



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

Luciana Mattos dos Anjos Galdino


**Drenagem urbana na área da Praça da Cruz Vermelha: um estudo de caso  
da aplicação do conceito de cidades esponjas para atenuação de  
alagamentos**

Rio de Janeiro

2022

Luciana Mattos dos Anjos Galdino

**Drenagem urbana na área da Praça da Cruz Vermelha: um estudo de caso da aplicação do conceito de cidades esponjas para atenuação de alagamentos**



Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Cesar da Silva

Rio de Janeiro

2022

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

G149 Galdino, Luciana Mattos dos Anjos.  
Drenagem urbana na área da Praça da Cruz Vermelha: um estudo de caso da aplicação do conceito de cidades esponjas para atenuação de alagamentos / Luciana Mattos dos Anjos Galdino. – 2022.  
124f.

Orientador: Júlio Cesar da Silva.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. escoamento urbano - Teses. 3. Águas pluviais - Teses. 4. Inundações - Teses. I. Silva, Júlio Cesar da. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV Título.

CDU 556.166

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

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

---

Assinatura

---

Data

Luciana Mattos dos Anjos Galdino

**Drenagem urbana na área da Praça da Cruz Vermelha: um estudo de caso da aplicação  
do conceito de cidades esponjas para atenuação de alagamentos**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre, ao Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental  
da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
Área de concentração: Gestão Sustentável de  
Recursos Hídricos.

Aprovada em 06 de abril de 2022.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Júlio Cesar da Silva (Orientador)

Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Adacto Benedicto Ottoni

Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Luiz Fernando Flores Cerqueira

Faculdade de Engenharia – Centro Universitário Celso Lisboa - UCL

Rio de Janeiro

2022

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todas as pessoas que torcem pelo meu sucesso e me fazem acreditar que sou capaz de alcançar muito mais do que posso imaginar.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiro a Deus, por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa, mesmo passando por tempos difíceis, com saúde e forças para chegar até o final.

Sou grata à minha família, pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

Ao meu marido João Luís, que acima de tudo é um grande amigo, sempre presente nos momentos difíceis com uma palavra de incentivo.

Aos meus colegas do curso de mestrado, pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos.

Também quero agradecer à Universidade e a todos os professores do PEAMB, pela elevada qualidade do ensino oferecido e principalmente à coordenadora do curso Lia Teixeira e ao meu orientador Júlio César, por me ajudar a não desistir.

A diferença entre aquilo que fazemos e aquilo que somos capazes de fazer seria suficiente para resolver a maioria dos problemas do mundo.

*Mahatma Gandhi*

## RESUMO

GALDINO, Luciana Mattos dos. *Drenagem urbana na área da Praça da Cruz Vermelha: um estudo de caso da aplicação do conceito de cidades esponjas para atenuação de alagamentos*. 2022. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

As águas que inundam a área central do Rio de Janeiro são amplamente lembradas nas canções de outrora e lembradas pela população nos períodos de precipitações. Os problemas da relação entre a drenagem urbana e a cidade permanecem mais evidentes ao passar dos anos, afetando a cidade de forma imprevisível e causando graves danos, comumente com perdas materiais e restrição de mobilidade viária nos períodos de ocorrências. Com este cenário, o foco de estudo do trabalho foi definido na região da Praça da Cruz Vermelha, que é uma região dentro do bairro do Centro, que abrange uma área que se estende entre a Lapa até a região da Central do Brasil e possui grande fluxo, pois faz a ligação do Centro com a região norte da cidade do Rio de Janeiro. Neste trecho se concentram hospitais de grande porte, área residencial, área comercial com edifícios de escritórios, instituições públicas, de ensino, hotelaria, além de outros. Porém, mesmo tendo toda essa diversidade de atividades, esta área sofre com episódios de alagamentos e enchentes periódicos que não são corrigidos e revistos, pois há problemas de drenagem desde épocas passadas que não suportam o volume de água que é descartado nos episódios de chuvas, mesmo as mais brandas. O objetivo deste trabalho é compreender os problemas desta região, observar as técnicas para drenagem urbana e sugerir soluções para mitigar os problemas decorrentes deste sistema hídrico ineficiente. O levantamento das tecnologias contribui para entender as medidas existentes que poderão ser aplicadas para minimizar os impactos das chuvas e aplicar o conceito das *sponge cities* como estudo para mitigar o problema na região. Este conceito foi desenvolvido na China e permite criar subsídios ao reunir diversas tecnologias associadas para a drenagem que permite uma melhor absorção das águas de chuvas pelo solo e, com isso, evitar o acúmulo e retenção da água nas áreas urbanas. Com isso, o trabalho busca analisar a relação entre as *sponge cities* e o sistema de drenagem urbana. Para tanto, foi feito um mapeamento da área com foco em zonas críticas e, a partir desse estudo, a elaboração de proposta de implantação de melhorias das drenagens artificiais aplicando os conceitos das *sponge cities*, sugerindo a implantação de medidas e tecnologias para solucionar os problemas enfrentados na região da Praça da Cruz Vermelha. No entanto, nos resultados da análise desta proposta de implantação, observou-se que há necessidade de mais esforços para buscar a melhor solução para aplicação das tecnologias, podendo ser feitos estudos de simulações e calculados os percentuais de absorção mais adequados para melhorar a eficiência das técnicas sugeridas. Esta pesquisa poderá servir como suporte e recomendação para futuros estudos que possam aprofundar mais nos estudos das técnicas analisadas e da área levantada para essa pesquisa.

Palavras-chave: Cidade-esponja. Drenagem Urbana. Enchente. Gestão sustentável. Recursos hídricos.



