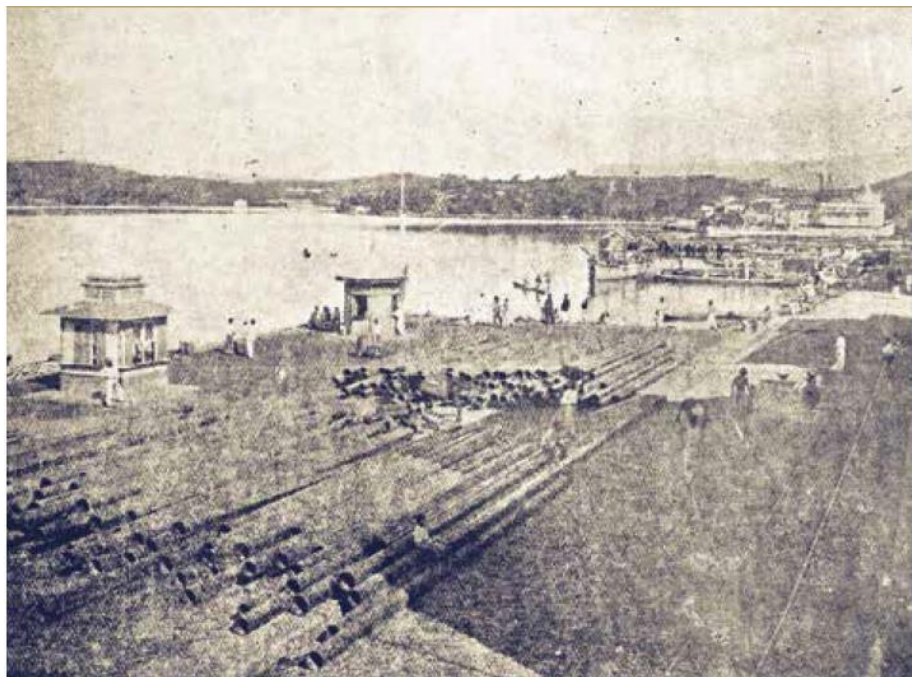


Figura 5-15: Primeiros materiais que chegaram em Vitória para serviços de água, luz e esgoto em fevereiro de 1909

Fonte: Caus, 2012

Os serviços de rede de esgotos foram concluídos em janeiro de 1911 e contavam com manilhas, duas estações elevatórias que bombeavam para o Forte São João e um sifão que descarregava o esgoto diretamente no mar, em caso de falha no bombeamento (Figura 5-16) (Caus, 2012).



Figura 5-16: Um dos tanques auxiliares do primeiro sistema de esgoto de Vitória

Fonte: Caus, 2012

Em 1958 foi criado o DAE (Departamento de Água e Esgoto) que assumiu os serviços de saneamento. Nesse período a problemática da água era uma questão nacional, principalmente devido as doenças de veiculação hídrica. O próprio presidente, Getúlio Vargas, em 1952, criou uma comissão constituída de técnicos para estudar a situação do saneamento nas cidades do interior do Brasil. Até então, as redes de esgoto que haviam em Vitória eram as mesmas instaladas em 1911, as estações elevatórias estavam inoperacionais e a rede de esgoto misturava-se com a rede pluvial, trazendo transtornos como obstruções, transbordamentos e mau cheiro. Entre as primeiras obras do DAE, incluem-se reparos nas adutoras, construção de novos reservatórios, desobstrução da rede e ampliação da rede existente de esgotos (Caus, 2012).

O objetivo dessas obras eram ampliar a rede de saneamento para outros municípios vizinhos (Serra, Cariacica, Vila Velha), que atualmente compõem a Região Metropolitana da Grande Vitória, já prevendo o crescimento industrial, com a chegada de grandes empreendimentos e o crescimento demográfico que acompanharia esse fenômeno. No

entanto, ainda não havia um verdadeiro projeto integrador de esgoto sanitário nessa altura, devido aos grandes gastos e necessidade de investimentos (Caus, 2012).

Em 1961, a Carta de Punta del Este, constitui um documento que define como metas o nível de atendimento dos serviços de água e esgoto para 70% da população urbana e 50% da população rural. Isso foi um incentivo para algumas mudanças e investimentos. Até então, em Vitória, existia apenas uma pequena rede de esgoto. A maioria da população utilizava fossas sépticas ou ligava irregularmente o esgoto ao sistema de drenagem pluvial (Caus, 2012).

Em 1967 os serviços de fornecimento de água e esgoto que eram atribuídos ao Estado, passaram para o cargo da recém-fundada Companhia Espírito Santense de Saneamento (Cesan) (na Grande Vitória e alguns municípios do interior) uma empresa de economia mista que substituiu o DAE (Caus, 2012).

Em 1990, a cobertura dos serviços de abastecimento de água na área dos 52 municípios de atuação da Cesan estava em torno de 87% da população. Por outro lado, o esgoto coletado e tratado era de apenas 10%, o que contribuía para a diminuição da qualidade dos efluentes, contribuindo para disseminação de doenças de veiculação hídrica e poluição das praias. Contudo, em 1994, iniciou-se o Programa de Despoluição dos Ecossistema Litorâneos do Estado do Espírito Santo (Prodespol), com recursos iniciais de US\$ 308 milhões, dos quais 50% com financiamento do Banco Mundial e o restante com recurso ao Governo do Estado, sendo investidos principalmente um sistema de tratamento (Figura 5-17) (Caus, 2012).

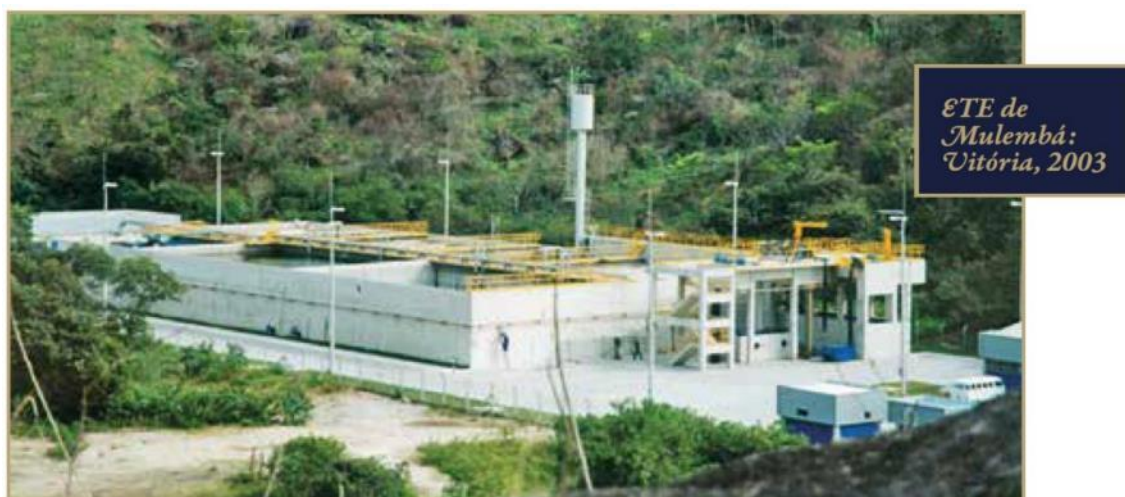


Figura 5-17: ETAR de Mulembá, Vitória (2003)

Fonte: Caus (2012)

Em 2003 entrou em vigor o Projeto Águas Limpas, que visava universalizar o atendimento de distribuição de água e alcançar 60% de cobertura do esgoto sanitário da Região Metropolitana da Grande Vitória. Em Vitória, foi tentado alcançar a universalização²³ tanto do abastecimento, quanto do esgoto sanitário, com campanhas educativas e apoio da população para a retirada das ligações indevidas dos esgotos à rede de drenagem, a fim de melhorar a qualidade das águas balneares das praias (Caus, 2012).

5.4. Plano de Diretor de Drenagem Urbana de Vitória – PDDU

Com base no crescimento populacional das últimas décadas teve lugar a ampliação das áreas ocupadas, impermeabilização dos solos e aumento na geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos. Em relação ao sistema de drenagem, esses fatores refletem diretamente nas ocorrências de inundações, que cada vez são mais frequentes e com maiores danos. Portanto, para maior aprofundamento dessas problemáticas e busca de soluções integradas, foi desenvolvido o PDDU. O PDDU de Vitória contou com a participação de três entidades privadas, DER/ES, CESAN e LABOR/UFES (PMV, 2008).

²³ A Lei nº11. 4451 de 2007 (Diretrizes de saneamento básico no Brasil), visa a universalização dos serviços de saneamento, ou seja, garantir a todos os cidadãos o direito à prestação desse serviço essencial. A nova Lei chamada Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026 de 2020), ainda tem pendências em análise no Congresso.

O sistema de drenagem da cidade de Vitória possui 98 bacias que são caracterizadas por uma rede composta por galerias e tubagem de betão e inclui estações elevatórias de bombeamento de águas pluviais. A rede é em parte separativa, mista e ramificada.

A bacia de Jardim Camburi é a única que recebe efluentes de outro Município. Em Vitória as obras estruturais indicadas pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana foram: galerias; reservatórios; intervenções urbanísticas, principalmente nas áreas abaixo do nível médio do mar; construção de estações de bombeamento de águas pluviais; entre outros. Os coletores mais antigos têm uma idade de aproximadamente 40 anos. (PMV, 2008).

No Quadro 5-6 apresentam-se elementos sobre o sistema de drenagem da cidade de Vitória (PMV, 2008).

Quadro 5-6: Características do sistema de drenagem de Vitória – ES

Características	Sistema de drenagem de Vitória
Influência do mar	Sim
Problemas com ordenamento do território (habitações em áreas susceptíveis a inundações)	Sim
O relevo contribui com áreas de maior suscetibilidade?	Sim
Influência Chuvas intensas	Sim
Os eventos de inundações podem agravar-se com Alterações Climáticas?	Sim
Já foram efetuadas obras de melhorias no sistema de drenagem?	Sim
Qual o período de retorno considerado para as obras estruturais em andamento	25 anos
Existiram outras fases? Workshops? Audiências públicas?	Sim. Entrevistas com moradores das áreas alagáveis e lideranças comunitárias.
Existem soluções alternativas não estruturais/resilientes?	Sim Ações educativas nas escolas (conservação dos recursos hídricos); Divulgação em medias; Monitoramento hidrológico
Avaliações dos custos de investimento	243 milhões de reais Aprox. 66 milhões de Euros
Avaliações dos custos de manutenção	4,1 milhões de reais por ano Aprox. 1 milhão de Euros

Fonte: PMV (2008).

Ressalta-se que está em execução o Plano Diretor de Águas Urbanas (PDAU) na região Metropolitana da Grande Vitória com previsão de término para 2022 e tem o intuito de gerar ações integradas relativas à drenagem de águas urbanas e servir de instrumento de planeamento e controle de inundações (PDAU, 2021 - <https://pdau.com.br/>).

Participam dessa ação o governo do Estado do Espírito Santo, as prefeituras dos municípios da Grande Vitória, a Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN)

e o Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), empresas contratadas para a execução, universidades e sociedade civil com o financiamento do Banco Mundial (BIRD) (PDAU, 2021 - <https://pdau.com.br/>).

Para a elaboração do PDAU estão sendo seguidas as seguintes etapas: plano de trabalho, elaboração de base de dados, levantamento de dados e informações secundárias, diagnóstico técnico-participativo, gestão institucional para águas urbanas da Região Metropolitana da Grande Vitória, programas, plano de ação, mobilização social e relatório final. Onde as três primeiras etapas já foram concluídas e a mobilização social e o diagnóstico técnico-participativo estão em andamento (PDAU, 2021 - <https://pdau.com.br/>).

Já foram publicados na página do PDAU cinco relatórios preliminares sobre estudos hidrológicos e modelagem hidráulica, qualidade da água, prejuízos das inundações causadas à população e poder público, levantamento de áreas livres e análise integrada. Porém esse material não foi abordado na metodologia e simulações, por tratar-se de algo recente (PDAU, 2021 - <https://pdau.com.br/>).

5.4.1 Bacia urbana de Bento Ferreira

O caso de estudo dessa pesquisa, concentra-se na bacia de Bento Ferreira, que abrange a região administrativa de Jucutuquara e parte da região administrativa da Praia do Canto. A bacia engloba o bairro homônimo, além dos bairros de Ilha de Monte Belo, Jesus de Nazareth, Praia do Suá, Santa Lucia, Horto, Gurigica, Consolação, Bairro de Lourdes e Nazareth (Figura 5-18).

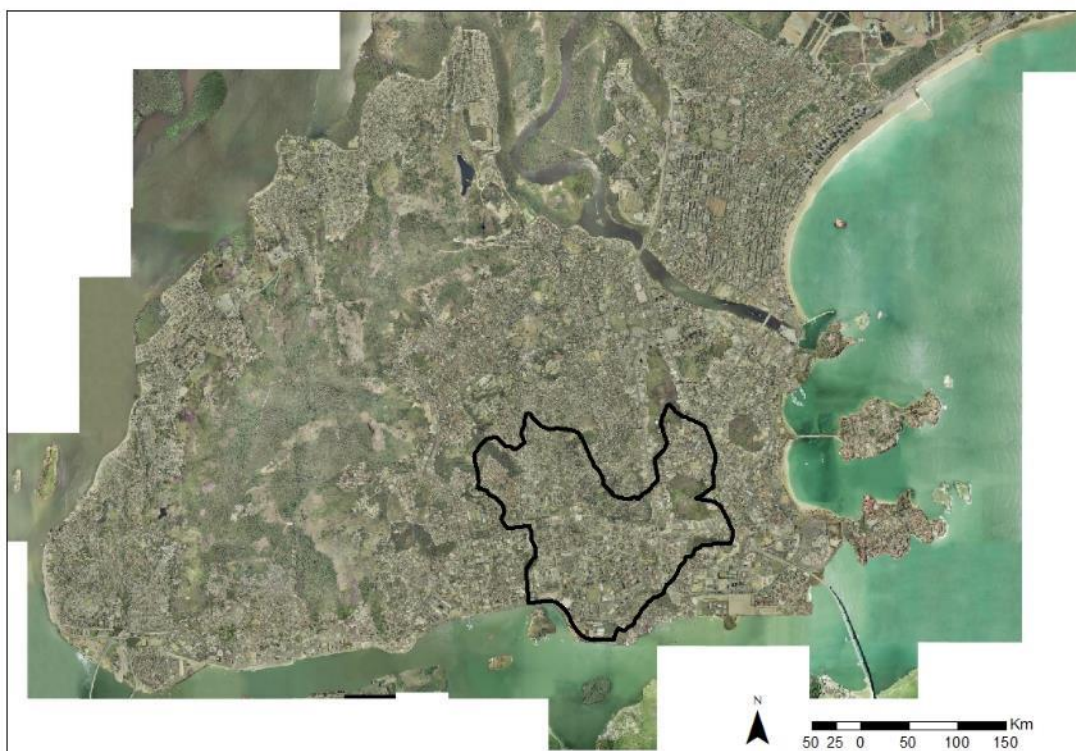


Figura 5-18: Localização da bacia de estudo
Fonte: Elaborado pelo autor

A bacia de Bento Ferreira possui uma rede separativa pluvial do tipo ramificada, composta por coletores fechados nos formatos retangulares e circulares de dimensão variável e não recebe contribuição de caudais de bacias vizinhas. Os coletores circulares possuem cerca de 40 anos de idade e desde então apenas sofreram intervenções limitadas em casos críticos. Já os coletores retangulares sofreram alterações nos últimos 15 anos, inclusive sendo cobertas, pois boa parte dessas “galerias” eram abertas. As características gerais da Bacia de Bento Ferreira, são descritas no Quadro 5-7.

Quadro 5-7: Características da Bacia de Bento Ferreira, em Vitória.

Características	Tipo
Tipo de Zoneamento	Urbano
Tipo de Ocupação	Residencial até 1000 m ² com distritos comerciais
Tipo de solo (SCS)	Solo C
Área da bacia de Bento Ferreira (km ²)	2,79 km ²
Talvegue (km)	2,97
Inclinação Média (m/m)	0,0175
Tempo de concentração -TC (min)	87,31
Suscetibilidade natural à erosão e assoreamento	Alta
Suscetibilidade potencial à erosão e assoreamento	Média

Fonte: PMV (2008).

Embora a rede seja projetada para águas pluviais, elas recebem a contribuição de efluentes domésticos devido às ligações ilícitas. Somado a isso, existe o problema com acumulação de resíduos sólidos. O problema dos resíduos causa assoreamento e entupimento das redes, piorando as inundações locais.

Segundo o cadastro fornecido pela própria PMV, a rede é caracterizada por câmaras de visita, coletores circulares ou retangulares fechados (Figura 5-19 A), sumidouros e sarjetas (bueiros).

Também se incluem no sistema de drenagem duas estações elevatórias, que bombeiam água diretamente para o mar. A estação elevatória de Bento Ferreira possui cinco bombas com capacidade de 1 m³/s cada e a estação de Santa Lúcia possui quatro bombas com capacidade unitária de 1,8 m³/s. As estações juntas possuem, no total, a capacidade de 12,2 m³/s (Figura 5-19 B). Existe também um ponto de descarga com escoamento direto para o mar sem recurso a bombagem. Na Figura 5-20 os coletores a verde são os retangulares, e constituem o sistema principal, enquanto os representados a azul são os coletores secundários, circulares.



Figura 5-19 A: Coletor retangular fechado



Figura 5-19 B: Estação de bombeamento de Bento Ferreira

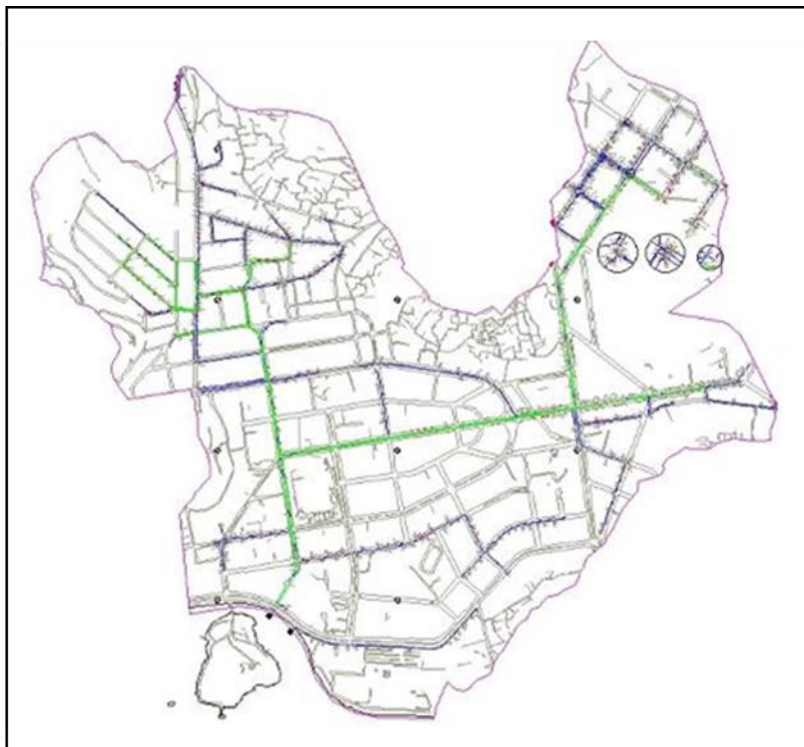


Figura 5-20: Rede de drenagem de Bento Ferreira
Fonte: PMV (2008) s/escala

6. AVALIAÇÃO DE RESILIÊNCIA URBANA E APLICAÇÃO AO ESTUDO DE CASO

6.1. Dados do modelo de simulação

Para a construção do modelo de simulação da bacia de drenagem de Bento Ferreira foram coletados junto à Secretaria de Obras da Prefeitura de Vitória -ES, os dados de planta da rede de drenagem, limites da bacia de drenagem, tempo de concentração da bacia de drenagem, cadastro do sistema de drenagem (traçado, diâmetros, caixas de visita, cota de soleira, quedas e profundidade das caixas de visita), número de bombas e sua respectiva capacidade, topometria do terreno e curvas IDF.

A informação topográfica disponível revelou-se insuficiente para a análise pretendida, no caso, a identificação das zonas com maiores volumes de inundação e, em simultâneo, determinar as respectivas alturas de inundação. Com recurso do software Civil 3D, gerou-se curvas de nível com base nas cotas das caixas de visita implementadas no modelo SWMM. O software Civil 3D permite manipular o intervalo entre curvas de nível sucessivas, contudo, optou-se por trabalhar num intervalo de 15 cm entre curvas de nível, uma vez que a quantidade de pontos não permite uma avaliação mais precisa. Com as curvas de nível na resolução de 15 cm foi possível gerar o modelo digital do terreno (MDE), no Arcgis.

Os históricos de precipitação foram obtidos nos sites da Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As precipitações de projeto determinaram-se com o auxílio de um hietograma triangular, método aconselhado no PDDU. A intensidade de precipitação, para um dado período de retorno e duração, pode ser consultada nas curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) projetadas para cidade de Vitória (Sarmiento, 1985).

As informações de melhorias de obras físicas da estrutura de drenagem, implantações de reservatórios e aumento da capacidade da estação elevatória, avaliadas e incluídas nas simulações de drenagem, foram inspiradas no PDDU de Vitória (PMV, 2008).

Para o mapeamento das áreas foram utilizados dados georreferenciados, em formato shapefile (shp), entre eles: ortofoto do Município de Vitória, estrutura viária, bairros, área da bacia, curva de nível, uso do solo, zoneamento PDU, sumidouros (bueiros), edificações, paragens de autocarro, áreas comerciais, hospitais, escolas, igrejas, prédios públicos, clubes, centrais de eletricidade, empresa de telecomunicações, parques e posto policial. As informações foram obtidas nos sites da Prefeitura de Vitória (<https://geoweb.vitoria.es.gov.br/>), Geobases (<https://geobases.es.gov.br/>), através de dados recolhidos, tratados e georreferenciados pela própria autora e arquivo pessoal de banco de dados.

A modelação dinâmica do estudo de caso baseia-se nos dados e traçado de rede fornecidos pela Prefeitura Municipal de Vitória. Com esses dados foi desenvolvida uma dissertação de mestrado (Macedo, 2017) com o diagnóstico do sistema de drenagem atual de Bento Ferreira, para os períodos de retorno de 10 e 25 anos. Nesse estudo, com o uso do software SWMM, foram indicados os principais problemas da rede e foram propostas intervenções para melhoria de desempenho do sistema de drenagem, com uma análise custo-benefício das principais propostas de beneficiação.

6.2. Construção do modelo

Para a construção do modelo foram utilizadas as seguintes estruturas de drenagem: nós de conexão, nós de enxutório, condutos, bombas, unidades de armazenamento e pluviômetro.

Os nós de conexão, que representam os poços de visitas e conexões de tubulações, foram construídos utilizando as informações de entrada de coordenadas XY, cota de implantação e cota de profundidade. Foram construídos 189 nós no modelo de estudo de caso.

Os nós de enxutório são estruturas terminais, no caso desse sistema em específico, recebe influência do nível do mar. Os dados de entrada utilizados foram: coordenadas XY, a cota de soleira (profundidade), não recebe entrada de fluxos, não recebe tratamento, não há comportas e o tipo de descarga está ligado as curvas de marés.

Os condutos do modelo ligam os nós e podem ter diferentes formas de secção. No modelo, foram construídos 201 condutos sendo esses classificados entre retangular fechado e circular. Os dados de entrada foram: nó entrada, nó de saída, cota da soleira, comprimento e índice de rugosidade (que indica perda de velocidade no sistema). O coeficiente de rugosidade inserido foi de 0,013333, que está enquadrado usualmente para galerias de concreto (Porto, 1998).