## ABSTRACT

GALDINO, Luciana Mattos dos. *Urban drainage in the Praça da Cruz Vermelha: case study of the sponge cities concept applied on flood mitigation*. 2022. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

The flood in Rio de Janeiro central area are remembered in old songs and recalled by the population during periods of rain fall. Problems between the urban drainage and the city relation remain more evident over the years, affecting the city in an unpredictable way and causing serious damage, with material losses and road mobility restriction in the periods of occurrences. In this scenario, the search focus was defined in the Praça da Cruz Vermelha region, which is inside the central zone that covers a middle area between Lapa and Central do Brasil and has a large flow because it concentrates hospitals, residential area, commercial area with office buildings, public institutions, universities, hotel, and others. However, even with the diversity of activities, this area suffers from periodic episodes that are not resolved because it has old drainage problems, with rainy episodes that don't cope with the water volume which is discarded. The objective of this research is to understand the problems in this region, observe the techniques for urban drainage and suggest solutions to mitigate the problems from this inefficient water system. The technologies survey helps to understand the existing measures that can be applied to minimize the impacts of rain fall and apply the sponge cities concept as a study to mitigate the problem in the region. This concept was developed in China and creates subsidies by bringing together various associated technologies for drainage that allow for better absorption and prevent the accumulation and retention of urban areas water. Then, the research seeks to analyze the relation between sponge cities and the urban drainage system, therefore a mapping of the site focusing on critical zones and from this study elaboration proposal to implement improvements in artificial drainages applying the sponge cities concepts for the research and are carried out for the possible implementation of measures and technologies to solve the problems in the Praça da Cruz Vermelha region. However, the analysis results of this implementation showed that it needs more efforts to seek better solution for the application of the technologies, simulation studies can be carried out and adequate absorption percentages studies can be calculated to improve the efficiency techniques. This research can serve as support and recommendation for future studies that can further deepen the studies of the techniques studied and the area raised for this research.

Keywords: Sponge city. Urban drainage. Flood. Sustainable management. Water resources.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação entre urbanização e impactos nos recursos hídricos. ....	15
Figura 2 - Processo de metodologia para elaboração do trabalho .....	23
Figura 3 – Fluxograma esquemático do desenvolvimento do trabalho .....	24
Figura 4 – Mapa estrutural da literatura do trabalho .....	25
Figura 5 - Ciclo hidrológico .....	29
Figura 6 - Ilustração de uma bacia hidrográfica .....	30
Figura 7 - Hidrograma típico de uma bacia natural e resultante da urbanização .....	32
Figura 8 - Vazões máximas conforme uso e ocupação do solo.....	33
Figura 9 – Influência da urbanização no hidrograma de enchente .....	35
Figura 10 – Corte esquemático mostrando a sarjeta, boca de lobo, caixa de passagem e tubo de ligação.....	39
Figura 11 – As bocas de lobo têm o objetivo de evitar que as águas pluviais que escoam superficialmente pelas sarjetas ultrapassem seus limites de alagamento das vias. ....	39
Figura 12 – Planta típica de um Sistema de Micro Drenagem Urbana. ....	40
Figura 13 – Foto da capa do Jornal Última Hora de 1966.....	57
Figura 14 – Foto da capa do Jornal do Brasil de 22/02/1988 e O Globo de 14/02/1996 .....	59
Figura 15 – Página 17 do jornal O Globo do dia 21/09/2016, com reportagem sobre os danos provocados pelas chuvas do dia 20/09/2016 .....	60
Figura 16 – Descrição da região de estudo.....	68
Figura 17 - Escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração em telhados verdes e tradicionais .....	75
Figura 18 - Parque alagável com passarelas suspensas na cidade de Jinhua, na China .....	76
Figura 19 – Seção tipo do pavimento com piso intertravado permeável.....	78
Figura 20 - Imagem de um jardim de chuva.....	79
Figura 21 - Representação do escoamento viário para a vala de infiltração .....	80
Figura 22 - Representação em corte de uma vala de infiltração.....	80
Figura 23 – Impactos da urbanização da bacia hidrográfica no ciclo d’água.....	82
Figura 24 - Esquema com a disposição do relevo original.....	85
Figura 25 - Mapa com a disposição dos bairros atuais.....	86
Figura 26 - Localização das 33 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio e detalhe hipsométrico da cidade do Rio de Janeiro .....	90