Foram inseridos no modelo duas bombas, que se referem as estações elevatórias (já apresentadas na Figura 5-20 B). Os dados de entrada foram: nós de entrada, nós de saída, os níveis de água para o acionamento da bomba e a parada automática, o status inicial como desligado e o tipo de curva (nesse caso o tipo III). A curva de bomba utilizada indica que a vazão varia de forma contínua com a diferença entre os nós de entrada e saída (Rossman, 2010).

As unidades de armazenamento representam uma das propostas de intervenções no sistema. No modelo de simulação foram inseridos quatro reservatórios e os dados de entrada foram: coordenadas XY, cota de soleira, altura máxima, sem afluentes, sem perdas por infiltração, sem tratamento, tipo de curva de armazenamento como funcional, essa função representa as propriedades volumétricas da unidade de armazenamento. Quando a curva do reservatório é enquadrada como funcional, é utilizada a função: $\text{Área} = A * (\text{profundidade})^B + C$ para descrever como a superfície varia com a profundidade. O coeficiente inserido no sistema representa o valor A na função, na relação entre superfície e profundidade da unidade de armazenamento (Rossman, 2010). Os coeficientes da curva funcional inseridos para os reservatórios foram: R1=3000; R2=1700; R3=3000 e R4=3000.

O pluviômetro fornecem os dados de entrada das precipitações. No modelo simulado os dados de entrada do pluviômetro foram: tipo de dado de chuva enquadrado como intensidade, intervalo de tempo de 0:01, origem de dados como série temporal com acesso aos arquivos de série inseridos no sistema.

Para o cálculo da intensidade de precipitação foi utilizado o método proposto no PDDU (PMV, 2008) e no manual de drenagem da cidade de Vitória (PMV, 2014) de acordo com a Equação (7.1)

$$I = \frac{973.47T^{0.19}}{(t_d + 20)^{0.77}} \quad (7.1)$$

onde:

I – Intensidade de precipitação (mm/h)

T - Período de retorno (anos)

td – Duração da precipitação (minutos)

Para a distribuição temporal da precipitação foi adotado o método do hietograma triangular, para uma duração de 60 minutos, de acordo com o estabelecido pelo PDDU. Para o cálculo do nível de maré foram consultadas as tabelas de maré publicadas pela Marinha Brasileira (DHN, 2017), e foi selecionado um período de registros de 24 horas com valores superiores à média, os quais foram convertidos para o sistema de referência utilizado no cadastro da rede de drenagem (IBGE, 2020).

O modelo SWMM foi simulado com base no hietograma de cheia e no nível de maré apresentado pelo PDDU, para três períodos de retorno: T=1, T=10 e T=50 anos. Baseado no relatório IPCC- AR5, foram realizadas as simulações segundo o RCP 8.5, para o período de tempo de 2081-2100, que apresenta a média de aumento do nível do mar de 0,4 m com a variação de 0,32 a 0,63 m(IPCC, 2013). Para o incremento de precipitação, foram considerados estudos locais, do RCP 8.5, para o mesmo período de tempo, utilizando o incremento de 10% de precipitação (Costa et al., 2017). Na Figura 6-1 apresenta-se o hietograma utilizado e na Figura 6-2 os níveis de marés para os diversos cenários para os períodos de retorno de 1, 10 e 50 anos.

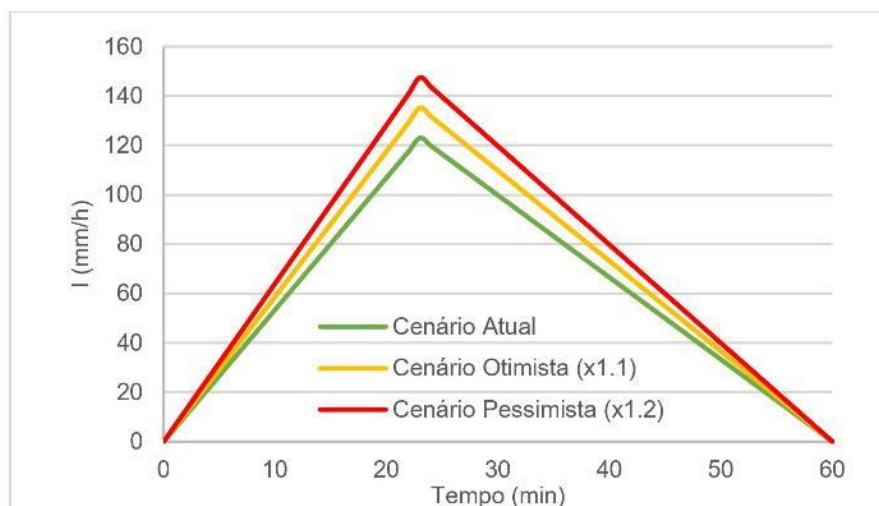


Figura 6-1: Hietograma de precipitação para os diferentes cenários.

Fonte: Macedo, Francisco; Tonon, I. M.; Ferreira, F. (2017)

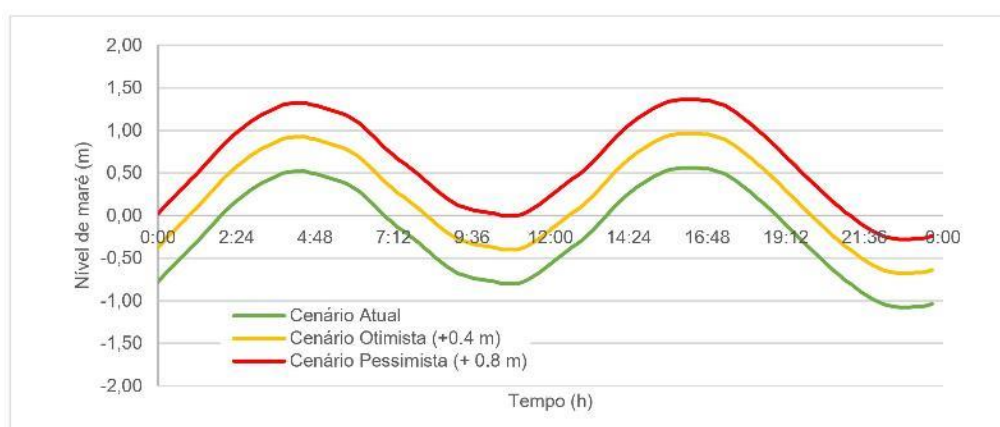


Figura 6-2: Nível de maré para os diferentes cenários.

Fonte: Macedo, Francisco; Tonon, I. M.; Ferreira, F. (2017)

Foram acrescentados aos cenários as simulações com intervenções de melhorias no sistema de drenagem, a fim de avaliar o aumento da resiliência através de obras físicas. Foram analisados três tipos de intervenções: a) a construção de reservatórios enterrados; b) a expansão/beneficiação do sistema de drenagem; c) o aumento da capacidade de bombagem da estação elevatória.

6.3. Propostas previstas pelo PDDU

O PDDU de Vitória já previu algumas melhorias no sistema de drenagem na bacia de Bento Ferreira. Entre as obras projetadas inclui-se a substituição e construção de coletores adicionais e a construção de reservatórios enterrados. Na Figura 6-3 pode observar-se as duas soluções propostas pelo PDDU: 1) no primeiro caso (à esquerda) apresenta a localização de quatro reservatórios enterrados (em cinza) e a construção de coletores adicionais (em vermelho); 2) já a segunda proposta (à direita) apresenta intervenções idênticas, porém o reservatório R2 é substituído por um coletor adicional, identificado como I7. No Quadro 6-1 apresentam-se as características físicas das mudanças propostas no PDDU.





B)

Figura 6-3: Opções de solução nº1 (A) e nº 2 (B) proposta pelo PDDU. A opção nº2 substitui o reservatório R2 pelo coletor adicional (17). As caixas em cinza indicam a localização dos reservatórios enterrados e em vermelho a proposta de construção de reservatórios adicionais.

Fonte: Macedo (2017)

Quadro 6-1: Características das diferentes intervenções propostas pelo PDDU para a Bacia de Bento Ferreira.

Intervenção	Situação Atual	Futuro
I1	Galeria 9.40 x 2.00 [mxm] i variável	Galeria 3.00 x 1.50 [mxm] i = 0.0015 m/m
I2	Galeria 7.50 x 2.00 [mxm] i variável	Galeria 2.00 x 1.50 [mxm] i = 0.0015 m/m
I3	Galeria 2.20 x 1.10 [mxm] i variável	Galeria 1.50 x 1.50 [mxm] i = 0.0015 m/m
I4	Galeria 2.00 x H variável[mxm] i variável	Galeria 1.50 x 1.50 [mxm] i = 0.0015 m/m
I5	Galeria 3.20 x H variável[mxm] i variável	Galeria 2.50 x 1.50 [mxm] i = 0.0015 m/m
I6	Galeria variável[mxm] i variável	Galeria 2.00 x 1.00 [mxm] i = 0.0015 m/m
I7	Galeria 4.10 x 1.70 [mxm] i variável	Galeria 2.50 x 1.50 [mxm] i = 0.0015 m/m

Fonte: Macedo (2017)

As intervenções propostas pelo PDDU também contemplam o aumento da capacidade da estação elevatória. A capacidade total de bombeamento, nesse caso, passa de 12,2 m³/s para 18 m³/s. É proposto para o reservatório R3 a capacidade de 10100 m³ para a primeira proposta de solução e de 17200 m³ para a segunda proposta de solução. Enquanto os outros reservatórios são mantidos com a mesma capacidade.

Ressalta-se que as melhorias por intervenção são progressivas. Porém, a construção dos reservatórios enterrados fornece a melhoria mais significativa. Comparando com a rede atual com essa solução, o volume de água extravasado diminui para menos da metade. A substituição dos coletores permite um melhoramento progressivo, porém de menor impacto, comparativamente à solução com os reservatórios enterrados.

6.3.1. Custo das intervenções propostas

As análises de custos das propostas de beneficiação envolvem a substituição de coletores, a construção de reservatórios enterrados e a substituição de bombas na estação elevatória. Para o cálculo de custos foi tomado como base, simplificada, os custos de intervenção em Portugal (Hidra e Engidro, 2015).

Os custos de reservatórios enterrados, incluindo mão de obra, material e serviços associados como rebaixamento do lençol freático, fica em torno de 300€/m³ o que totaliza, para o caso de estudo, aproximadamente 20M€ (milhões de euros).

Para a construção de coletores, tendo por base os valores unitários do PGDL e levando em consideração a construção de 3,5 km de rede, totaliza 3,13 M€. Para a estação elevatória, foi estimado o valor de 213 000€ por bomba, com capacidade de 1,8 m³/s, totalizando 1,3 M€. O total de investimento em euros estima-se 24,5 M€.

No Quadro 6-2 observa-se o custo estimado para cada fase/proposta de beneficiação, e o custo acumulado das intervenções. Assim, pode-se comparar a redução da altura das

águas com a aplicação de cada proposta para o cenário otimista de alterações climáticas e o período de retorno de 25 anos (simulação piloto).

Quadro 6-2: Análise de custos-benefícios para a instalação progressiva de cada fase/solução.

Solução/Fase	Descrição		Altura de água - cenário AC_otimista [cm]	Custo da fase [€]	Custo acumulado [€]
1-A	Sistema existente		63.46	0	0
2_A	Reservatórios Enterrados	R1	26.95	5 850 000	5 850 000
		R2		3 315 000	9 165 000
		R3		5 400 000	14 565 000
		R4		5 580 000	20 145 000
4.1	Área Noroeste (NO)		15.26	2 095 420	22 240 420
4.2	Área Sul (S)		4.91	769 395	23 009 815
4.3	Área Este E		4.48	55 485	23 065 300
4.4	Área Nordeste (NE)		4.36	210 648	23 275 948
4.5	Aumento da capacidade de bombagem		3.57	1 279 076	24 555 024

Fonte: Macedo (2017)

A construção dos reservatórios enterrados é prioritária apesar do custo. As outras intervenções também são benéficas, porém possui menor peso no que respeita ao controlo de inundações. Portanto, propõe-se iniciar as intervenções com a construção dos reservatórios, seguido das melhorias nos coletores na área Noroeste da bacia e pôr fim a realização das demais obras.

6.4. Cenários de simulação

A aplicação da metodologia proposta, na área de estudo, é dividida em quatro cenários:

- Cenário 1: Simulação do desempenho para a situação atual do sistema, e sem efeitos de alterações climáticas (Quadro 6-3). O primeiro cenário será representado nos mapas como 1ano_SA (para o período de retorno de 1 ano, sem incrementos das alterações climáticas), 10_SA (para o período de retorno

de 10 anos, sem incrementos das alterações climáticas) e T50_SA (para o período de retorno de 50 anos, sem incrementos das alterações climáticas).

Quadro 6-3: Resumo dos valores para o primeiro cenário

Período de retorno	1 ano	10 anos	50 anos
Ipico (mm/h)	45	83	116
Nível de maré	Atual (constante)		

- Cenário 2: Simulação do desempenho para a situação atual do sistema, porém considerando que os efeitos das alterações climáticas provocarão um incremento de 10% de precipitação e um aumento do nível do mar de 0,4 m (Quadro 6-4). O segundo cenário será representado nos mapas como 1ano_AC (para o período de retorno de 1 ano, com os incrementos das alterações climáticas), área_10ano_AC (para o período de retorno de 10 anos, com os incrementos das alterações climáticas) e T50_AC (para o período de retorno de 50 anos, com os incrementos das alterações climáticas).

Quadro 6-4: Resumo dos valores para o segundo cenário

Período de retorno	1 ano	10 anos	50 anos
Ipico (mm/h)	49,5	91,3	127,60
Nível de maré	Atual + 0,4 m		

- Cenário 3: Simulação do sistema de drenagem, mas com a construção de quatro reservatórios enterrados, e sem efeitos das alterações climáticas.). O terceiro cenário será representado nos mapas como 1ano_2A_SA (para o período de retorno de 1 ano, com implementações de melhorias e sem incrementos das alterações climáticas), 10anos_2A_SA (para o período de retorno de 10 anos, com implementações de melhorias e sem incrementos das alterações climáticas) e T50_SA_2A (para o período de retorno de 50 anos, com implementações de melhorias e sem incrementos das alterações climáticas).

- Cenário 4: Simulação do sistema de drenagem, com os quatro reservatórios enterrados e com os efeitos das alterações climáticas (+10% de precipitação e +0.4m de aumento do nível do mar). O quarto cenário será representado nos mapas como 1ano_2A_AC (para o período de retorno de 1 ano, com implementações de melhorias e com os incrementos das alterações climáticas), 10anos_2A_AC (para o período de retorno de 10 anos, e com implementações de melhorias e sem incrementos das alterações climáticas) e T50_2A_AC (para o período de retorno de 50 anos, e com implementações de melhorias e sem incrementos das alterações climáticas).

6.4.1. Cenário 1: Simulação do desempenho para a situação atual do sistema

Período de retorno de 1 ano

Para o período de retorno de 1 ano, de acordo com os resultados das simulações SWMM, os coletores entram em carga em quatro áreas da bacia (Figura 6-4). A área do Bairro de Lourdes (círculo laranja), apesar de apresentar os coletores em carga, os volumes de extravasamento são inferiores das restantes da área de estudo. A figura representa o sistema de drenagem no instante crítico (cerca de 30 min após início da chuvada). A região central de Bento Ferreira (círculo roxo), atinge a situação crítica após 1h20 do início da chuvada.

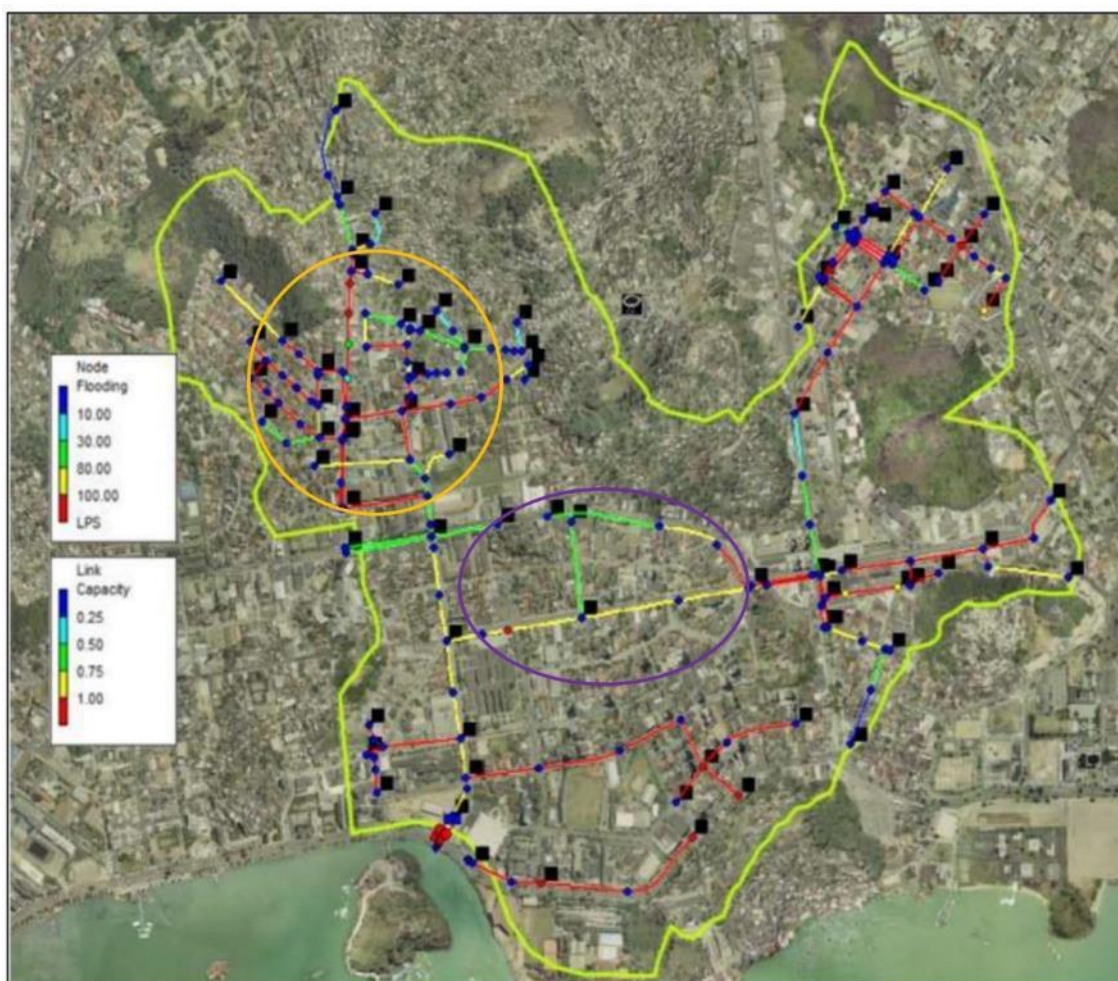


Figura 6-4: Simulação SWMM para o Bairro de Bento Ferreira, no momento crítico de chuva (coletores em carga) no período de retorno de 1 ano.

Fonte: Pereira, 2019

As áreas inundadas de acordo com a altura média da área podem ser visualizadas na Figura 6-5. Essa Figura mostra que a maior inundação tem lugar numa área localizada no Bairro de Lourdes, onde a água da chuva se acumula (em vermelho).

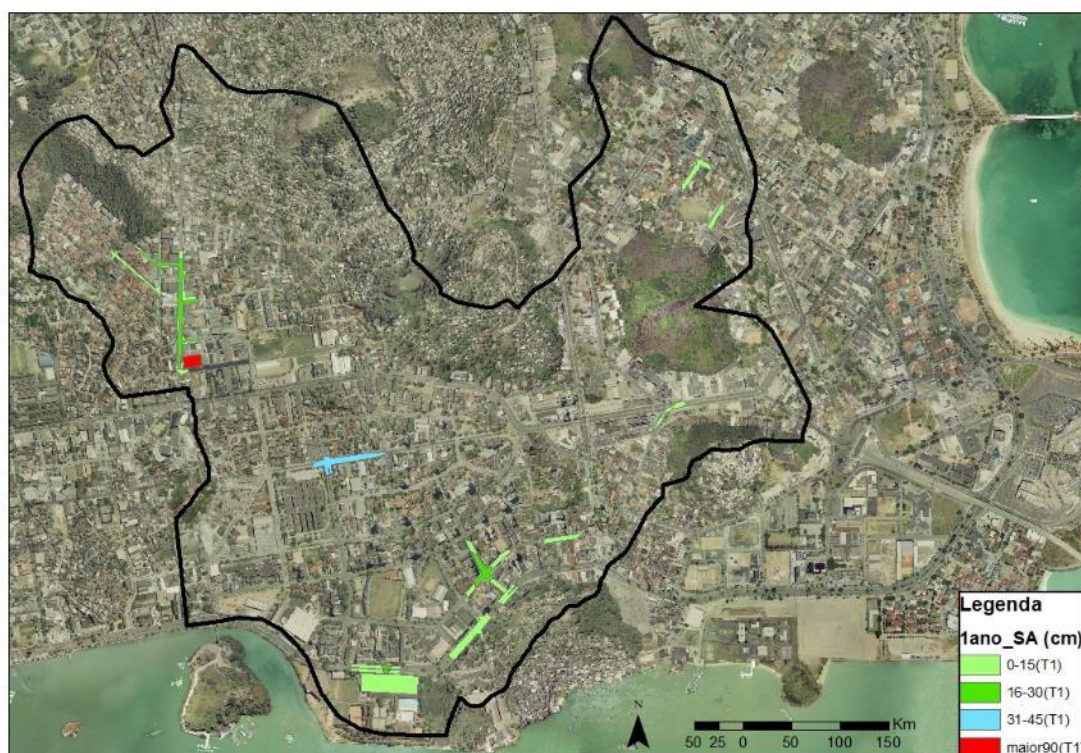


Figura 6-5: Áreas de inundação na bacia de Bento Ferreira, estimada com a simulação SWMM, para o período de retorno de 1 ano.
Fonte: Elaborado pelo autor

Os tempos de inundação são análogos (Quadro 6-5), com exceção da zona sul do bairro Bento Ferreira, que permanece inundada após 2h83. Tal fenómeno é explicado pela baixa densidade de sumidouros na área de menor baixa afetada.