Figura 27 - Área de abrangência da estação pluviométrica da Saúde .....	91
Figura 28 - Média pluviométrica mensal da EP Saúde no período entre 1997 e 2019 .....	92
Figura 29 - Média de chuvas da cidade do Rio de Janeiro e na EP Saúde no período entre 1997 e 2019 .....	93
Figura 30 – Mancha de inundação levantada na área central do Rio de Janeiro .....	95
Figura 31 – Localização da bacia do Centro no município .....	95
Figura 32 – Planta hidrográfica da Bacia do Centro, com destaque para a bacia contribuinte da galeria da Rua Mem de Sá.....	96
Figura 33 – Inundações na Bacia do Centro.....	97
Figura 34 –Foto da vista da Rua do Resende, esquina com a Rua André Cavalcante alagada durante precipitação intensa no dia 22/02/2021 .....	98
Figura 35 – Foto da vista do pátio interno do prédio anexo (COAGE) do INCA alagado na Rua do Resende durante precipitação intensa no dia 22/02/2021 .....	99
Figura 36 – Foto da vista da Rua do Resende, esquina com a Rua André Cavalcante, alagada durante precipitação intensa no dia 05/02/2021 .....	100
Figura 37 - Zonas do roteiro de estudo.....	103
Fonte: autoria própria. ....	103
Figura 38 – Demarcação da zona 1 .....	104
Figura 39 – Demarcação da zona 2 .....	105
Figura 40 – Demarcação da zona 3 .....	106
Figura 41 – Demarcação da zona 4 .....	107
Figura 42 – Mapa das intervenções na zona 1 .....	111
Figura 43 – Mapa das intervenções na zona 2.....	112
Figura 44 – Mapa das intervenções na zona 3.....	113
Figura 45 – Mapa das intervenções na zona 4.....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Principais artigos selecionados para a revisão bibliográfica.....	26
Tabela 2 –	Precipitações, dias chuvosos e temperatura.....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEDUG	Comissão Executiva de Desenvolvimento Urbano do Estado da Guanabara
CIAM	Congresso Internacional de Arquitetura Moderna
COAGE	Prédio da Coordenação Administrativa do INCA
DURB	Departamento de Urbanismo do Rio de Janeiro
ENCE	Escola Nacional de Ciências Estatísticas
FDN	Faculdade Nacional de Direito
GEO-RIO	Fundação Instituto de Geotécnica
IASERJ	Instituto de Assistência dos Servidores do Estado do Rio de Janeiro
IEC	Instituto Estadual do Cérebro Paulo Niemeyer
INCA	Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva
INTO	Instituto de Ortopedia e Traumatologia
IPP	Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos
LACEN RJ	Laboratório Central de Saúde Pública Noel Nutels
PDMAP	Plano Diretor de manejo de águaspluviais da cidade do Rio de Janeiro
SERLA	Superintendência Estadual de Rios e Lagos
SURSAN	Superintendência de Urbanização e Saneamento do Antigo Distrito Federal
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
	<b>Estrutura da dissertação</b> .....	19
	<b>Objetivo Geral</b> .....	20
	<b>Objetivos Específicos</b> .....	20
	<b>Justificativa</b> .....	21
1	<b>METODOLOGIA</b> .....	22
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	25
2.1	<b>Principais causas das inundações urbanas</b> .....	27
2.1.1	<u>Ações naturais</u> .....	27
2.1.1.1	Ciclo hidrológico.....	28
2.1.1.2	Bacias hidrográficas .....	29
2.1.1.3	Infiltração dos solos .....	30
2.1.1.4	Escoamento Superficial.....	31
2.1.2-	<u>Ações Humanas</u> .....	34
2.2	<b>Drenagem Urbana</b> .....	38
2.2.1	<u>Planejamento da cidade do Rio de Janeiro e implementação de estrutura de drenagem</u> .....	42
2.2.2	<u>O uso e ocupação do solo na cidade do Rio de Janeiro e a drenagem urbana</u> .....	61
2.3	<b>Técnicas aplicadas para melhoria da drenagem urbana</b> .....	63
2.3.1	<u>Métodos aplicados para mitigar as inundações urbanas</u> .....	63
2.3.2	<u>O uso do conceito das <i>sponge cities</i> para a drenagem urbana sustentável da região da Cruz Vermelha</u> .....	67
2.3.2.1	Telhado verde.....	74
2.3.2.2	Praça-piscina .....	75
2.3.2.3	Parques alagáveis .....	76
2.3.2.4	Calçamentos permeáveis .....	77
2.3.2.5	Jardins de chuva .....	78
2.3.2.6	Valas de infiltração.....	79
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	82
3.1	<b>Aspectos Gerais – Estudo de caso da Região da Praça da Cruz Vermelha</b> ....	83

3.1.1	<u>Análise do regime pluviométrico da região do Centro do Rio de Janeiro</u> .....	89
3.2	<b>Aplicação do conceito da <i>sponge city</i> para soluções do problema da drenagem na região da Praça da Cruz Vermelha</b> .....	101
3.2.1	<u>Roteiro de intervenções para solucionar os problemas de alagamento</u> .....	101
3.2.2	<u>Resultados do estudo de implantação de melhorias da drenagem das zonas propostas</u> .....	108
4	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	116
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	119

## INTRODUÇÃO

Conforme os conceitos de Hall (1984), as enchentes são eventos que ocorrem na natureza milhares de anos antes das ocupações urbanas. A densidade populacional implantada nas regiões pelo desenvolvimento das cidades não tem levado, em geral, em consideração a geografia da região, o que agrava as ocorrências das inundações, causando problemas de distribuição de água para o abastecimento público, contribui para o aumento de resíduos sólidos, assoreamento dos rios, contaminação de lençóis freáticos e diversos outros problemas ambientais.

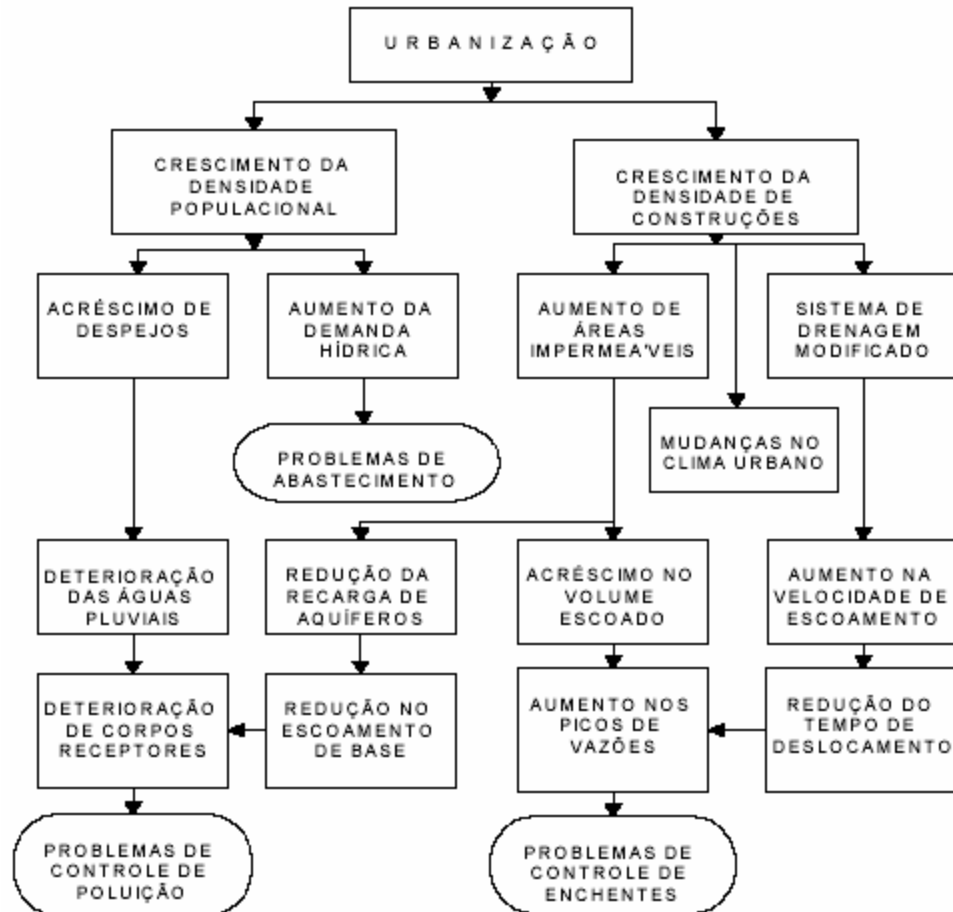
Nas áreas urbanas, a consequência do aumento da densidade populacional de forma descontrolada tem como fator o crescimento de áreas impermeáveis, o que sobrecarrega o escoamento natural e o sistema de drenagem urbana artificial, já que não houve planejamento da vazão para a captação das águas escoadas como já descrito por Hall (1984). Portanto, é visível que há a necessidade de atualizar os planejamentos urbanos com foco no saneamento e drenagem das áreas com aumento de ocupação urbana para minimizar os riscos da população conforme ilustra a figura 1.

A percepção de que uma área localizada no coração da cidade do Rio de Janeiro sofre há décadas pelas enchentes foi a principal motivação para este estudo. Algumas áreas nas proximidades da Praça da Cruz Vermelha, que é uma região do bairro do Centro da cidade do Rio de Janeiro, possuem alagamentos em episódios de chuvas, mesmo com intensidade moderada, causando desconforto e problemas com mobilidade e redução de tráfego na região. Essa região é um eixo de ligação entre a área do Centro e da Zona Norte da cidade e nela estão localizados alguns pontos de referência bem conhecidos e utilizados pela população da cidade, como os hospitais de referência Instituto Nacional do Câncer (INCA), Hospital da Cruz Vermelha, Instituto Estadual do Cérebro Paulo Niemeyer (IEC), Hospital Municipal Souza Aguiar, Hemorio e Laboratório Central de Saúde Pública Noel Nutels (LACEN RJ), modais de transporte como a Estação Ferroviária Supervia Central do Brasil, estações metroviárias Metrô e intenso fluxo rodoviário por vias de grande movimento como a Avenida Presidente Vargas e Rua do Riachuelo. Há também nas proximidades alguns *campi* universitários, como o da Faculdade Nacional de Direito da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FDN/UFRJ), Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE) e faculdades particulares, edifícios comerciais e redes hoteleiras que foram ampliadas para o período dos Jogos Olímpicos, além de



construções residenciais que nos últimos anos se tornaram um potencial construtivo dessa área de estudo.

Figura 1: Relação entre urbanização e impactos nos recursos hídricos.



Fonte: Hall (1984). apud Cerqueira (2006)

A proximidade com o bairro de Santa Teresa, que é predominantemente de ocupação em maciços, cria um caminho de águas que desaguam e acumulam grandes quantidades destas águas nos períodos de precipitações. Junto com a Lapa e Cinelândia, a região da Praça da Cruz Vermelha são áreas alagadas que sofreram com aterros de lagoas e áreas pantanosas e, pela sua característica de bacias, não conseguem ter um escoamento natural adequado. Essas áreas sofrem continuamente com alagamentos em dias de chuvas, muitas vezes independentemente da intensidade da precipitação, o que torna inviável a circulação na região nestes períodos ou reduzindo a mobilidade pelas áreas alagadas, que chegam a níveis elevados. Observando esse panorama e pesquisando a busca da resposta deste problema, fez-se necessário um primeiro entendimento sobre o princípio de funcionamento da drenagem tanto natural quanto artificial. Em sequência, sabendo que a rede de infraestrutura de drenagem urbano faz parte do

planejamento da cidade, no qual a estrutura de saneamento existente foi feita por estudos e planejamentos ao longo de décadas, foram feitas pesquisas sobre os sistemas de drenagem e saneamento urbano que foram implantados nos bairros da região e na cidade do Rio de Janeiro ao longo das décadas.

A busca da drenagem urbana no planejamento da cidade do Rio de Janeiro surgiu pela necessidade do mínimo saneamento para combater as doenças causadas pela insalubridade e recomendado por médicos sanitaristas como uma solução para combater as doenças que assolavam a população da cidade, pois os alagamentos já eram comuns neste período, e as águas misturadas ao esgoto lançado livremente nas ruas ficavam estagnadas, proliferando vetores causadores de doenças.

No século XIX, o Rio de Janeiro inicia um processo de expansão que acontece pela área central da cidade conforme a ótica de Abreu (1997). Um primeiro planejamento para ocupação é feito, e obras para a implantação de loteamentos na área central são iniciadas com intensificação dos processos de aterros de mangues existentes, construção de canais de escoamento e desvio de rios para a melhor ocupação dos locais. As obras de drenagem também foram priorizadas com a implantação de redes de esgoto e abastecimento de água. Em 1843, foram implantadas rotas de barcos para interligar a região central ao bairro de Botafogo. Neste período, a área central era ocupada por imigrantes portugueses, que tinham como atividade principal o comércio no mesmo local.

O processo de expansão da cidade se tornou acelerado por consequência da migração da população das áreas mais afastadas para a ocupação da área central ao longo dos séculos XIX e XX de acordo com Abreu (1997) e teve neste período a orientação de alguns planos urbanísticos e propostas de ordenamento da ocupação da cidade, sendo que o planejamento urbano priorizava a infraestrutura da drenagem urbana. O tratamento destacado ao assunto da drenagem urbana neste período era norteado pela orientação dos médicos sanitaristas, que abordavam o higienismo como paradigma importante a seguir para a organização da cidade. Essa linha de pensamento prevalece como prioridade até as primeiras décadas do século XX. O referencial do planejamento das engenharias sanitária e hidráulica tem seus conceitos seguidos nas décadas de 1970 e 1980, e as novas perspectivas de desenvolvimento urbano sustentável e de preservação ambiental que trazem uma reformulação dos paradigmas de drenagem são observadas a partir do final da década de 1980 e início da década seguinte.

Ao buscar o histórico do planejamento sanitário da cidade do Rio de Janeiro, compreende-se que a estrutura do sistema de drenagem segue os principais planos, relatórios e intervenções que orientaram o desenvolvimento urbanístico da cidade. Analisando esses

planejamentos, vemos que no século XIX foi desenvolvido o Relatório de Obras de *Beaurepaire-Rohan* e dois relatórios da Comissão de Melhoramentos que seguem de forma bem aberta o conceito higienista difundido nesta época. No século XX, o Plano Diretor de Pereira Passos e o Plano Agache já evoluíram nos conceitos higienistas, com os estudos mais modernos das engenharias sanitárias e civil, nos quais as técnicas de infraestrutura de drenagem e hidráulicas estavam sendo implantadas.