Quadro 6-5: Resumo dos resultados para o período de retorno de 1 ano

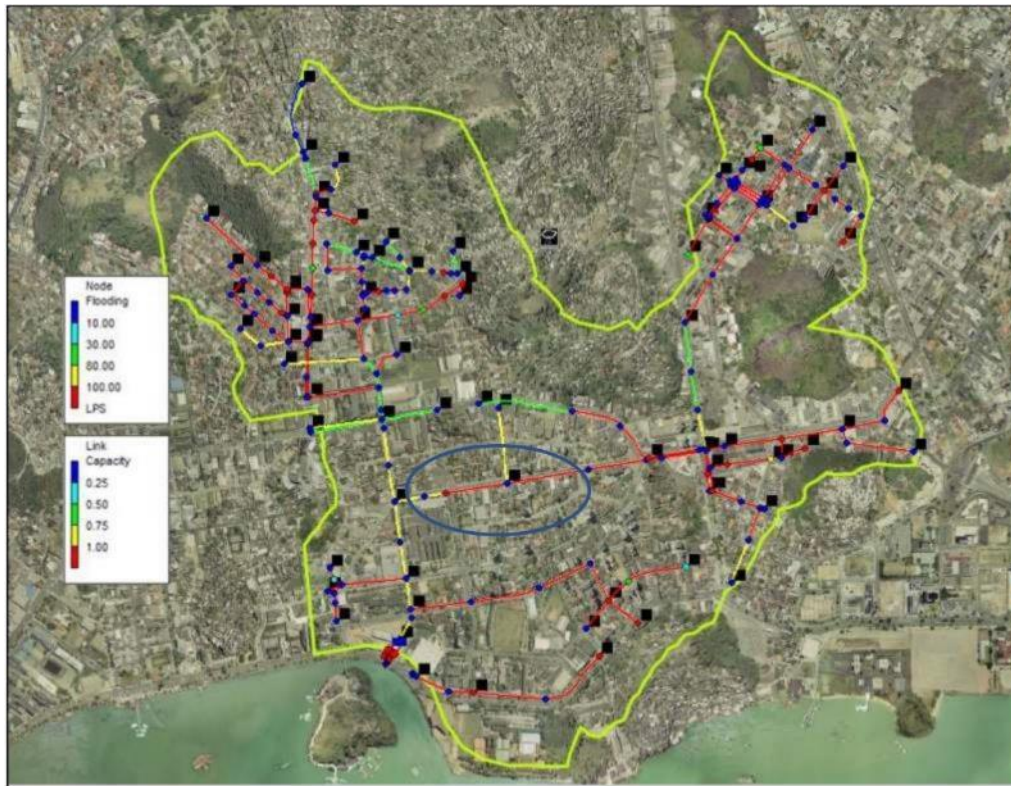
Bairro	Volume de extravasamento (m ³)	Área Inundada (m ²)	Duração da inundação (horas)
De Lourdes	3537	15157	1.61
Bento Ferreira Centro	3825	14633	1.14
Bento Ferreira Sudeste	1594	7848.118	1.62
Bento Ferreira Sul	1246	14152	2.83

Fonte: Pereira, 2019

Período de retorno de 10 anos

Inundação para o período de retorno de 10 anos, e de acordo com os resultados das simulações SWMM, não se registam incrementos substanciais de inundação, quando comparados com o cenário de período de retorno de 1 ano. Porém o volume extravasado é superior. A Figura 6-6 representa o sistema de drenagem no momento

crítico, as alturas mais significativas de inundação (cerca de 90 cm), encontram-se nas proximidades do Hospital da Polícia Militar (círculo azul).



*Figura 6-6: Simulação SWMM para o bairro de Bento Ferreira, no momento crítico de chuva (coletores em carga) no período de retorno de 10 anos.
Fonte: Pereira, 2019*

As áreas inundadas e as alturas de água podem ser visualizadas na Figura 6-7, onde se observa que as maiores alturas de água têm lugar na Avenida Cesar Hilal (área em azul-escuro).

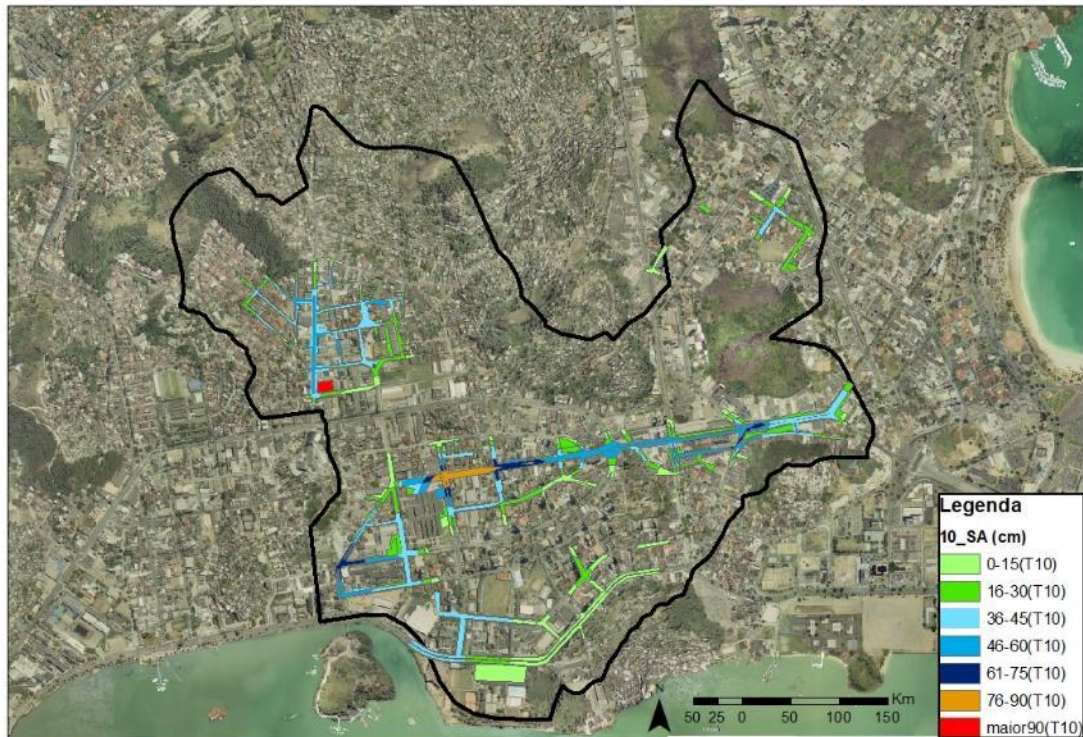


Figura 6-7: Áreas e alturas de inundação no bairro de Bento Ferreira para o período de retorno de 10 anos.

Fonte: Elaborado pelo autor

Os tempos de inundação atestam que para um maior volume de escoamento superficial, necessita naturalmente, de mais tempo para cessar a inundação. O resumo dos dados da simulação SWMM para 10 anos de período de retorno, podem ser verificados no Quadro 6-6.

Quadro 6-6: Resumo dos resultados para o período de retorno de 10 anos

Bairro	Volume de extravasamento (m ³)	Área Inundada (m ²)	Duração da inundação (horas)
De Lourdes	17745	47462	2.26
Avenida César Hilal	45487	113337	4.01
Bento Ferreira Sul	8556	64726	4.13
Monte Belo	15554	31388	2.63
Santa Lúcia (1)	3333	13717	1.65
Santa Lúcia (2)	436	3410	0.65

Fonte: Pereira, 2019

Período de retorno de 50 anos

Para o período de retorno de 50 anos e de acordo com os resultados das simulações SWMM, teve lugar um incremento substancial do volume extravasado. Na Figura 6-8 apresenta-se os coletores em carga no momento crítico.



Figura 6-8: Simulação SWMM para o bairro de Bento Ferreira no momento crítico de chuva (coletores em carga) para o período de retorno de 50 anos.

Fonte: Pereira, 2019

As alturas mais significativas de inundação (cerca de 90 cm), encontram-se nas proximidades do Hospital da Polícia Militar (círculo roxo) e nas proximidades da sede de jornal e televisão, Rede Gazeta (círculo azul) e parte da Avenida Cesar Hilal (círculo laranja), nas proximidades da Secretaria Estadual de Educação (SEDU) (Figura 6-9).

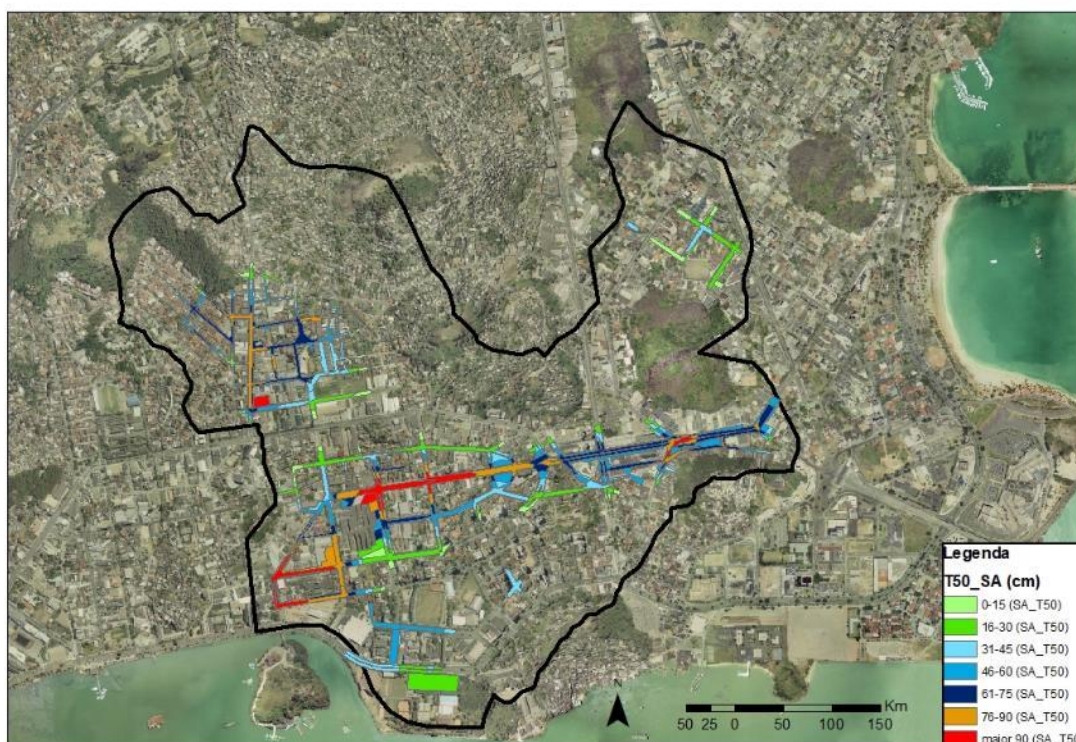


Figura 6-9: Áreas e alturas de inundação no bairro de Bento Ferreira para o período de retorno de 50 anos.

Fonte: Elaborado pelo autor

Como já constatado, os tempos de inundação atestam que para um maior volume de escoamento superficial, necessita de mais tempo para as inundações cessarem. O resumo dos dados da simulação SWMM para 50 anos de período de retorno, consta no Quadro 6-7.

Quadro 6-7: Resumo dos resultados de volumes extravasados, áreas inundadas e duração para o período de retorno de 50 anos

Bairro	Volume de extravasamento (m³)	Área inundada (m²)	Duração da inundação (horas)
Bento Ferreira (centro)	56675	11317	6.28
De Lourdes	33946	3239	1.46
Santa Lúcia	7856	3164	1.20
Bento Ferreira (sul)	19140	4708	3.00

Fonte: Pereira, 2019

6.4.2. Cenário 2: Simulação do desempenho para a situação atual do sistema, com incremento dos efeitos das alterações climáticas

Período de retorno de 1 ano

Para o cenário com incremento das alterações climáticas para o período de retorno de 1 ano, houve um incremento substancial de volume extravasado como pode ser observado na Figura 6-10.



Figura 6-10: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira com o acréscimo das alterações climáticas, para o período de retorno de 1 ano.

Fonte: Elaborado pelo autor

A área central da bacia de Bento Ferreira sofre um aumento de área inundada de aproximadamente 70% em comparação com o cenário anterior (Figura 6-11). O volume de extravasamento foi de 3825 m³ para 9255 m³. Regista-se um aumento na altura das inundações na parte baixa da bacia, que passa de 34 cm para 45 cm.

O início das inundações ocorre aproximadamente no mesmo momento. Porém no cenário das alterações climáticas a duração das inundações aumenta. Pode citar-se

como exemplo a Avenida Cesar Hilal que no primeiro cenário possui o tempo de inundação de 1h08, enquanto no segundo cenário a inundação perdura 2h15min.



Figura 6-11: Comparação de áreas inundadas no bairro de Bento Ferreira para o cenário atual e o cenário com alterações climáticas e período de retorno de 1 ano.

Fonte: Elaborado pelo autor

Período de retorno de 10 anos

Para o período de retorno de 10 anos, o volume da inundação aumentou 17% em comparação ao primeiro cenário (Figura 6-12), com uma área afetada de 170 132 m². A altura mais crítica localiza-se na Avenida Cesar Hilal, com uma altura de água de 98 cm. A duração da inundação é de 3h18 no Bairro Ilha de Monte Belo e de 4h33 na Avenida Cesar Hilal.

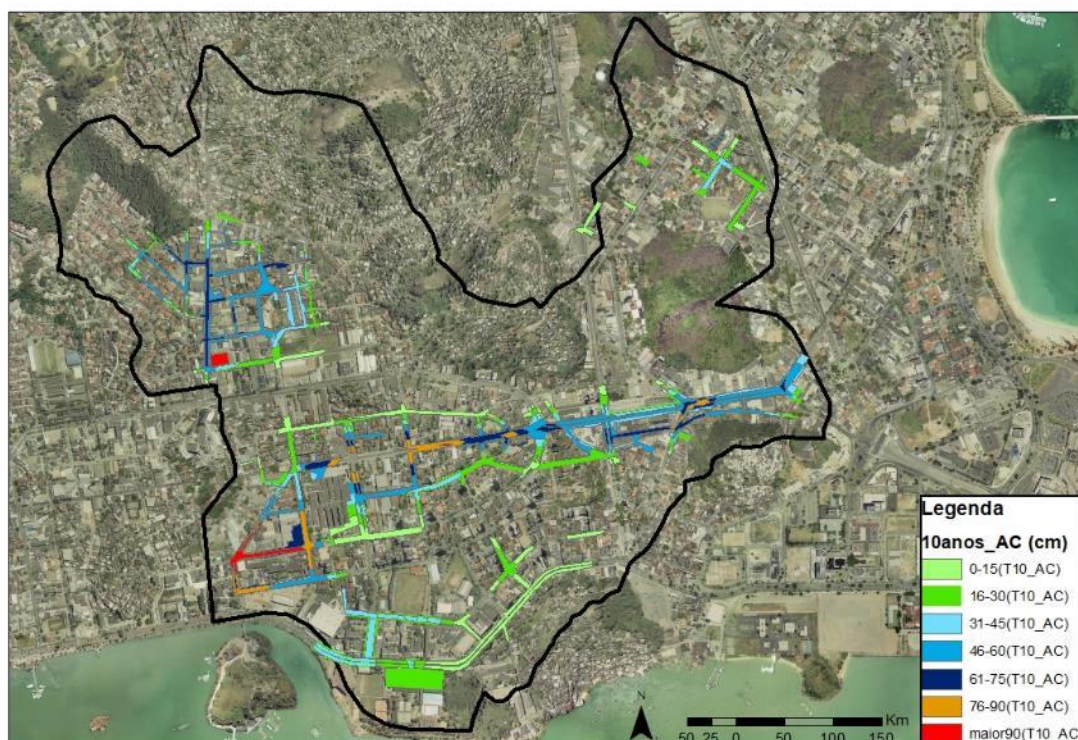


Figura 6-12: Áreas e alturas de inundação no bairro Bento Ferreira com o acréscimo das alterações climáticas, para o período de retorno de 10 anos.
Fonte: Elaborado pelo autor

Para o cenário com incremento das alterações climáticas para o período de retorno de 10 anos, houve um acréscimo de volume e altura de inundações (6-13). No entanto, com relação ao comparativo às simulações com 1 ano de período de retorno (Figura 6-11), a diferença entre a simulação nos cenários atual e com alterações climáticas, são bem menos significativas.



Figura 6-13: Comparação de áreas inundadas para o cenário atual e o cenário com alterações climáticas e período de retorno de 10 anos no bairro de Bento Ferreira.
 Fonte: Elaborado pelo autor

Período de retorno de 50 anos

Para o cenário com incremento das alterações climáticas para o período de retorno de 50 anos, houve indicativo de aumento na altura da água (Figura 6-14).

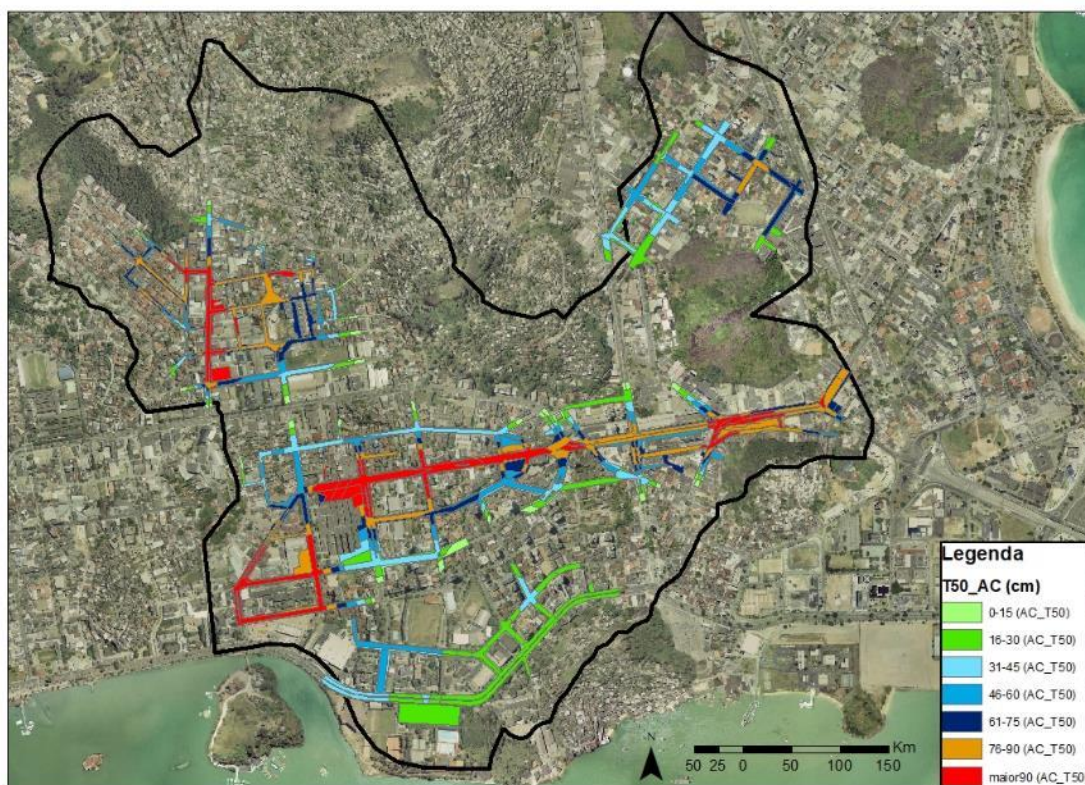


Figura 6-14: Áreas e alturas de inundação no bairro Bento Ferreira, com o acréscimo das alterações climáticas, para o período de retorno de 50 anos.
Fonte: Elaborado pelo autor

Em um comparativo para os cenários atuais e com acréscimo de alterações climáticas no mesmo período de retorno (50 anos), a área atingida quase que dobrou passando de 130 736 m² para 271 252 m², enquanto o volume de inundação passa de 175 396 m³ para 213 714 m³ (Figura 6-15). A altura de água mais elevada localiza-se na Avenida Cesar Hilal, com 128 cm. A duração da inundação é de 3h36 no Bairro Ilha de Monte Belo e 7h00 na Avenida Cesar Hilal.

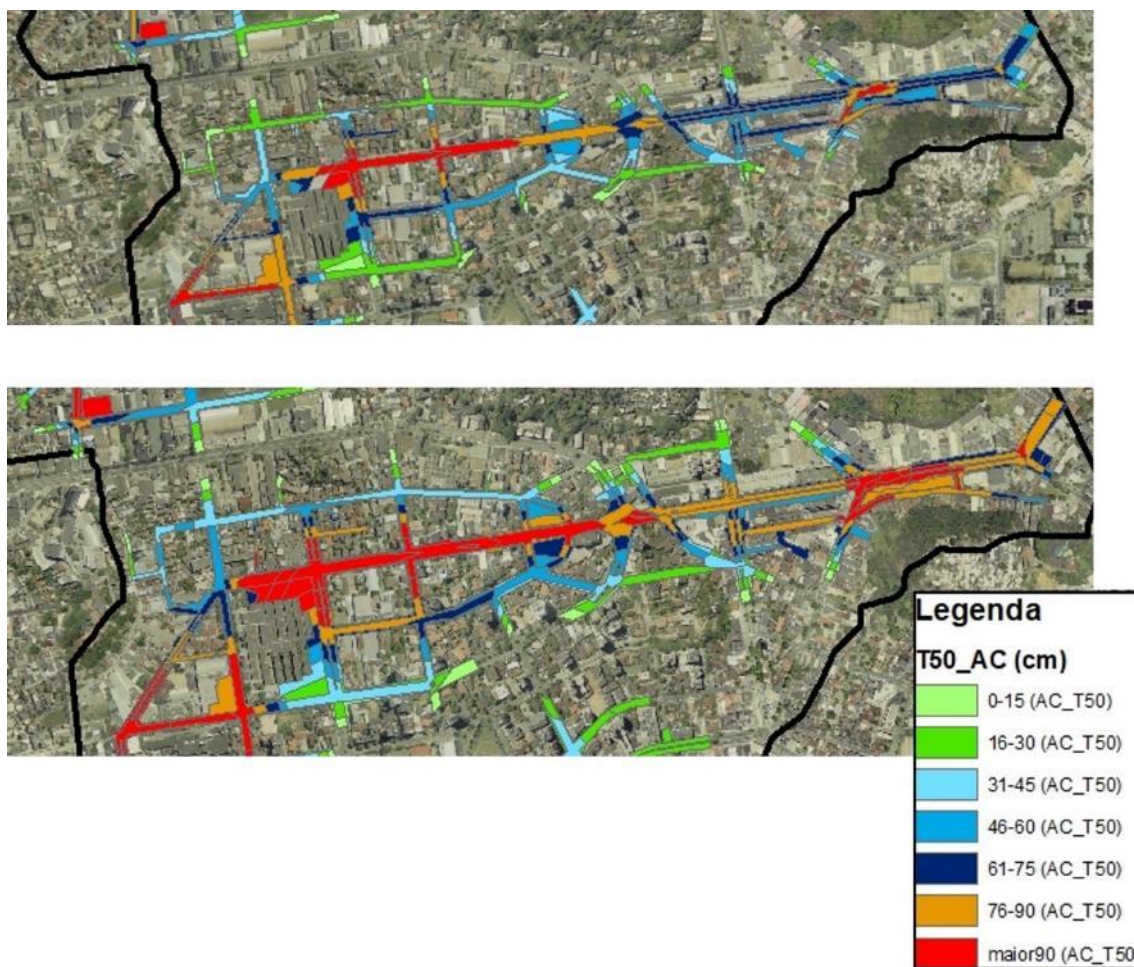


Figura 6-15: Comparação de áreas inundadas para o cenário atual e o cenário com alterações climáticas e período de retorno de 50 anos.

Fonte: Elaborado pelo autor

6.4.3. Cenário 3: Simulação do sistema de drenagem com a construção de quatro reservatórios enterrados e sem efeitos das alterações climáticas

O PDDU apresenta duas opções de beneficiação do sistema de drenagem. Na primeira opção considera-se a construção de reservatórios enterrados, ampliação de coletores e aumento da capacidade de bombagem na estação elevatória. A Figura 6-16 refere-se à primeira opção, onde R1, R2, R3 e R4 representam os reservatórios enterrados e os pontos vermelhos identificam a localização na bacia. A segunda opção de beneficiação diferencia-se da primeira, porque exclui o reservatório R2, substituindo-o por coletores adicionais. No âmbito do cenário 3, é utilizada a simulação com a construção dos quatro reservatórios como explanado acima.



*Figura 6-16: Localização dos reservatórios na bacia de Bento Ferreira.
Fonte: Macedo, 2017*

Período de retorno de 1 ano

Para o cenário com implementação de melhorias para o período de retorno de 1 ano, não se estima um incremento substancial de volume extravasado comparativamente ao que se verifica para o primeiro cenário, como pode ser observado nas Figuras 6-17 e 6-18, sendo a Figura 6-18 a comparação entre o primeiro e o terceiro cenário, para o mesmo período de retorno.