Com o crescimento populacional, o planejamento urbano passa a ter maior foco no saneamento urbano, trazendo a implantação de técnicas de engenharia como criação de galerias pluviais, canalização de rios para aumento da velocidade do escoamento das águas, evitando as inundações e com isso viabilizar a ocupação de novas áreas da cidade.

Em 1957, o Plano de Realizações da Superintendência de Urbanização e Saneamento do Antigo Distrito Federal (SURSAN) segue utilizando as técnicas de engenharia, focando na infraestrutura urbana, com implantação de drenagem e hidráulica. A partir da década de 1960 até os dias atuais, a área central da cidade não sofreu mais com intervenções tão marcantes, mas os problemas com a drenagem urbana permaneceram. Com isso, o foco da área central da cidade teve uma importante relevância como tema deste estudo, e a região escolhida foi a da Praça da Cruz Vermelha e seu entorno, que se estende entre a Lapa até a região da Central do Brasil, como área de aplicação do estudo para entender o problema das inundações urbanas .

Como proposta para este estudo, buscou-se o conceito de *sponge city* ou cidade-esponja, que é inovador, propondo a gestão sustentável da água pluvial urbana. O conceito foi desenvolvido na China com a finalidade de ser aplicado nas cidades que sofriam com perdas decorrentes das intensas chuvas em determinados períodos no ano.

Segundo o escritório Urban Lab sobre a implantação do projeto da *sponge city* na cidade de Changde, na província de Hunan, na China, (...) “trata de infraestruturas adicionais de filtragem de água, como estradas de alimentação arborizadas, parques de águas pluviais e jardins de chuva no quarteirão”. O conceito da *sponge city* sugere a substituição das superfícies como asfalto e concreto por tecnologias de superfícies com solos permeáveis, que promovem a absorção da água da chuva e funcionam como um filtro. A água é absorvida pelo solo mais facilmente e passa por um sistema de filtragem; depois disso, é conduzida para os rios e lagos dentro da cidade. O projeto foi desenvolvido para tentar resolver simultaneamente os principais problemas das cidades chinesas: a falta de água e os alagamentos e inundações, problemas que também ocorrem nas cidades brasileiras.

A metodologia adotada é a revisão bibliográfica, com o intuito de relacionar o conceito da *sponge city* e o levantamento das tecnologias para minimizar e mitigar as enchentes e inundações nas cidades e verificar o que é possível aplicar na região estudada.

Além disso, o trabalho analisa a relação entre a *sponge city* e sistema de drenagem urbana, termos aprofundados ao longo do texto. Medidas e tecnologias são apresentadas para a implantação de uma proposta de melhorias na área de estudo de caso com um mapeamento, apresentando as medidas utilizadas e possíveis inovações para o melhor tratamento e absorção das águas.

## Estrutura da dissertação

A estrutura da dissertação foi desenvolvida a partir do objetivo de mapear e analisar o problema de saneamento urbano, focando no sistema de drenagem ineficiente, que traz como consequência as enchentes na região da Praça da Cruz Vermelha e seu entorno, que se estende entre a Lapa até a região da Central do Brasil.

Assim, no capítulo 1 foi apresentada a metodologia na qual é descrito o desenvolvimento da pesquisa, explicando a forma adotada para o estudo deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico que conceitua este trabalho, no qual são descritos os fundamentos das causas das enchentes nas áreas urbanas, fatores relacionados a estes eventos e descreve as técnicas de implantação das *sponge cities*, definindo sua metodologia e forma de aplicação para a mitigação dos eventos de enchentes, além de abordar as referências técnicas para aplicação do conceito das *sponge cities*. Também apresenta a consolidação da ocupação na região da Praça da Cruz Vermelha e o problema da drenagem que esta área enfrenta ao longo de muitos anos.

O capítulo 3 apresenta os resultados e discussões nos quais é apresentado o estudo de caso desta região da Praça da Cruz Vermelha e aponta os aspectos gerais das relações das médias de precipitações da cidade e da região de estudo, localização das zonas específicas onde foram analisados os problemas enfrentados e definição de um roteiro de propostas de intervenções para implantação de melhorias na drenagem das águas acumuladas com a aplicação dos conceitos da *sponge cities* e viabilidade do saneamento urbano para a redução dos efeitos das enchentes.

Por fim, no capítulo 4 são apresentadas as conclusões do estudo, verificando que a implantação de técnicas sustentáveis para escapar dos alagamentos são as melhores formas de minimizá-las, e a aplicação do conceito das *sponge cities* faz uso destas técnicas associadas para um resultado mais definido, porém há necessidade de mudanças na estrutura da cidade para resultados ainda melhores.

## Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho busca estabelecer uma relação entre a aplicação dos conceitos das cidades esponjas e suas tecnologias para a drenagem da água pluvial, que podem mitigar os problemas de drenagem urbana na região da Praça da Cruz Vermelha e seu entorno, que se estende entre a Lapa até a região da Central do Brasil, para uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

## Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho visam:

- a) Consolidar os problemas e analisar as suas causas na região da Praça da Cruz Vermelha e entorno, abrangendo entre a Lapa até a Central do Brasil;
- b) Apresentar e discutir as alternativas ao problema, estudando formas de viabilizar a melhoria do cenário da drenagem para a melhor gestão do saneamento ambiental;
- c) Abordar os conceitos das *sponge cities*, relacionando a drenagem urbana às tecnologias aplicadas para a gestão sustentável da água pluvial;
- d) Estabelecer a relação entre as *sponge cities* e os sistemas de drenagem urbana por meio de uma revisão bibliográfica. Nesta revisão bibliográfica, relacionar o conceito das *sponge cities* e suas implantações;
- e) Apresentar e discutir as propostas de implantação de melhorias de drenagem urbana, usando o conceito das *sponge cities* para minimizar os problemas das inundações urbanas e escoamento das águas retidas na área objeto de estudo.
- f) Gerar propostas de mapeamento da área de estudo com foco nas áreas críticas;
- g) Elaboração de proposta de implantação de melhorias das drenagens artificiais aplicando os conceitos das cidades esponjas;
- h) Sugestão de implantação de medidas e tecnologias das *sponge cities* para mitigar os problemas mapeados na região da Praça da Cruz Vermelha.