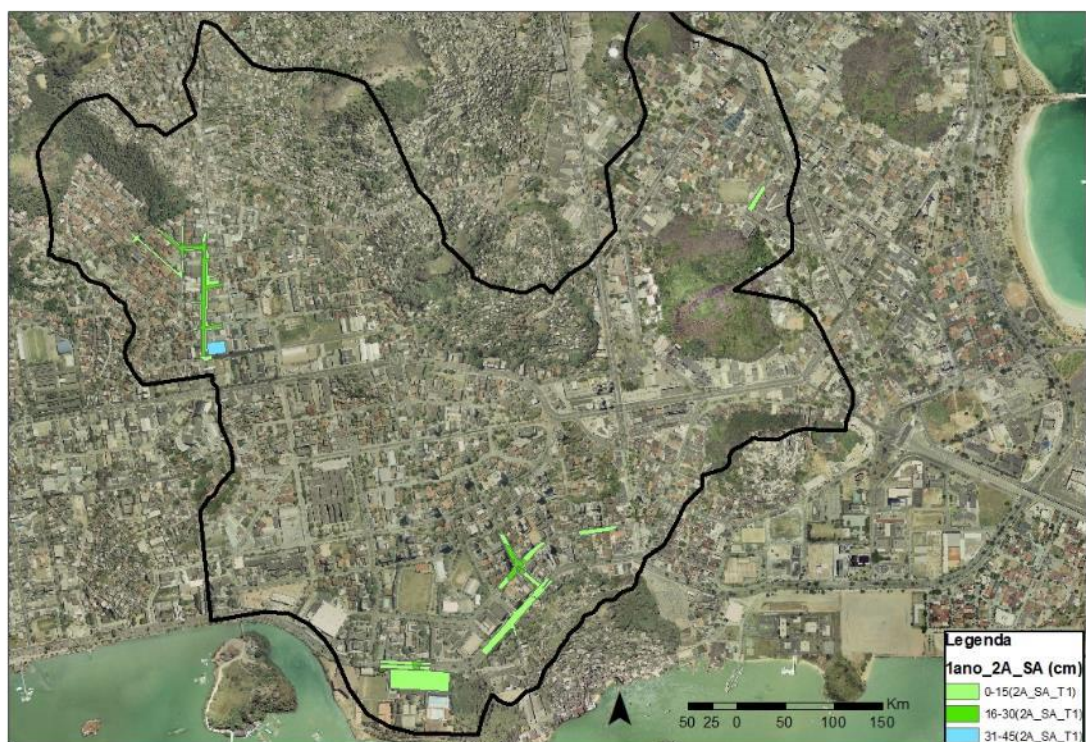


Figura 6-17: Áreas de inundação no bairro de Bento Ferreira, após melhorias no sistema de drenagem, para o período de retorno de 1 ano.
Fonte: Elaborado pelo autor

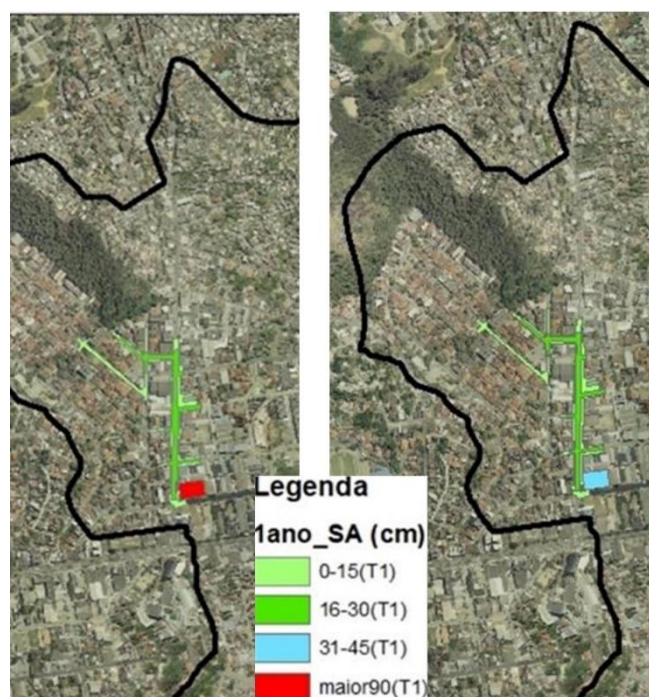


Figura 6-18 Comparação de áreas inundadas no bairro de Bento Ferreira, para os cenários 1 e 3 e 1 ano de período de retorno.
Fonte: Elaborado pelo autor

Período de retorno de 10 anos

Para o cenário com implementação de melhorias para o período de retorno de 10 anos (Figura 6-19), houve uma redução de área de inundação de aproximadamente 79% comparando, para as mesmas condições, com resultados para o primeiro cenário (Figura 6-20). A construção de reservatórios enterrados reduz as inundações e retarda o início da inundação, de forma que o extravasamento começa a ter lugar às 1h45, e não às 0h30, como ocorre no primeiro cenário.

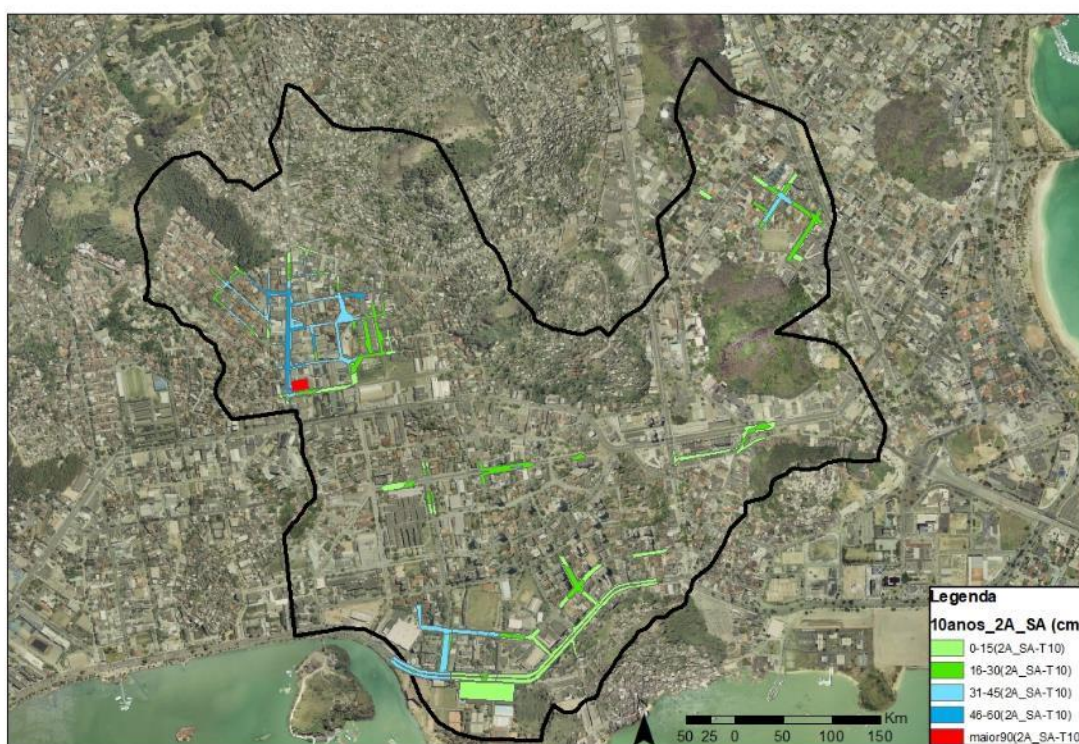


Figura 6-19: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira, com implementação de melhorias no sistema de drenagem, para o período de retorno de 10 anos.

Fonte: Elaborado pelo autor

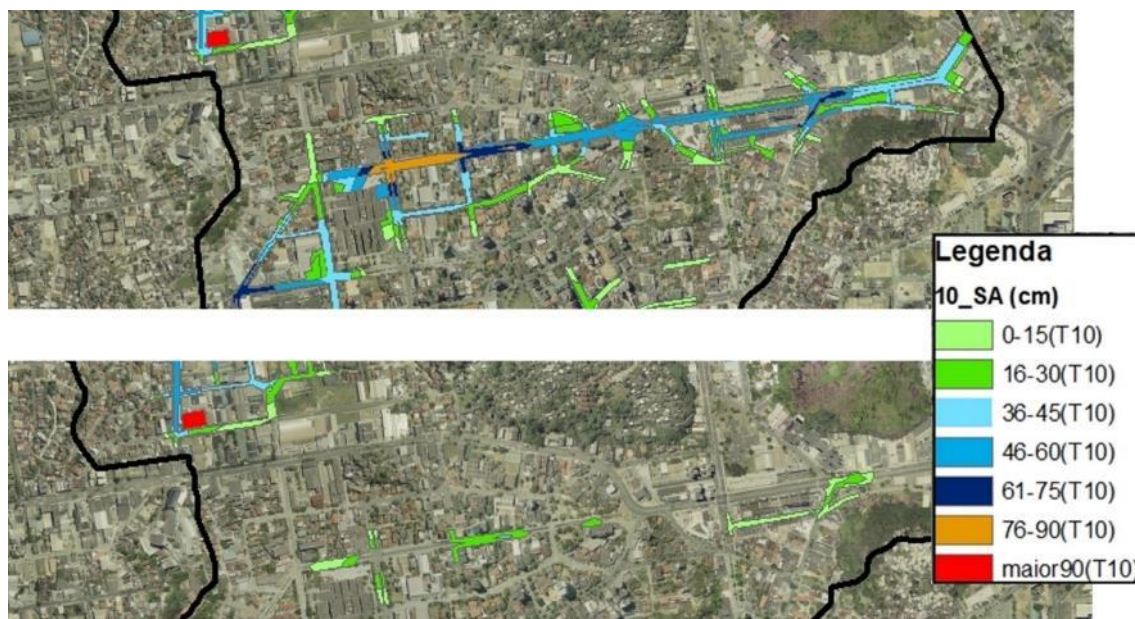


Figura 6-20: Comparação de áreas inundadas no bairro Bento Ferreira para os cenários 1 e 3, para o período de retorno de 10 anos.

Fonte: Elaborado pelo autor

Período de retorno de 50 anos

No cenário com implementação de melhorias para o período de retorno de 50 anos, registam-se inundações (Figura 6-21). As instalações de reservatórios enterrados têm efeito ao nível de volume extravasado e áreas e duração das inundações (Figura 6-22).

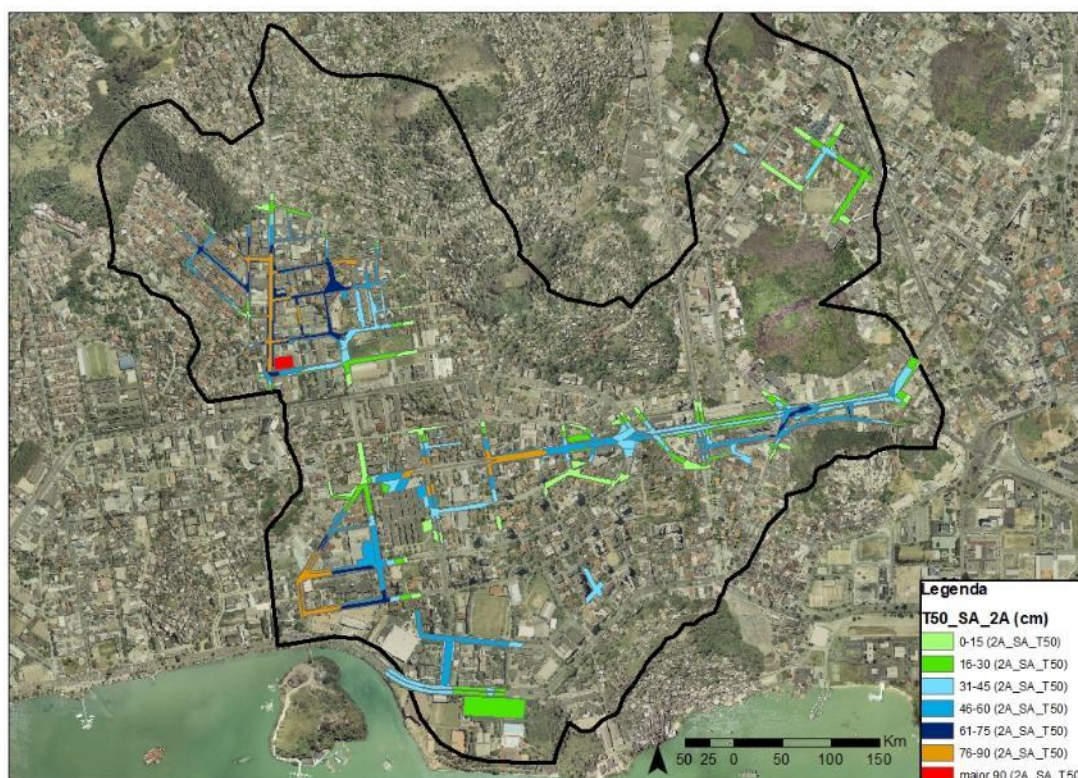


Figura 6-21: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira após implementação de melhorias no sistema de drenagem, para o período de retorno de 50 anos.
 Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 6-22: Comparação de áreas inundadas no bairro Bento Ferreira para os cenários 1 e 3, para o período de retorno de 50 anos.
 Fonte: Elaborado pelo autor

6.4.4. Cenário 4: Simulação do sistema de drenagem, com os quatro reservatórios enterrados e com os efeitos das alterações climáticas.

Período de retorno de 1 ano

No cenário com implementação de melhorias e sob efeitos de alterações climáticas para o período de retorno de 1 ano (Figura 6-23), não se verifica um incremento substancial de volume extravasado relativamente a comparação com o cenário com incremento das alterações climáticas e sem melhorias (cenário 2), como pode ser observado na Figura 6-24.

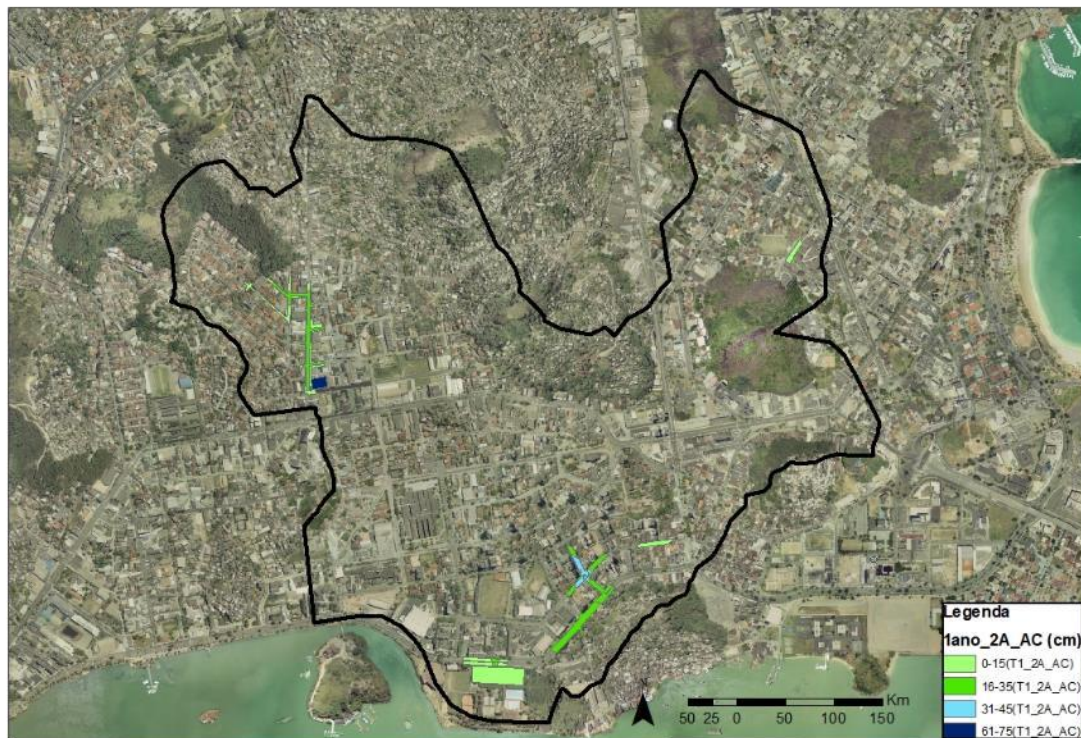
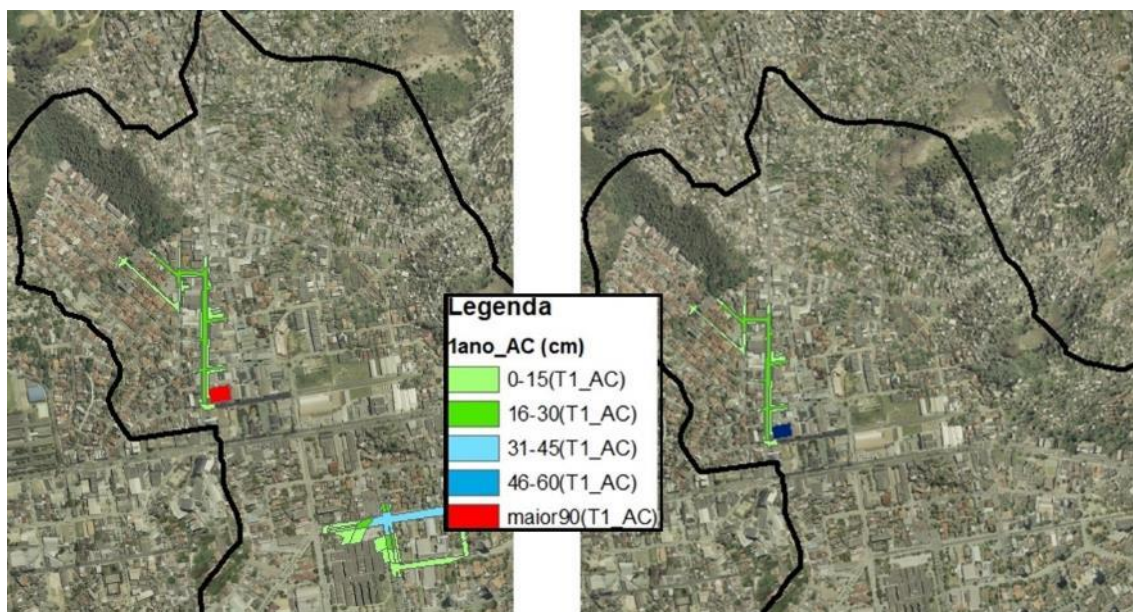


Figura 6-23: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira após implementação de melhorias no sistema de drenagem com incremento das alterações climáticas, para o período de retorno de 1 ano.

Fonte: Elaborado pelo autor



*Figura 6-24: Comparação de áreas inundadas no bairro Bento Ferreira para os cenários 2 e 4 para o período de retorno de 1 ano.
Fonte: Elaborado pelo autor*

Período de retorno de 10 anos

Para o cenário com implementação de melhorias sob efeito das alterações climáticas para o período de retorno de 10 anos, relativamente ao cenário 3, estima-se um aumento no volume extravasado, que passou de 4 305 m³ para 18 106 m³. A área imersa na Avenida César Hilal passou de 14 606 m² para 73 300 m² (Figura 6-25).

Quando comparado com o cenário 2, sob efeito das alterações climáticas, o quadro de inundações é amenizado, nomeadamente na zona da Avenida César Hilal (Figura 6-26).

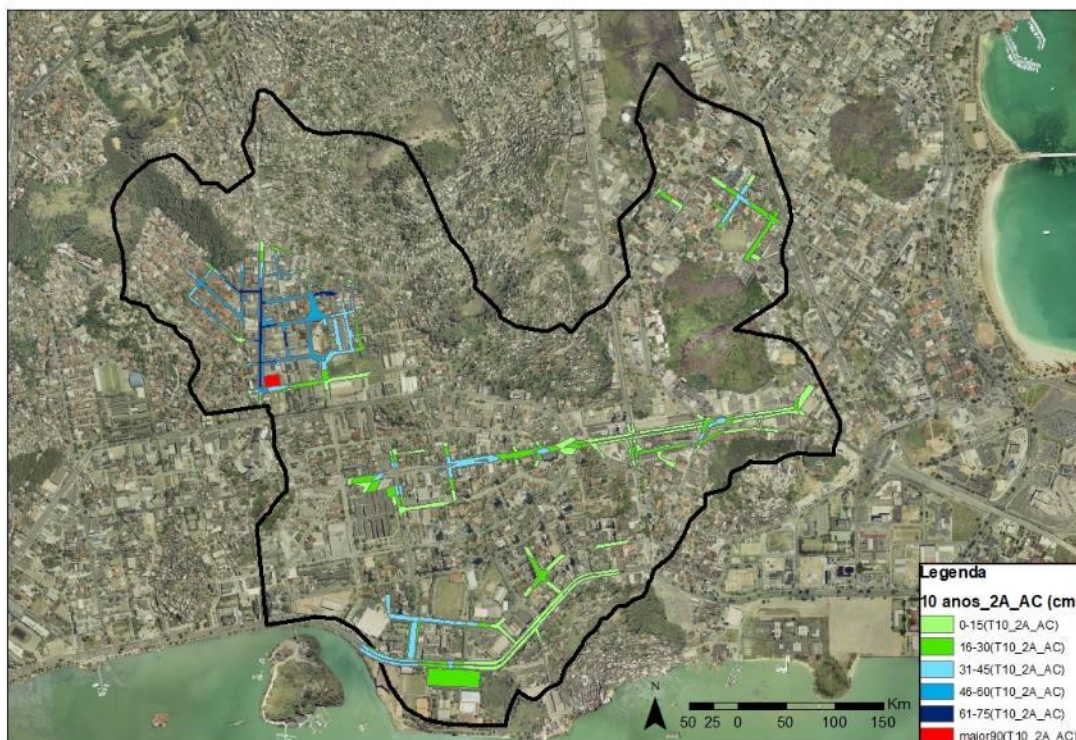


Figura 6-25: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira após a implementação de melhorias no sistema de drenagem sob efeito das alterações climáticas, para o período de retorno de 10 anos.
 Fonte: Elaborado pelo autor

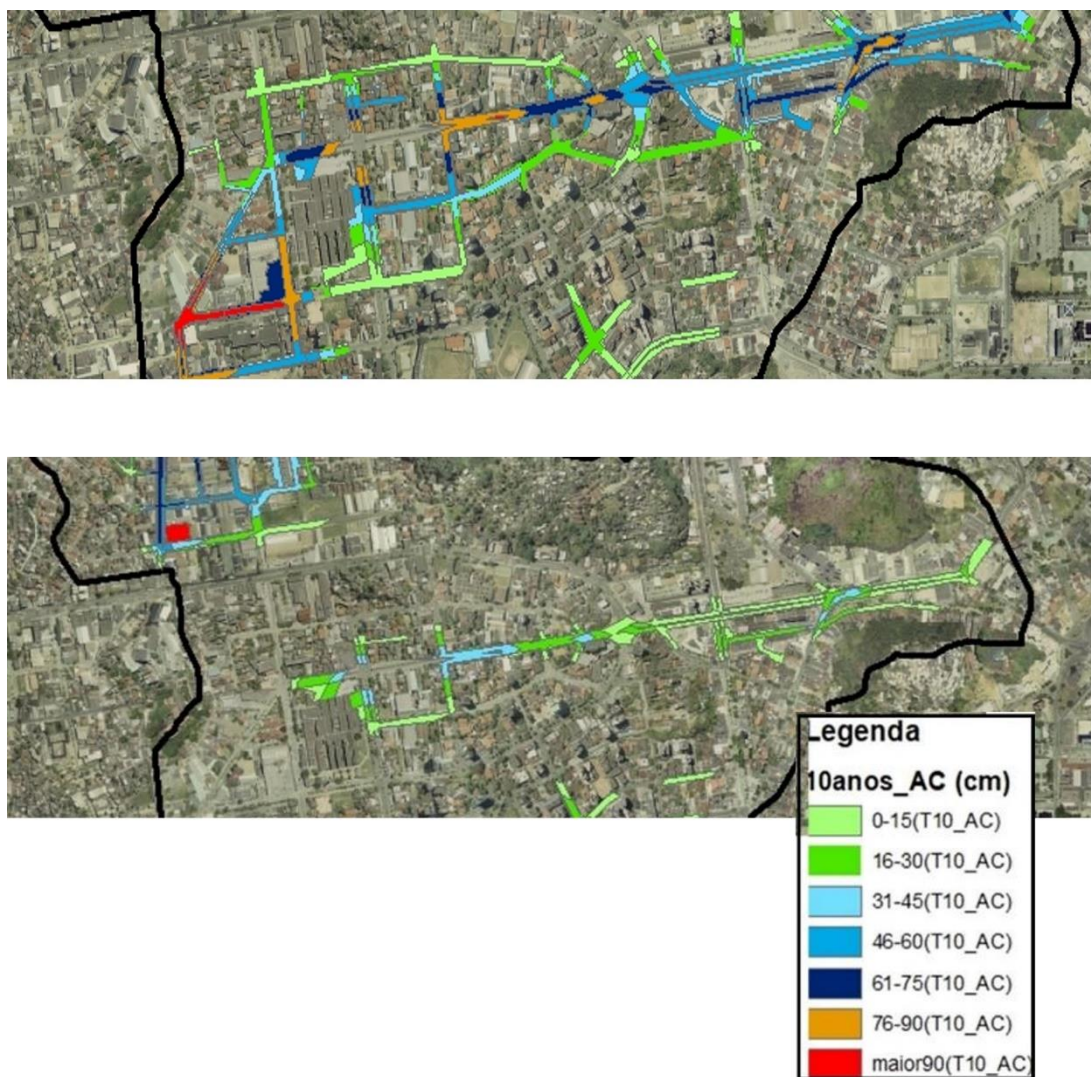


Figura 6-26: Comparação entre áreas inundadas no bairro Bento Ferreira nos cenários 2 e 4, para o período de retorno de 10 anos
Fonte: Elaborado pelo autor

Período de retorno de 50 anos

Para o cenário com implementação de melhorias e sob efeito das alterações climáticas para o período de retorno de 50 anos, relativamente ao cenário 3, estima-se um aumento de água extravasada, que passou de 18 106 m³ para 144 863 m³. A área imersa na Avenida César Hilal passou de 73 300 m² para 128 165 m² (Figura 6-27).

Quando comparado com os resultados do cenário 2, em que também tem lugar o efeito das alterações climáticas, o quadro de inundações é amenizado, já que o volume de caudal que nesse cenário foi de 213 700 m³ e a área inundada de 271 200 m² (Figura 6-28).

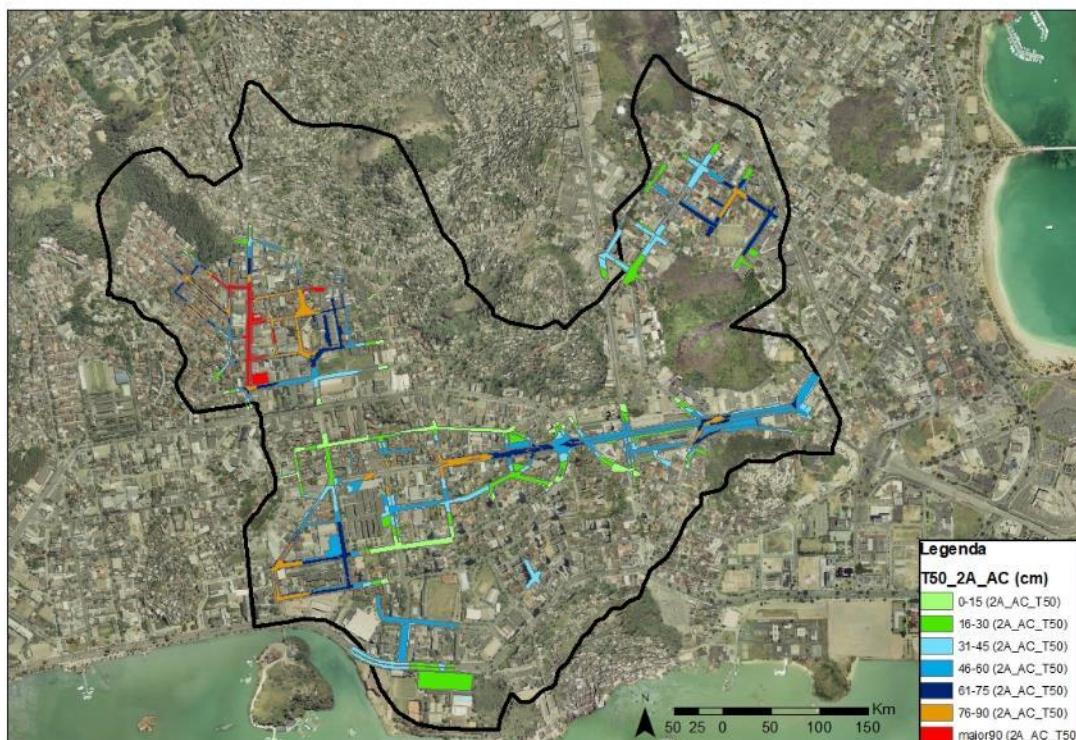
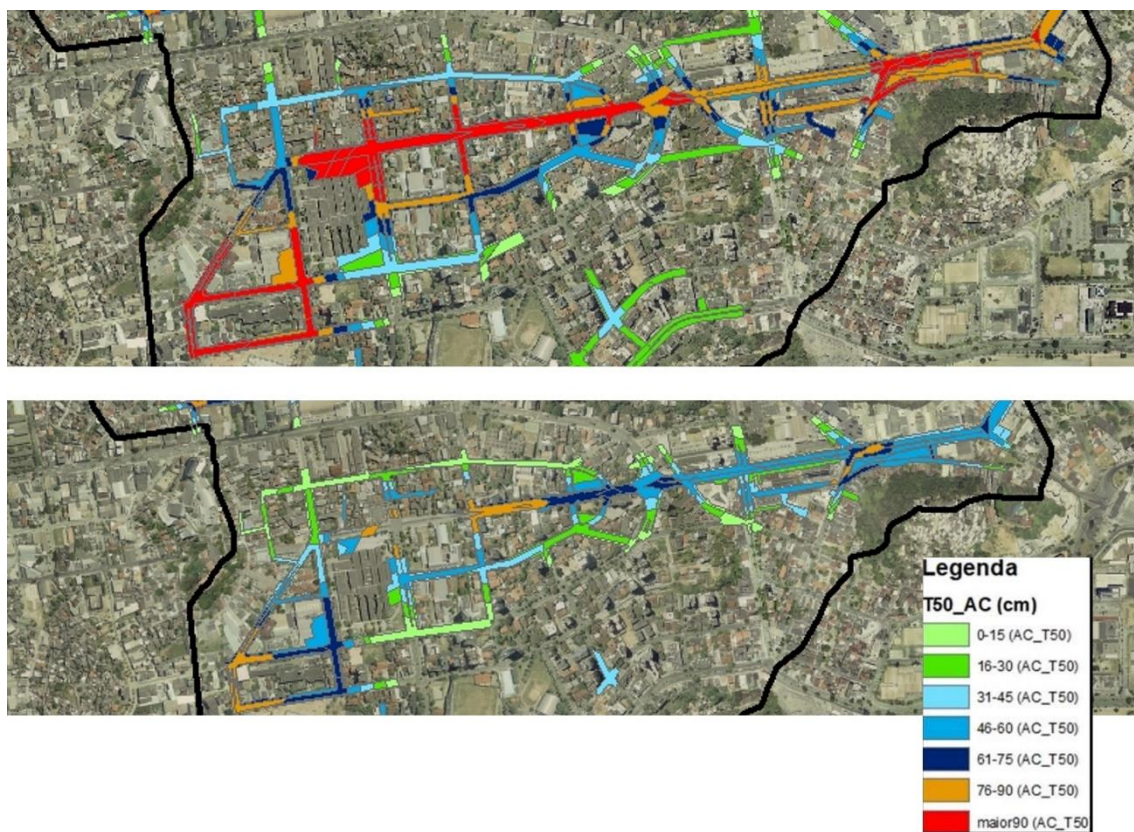


Figura 6-27: Áreas de inundação no bairro Bento Ferreira após a implementação de melhorias no sistema de drenagem sob efeito das alterações climáticas, para o período de retorno de 50 anos.
 Fonte: Elaborado pelo autor



*Figura 6-28: Comparação entre áreas inundadas no bairro Bento Ferreira nos cenários 2 e 4, para o período de retorno de 50 anos.
Fonte: Elaborado pelo autor*

6.5. Indicadores de desempenho

6.5.1. Considerações gerais

No âmbito da metodologia proposta no presente trabalho existe a abertura para escolha de indicadores ou inclusão de outros, dependendo das características da área de estudo. A aplicação no estudo de caso incluiu os seguintes indicadores: duração da inundação, duração da inundação crítica, perturbação do tráfego, afetação dos resíduos sólidos, afetação dos serviços de saúde e afetação dos serviços terciários, como já desenvolvido no tópico 5.2.

As perturbações do sistema de abastecimento de água não foram consideradas na área de estudo, porque cada residência possui um reservatório individual. Quando há perturbações no sistema, por via de regra, o abastecimento é suspenso temporariamente em metade da cidade (no caso de Vitória). Isso porque a cidade tem dois mananciais de origens de água. A área de estudo é abastecida pelo Rio Jucu, assim como toda a parte insular da cidade e a parte continental da cidade é abastecida pelo Rio Santa Maria. Quando ocorre interrupção no abastecimento, há notificações para a população armazenar água e evitar o desperdício, sendo que dificilmente ocorrem problemas de falta de água na área em questão.

As perturbações na distribuição elétrica também não são consideradas no estudo de caso porque a fiação elétrica não é subterrânea em grande parte do Brasil. Na área de estudo, a fiação é suspensa por postes. Portanto, as perturbações não são associadas diretamente a inundações, mas a causas terceiras como, por exemplo queda de galhos de árvores, deslizamentos, furto de cabos de cobre, entre outros. Esses casos não são abrangidos pela metodologia proposta, porém poderá futuramente ser incluída para outros estudos.

6.5.2. Apresentação dos resultados

Indicador de desempenho – ID1**Duração da inundação**

Para o indicador de desempenho ID1, os resultados são apresentados no Quadro abaixo (6-8):

Quadro 6-8: Resultados do indicador de desempenho ID1.

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Duração (h)	1,6	2,76	4,48	1,74	3,09	3,36	1,7	2,41	3	2,01	2	3,36
ID1 (sem unidade)	93,3	88,5	81,3	92,7	87,1	86	92,9	89,9	87,5	91,6	87,5	86

Indicador de desempenho – ID2**Duração da inundação crítica**

Para o indicador de desempenho ID2, os resultados são apresentados no Quadro abaixo (6-9):

Quadro 6-9: Resultados do indicador de desempenho ID2.

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Duração (h)	2,5	3,06	6,28	2,2	2,16	7,01	2,2	3,01	3,86	2,97	3,16	4,29
ID2 (sem unidade)	79,1	74,5	47,6	81,6	82	41,5	81,6	74,9	67,8	75,2	73,6	64,2

Indicador de desempenho – ID3**Perturbação do tráfego**

Para a apresentação do indicador de perturbações no tráfego rodoviário foram considerados os trechos atingidos e a velocidade limite. Foram classificadas as vias, de acordo com a definição do PDU do Município de Vitória, como pode ser observado na Figura 6-29.

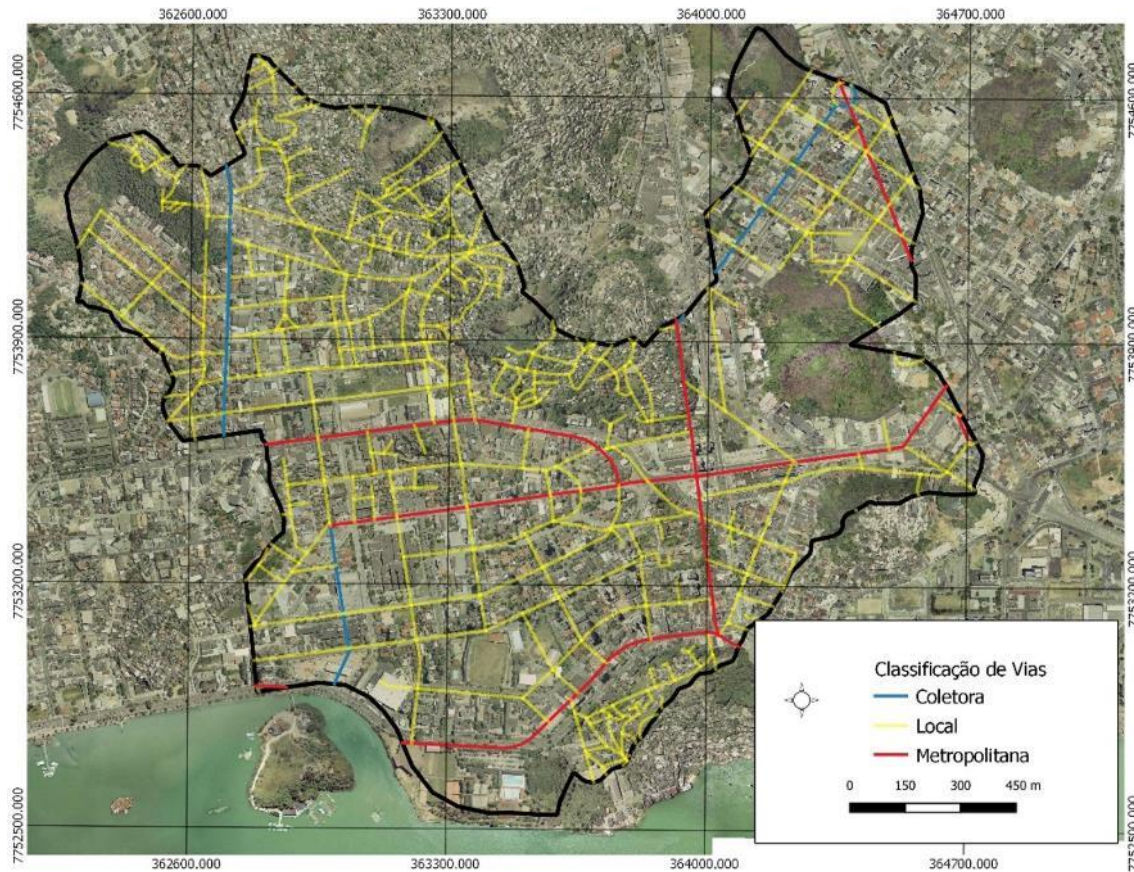


Figura 6-29: Classificação do sistema viário na bacia de Bento Ferreira
Fonte: Elaborado pelo autor

No Quadro 6-10, apresenta-se o resultado do cálculo do fator $F_{j,i}$ de acordo com o capítulo 5.2.

Quadro 6-10: Cálculo do fator $F_{j,i}$

$F_{j,i}$	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Via coletora	20	40	40	20	40	40	20	20	40	20	40	40
Via Local	0	0	20	0	20	20	0	0	20	0	20	40
Via metropolitana	0	20	20	0	60	60	0	0	20	0	20	20

Os resultados obtidos pelo cálculo do M3, de acordo com a classificação das vias, respectivamente M3C para vias coletoras, M3M para vias metropolitanas e M3L para vias locais, constam nos Quadros 6-11, 6-12 e 6-13 abaixo.

Quadro 6-11: Cálculo do M3 para vias coletoras

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Via coletora (m)	208,6	362,2	731,1	208,6	745,5	961,3	208,6	362,7	692,6	208,6	399,6	954,6
M3C	50	100	100	50	100	100	50	50	100	50	100	100

Quadro 6-12: Cálculo do M3 para vias metropolitanas

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Via metropolitana (m)	400,6	1666,9	2339,7	1629,8	2590,5	2769,09	400,6	1667,04	2307,2	272,6	2496,3	2244,7
M3M	0	33,3	100	0	100	100	0	0	33,3	0	33,3	33,3

Quadro 6-13: Cálculo do M3 para vias locais

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Via Local (m)	1504,8	5877,5	11945,1	13177,5	1147,5	13783,6	1505,7	5877	10041,2	1501,12	7414,33	12285,3
M3L	0	0	50	0	50	50	0	0	50	0	50	100

Para o cálculo do indicador de perturbações no tráfego rodoviário foi utilizada a Equação (7.6), e no Quadro 6-14 são apresentados os resultados obtidos.

$$ID_3 = \sum_j^m \rho_j \times (100 - M_3) \quad (7.6)$$

Onde:

$$\rho_j = \begin{cases} 0.5 & j = 1 & \text{Metropolitana} \\ 0.3 & j = 2 & \text{Coletora} \\ 0.2 & j = 3 & \text{Local} \end{cases}$$

Quadro 6-14: Resultados do indicador de desempenho ID3.

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Cálculo ID3	80	46,6	10	80	10	10	80	80	36,6	80	36,6	26,6

Indicador de desempenho – ID4

Afetação dos resíduos sólidos

Para esse indicador foi considerado que a altura de água acima de 30 cm levava ao derrube dos contentores de resíduos sólidos tendo-se aplicado a Equação (5.5) apresentada no tópico 4.4. Os resultados para o indicador ID4 são apresentados no Quadro 6-15.

Quadro 6-15: Resultados do indicador de desempenho ID4.

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Resíduos Sólidos	316	1319	1474	450	1468	2162	254	814	1302	254	1045	1633
ID4	72,6	0	0	61	0	0	78	29,5	0	78	9,5	0

Indicador de desempenho – ID5

Afetação dos serviços de saúde

Esse indicador é utilizado para casos de inundações acima de 30 cm, conforme o tópico 4.4. Nesse caso foram aplicados diferentes pesos para hospitais e outros equipamentos

de saúde (Vide Função genérica ID8, Capítulo 4.4). Para o indicador de desempenho ID5, os resultados são apresentados no Quadro abaixo (6-16).

Quadro 6-16: Resultados do indicador de desempenho ID5.

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Hospitais	1	4	4	3	4	4	0	1	4	0	3	4
ID5,1	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100	0	0
Outros eq. de saúde	4	13	17	7	16	22	1	13	16	1	15	17
ID5,2	0	0	0	0	0	0	66,6	0	0	66,6	0	0
ID5	0	0	0	0	0	0	89	0	0	22	0	0

Indicador de desempenho – ID6

Afetação de habitações

Para o indicador de desempenho ID6, os resultados são apresentados no Quadro abaixo (6-17).

Quadro 6-17: Resultados do indicador de desempenho ID6.

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Habitações	395	1649	1842	550	1835	2328	317	1017	1627	318	1306	2041
ID6	45,2	0	0	23,8	0	0	56	0	0	55,9	0	0

Indicador de desempenho – ID7

Afetação dos serviços terciários

Para o indicador de desempenho ID1, os resultados são apresentados no Quadro abaixo (6-18)

Quadro 6-18: Resultados do indicador de desempenho ID7.

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
Serviços terciários	118	408	456	168	447	552	79	264	424	78	338	514
ID7	43,8	0	0	20	0	0	62,3	0	0	62,8	0	0

6.6. Índice de Resiliência

Após a escolha dos sete indicadores foi aplicado o Indicador de Resiliência Urbana face às Inundações (IRUI) como apresentado na Equação (7.7).

$$\left\{ \begin{array}{l} IRUI = \frac{\sum_i^j \alpha_i \times I_i}{n} \\ \sum_i^n \alpha_i = n \end{array} \right. \quad (7.7)$$

Onde:

j: número total de indicadores

α_i : peso do indicador i

Os indicadores de desempenho foram divididos em três grupos de acordo com o grau de perturbação que uma inundação pode causar em determinado serviço urbano. Nesse caso os grupos foram divididos em Grupo A: ID1, ID2 e ID3; Grupo B: ID4, ID5 e ID6 e Grupo C: ID7.

Para tal foram atribuídos pesos (α_i) para a aplicação da Equação (7.7) conforme Quadro 6-19.

Quadro 6-19: Definição dos grupos de indicadores e pesos aplicados aos indicadores de desempenho

Grupo	Indicador de desempenho	Peso (α_i)
-------	-------------------------	---------------------

Grupo A	Duração da inundação (ID1)	2,0
	Duração da inundação crítica (ID2)	
	Perturbação do tráfego (ID3)	
Grupo B	Afetação dos resíduos sólidos (ID4)	1,5
	Afetação dos serviços de saúde (ID5)	
	Afetação de habitações (ID6)	
Grupo C	Afetação dos serviços terciários (ID7)	0,5

De acordo com a análise da área de estudo foram propostos esses três pesos, onde os serviços do grupo A causavam maiores perturbações ao sistema urbano e mais efeitos cascata, por atuarem em serviços de ligação (vias e ruas), o grupo B foi proposto um valor intermediário levando em consideração a importância dos serviços e novamente a ligação de efeito cascata para outros serviços urbanos. Com a aplicação da Equação (7.7), foram obtidos os resultados apresentados no Quadro 6-20.

Quadro 6-20: Indicador de Resiliência Urbana face às Inundações (IRUI) da área de estudo

	1SA	10SA	50SA	1AC	10AC	50AC	2A1SA	2A10SA	2A50SA	2A1AC	2A10AC	2A50AC
IRUI	64	38,1	25,3	58,7	32,6	25	79,5	48,5	34,9	69	37,3	32,2

Onde:

90- 100%	Ótimo
75 - 90%	Bom

50 – 75%	Aceitável
30 – 50%	Insuficiente
0 -30%	Péssimo

Nesse indicador observa-se que apenas no cenário de construção de reservatórios e para o período de retorno de 1 ano sem alterações climáticas, atingiu nível “bom”, enquanto, em outros cenários e períodos de retorno a classificação é de péssimo, insuficiente ou aceitável.

Para aplicação do índice global para a avaliação da resiliência urbana face às inundações (ARUIg) em um dado cenário e para um período de retorno específico, foi aplicada a Equação (7.8).

$$\begin{cases} \beta_i = e^{\frac{1}{T_i}} \\ ARUI = \frac{\sum_i^n \beta_i \times IRUI_i}{\sum_i^n \beta_i} \end{cases} \quad (7.8)$$

O resultado da aplicação do da avaliação de resiliência urbana face às inundações consta no Quadro 6-21.

Quadro 6-21: Índice global para a avaliação da Resiliência Urbana face às Inundações (ARUIg) na área de estudo.

	Cenário Atual	Cenário de Alterações Climáticas	Cenário Atual com Intervenções Estruturais	Cenário de Alterações Climáticas com Intervenções Estruturais
ARUIg	49,9	45,7	63,1	54

Onde:

90- 100%	Ótimo
75 - 90%	Bom
50 – 75%	Aceitável
30 – 50%	Insuficiente
0 -30%	Péssimo

6.7. Síntese de resultados e análise conclusiva

De acordo com os resultados obtidos, regista-se uma melhoria da resiliência para os cenários com implantação de reservatórios, passando da classificação “insuficiente” para a classificação “aceitável”. O melhor resultado obtido tem lugar, naturalmente, para o período de retorno de 1 ano, sem efeitos das alterações climáticas, nesse caso a classificação passa de “aceitável” para “bom” com as modificações estruturais.