## Justificativa

Devido à falta de planejamento urbano sustentável, as cidades brasileiras enfrentam muitos problemas, tendo como exemplo as inundações que ocorrem nos centros urbanos, que têm variações de intensidade em determinadas épocas do ano, trazendo prejuízos. A mudança climática desencadeou fortes e devastadoras tempestades, o que passa a ser uma nova realidade do clima. Além disso, as deficiências no saneamento básico e ambiental na bacia agravam os problemas de entupimento e assoreamento dos sistemas de micro e macrodrenagem, juntamente com o crescimento desordenado e o aumento da impermeabilização do solo ao longo do tempo. Portanto, compreender e analisar as técnicas utilizadas para solucionar ou minimizar as inundações nos centros urbanos garante uma visão mais segura e ampla sobre o assunto.

Analisando o panorama histórico das cidades, é possível observar grandes mudanças. As cidades pré-industriais integravam as funções agrícolas e eram autossuficientes; seus habitantes tinham habilidades e técnicas para a sobrevivência. Além disso, possuíam o domínio cultural e religioso, que atendiam suas necessidades. E algumas dessas cidades se transformaram em centros comerciais, como é o caso do Rio de Janeiro, que teve essa transformação inicial justamente na região central da cidade. Portanto, é necessário observar a evolução histórica da cidade e compreender suas perspectivas de desenvolvimento.

A evolução histórica da cidade afetou diretamente a perspectiva e a experiência do centro da cidade ao longo dos anos. Com isso, a conexão, a troca de conhecimento e cultura interfere nas transformações urbanas e no futuro das cidades.

A partir desse contexto, é importante compreender a vivência das cidades atuais e os problemas que enfrentam. Neste trabalho, as questões relativas ao histórico dos planos de saneamento da cidade do Rio de Janeiro, sua relação com as chuvas e as tecnologias para minimizar os impactos das enchentes estão no centro da discussão, passando a ser o ponto de partida para determinar a linha de pesquisa e os objetivos deste trabalho.

Esta pesquisa cria o debate da utilização de novas tecnologias aplicando os conceitos das *sponge cities* para auxiliar no combate a inundações na região da Praça da Cruz Vermelha e seu entorno, que se estende entre a Lapa até a região da Central do Brasil.

Ao longo deste trabalho, a questão é analisada por meio de estudos da região, para apresentar propostas que levarão à melhor gestão da drenagem urbana, com soluções técnicas dentro do conceito da sustentabilidade ambiental.

## 1 METODOLOGIA

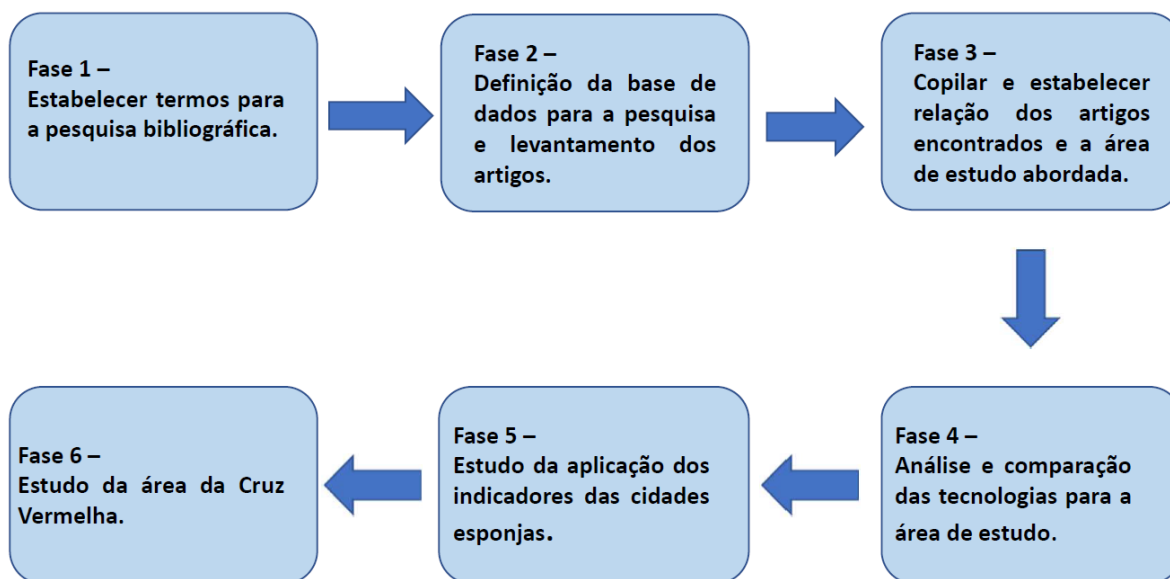
O desenvolvimento de pesquisa deste trabalho foi feito a partir de uma revisão bibliográfica, com a pesquisa de caráter qualitativo e exploratório, que são indispensáveis para o estudo do tema, buscando referenciais teóricos nacionais e internacionais. Primeiramente foi feito o levantamento de informações de dados históricos de ocupação do ambiente natural na cidade do Rio de Janeiro, com a remoção da cobertura vegetal, resultando em vários impactos ambientais e a verificação de publicações sobre impermeabilização de solos em regiões no Brasil e outros países.

Para a construção dos pressupostos teóricos e poder realizar as análises sobre os planos urbanísticos e estruturais da cidade do Rio de Janeiro, foram utilizados documentos de Resende (1982), Brenna (1985), Benchimol (1990), Andreatta (2006), Rabha (2008) e Oliveira (2009). Para a base de dados históricos relativos à implantação da cidade e seu desenvolvimento, foram consultadas revistas do Clube de Engenharia, na qual são descritos panoramas da drenagem urbana da cidade em vários cenários históricos. Podemos citar Ribeiro (1935), Rosa (1936), Soares (1940), Alcântara (1953), Viegas (1959), Silva (1968) e Reis (1990), que enriqueceram essa pesquisa para descrever historicamente o panorama da drenagem na cidade. Também foram consultados documentos da Prefeitura do Rio de Janeiro que relatam as principais intervenções urbanas realizadas, como Azevedo (1938), Reis (1977), Rio Cidade (1996), Silveira (1999), Silva (2002), Brito (2003) e Rio Estudos (2007).