Também estimam melhorias para o caso do período de retorno de 50 anos, tanto para a situação atual como sob efeitos das alterações climáticas. No entanto, mantém-se o nível “insuficiente”.

O índice global para a avaliação da Resiliência Urbana face às Inundações (ARUIg), nos cenários atuais e sob efeito das alterações climáticas, resulta em “insuficiente”, enquanto para os cenários com melhorias estruturais a classificação passa a “aceitável”.

Além disso também podem ser propostas intervenções de reestruturação urbana e paisagística, retirada de equipamentos urbanos importantes das áreas de risco (como hospitais, edificações significativas e vias metropolitanas) e investimentos em prevenção e aviso. Destaca-se, no entanto, o alto investimento em desapropriação e mudanças para locais adequados, sendo mais vantajoso que essa avaliação seja realizada antes da construção de estruturas importantes.

Com relação às medidas físicas de controlo na origem, podem ser considerados para a área de estudo as seguintes intervenções:

- I. Trincheiras de infiltração – Podem ser instaladas em áreas críticas e de baixa topografia, regulando o escoamento superficial (Lopes, 2017). Nesse caso há áreas públicas com espaço e dentro das áreas críticas que podem ser utilizados para tal instalação, como as dependências externas do Hospital da Polícia Militar, as áreas externas pertencentes a Secretaria do Estado de Esporte e o Estádio Salvador Venâncio da Costa.
- II. Pavimento Poroso – São intervenções que podem ser incluídas em toda a Bacia de Bento Ferreira, substituindo os passeios impermeáveis, por passeios que auxiliam na infiltração pluvial.

- III. Telhados e faixadas verdes – São intervenções que além de contribuir com a receção do escoamento da água pluvial, também aumentam o desempenho térmico dos edifícios, além de promover um efeito paisagístico (Woods et al, 2015). A área de estudo possui diversos edifícios pertencentes ao Poder Público, portanto a sugestão é que a instalação seja iniciada nesses edifícios. Também pode haver um incentivo para que os edifícios privados incluam esse tipo de intervenção, como por exemplo a redução de imposto predial (IPTU) para os que aderirem.

Dentro das medidas não físicas de gestão de inundações, é importante pontuar para a área de estudo:

- a. A conscientização do Poder Público – Mudança de paradigma e investimento na cultura da prevenção.
- b. Regulação de uso do solo – Observa-se que em boa parte das áreas de risco do Brasil, há problemas de uso e ocupação do solo. Portanto, recomenda-se o investimento do Poder Público na regulação do uso do solo, amenizando os prejuízos de ordem humana.
- c. Instrumentos de organização e gestão de desastres – É necessário que na base da organização e gestão de desastres haja a inclusão dos atores sociais, incluindo a caracterização socioeconómica e cultural além de incluir uma abordagem transversal, com a participação popular em todas as etapas.
- d. Sensibilização da população – Além da participação ativa dos atores sociais, é necessário que a comunidade esteja preparada e sensibilizada para entender os fenómenos e suas consequências. Para tal, deve haver um trabalho de sensibilização e inclusão dos moradores na monitorização e aviso.
- e. Sistema de previsão de inundações – Escolha de um sistema fácil, acessível e de preferência com a integração da comunidade. Propõem-se a instalação de câmaras de videomonitoramento, equipamentos pluviométricos e programas de espacialização (SIG), para auxiliar na organização e gestão de desastres. Com a popularização dos smartphones, também é possível a criação de uma aplicação de aviso e alerta com integração de dados georreferenciados incluídos pela própria população em forma de fotos ou pequenos vídeos das áreas atingidas.

Portanto, as medidas estruturais físicas devem estar associadas às medidas de organização e gestão, com o envolvimento dos atores sociais, que devem ser acolhidos através de processos de capacitação e sensibilização ambiental. O uso da tecnologia pode estar associado a esse processo utilizando-se das camaras de vídeo-monitoramento, os estudos e mapeamento das áreas mais suscetíveis associados à sistemas de alerta a população.

Durante o período de elaboração da tese, iniciaram-se as obras de reestruturação urbana e microdrenagem na área de estudo, além de melhorias na pista de rolagem e construção de ciclovias (Figura 6-30). No entanto, conforme as simulações demonstradas nesse estudo, onde o nível máximo de classificação do índice global de resiliência alcançado com a reestruturação física do sistema de drenagem foi “aceitável”, se faz necessário outros mecanismos de resiliência às inundações, além das obras de melhorias no sistema de drenagem e nas vias.

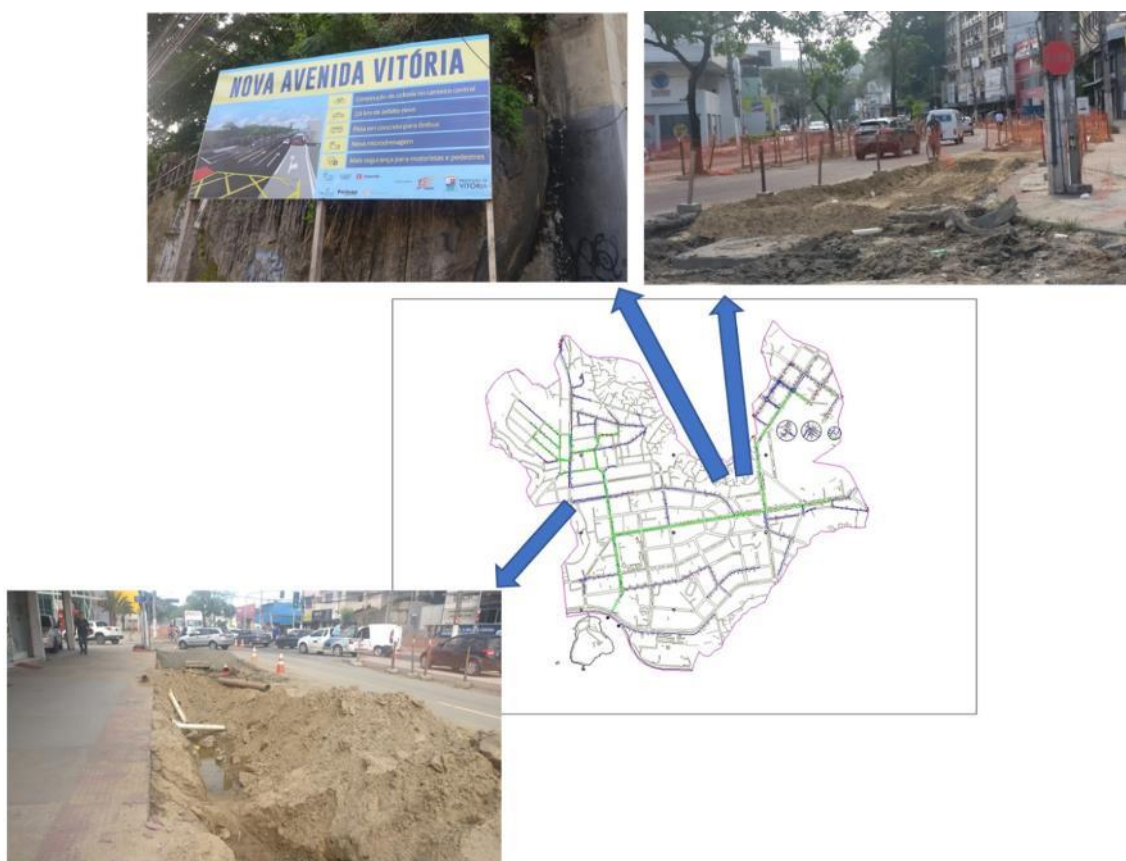


Figura 6-30: Obras no sistema de drenagem na área de estudo (março-2020)

Fonte: Elaborado pelo autor

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de desastres naturais, nomeadamente de inundações em meio urbano, pode acarretar perdas diretas, como destruição de infraestruturas, colapso de serviços como o da distribuição de água, de energia, de comunicações e transporte público, assim como perdas indiretas como prejuízos para o comércio, escassez de mão de obra, falta de segurança, entre outros. Os instrumentos de organização e gestão de desastres devem abranger todos os tipos de prejuízos, sendo, portanto, um desafio para o poder público apresentar respostas que englobam o humano, social, financeiro, económico e ambiental com efeitos que podem ser duradouros e multigeracionais.

A rede de interdependências também é um fator a ser levado em consideração, principalmente em áreas urbanas. A interligação dos fluxos de serviços urbanos, contribui para os efeitos cascata. Por exemplo, a interrupção de uma via de ligação importante em um centro urbano, pode perturbar o fluxo de bens, serviços e pessoas,

gerar transtorno para atendimentos de urgência, impossibilitar a coleta de resíduos sólidos, entre outros.

O desempenho dos sistemas de drenagem urbanas, além das características físicas do local, contribui em maior ou menor grau para a ocorrência de inundações urbanas. É imprescindível que haja um sistema de gestão da resiliência para uma cidade mais sustentável, com a finalidade de reduzir os riscos econômicos, sociais e de saúde pública gerada por um evento de inundação. Porém, além de um sistema de drenagem funcional é necessário que o conhecimento seja levado aos atores sociais, para que saibam como se comportar no caso de uma situação de inundação.

Nesse contexto, foi desenvolvido uma metodologia para a avaliação da resiliência às inundações em meio urbano, em cenários atuais e cenários com acréscimos baseados no Relatório IPCC-AR5 para alterações climáticas. Como exemplo de aplicação da metodologia, apresenta-se o estudo de caso do bairro de Bento Ferreira em Vitória, ES – Brasil.

Com recurso a simulação dinâmica do comportamento do sistema de drenagem da cidade, a avaliação das áreas inundáveis, das infraestruturas e serviços afetados, foi realizado um mapeamento as áreas afetadas utilizando-se ferramentas de SIG.

Procedeu-se o cálculo dos indicadores de resiliência urbana face às inundações para diversos cenários e períodos de retorno, e do índice global para a avaliação da resiliência urbana face às inundações para os cenários atuais e sob efeito de alterações climáticas, além dos mesmos cenários após melhorias no sistema de drenagem.

Com relação à pergunta de investigação “O que pode ser feito para o aumento da resiliência às de inundações urbanas, com foco em intervenções sem custos desproporcionados?” As indicações de medidas de controlo na fonte e de medidas não físicas propostas por esse estudo podem ser o caminho para as intervenções sem custos desproporcionados. Podendo também ser ampliado para as opções de intervenções mistas (obras estruturais no sistema de drenagem, obras de controlo na origem e

soluções não estruturais). A escolha das melhores intervenções para uma área de estudo pode ser alcançadas com a aplicação da metodologia proposta.

O objetivo principal de definir indicadores de avaliação de desempenho, simples de entender e de calcular e um índice de resiliência para aplicação a zonas específicas da cidade, foi atingido com a formulação do IRUI (Indicador de Resiliência Urbana face às Inundações) e ARUIg (Índice Global para a Avaliação da Resiliência Urbana face às Inundações), assim com a reflexão acerca das medidas e estratégias de gestão de resiliência para melhorar o desempenho da cidade.

Com relação aos objetivos específicos, “desenvolver uma metodologia simples e clara com indicadores relativamente fáceis de calcular, para a avaliação técnica da resiliência urbana face às inundações, tendo em conta as interdependências e efeitos cascata com outros serviços e infraestruturas” a proposta foi alcançada, já que as simulações e cálculos, consideraram os serviços urbanos, as interdependências entre eles e os efeitos cascata.

Durante o desenvolvimento desse trabalho, procurou-se referências para medidas físicas, medidas de controlo na fonte e medidas não físicas, como estratégias de aumento da resiliência, cumprindo-se o objetivo de “propor medidas físicas e não físicas que resultem em estratégias locais de aumento de resiliência, quantificáveis pela metodologia elaborada”.

O grau de satisfação atingido com a aplicação da metodologia em um estudo de caso foi bom, apesar das limitações, podendo ser mais elevado quando aplicado em áreas onde existe a possibilidade de obtenção de dados mais completos e de qualidade. A proposta metodológica é replicável e a indica-se que seja aplicado em parceria com entidades do Poder Público e atores sociais.

7.1. Limitações da pesquisa

Este estudo possui limitações que incidem sobretudo na aplicação prática da metodologia ao estudo de caso e, dada a escassez e qualidade de dados disponíveis.

A área de estudo foi escolhida devido a ser uma região que vem sofrendo inúmeros problemas com a ocorrência de inundações, porém, grande parte dos dados de base precisaram ser obtidos ou estimados, diretamente para a realização das simulações, tornando-se uma pesquisa especialmente trabalhosa e longa.

Com relação às simulações com o SWMM, a “pré-calibração” do modelo precisou ser feita através de levantamentos de notícias veiculadas pelos meios de comunicação local, fotos e vídeos dos eventos. Também deve mencionar-se que o modelo não retrata a realidade de forma completa, pois o SWMM caracteriza o escoamento e velocidade dentro do sistema de drenagem e o volume extravasado em alguns pontos. Portanto, as inundações em vias públicas foram estimadas ao transformar volume de água extravasado em área inundada.

Para a estimativa das alturas de água foi necessária a construção do modelo digital do terreno. Para tal foi preciso a construção de curvas de nível, que foram feitas através dos dados de cotas do sistema de drenagem e desenhadas, além de ser feito um processo similar para transformar o volume de água extravasado no sistema em altura de água e área afetada.

Para desenvolvimentos futuros sugere-se um levantamento topográfico mais apurado da área de estudo e um registo com a caracterização dos sumidouros e outros equipamentos do sistema de drenagem de modo a simular com mais rigor a área em questão. Também se pode ter um resultado mais apurado com o uso de softwares específicos, com modelos de simulação em 2D, que ofereçam como resultado as áreas inundadas.

Cabe ressaltar que a metodologia pode ser aplicada, mesmo em bacias e com escassez de dados, como foi o estudo de caso. Porém, os resultados obtidos podem ser melhores em áreas com mais recursos e dados mais apurados, uma vez que a simulação se

aproximaria mais da realidade e os resultados e propostas de intervenção seriam mais fiáveis. Portanto, essa é uma metodologia que pode ser adaptada a cada caso específico, sendo esse um ponto forte a ser destacado.

7.2. Propostas para estudos futuros

Existem outras metodologias de cálculo de resiliência frente às inundações que se utilizam de ferramentas quantitativas, analisando as questões estruturais e de previsão de inundações (CIRIA, FRM, FRI, FResi, S-FRESI). O cálculo de resiliência proposto pelo ZFRA, que desenvolveram as metodologias FRMT, FRMF e FRMC, vão além e incluem a questão social e cultural. Sendo uma inspiração para trabalhos futuros já que inclui pesquisa domiciliar, grupos de discussão a comunidade, entrevistas e grupos de interesse. Conseguindo a abordagem transversal quando há o envolvimento e participação ativa dos atores sociais, Poder Público, ONG's, entre outros.

O diferencial da metodologia proposta foi o uso da tecnologia de simulação para prever futuros eventos com e sem a influência das alterações climáticas para diferentes cenários e o cálculo do índice global para avaliação de resiliência urbana, levando em conta os serviços urbanos mais importantes para o funcionamento da cidade, suas interdependências e efeito cascata.

A proposta para o desenvolvimento de novas metodologias, mais completas, para a resiliência às inundações, passaria pelo desenvolvimento da parte física (estrutural) já desenvolvida por metodologias já citadas; a simulação para vários cenários e validação da mesma; inclusão dos equipamentos urbanos, seu valor social, interconexões e efeito cascata no sistema; e o envolvimento ativo da comunidade como proposto nas metodologias ZRFA. Porém tal proposta é ambiciosa e vai além dos limites de uma pesquisadora, sendo necessária uma equipa multidisciplinar, com o envolvimento de órgãos financiadores, pesquisadores, apoio governamental, apoio de ONG's, entre outros.

A pesquisa apresentada enquadra-se dentro dos objetivos do programa “Construindo cidades resilientes (MCR 2030) ” da ONU, além de outros projetos de redução de riscos de desastres e desenvolvimento sustentável frente às alterações climáticas, à nível mundial. Podendo servir de ferramenta para a aplicação local no que condiz o tema de inundações urbanas. Para o Brasil, poderá ser aplicada nas diversas regiões que apresentam problemas de inundações urbanas, principalmente nas regiões costeiras e que estão interessadas em se enquadrar nesse processo mundial de cidades resilientes.

Portanto, propõe-se para o futuro a criação de um manual, em uma linguagem mais acessível e didática, para que a metodologia possa ser extrapolada ao nível acadêmico e aplicada a mais regiões do Brasil e do mundo, levando em consideração as melhorias já propostas.

BIBLIOGRAFIA

- Albanese, J.; Paturas, J., 2018. **The importance of critical thinking skills in disaster management.** Journal of Bussiness Continuity & Emergency Planning. Volume 11, nº4, pp. 326 – 334.
- Albino J., Girardi G., Nascimento K.A., 2006. **Erosão e progradação do litoral brasileiro – Espírito Santo.** Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
- Alcoforado, M. J.; Andrade, H.; Oliveira, S., 2009. **Alterações climáticas e desenvolvimento urbano.** Série Política de Cidades, v. 4.
- Alfredini, P. &Arasaki, E., 2018. **Estimation and impacts of sea level rise in Santos Port and adjacentes áreas (Brazil).** The international jornal on marine navigation and safety of sea transportation. Vol. 12, n. 4, pp. 739-744.

- Andjelkovic, Ivan, 2001. **Guidelines on non-structural measures in urban flood management**. IHP-V. Technical documents in hidrology, nº50. UNESCO, Paris.
- Arciniega, J.D.U., 2013. **La perspectiva comunitaria de la resiliencia**. Psicologia Política. nº 47, pg 7-18.
- Arup & The Rockefeller Foundation, 2016. **City resilience index – Understanding and measuring city resilience**. Disponível em: <http://www.cityresilienceindex.org/wp-content/uploads/2016/05/Vol4-MeasuringCityResilience.pdf>. [Acedido em Jan. 2018].
- Atlasbrasil.org.br, 2020. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**. Disponível em: www.atlasbrasil.org.br. [Acedido em Agosto de 2020].
- Barreiro, J.P.L., 2017. **Contribuição para a Avaliação de Resiliência Urbana a Eventos Extremos de Precipitação - O Caso das Bacias da Avenida da Liberdade e Almirante Reis, em Lisboa**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Batica, J. & Gourbesville, P., 2014. **Flood resilience index – Methodology and implementation**. 11th International Conference on Hydroinformatics HIC 2014, New York City, USA.
- Beatley, T.; Newman, P., 2013. **Biophilic Cities Are Sustainable, Resilient Cities**. Sustainability. nº 5, Pg 3328-3345.
- Béné, C.; Godfrey-wood, R.; Newsham, A.; and Davies, M. 2012. **Resilience: New Utopia or New Tyranny? Reflection about the Potentials and Limits of the Concept of Resilience in Relation to Vulnerability-Reduction Programmes**. Institute of Development Studies (IDS) Working Paper 405.
- Bertilsson, L., Wiklund, K., de Moura Tebaldi, I., Rezende, O.M., Veról, A.P., Miguez,
- Brandão, R.S.; Fisch, G.F., 2009. **A zona de convergência do Atlântico Sul e seus impactos nas enchentes em áreas de risco em Guaratinguetá – SP**. Revista Biociências, UNITAU. V.14, n. 2, pp. 95-104.

- Brasil, 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil**. 35ª Edição. Biblioteca digital da camara dos deputados. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br>. Brasília. [Acedido em Jul. 2018]
- Brasil, 1997. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. **Da Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm. Brasília – DF. [Acedido em Jul. 2018].
- Brasil, 2007. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. **Diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política Federal de saneamento básico**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Brasília – DF. [Acedido em jul. 2018].
- Brasil, 2016. Lei nº 13.308 de 6 de julho de 2016. **Altera a Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determinando a manutenção preventiva das redes de drenagem pluvial**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/L13308.htm. Brasília – DF. [Acedido em Jul. 2018].
- Brown, A., Dayal, A., & Rumbaitis Del Rio, C., 2012. **From practice to theory: Emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience**. *Environment and Urbanization*, 24(2), 531–556. <http://dx.doi.org/10.1177/0956247812456490>.
- Calixto & Imercio, 2014. **Crise da água em São Paulo: Quanto falta para o desastre?** Disponível em: <https://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2014/06/crise-da-agua-em-sao-paulo-quanto-falta-para-bo-desastreb.html>. [Acedido em fevereiro de 2021]
- Câmara Municipal de Guimarães, 2018. Disponível em: http://www.cm-guimaraes.pt/frontoffice/pages/1116?news_id=1497. [Acedido em Jul de 2018].
- Campbell, K.; Laurien, F.; Czajkowski, J.; Keating, A.; Stinger, S.; Montgomery, M., 2019. **First insights from the Flood Resilience Measurement Tool: A large-scale community flood resilience analysis**. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, n 40 – 101257. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101257>
- Cañellas, Kátia V., 2017. **Social-ecological of local communities to climate change: Guidelines for the Brazilian Context**. Thesis approved in public session to obtain the

PhD Degree in Climate Change and Sustainable Development Policies (Specialty in Environmental Engineering). Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Cardoso et al., 2018. **Resilience diagnosis framework: functional and physical dimensions**. Resccue. Disponível em: <https://toolkit.resccue.eu/> [Acedido em fevereiro de 2018].

Cardoso et al., 2018. **Structure and contents of the organisational and spatial dimensions for testing by the cities**. Resccue. [Acedido em fevereiro de 2018].

Castro, A. L. C. **Glossário de defesa civil – Estudo de riscos e medicina de desastres**, 1998. 2 Ed. Brasília: MPO, Departamento de Defesa Civil.

Caus, Celso Luiz, 2012. **Das fontes e chafarizes às águas limpas: Evolução do saneamento no Espírito Santo**. Cesan: Vitória - Brasil.

CCIAM, 2014. **Cartas de inundação e risco em cenários de alterações climáticas**. Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FFCUL), Lisboa – Portugal.

CEMADEN, 2021. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/index1.php>. [Acedido em Jul. 2021].

CEPDEC, 2020. **Informações sobre as chuvas no Espírito Santo**. Disponível em: <http://eshoje.com.br/wp-content/uploads/2020/01/Release-28-01-2020-06h.pdf> . [Acedido em fevereiro de 2021]

CEPED, 2013. Centro Universitário de Estudo e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Volume Espírito Santo. 2. Ed. Ver. Ampl. Florianópolis: CEPED UFSC

CEPED/UFSC, 2013. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres/ Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012. Volume Espírito Santo**. Florianópolis – SC, Brasil.

Ciência e clima, 2018. **Gráfico das emissões do Espírito Santo**. Disponível em: <https://cienciaclima.com.br/grafico-das-emissoes-do-espírito-santo/> . [Acedido em Agosto de 2020].