Posteriormente, foi observado o panorama atual de cidades que desenvolveram tecnologias de informação e comunicação e com isso conseguiram estabelecer um novo cenário urbano. Foi realizado um levantamento teórico e bibliográfico das principais soluções de drenagem urbana e as tecnologias que podem ser utilizadas nos sistemas hídricos na cidade. A figura 2 apresenta o passo a passo do processo metodológico para o desenvolvimento deste trabalho.



Figura 2 - Processo de metodologia para elaboração do trabalho



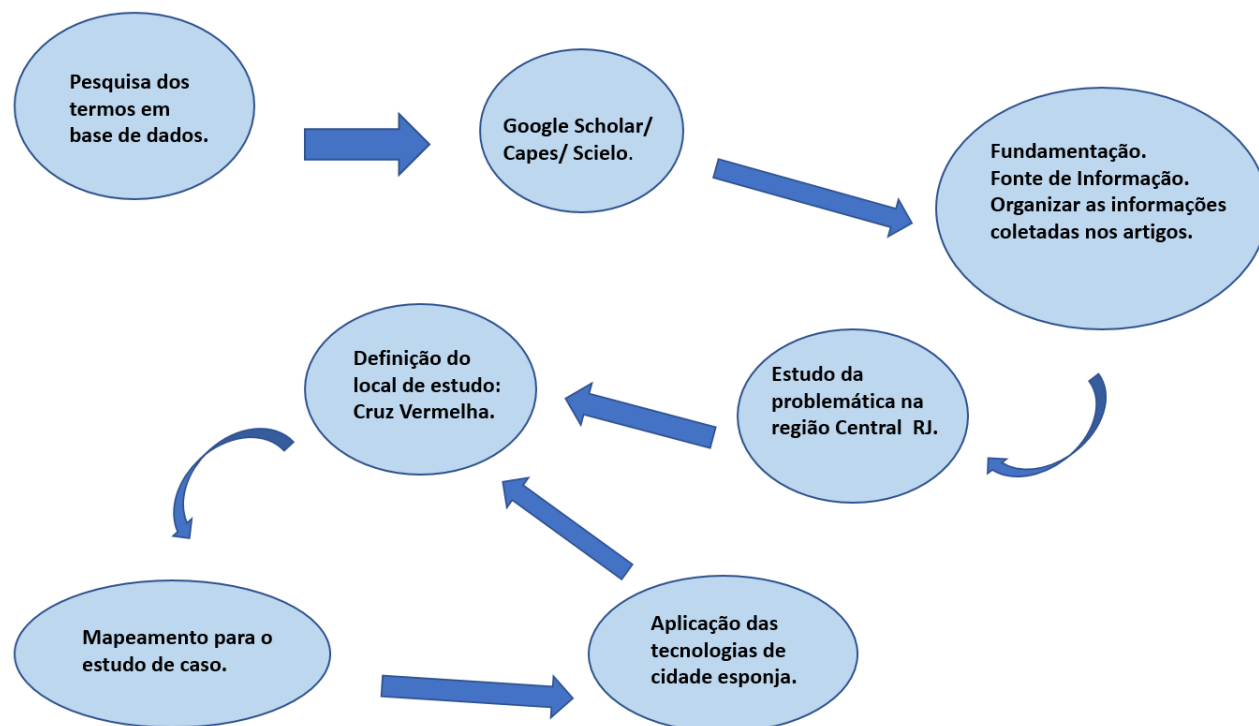
Fonte: autoria própria.

Conforme a figura 3, o fluxograma apresenta as etapas de desenvolvimento para a elaboração do trabalho.

O estudo foi composto por seis fases. Na fase inicial da revisão bibliográfica, foram definidos os termos da pesquisa: *sponge cities*, drenagem urbana e Centro do Rio de Janeiro. Posteriormente foi feita uma busca para a verificação dessas informações por meio de pesquisa em materiais bibliográficos como livros, periódicos, dissertações, teses, nos quais foram consultadas a base Scielo, Google Acadêmico, portal de periódicos da CAPES, para identificar recentes produções literárias nacionais e internacionais sobre o assunto, enriquecendo e complementando ainda mais o conteúdo. Foram ainda utilizados trabalhos pertinentes a esse tema do acervo do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente (PEAMB e DEAMB) da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ).

A revisão sistêmica da literatura para o tema *sponge cities* teve como balizadores a busca por artigos preferencialmente internacionais, com data de publicação de até cinco anos, por se tratar de um tema inovador que está sendo aplicado há poucos anos na China e em outros países.

Figura 3 – Fluxograma esquemático do desenvolvimento do trabalho



Fonte: autoria própria.

Posteriormente, as informações coletadas nos artigos a respeito da temática foram relacionadas, com o objetivo de compreender quais são as medidas adotadas no conceito das *sponge cities*, que podem ser utilizadas como fonte para este estudo.

O mapeamento da área foi realizado para o desenvolvimento da proposta para a implantação dos conceitos das *sponge cities* como parques alagáveis, pisos drenantes e bueiros inteligentes no trecho escolhido para este trabalho.

Desta forma, procurou-se conceituar, explicar e referenciar técnicas de intervenção que podem mitigar problemas já consolidados em regiões, não apenas de forma meramente estética e superficial, com conceitos que trazem embasamento de implementação e que, com apoios financeiros, podem surtir efeitos que melhorem não só a drenagem superficial da região estudada, mas também no desenvolvimento sustentável da população usual deste espaço da cidade.