- Ciria, 2010. **Flood resilience and resistance for critical infrastructure**. Londres: Report CIRIA C-688. ISBN: 978-086017-688-6.
- COBRADE, 2020 - **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres**. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Publicacoes/Simbologia%20dos%20Desastres.pdf>. [Acedido em Setembro de 2020].
- Coelho, A. L. N., 2016. **SIG aplicado em inundações urbanas: estudo de caso no Município de Vitória ES (Brasil)**. Ciência Geográfica – Bauru vol. XX, no. 2015, pp. 33–43.
- Coelho, A.L.N., 2017. **Método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundação urbana após evento de chuva concentrado**. Geofocus (Artículos) nº20, p.183-199. ISSN: 1578-5157.
- Correa, W., 2014. **Campo térmico e higrométrico da regional Praia do Canto no Município de Vitória (ES)**. Dissertação de mestrado apresentado no departamento de geografia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Vitória, 2014.
- Costa et al, 2017. **Projeções climáticas dos modelos globais do IPCC-AR5 para o Estado de São Paulo utilizando o sistema de classificação climática de Thornthwaite**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. XXII SBRH. ABRH. Florianópolis-SC. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/60/PAP022521.pdf>
- Cruz, M.A.S.; Souza C.F; Tucci, C.E.M., 2007. **Controle da drenagem urbana no Brasil: Avanços e mecanismos para sua sustentabilidade**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo.
- Cunningham, C.A.C.; Cavalcanti, I.F.A., 2006. **Intraseasonal modes of variability the South Atlantic Convergence Zone**. International Journal of Climatology. n 26, pp. 1165 – 1180.
- David, L. M., 2006. **Descargas de excedentes de sistemas de drenagem urbana – estudo referenciado em resultados experimentais obtidos em Portugal**. Dissertação de Doutorado. Departamento de engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

- Davoudi, S., Shaw, K., Haider, L. J., Quinlan, A. E., Peterson, G. D., Wilkinson, C., et al., 2012. **Resilience: A bridging concept or a dead end? “Reframing” resilience: Challenges for planning theory and practice interacting traps: Resilience assessment of a pasture management system in Northern Afghanistan Urban resilience: What does it mean in planning practice? Resilience as a useful concept for climate change adaptation? The politics of resilience for planning: A cautionary note.** *Planning Theory & Practice*, 13(2), 299–333. <http://dx.doi.org/10.1080/14649357.2012.677124>
- Dawson, R.J.; Ball, T.; Werrity, J.; Werrity, A.; Hall, J.W.; Roche, N., 2011. **Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change.** *Global Environmental Change* 21 (2011) 628–646.
- Debortoli, N. et al., 2016. **An index Brazil’s vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change.** *Nat Hazards*, DOI 10.1007/s11069-016-2705-2
- Defesa Civil (sem data). **Histórico de desastres do Estado do Espírito Santo 2000-2009.** Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0625.pdf>. [Acedido em Setembro de 2020].
- Dewan, T.H., 2015. **Societal impacts and vulnerability to floods in Bangladesh and Nepal.** *Weather and climate extremes*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.11.001>
- DHN, 2017. **Diretoria de Hidrografia e Navegação.** Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/> [Acedido a 15 de Junho de 2017].
- Dias, M. et al., 2018. **Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale.** *International Journal of Disaster Risk Reduction*, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.06.002>
- Dieleman, H., 2013. **Organizational learning for resilient cities, through realizing eco-cultural innovations.** *Journal of Cleaner Production*. nº 50, Pg 171-180

- ECF, 2014. Climate Change: Implications for cities. European Climate Foundation (ECF). Disponível em: <http://www.iclei.org/fileadmin/PUBLICATIONS/Brochures/IPCC_AR5_Cities_Summary_FINAL_Web.pdf>. Acesso em: Setembro/2020.
- EFAS, 2018. EFAS **European Flood Awareness System**. Disponível em: www.efas.eu. [Acedido em: Out. 2018].
- EPA, 2008. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies** Urban Heat Island Basics. Disponível em: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>. [Acedido em Dez 2017].
- EPA, 2015. **Storm Water Management Model User Manual Version 5.1**, United States Environmental Protection Agency.
- EPA, 2017. **Causes of Climate Change**. Disponível em: https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-change-science/causes-climate-change_.html#Greenhouse. [Acedido em Dez 2017].
- Fan Y, Li Y, Wang X, Catalano F., 2016. **A New Convective Velocity Scale for Studying Diurnal Urban Heat Island Circulation**. Journal of Applied Meteorology and Climatology. Oct; 55(10):2151-64.
- Farias, J. A., 2017. Resiliência: um bom conceito para o projeto e a reforma urbana? **XVII ENANPUR**, São Paulo.
- Ferguson, C., 2017. **Business continuity and disaster management within the public service in relation to a national development plan**. Journal of Business Continuity & Emergency Planning. Vol. 11, nº 3, pp. 243 – 255.
- Fernandez, P.; Mourato, S.; Moreira, M., 2013. **Comparação dos modelos HEC-RAS e LISFLOOD-FP na delimitação de zonas inundáveis**. Revista Recursos Hídricos. Vol. 34, nº1, 63-73.
- Ferreira, F.M.S., 2016. **Modelação e gestão integrada de sistemas de águas residuais**. Tese para obtenção de grau de doutor em engenharia civil pela Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa – Portugal.

Ferreira, R. N.; Chao, W. C., 2013. **Aqua-planet simulations of the formations of the South Atlantic Convergence Zone**. International Journal of Climatology. n. 33 pp. 615 – 628.

Ferreira, R.N.; Rickenbach, T. M.; Wright, E.A., 2011. **The role of cold fronts in the onset of the monsoon season in the South Atlantic convergence zone**. Quartely Journal of the Royal Meteorological Society Q. J. R. Meteorol. Soc. n.137 pp. 908 – 922.

Flood-CBA, 2014. **Quadro Comum das características de uma análise de custo-benefício da gestão dos riscos de inundações**. Ferramenta de Apoio nº1: Diretriz para uma Análise de Custo-Benefício. [Online] Disponível em: www.floodcba.eu [Acedido em Dez 2017].

Folha de São Paulo, 2019. **Veja como funcionava a mina da Vale em Brumadinho e entenda a tragédia**. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/02/veja-como-funcionava-a-mina-da-vale-em-brumadinho-e-entenda-a-tragedia.shtml>. [Acedido em Março de 2019].

Folha de São Paulo, 2019. **Veja como funcionava a mina da Vale em Brumadinho e entenda a tragédia**. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/02/veja-como-funcionava-a-mina-da-vale-em-brumadinho-e-entenda-a-tragedia.shtml>. [Acedido em Março de 2019].

Folha Vitória, 2018. **Chuva forte deixa ruas e avenidas alagadas na Grande Vitória. Veja como foi!** Disponível em: https://novo.folhavitoria.com.br/geral/noticia/05/2018/chuva-forte-deixa-ruas-e-avenidas-alagadas-na-grande-vitoria--veja-como-foi?utm_source=folha.me&utm_medium=link&utm_campaign=Folha.me. [Acedido em Março de 2018].

Folke, C., 2006. **Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses**. Glob. Environ. Chang. 16, 253–267. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002

Foster, H.D., 1980. **Disaster planning: The preservation of life and property**. Springer, New York.

FUNDEC – Associação para a formação e o desenvolvimento em engenharia civil e arquitetura, 2019. **Material do curso de modelação dinâmica de sistemas de drenagem urbana recorrendo ao Storm Water Management Model (SWMM): Princípios, aplicações e casos de estudo.** Instituto Superior Técnico. Lisboa.

G1 AM, 2021. **Enchente dos rios no Amazonas afeta mais de 400 mil pessoas.** Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2021/05/16/enchente-dos-rios-no-amazonas-afeta-mais-de-400-mil-pessoas.ghtml>. [Acedido em outubro de 2021]

G1 ES, 2020. **Chuva no ES deixa prejuízo estimado em mais de R\$ 88 milhões na agropecuária.** Disponível em: <https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2020/02/01/chuva-no-es-deixa-prejuizo-estimado-em-mais-de-r-88-milhoes-na-agropecuaria.ghtml>. [Acedido em fevereiro de 2021]

Ganapathy, Venkatesh, 2018. **A roadmap for managing disasters in India.** A Peer Reviewed Research Journal aWEshkar, Vol. XXIV, WeSchool.

Ganner, A.; Weiss, J.; Parri, A.; Kopp, R.; Horton, R.; Overpeck, J.; Horton, B., 2018. **Evolution of 21st Century sea level rise projections.** *Earth's Future*, 6, 1603–1615. <https://doi.org/10.1029/2018EF000991>

GRID, 2020. **Global Report on Internal Displacement.** IDMC (Internal displacement monitoring center).

Gunderson, L. H., 2000. **Ecological resilience—In theory and application.** *Annual Review of Ecological Systems*, 31, 425–439. <http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.425>

Henriksen, H.J.; Roberts, M.J.; Keur, P.; Harjanne, A.; Egilson, D.; Alfonso, L., 2018. **Participatory early warning and monitoring systems: A Nordic framework for web-based flood risk management,** *International Journal of Disaster Risk Reduction*, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.01.038>

Hidra e Engidro, 2015. **Plano Geral de Drenagem de Lisboa (2016 – 2030).** CML -Câmara Municipal de Lisboa. Lisboa.

Holling, C.S., 1973. **Resilience and Stability of Ecological Systems.** *Annual Review of Ecology and Systematics*. 4:1-23. Issn 00664162/ edsjsr.2096802.

Huber, W.C., 1988. **Storm Water Management Model – Version 4: User’s Manual**. U.S. EPA; Athens, Georgia.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> [Acedido em Abril de 2020].

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/Brasil/es/Vitoria/panorama> [Acedido em junho de 2021].

INCAPER – **Sistema de Informações Meteorológicas**. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/> [Acedido em Fev. 2018].

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos> [Acedido em Fev. 2018].

Instituto de estudos climáticos da UFES, 2020. **Análise das projeções de anomalias de temperatura para o Espírito Santo**. Disponível em: <http://impactoclima.ufes.br/conteudo/produtos>. [Acedido em Agosto de 2020].

IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission, 2009. **Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management**. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier No 5, 141p., Paris, França. Disponível em http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_e&task=viewDocumentRecord&docID=3947

IPCC, 2013. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2013a “Intergovernmental Panel on Climate Change”. **Introducion**. IN: The Physical Science Basis - Fifth Assessment Report (AR 5); Working Group I, pp. 119- 158.

IPCC, 2013b “Intergovernmental Panel on Climate Change”. **Clouds and aerosols**. IN: The Physical Science Basis - Fifth Assessment Report (AR 5); Working Group I, pp. 571- 658.

- IPCC, 2013c “Intergovernmental Panel on Climate Change”. **Anthropogenic and natural radioactive forcing**. IN: The Physical Science Basis - Fifth Assessment Report (AR 5); Working Group I, pp. 659-740.
- IPCC, 2013d “Intergovernmental Panel on Climate Change”. **Sea level change**. IN: The Physical Science Basis - Fifth Assessment Report (AR 5); Working Group I, pp. 1137-1216.
- IPCC, 2013e “Intergovernmental Panel on Climate Change”. **Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change**. IN: The Physical Science Basis - Fifth Assessment Report (AR 5); Working Group I, pp. 1217- 1308.
- IPCC, 2013f “Intergovernmental Panel on Climate Change”. **Glossary**. IN: The Physical Science Basis - Fifth Assessment Report (AR 5); Working Group I, pp. 1447-1468.
- IPCC, 2014. “Intergovernmental Panel on Climate Change”. **Climate Change 2014 Mitigation of Climate**. IN: Annexes, pp. 1251- 1274.
- ISO - **International Organization for standardization**. Disponível em: <https://www.iso.org/home.html>. [Acedido em jan. 2018].
- Jahangiri, K.; Eivazi, M.; Mofazali, A., 2017. **The role of foresight in avoiding systematic failure of natural disaster risk management**. International Journal of Disaster Risk Reduction, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.01.008>
- Jiang, Y.; et al., 2017. **Urban pluvial flooding and storwater management: A contemporary review of China’s challenges and “sponge cities” strategy**. Environmental Science and Policy. 80, 132-143.
- Jonov, C. M. P.; Nascimento, N. de O.; Paula e Silva, A. de, 2013. **Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 75-94.
- Kull, D., Mechler, R. & Hochrainer-Stigler, S., 2013. **Probabilistic cost-benefit analysis of disaster risk management in a development context**. Disasters, Volume 37 (3), pp. 374-400.
- Langa R., Lorena R., Bergamaschi R., 2015. **Determinação da área afetada de parte da Grande Vitória após as chuvas de dezembro de 2013 a partir de dados do Google**

- Earth.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE, pp. 3144–3150, 2015.
- Laurien, F.; Stigler, S.; Keating, A.; Campbell, K.; Mechler, R.; Czajkowski, J., 2020. **A typology of community flood resilience.** Regional Environmental Change 20: 24. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01593-x>
- Lemos, 2020. **Por que o Pantanal vive “maior tragédia ambiental” em décadas.** Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-53662968>. [Acedido em fevereiro de 2021]
- Lhomme, S.; Serre, D.; Diab, Y.; Laganier, R., 2013. **Analyzing resilience of urban networks: a preliminary step towards more flood resilient cities.** Natural Hazards and Earth System Sciences. Nº 13, Pg 221–230.
- Lopes, C.V.M.V., 2017. **Estratégias para beneficiação e otimização do desempenho de sistemas de saneamento unitários.** Dissertação para obtenção de grau de mestre em engenharia ambiental pela Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa – Portugal.
- Lopes, R.; Tonon, I.; Ferreira, F.; Matos, J.; Barreiro, J.; Matos, R.; Brito, R.; Fontanals, I.; Vendrell, E.; Telhado, M., 2017. **Urban drainage and resilience approaches towards more sustainable cities.** 2nd European Water Association Spring Conference, Lisbon, Portugal
- LORENA, R. B. et al., 2016 **Caracterização de Assentamentos Precários por meio de Zonas Especiais de Interesse Social na Região Metropolitana da Grande Vitória, Espírito Santo.** In: MORAIS, Maria da Piedade; KRAUSE, Cleandro; LIMA Neto, Vicente Correia (Orgs.). Caracterização e tipologia de assentamentos precários: estudos de caso Brasileiros. Brasília, Ipea, 2016. Cap.11, p. 377-409.
- M. Sand, T. Iversen, P. Bohlinger, A. Kirkevåg, I. Seierstad, and Ø. Seland, A. Soteberg, 2015. **A Standardized Global Climate Model Study Showing Unique Properties for the Climate Response to Black Carbon Aerosols.** Journal of climate. Volume 28.
- M.G., 2018. **Urban flood resilience – a multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning.** Journal of Hydrology. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.052>

- Ma, H.Y; X, Ji, Neelin, J.D.; Mechoso, C.R., 2011. **Mechanisms for precipitation variability of the eastern Brazil/SACZ convective margin**. American Meteorological Society. n 24, pp. 3445 – 3456.
- Ma, T.; et al., 2018. **Governing the moral hazard in China's sponge city projects: A managerial analysis of the constrution in the non-public land**. Sustainability. 10, doi:10.3390/su10093018.
- Mabuku, M. P. et al. **Rural household's flood preparedness and social determinants in Mwandi district of Zambia and Eastern Zambezi Region of Namibia**, 2018. Internacional Journal of Disaster Risk Reduction, v.28, pp.284-297.
- Macedo, F.V.C.B., 2017. **Avaliação de estratégias para beneficiação de drenagem pluvial urbana em cenários de alterações climáticas**. Dissertação para a obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Macedo, Francisco; Tonon, I. M.; Ferreira, F. (2017). **Avaliação de estratégias para beneficiação de drenagem pluvial em cenários de alterações climáticas – Caso de estudo de Bento Ferreira**. In: Encontro Nacional de Entidades Gestoras de Água e Saneamento, Évora. Encontro Nacional de Entidades Gestoras de Água e Saneamento ENEG 2017.
- Matos, J.M.S.G & Ferreira, F.M.S., 2012. **Sistemas de drenagem urbana – Aplicação a países da comunidade dos países de língua portuguesa**. Lisboa – Portugal.
- Meerow, S.; N.P. Joshua; Stults, M., 2016. **Defining urban resilience: A review**. Landscape and Urban Planning 147 pp. 38–49.
- Melo, P. O. et. al, 2017. **Evaluation of community leaders' perception regarding Alerta Rio, the warning system for landslides caused by heavy rains in Rio de Janeiro**. Nat Hazards. DOI 10.1007/s11069-017-3023-z. Springer Science+Business Media.
- Mendes, C.R., 2019. **A demanda por resseguro antes e após o término do monopólio brasileiro**. Dissertação de mestrado profissional em controladoria e finanças empresariais. Universidade Presbiteriana. São Paulo.

- Miguez, M. & Veról, A., 2016. **A catchment scale integrated flood resilience index to support decision making in urban control design**. Environment and Planning B: Planning and Design. DOI: 10.1177/0265813516655799
- Minea; Gabriel & Zaharia; Liliana, 2011. **Structural and non-structural measures for flood risk mitigation in the Bâsca river catchment (Romania)**. Forum geografic. Studii și cercetări de geografie și protecția mediului. Volume 10, Issue 1 / June 2011, pp. 157 – 166. (www.forumgeografic.ro) DOI: 10.5775/fg.2067-4635.2011.034.i.
- NBR, 1986. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9284: Equipamento Urbano**. Rio de Janeiro, p. 1-4.
- Nelson D. R.; Adger W. N; Brown K., 2007. **Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework**. The Annual Review of Environment and Resources. Vol.32, pp.395–419.
- Nicolodi & Petermann, 2010. **Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos**. Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management 10(2):151-177.
- Norris, Fran H. and Stevens, Susan P and Pfefferbaum, Betty and Wyche, Karen F. and Pfefferbaum, Rose L, 2008. **Community Resilience as a Metaphor, Theory, Set of Capacities, and Strategy for Disaster Readiness**. American Journal of Community Psychology, 41. pp. 127-150.
- OCHA, 2020. **Natural disaster in Latin America and the Caribbean 2019-2020**. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs.
- Ogie, R.I.; Clarke, R.J.; Forehead, H. ; Perez, P., 2019. **Crowdsourced social media data for disaster management: Lessons from the PetaJakarta.org project**. Computers Environment and Urban Systems. Vol. 73, pp. 108-117.
- ONS, 2014: **Dados Relevantes 2014**. Operador Nacional do Sistema (ONS). Disponível em:<http://www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/DADOS2014_ONS/7_2.html>. Acedido em: Agosto/2020.
- Oppenheimer, M., B.C. Glavovic , J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari, 2019: **Sea Level Rise and Implications for Low-Lying**

Islands, Coasts and Communities. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Opticits Ingenieria Urbana, 2016. **Advanced course in urban resilience with Hazur®.** Disponível em: <http://opticits.com/>. [Acedido em Jul. 2018].

PBMC, 2014 a. **Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PBMC, 2014 b. **Impactos, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do grupo de trabalho 2 do painel brasileiro de mudanças climáticas.** [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Relatório da avaliação nacional sobre mudanças climáticas. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. Brasil.

PBMC, 2016: **Mudanças Climáticas e Cidades.** Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PEPDEC, 2020. **Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil.** Vitória – ES. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Publicacoes/PEPDEC/13%20-%20PEPDEC%20-%20Abril%20de%202020.pdf>. [Acedido em Setembro de 2020].

Pereira, T. D. G., 2019. **Avaliação simplificada da resiliência da cidade face a inundações - O caso de estudo da bacia de drenagem de Bento Ferreira.** Dissertação para a obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Pfrafstetter, O., 1957. **Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 96 postos com pluviógrafos.** DNOS, Rio Grande do Sul.

PMV, 2014. **Manual de Drenagem Urbana do Município de Vitória,** Plano Municipal de Saneamento Básico de Vitória.

Porto; M.F.A & Porto; R.L. , 2008. **Gestão de bacias hidrográficas.** Estudos avançados. Vol.22 nº 63. Universidade de São Paulo. São Paulo.

- Poseiro, P. et al., 2014. **Aplicação do sistema HIDRALERTA de previsão e alerta de inundações: caso de estudo da praia da Vitória**. IN: 12º Congresso da Água/16º ENASB Encontro de engenharia sanitária e ambiental / XVI Simpósio luso-brasileiro de engenharia sanitária e ambiental (SILUBESA). Lisboa. Anais (on line). Disponível em:
http://repositorio.lnec.pt:8080/bitstream/123456789/1005927/1/12%C2%BA%20Congresso%20da%20C3%81gua_Poseiro_et_al.pdf. [Acedido em Jun. 2019].
- Prefeitura Municipal de Vitória – PMV, 2008. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Vitória – PDDU. **Resumo geral do PDDU**. Disponível em:
http://sites.vitoria.es.gov.br/pddu/wp-content/uploads/2015/09/resumo_do_pddu.pdf. [Acedido em Fev. 2018].
- Prefeitura Municipal de Vitória, 2018. Disponível em:
<http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/home.asp> [Acedido em Fev. 2018].
- Quadro, M.F.L., 2012a. **Estudo de vórtices ciclônicos de mesoescala associados à zona de convergência do Atlântico Sul**. Tese de doutorado apresentado ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.
- Quadro, M.F.L.; Dias, M.A.F.S.; Herdies D.L.; Gonçalves M.G.G., 2012b. **Análise Climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises**. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 27, n.2 pg 152-162.
- R. Mani Murali, P.K. Dinesh Kumar, 2015. **Implications of sea level rise scenarios on land use /land cover classes of the coastal zones of Cochin, India**. Journal of Environmental Management 148 124e133.
- R. Proença, J. Saldanha Matos & A. J. Monteiro, 2015. **Managing the urban water cycle in a changing environment**. Water Utility Journal 9: 3-12, 2015.
- Rasheed Durrani, Muhammad Danial Iqbal, Anam Jamal, Umair Dilawar, 2017. **The urban heat island (UHI) effect a final common pathway for heat stroke**. Pakistan Journal of Surgery. Apr-Jun2017, Vol. 33 Issue 2, p146-149. 4p.
- Rebello, A.; 2018. **Seca de 2012 a 2017 no semiárido foi a mais longa na história do Brasil**. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas->

noticias/redacao/2018/03/03/seca-de-2012-a-2017-no-semiarido-foi-a-mais-longa-da-historia.htm. [Acedido em fevereiro de 2021]

RESCCUE, 2017. **Deliverable D4.1 – Report from Hazur® implementation in each city.**

Rissoli, Cesar Augusto, 2015. **Sistema condominial de esgoto: instrumento de democratização dos serviços de saneamento.** Seminário materializando o direito à água e ao saneamento básico. Brasília – Brasil

Rocha & Morandi, 2012. **Cafeicultura e grande indústria – A transição do Espírito Santo 1955-1985.** 2ªed. Vitória: Ed. Espírito Santo em Ação.

Rocha, R.P; Morales, C.A.; Cuadra, S. V. and Ambrizzi T., 2009 **Precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over South America: An evaluation of Regional Climate Model Version 3 Simulations.** Journal of Geophysical Research. Vol.114.

Rosa, T.S.; Mendonça, M. B.; Monteiro, T.G.; Souza, R.M.; Lucena, R., 2015. **A educação ambiental como estratégia para a redução de riscos socioambientais.** Ambiente & Sociedade, nº3, pp. 211-230.

Rossman, Lewis A., 2010. **SWMM 5.0 Manual do usuário.** Water supply resources division. National risk management research laboratory. Cincinnati, OH.

Santiago, Aníbal da Fonseca, 2008. **Sistema condominial de coleta de esgoto e tratamento em decanto-digestor seguido de alagados construídos. Estudo de caso: Município de Nova Redenção – BA.** Dissertação de mestrado em engenharia hidráulica e sanitária. Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos – Brasil.

Santos, R.B.; et al., 2019. **Construção de um índice de vulnerabilidade humana à mudança do clima para o contexto brasileiro: a experiência do Espírito Santo.** Saúde Soc. São Paulo. Vol.28, n1, p. 299-321. Doi 10.1590/S0104-12902019180431.

Santos, R.B.L; Carvalho, T.; Jorge, A.A.S.; Londe, L.R., 2015. **Impactos potenciais de inundações em mobilidade urbana - modelagens geo-computacionais.** *Proceedings of XVIII ENMC – National Meeting on Computational Modeling and VI ECTM – Meeting on Materials Science and Technology Salvador, BA – 13-16 October 2015*

- Sarmiento, R.,1985. **Altura, duração, frequência das chuvas intensas no estado do Espírito Santo**, Vitória.
- Scaramussa, Solange Maria; Henkes, Jairo Afonso, 2014. **A utilização do sistema condominial de esgotamento sanitário como política publica para a universalização do atendimento com redes de esgoto: o exemplo clássico do Distrito Federal**. Revista Gestão Ambiental, Florianópolis v.3 nº1 p.310-339.
- Shreve, C. M. & Kelman, I., 2014. **Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analysis of disaster risk reduction**. International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 10, pp. 213-235.
- Souza, R. M. ; Crispim, D. C.; Formiga, K.T.M., 2012. **Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-RAS para a simulação de escoamento superficial – Caso de estudo Bacia do Córrego Samambaia**. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Vol. 5, nº2, 1-11.
- Strengari, L. A. B.; Kacuta, L. G.; Dalessandro, N. T.; Bianchi, R. H.; Margato, V. **Seminários Cidades Resilientes a inundação**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- Teo, M.; Goonetilleke, A.; Ahankoob, A.; Deilami, K.; Lawie, M.,2018. **Disaster awareness and information seeking behaviour among residents from low socio-economic backgrounds**. Internacional Journal of Disaster Risk Reduction. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.09.008>.
- The Rockefeller Foundation, 2016. **100 Resilient Cities**. Disponível em: http://www.100resilientcities.org/wpcontent/uploads/2017/07/10020Resilient20Cities20201620Member20Guide_Salvador.pdf. [Acedido em jan. 2018].
- Tomaszewski, B., 2015. **Disaster management and geographic information system**. IN: Geographic Information Systems (GIS) for disaster management. CRC Press – Taylor & Francis Group. International Standard Book Number-13: 978-1-4822-1169-6 (eBook - PDF), pp. 111 -149.
- Tucci, C. , 2007. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA

- Tucci, C.E.M. & Bertoni, J.C., 2003 **Inundações urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - Brasil.
- Tucci, Carlos E. M., 2012. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p.
- Tyler, S., & Moench, M. (2012). A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*, 4(4), 311–326. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17565529.2012.745389>
- U.S. Army Corps of Engineers, 2018. **Hec-Ras River Analysis System** – Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, Davis.
- UN-Habitat III, 2015. 15 - **Resiliência Urbana**. Disponível em: http://habitat3.org/wp-content/uploads/15-Resili%C3%Aancia-Urbana_final.pdf. [Acedido em Jan. 2018].
- UN-Habitat, 2016. Disponível em: <http://habitatiii.dgterritorio.pt>. [Acedido em Jan. 2018].
- UN-Habitat, 2017. **Trends in Urban Resilience**. UN-Habitat. Nairobi.
- UN-Habitat, 2018. Disponível em: unhabitat.org. [Acedido em Jan. 2018].
- União Europeia (UE), 2014. **Horizon 2020 em breves palavras – O programa-quadro de investigação e inovação da EU**. Disponível em: https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/H2020_PT_KI0213413PTN.pdf. [Acedido em Jan. 2018].
- União Europeia, 2014. **Horizon 2020 em breves palavras – O programa-quadro de investigação e inovação da EU**. Luxemburgo: Serviço das publicações oficiais das comunidades europeias.
- UNISDR, 2006. **Global survey of early warning systems**. Disponível em: http://www.unisdr.org/files/3612_GlobalSurveyofEarlyWarningSystems.pdf. [Acedido em Out. 2018].
- United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT III), 2015a. **Transporte e Mobilidade**. Disponível em: http://habitat3.org/wp-content/uploads/19-Transporte-e-Mobilidade_final.pdf. [Acedido em Dez. 2017].

- United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT III), 2015b. **Infraestrutura urbana e serviços básicos, incluindo energia**. Available at: http://habitat3.org/wp-content/uploads/19-Transporte-e-Mobilidade_final.pdf. [Acedido em Dez. 2017].
- Valverde, M.C.; Marengo J.A., 2010. **Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.1, pp. 125-145.
- Visão, 2019. **Imagens de satélite mostram o antes e o depois das inundações na região da Beira**. Disponível em: <http://visao.sapo.pt/actualidade/mundo/2019-03-21-Imagens-de-satelite-mostram-o-antes-e-o-depois-das-inundacoes-na-regiao-da-Beira>. [Acedido em Março de 2019].
- Visão, 2019. **Imagens de satélite mostram o antes e o depois das inundações na região da Beira**. Disponível em: <http://visao.sapo.pt/actualidade/mundo/2019-03-21-Imagens-de-satelite-mostram-o-antes-e-o-depois-das-inundacoes-na-regiao-da-Beira>. [Acedido em Março de 2019].
- Vitória, 2006. Lei 6.705 de 13 de outubro de 2006. **Plano Diretor Urbano do Município de Vitória – PDU Vitória**. Disponível em: <http://www.assembles.com.br/projetos/10.pdf>. [Acedido em Agosto de 2019].
- Von Sperling, Marcus, 2014. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, Belo Horizonte – Brasil.
- Wang, C.; et al., 2019. **Flood risk management in sponge cities: The role of integrated simulation and 3D visualization**. International Journal of Disaster Risk Reduction. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101139>.
- Weyer, et al, 2019. **Glossary**. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- Woods, B. et al., 2015. **The SuDS Manual**. Londres: British Library Cataloguing.
- Worboys, M.F., 1995. **GIS: A computing perspective**. Londres: Taylor and Francis.

WWF Brasil, 2020. **Amazônia, desmatamento e queimadas: Um novo desastre em 2020.** Disponível em:

https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/amazonia1/amazonia__desmatamento_e_queimadas__uma_nova_tragedia_em_2020/. [Acedido em fevereiro de 2021]

Zhang, C.; et al., 2019. **Urban sustainable development based on the framework of sponge city: 71 case studies in China.** Sustainability. 11, 155. doi:10.3390/su11061544.

ANEXO I – CITY RESILIENCE INDEX (CRI)

Dimensão	Objetivos	Indicadores
Saúde e bem-estar	Vulnerabilidade humana mínima	Habitação segura e acessível
		Fornecimento de energia adequado e acessível
		Acesso inclusivo a água potável
		Saneamento efetivo
		Suprimento suficiente de alimentos a preços acessíveis
	Subsistência diversificada e emprego	Políticas trabalhistas inclusivas
		Habilidades relevantes e treinamento
		Desenvolvimento e inovação comercial local
		Mecanismos de financiamento de apoio
		Proteção dos meios de subsistência após um choque
	Salvaguardas eficazes para a saúde humana e a vida	Sistemas de saúde pública robustos
		Acesso adequado a cuidados de saúde de qualidade
		Cuidados médicos de emergência
		Serviços eficazes de resposta a emergências

Dimensão	Objetivos	Indicadores
Economia e sociedade	Identidade coletiva e apoio mútuo	Suporte da comunidade local
		Comunidades coesivas
		Identidade e cultura fortes em toda a cidade
		Cidadãos ativamente envolvidos
	Segurança abrangente e Estado de Direito	Sistemas eficazes para dissuadir o crime
		Prevenção pró ativa da corrupção
		Policiaimento competente
		Justiça criminal e civil acessível
		Finanças públicas bem geridas
		Planeamento abrangente de continuidade de negócios
	Economia sustentável	Base econômica diversificada
		Ambiente de negócios atraente
		Forte integração com economias regionais e globais

Dimensão	Objetivos	Indicadores
Infraestrutura e ambiente	Mobilidade confiável e comunicações	Redes de tecnologia seguras
		Tecnologia de comunicação confiável
		Operação e manutenção de transporte eficazes
		Redes de transporte diversas e acessíveis
	Fornecimento efetivo devido serviços críticos	Continuidade adequada para ativos e serviços críticos
		Manutenção diligente
		Capacidade acumulada retida
		Infraestrutura protetora robusta
	Exposição reduzida e fragilidade	Manejo eficaz dos ecossistemas
		Serviços flexíveis de infraestrutura
		Ecossistemas protegidos de forma eficaz
		Códigos, padrões e execução apropriados
		Mapeamento abrangente de risco e exposição

Dimensão	Objetivos	Indicadores
Liderança e estratégia	Planeamento de desenvolvimento integrado	Monitoramento abrangente da cidade e gerenciamento de dados
		Processo de planeamento consultivo
		Uso e zoneamento apropriado da terra
		Processo robusto de aprovação do planeamento
	Stakeholders capacitados	Mecanismos eficazes para que as comunidades se envolvam com o governo
		Sensibilização e preparação para a comunidade generalizada
		Educação adequada para todos
	Gestão e liderança eficazes	Gerenciamento abrangente de emergências do governo
		Monitoramento abrangente de perigo e avaliação de risco
		Colaboração pró-ativa multi-stakeholder
		Coordenação efetiva com outros órgãos governamentais
		Tomada de decisão governamental apropriada

ANEXO II – MATRIZ ORGANIZACIONAL PARA CIDADES RESILIENTES

Organizacional		
Objetivos	Critérios	Indicadores
Sensibilização ambiental e capacitação	Participação comunitária	Treinamento em organização comunitárias
		Envolvimento da população mais vulnerável
		Técnicas de envolvimento comunitário (internet, aplicações, etc.)
	Conscientização e capacitação	Uso da educação pública como instrumento de conscientização
		Treinamentos e cursos aberto a comunidade
		Uso de tecnologias e redes sociais
Organização e Gestão	Estruturação governamental	Representatividade dos cidadãos junto ao Poder Público
		Planeamento consultivo
		Consulta pública
		Orçamento público para a resiliência
	Relacionamento com as partes interessadas	Participação de outros órgãos governamentais
		Colaboração das partes interessadas
		Uso de tecnologias e outros mecanismos para troca de informações
	Cidade Resiliente	Execução, implementação e melhorias do Plano Diretor Urbano
		Avaliação de risco
		Plano de resiliência para riscos e mudanças climáticas
		Suporte externo para o plano de resiliência
		Confecção e implementação de um bom plano de resiliência
		Intergração e compartilhamento de dados
		Conhecimento dos efeitos cascata
		Integração de experiências externas de resiliência
Medidas estruturantes	Preparação da cidade frente a desastres	Sistemas de monitoração e previsão de alerta
		Plano de gerenciamento de desastres
		Gerenciamento de suprimentos e equipamentos de socorro
		Definição de recursos humanos e materiais frente a desastres
		Formação de equipas interdisciplinares para atuar em desastres
		Formação e treinamento de civis para atuarem nas comunidades em situações de risco
	Preparação da cidade frente às Alterações Climáticas	Compromisso de mitigação dos efeitos das alterações climáticas
		Implementação de planos de gestão de eventos relacionados ao clima
		Monitoramento e gestão de eventos relacionados ao clima
		Conhecimento dos elementos vulneráveis às alterações climáticas
	Recuperação e reconstrução da cidade	Planeamento de recuperação pós evento
		Recuperação pós evento
		Avaliação de perdas e danos
		Seguro
		Cursos e formações visando as lições aprendidas pós evento

Fonte: Cardoso et al., 2018

ANEXO III- MATRIZ FUNCIONAL PARA CIDADES RESILIENTES

Funcional		
Objetivos	Critérios	Indicadores para os serviços: abastecimento de água, águas pluviais, águas residuais, energia, resíduos sólidos e mobilidade
Planeamento de serviços e gerenciamento de riscos	Planeamento estratégico	Implementação de planos estratégicos
		Alinhamento do plano estratégico com o Plano Diretor da cidade
		Monitoramento e gestão do plano de serviços
		Troca de informações
		Bom uso do zoneamento de uso do solo
	Serviço de resiliência	Resiliência na estratégia de atendimento dos serviços e conformidade com o Plano Diretor Urbano
		Plano estratégico de serviço para a resiliência
		Plano financeiro de serviços para a resiliência
		Continuidade do serviço
	Gerenciamento de riscos	Informações de continuidade dos serviços urbanos frente a situações de risco
		Estimativa de danos e perdas
		Gerenciamento de interrupções nos serviços urbanos por causas externas
		Gerenciamento de interrupções nos serviços urbanos por causas internas
	Confiabilidade dos serviços urbanos	Gerenciamento da duração das interrupções dos serviços urbanos
		Interrupções nos serviços urbanos por causas externas no ano passado
		Duração das interrupções nos serviços urbanos por causas externas no ano passado
	Flexibilidade dos serviços urbanos	Perdas por interrupções nos serviços urbanos por causas externas no ano passado
		Uso sustentável dos serviços e soluções de sustentabilidade
		Soluções para a disposição e reuso nos serviços urbanos
Autonomia dos serviços urbanos	Importância do serviço urbano para a cidade	Gestão do fornecimento primário dos serviços urbanos
		Percepção da sociedade
	Interdependências de serviços considerando as Alterações Climáticas	Efeito cascata
Preparação dos serviços urbanos frente um evento	Preparação para resposta a desastres	Dependência de outros serviços urbanos críticos
		Autonomia de outros serviços urbanos críticos
		Plano de gerenciamento de eventos
		Sistema de aviso
	Preparação para resposta as alterações climáticas	Serviço de simulações dos serviços urbanos possivelmente afetados
		Colaboração de outros departamentos em caso de emergência
		Mitigação dos serviços frente as alterações climáticas
		Planeamento de adaptação as alterações climáticas
		Conhecimento das vulnerabilidades dos serviços urbanos frente as alterações climáticas
	Preparação para a recuperação e reconstrução	Adequação física (equipamentos) frente as alterações climáticas
		Capacitação de pessoal visando as alterações climáticas
		Recuperação dos serviços frente as alterações climáticas
		Avaliação de danos e perdas pós evento
		Gerenciamento de interrupções nos serviços urbanos por causas climáticas
		Duração das interrupções nos serviços urbanos por causas externas no ano passado
		Seguro
		Cursos e formações visando as lições aprendidas pós evento

Fonte: Cardoso et al., 2018

ANEXO IV- REPORTAGENS EM JORNAIS LOCAIS

ANEXO VI-A

UOL HOST PAGSEGURO CURSOS LOJA VIRTUOL

UOL

BUSCA BATE-PAPO EMAIL

FOLHA DE S. PAULO

Login Assine a Folha Atendimento Acervo Folha

FOLHA DE S. PAULO

FOLHA DIGITAL POR APENAS R\$ 1,90 NO PRIMEIRO MÊS. ASSINE JÁ.

SEXTA-FEIRA, 9 DE MARÇO DE 2018 14:25

Seções Opinião Poder Mundo Economia Cotidiano Esporte Cultura F5 Sobre Tudo

Últimas notícias A menina de 13 anos que conseguiu impedir seu próprio casamento

FOLHA DIGITAL Acesso ilimitado por apenas R\$ 1,90 no primeiro mês. ASSINE JÁ!

folhashop Mouse Multilaser Ópt... à vista R\$ 50,41 TEK DISTRIBUIDOR

cotidiano febre amarela massacre em presídios carnaval 2018 rio de janeiro

Espírito Santo enfrenta a maior chuva da história, afirma governo

DE SÃO PAULO 24/12/2013 14h31

Compartilhar 59 OLHAR O TEXTO Mais opções

O governo do Espírito Santo informou no início da tarde desta terça-feira (24) que a chuva que atinge o Estado é a maior já registrada em sua história desde o início das medições.

Pelos dados de 13h desta terça, houve 14 mortes em dezembro em decorrência dos temporais no Estado e ao menos 46 mil pessoas tiveram de deixar suas casas – cerca de 10% ficaram desabrigadas (em abrigos) e 90%, desalojadas (em casas de amigos e parentes).

A chuva deste mês representa o maior volume de precipitação em um curto período desde que se iniciaram as medições meteorológicas no Estado, há 90 anos, segundo o Ineaper (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural).

Confira mapa com os estragos causados pelas chuvas Sobe para 14 o número de mortos com chuvas no Espírito Santo

Os estragos deste ano superam os de 1979, quando o Estado registrou o que até então era sua pior enchente, com 74 mortos somados no Espírito Santo e em Minas Gerais.

"É o evento climático mais extremo de nossa história", afirmou o governador Renato Casagrande (PSB) sobre os temporais deste mês. Ele recebeu a

ASSINE A FOLHA DIGITAL POR APENAS R\$ 1,90

ROMÉO E JULIETA

alalaô A FOLHA PÔE O BLOG NA RUA

A FEBRE

FEBRE AMARELA Tire as dúvidas sobre formas de contaminação, principais sintomas e o processo de imunização

Balanço das Promessas de Doria

TRANSPARÊNCIA Folha usa ferramenta on-line para acompanhar 118 promessas feitas por Doria em campanha

SEMANA DA MULHER Grandes mulheres da literatura, cinema e música você encontra aqui! ATÉ 70%OFF APROVEITE! Livraria da Folha

COLEÇÃO FOLHA concertos e óperas para crianças Um novo mundo para o seu filho e uma nova trilha sonora

<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/12/1389748-espírito-santo-enfrenta-a-maior-chuva-da-historia-afirma-governo.shtml>

ANEXO IV-B

CBN VITÓRIA REPORTAGENS ENTREVISTAS COMENTARISTAS

Reportagens
CBN VITÓRIA 20 ANOS

Compartilhar:   

Publicado em 25/04/2016 às 13h19
Atualizado em 07/10/2016 às 11h27

 **Carolina Saltt**
mscastro@redggozeto.com.br

Maior enchente da história do Espírito Santo castiga várias cidades em 2013

Na ocasião, o governo estadual decretou estado de emergência. Ao todo, foram registradas 24 mortes em decorrência das chuvas

SÉRIE ESPECIAL CBN 20 ANOS

Dezembro de 2013. As chuvas que castigaram o Espírito Santo levaram a maior enchente da história do Estado, causando deslizamentos, mortes e deixando um rastro de destruição para a população capixaba.

O governador da época, Renato Casagrande, decretou estado de emergência em todo o Espírito Santo e segundo dados da Defesa Civil, até o dia 31 de dezembro de 2013, no Espírito Santo foram registradas 24 mortes em decorrência das chuvas. Outros 44 mil capixabas ficaram desabrigados ou desalojados neste período. Exército, Bombeiros e Força Nacional de Segurança Pública atuaram no resgate das vítimas e na reconstrução das cidades destruídas. A presidente da República, Dilma Rousseff, chegou a fazer um sobrevôo em áreas atingidas.

0:00 / 1:16 

A chuva representou o maior volume de precipitação em um curto período desde o início das medições meteorológicas do estado, há 90 anos, segundo o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural.

Rádio CBN Vitória vai ao ar pela primeira vez em abril de 1996

Movimento de estudantes ocupou a Assembleia Legislativa em 2013

Juiz Alexandre Martins é assassinado após descobrir esquema do alto escalão capixaba

Cercado de pressões políticas, Vitor Bualiz afirmou para a CBN que pensou em renunciar

2005: Scuderie Detetive Le Cocq é extinta por decisão judicial no ES

Após escândalo, Grupo da Xerox deixou o Espírito Santo no ano 2001

Lars Graef tem a perna direita decepada em disputa no Espírito Santo

Temas relacionados: [enchente](#) [histórica](#) [20 anos](#) [con](#)

VER COMENTÁRIOS

Publicidade



Cartão de crédito sem verificação de identidade e crédito. Pedir já

VISITAR SITE

RECOMENDAÇÃO DO EDITOR
Acompanhe as reportagens ao vivo na CBN Vitória
Publicado em 15/09/2017 às 08h09

http://www.gazetaonline.com.br/cbn_vitoria/reportagens/2016/04/maior-enchente-da-historia-do-espírito-santo-castiga-varias-cidades-em-2013-1013940386.html

ANEXO IV-C

g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2013/12/defesa-civil-contabiliza-mais-mortes-em-decorrencia-da-chuva-no-es.html

26/12/2013 18h13 - Atualizado em 26/12/2013 23h21

Defesa Civil contabiliza 23 mortes em decorrência da chuva no ES

Mais de 61 mil pessoas ficaram desabrigadas ou desalojadas. Subiu para 52 o número de municípios mais afetados.

Do G1 ES



A Defesa Civil contabilizou 23 mortes em decorrência da chuva que ocorre em praticamente todo o Espírito Santo. Segundo o comando do órgão, até as 23h30 desta quinta-feira (26), foram confirmadas três mortes em Baixo Guandu, quatro em Barra de São Francisco, oito em Colatina, uma em Domingos Martins, seis em **Itaguaçu** e uma em **Nova Venécia**. O órgão havia informado 27 mortes, mas, nesta noite, corrigiu o número e alegou que duas pessoas dadas como mortas haviam sido

regatadas com vida e outras duas seguem desaparecidas.

Até o início da tarde desta quinta-feira, mais de 61 mil estavam fora de suas casas. A Defesa Civil informou que o levantamento do número de pessoas afetadas continua prejudicado pela dificuldade de acesso a muitas localidades, algumas totalmente isoladas pela intensa inundação, sem comunicação, água potável e energia elétrica.

Em Colatina, nesta quinta-feira, foram retirados dos escombros os corpos de duas crianças que morreram soterradas depois que um barranco despenhou na terça-feira. No município de Baixo Guandu, também, no Norte do estado, o Centro da cidade ficou isolado desde a tarde desta quarta-feira (25) e continuava, nesta quinta. Nesta tarde parou de chover no Norte do Espírito Santo. As águas do Rio Doce começam a baixar, mas ainda estão muito acima do nível normal. Em alguns pontos, o rio chegou perto dos telhados das casas perto do município de Linhares.

Espírito Santo

veja tudo sobre >



Suspeito de matar namorada com fio de celular se apresenta...

HÁ 1 HORA

Cruzamento em Vila Velha, no ES, tem nove acidentes em três meses

HÁ 1 HORA



ESTV 1ª Edição de sexta-feira, 9 de março

HÁ 2 HORAS



Eurico Salles ou Augusto Ruschi: qual deve ser o nome do...

HÁ 2 HORAS

Brasil

+

Bom Jesus do Norte

+

Ecoporanga

+

Itaguaçu

+

Laranja da Terra

+

<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2013/12/defesa-civil-contabiliza-mais-mortes-em-decorrencia-da-chuva-no-es.html>

ANEXO IV-D

[globo.com](#) [g1](#) [globoesporte](#) [gshow](#) [famosos & etc](#) [vídeos](#) ASSINE JÁ MINHA CONTA E-MAIL ENTRAR >

MENU

G1

ESPÍRITO SANTO

tv gazeta

Q BUSCAR

18/08/2016 06h31 - Atualizado em 18/08/2016 06h31

Mesmo sem chuva, ruas de Bento Ferreira ficam alagadas em Vitória

Moradores reclamaram do mau cheiro que fica nas ruas. Prefeitura disse que vai apurar causas e buscar uma solução.

Do G1 ES, com informações de A Gazeta

FACEBOOK

Vídeos



Mesmo sem chuva, ruas do bairro Bento Ferreira, em **Vitória**, estão ficando alagadas. Os moradores também reclamaram do mau cheiro que fica nas ruas. A prefeitura da capital disse que vai apurar as causas do problema e buscar uma solução.

saiba mais

Chuva provoca alagamentos em ruas da Grande Vitória

Os alagamentos foram registrados na rua Chafic Murad e na Avenida Carlos Moreira Lima. Os moradores atribuem o problema à subida da maré, que invadiu as ruas pelos bueiros.

Espírito Santo
veja tudo sobre >



Suspeito de matar namorada com fio de celular se apresenta...
HÁ 1 HORA

Cruzamento em Vila Velha, no ES, tem nove acidentes em três meses

HÁ 1 HORA



ESTV 1ª Edição de sexta-feira, 9 de março
HÁ 2 HORAS



Eurico Salles ou Augusto Ruschi: qual deve ser o nome do...
HÁ 2 HORAS



<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2016/08/mesmo-sem-chuva-ruas-de-bento-ferreira-ficam-alagadas-em-vitoria.html>