Para aprofundar os conceitos no desenvolvimento do trabalho, foram consultados para o referencial teórico documentos de Tundisi (2017), Silveira (2009), Balbinot (2007), Porto (2017), Silva et al. (2017), Pinheiro et al. (2009), Tucci (2007). Ministério do Meio Ambiente (2017), UFRJ (2017), Alencar et al. (2006), Tucci (2012), Enamoto (2004), nos quais foram descritos e ilustrados conceitos relativos às causas das inundações em áreas urbanas para o embasamento do conhecimento sobre o assunto de estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil enfrenta grandes problemas para combater os problemas relativos à drenagem, destacando as inundações e alagamentos que se concentram nas áreas urbanas e que causam prejuízos.

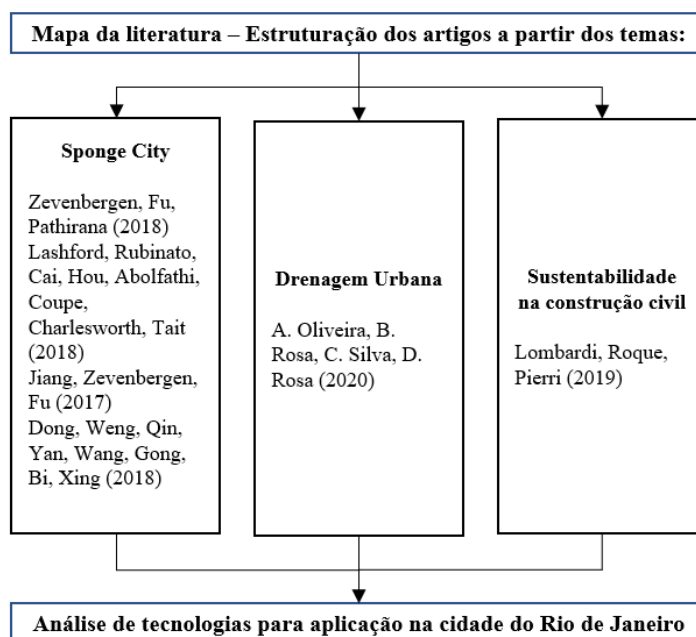
O termo drenagem se emprega nos sistemas de escoamento para destinos (como rios, oceano e lagoas). Já o excesso de água pluvial acumulada que não é absorvido no solo, ou que não se junta aos corpos hídricos na malha urbana, passa a ser um problema para as áreas urbanas, uma vez que acumuladas causam transtornos e riscos.

A abordagem teórica do trabalho contextualiza o conceito de sponge cities, no qual se estabelecem relações entre tecnologias e planejamento urbano juntamente às questões urbanas.

Na figura 4 é apresentado o mapa da revisão sistemática da literatura, com uma estruturação dos principais artigos balizados pelos temas abordados e com até cinco anos de publicações: “Sponge City”, “Sistema de drenagem urbana” e “Sustentabilidade na construção civil”. O mapa da literatura norteia a base estrutural científica que o trabalho relaciona, analisa a aplicabilidade do tema e a proposta de implantação no estudo de caso.

A revisão bibliográfica deste trabalho procura uma forma de analisar os artigos já publicados sobre o tema estudado e pesquisado: as tecnologias aplicadas nas cidades esponjas para que possam nortear os estudos para alcançar possibilidades de minimizar e controlar os impactos das enchentes e inundações na área central do Rio de Janeiro.

Figura 4 – Mapa estrutural da literatura do trabalho



Fonte: autoria própria.

Dentre os artigos lidos na revisão bibliográfica, alguns se destacaram para nortear a pesquisa. A partir da fundamentação e análise nas fontes de informação, organizaram-se os dados coletados nos artigos que foram selecionados e organizados na tabela 1.

Tabela 1 – Principais artigos selecionados para a revisão bibliográfica

Título do artigo	Autor (es)	Ano da Publicação	Tema Relacionado
“Transitioning to Sponge Cities: Challenges and Opportunities to Address Urban Water Problems in China”	Chris Zevenbergen, Dafang Fu, Assela Pathirana	2018	<i>Sponge city</i>
“SuDS & Sponge Cities: A Comparative Analysis of the Implementation of Pluvial Flood Management in the UK and China:”	Craig Lashford, Matteo Rubinato, Yanpeng Cai, Jingming Hou, Soroush Abolfathi, Stephen Coupe, Susanne Charlesworth and Simon Tait	2018	<i>Sponge city</i>
Can “Sponge Cities” Mitigate China’s Increased Occurrences of Urban Flooding?”	Yong Jiang, Chris Zevenbergen, Dafang Fu	2017	<i>Sponge city</i>
“The Impact of the Construction of Sponge Cities on the Surface Runoff in Watersheds, China”	Guoqiang Dong, Baisha Weng, Tianling Qin, Denghua Yan, Hao Wang, Boya Gong, Wuxia Bi, Ziqiang Xing	2018	<i>Sponge city</i>
“Effective Evaluation of Infiltration and Storage Measures in Sponge City Construction: A Case Study of Fenghuang City”	Jinjun Zhou, Jiahong Liu, Weiwei Shao, Yingdong Yu, Kun Zhang, Ying Wang and Chao Mei	2018	<i>Sponge city</i>
“Sponge City—An emerging concept in sustainable water resource management: A scientometric analysis”	Ali Hamidi, Bahman Ramavandi, George A. Sorial	2021	<i>Sponge city</i>
“Urban pluvial flooding and storm water management: A contemporary review of China’s challenges and “sponge cities” strategy”	Yong Jiang, Chris Zevenbergen, Yongchi Ma	2017	<i>Sponge city</i>
“O estudo dos espaços livres como forma de mitigação das questões de drenagem do distrito de Jundiapéba”	A. Marina H. de Oliveira, B. João Luiz G. G. Rosa, C. Victor Matheus C. Silva, D. Consuelo G.G. Rosa	2020	Drenagem urbana
“Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil”	Rodrigo Alexander Lombardi Roque, Alexandre Coan Pierrri	2019	Sustentabilidade na construção civil

Fonte: autoria própria.

Antecedendo a aplicação das técnicas, houve a necessidade de conceituar um panorama sobre enchentes e inundações e os tipos de danos que podem causar. Posteriormente, foram estudadas as principais causas das inundações em áreas urbanas, indicando quais os fatores relacionados à ocorrência desses eventos.

## 2.1 Principais causas das inundações urbanas

Os desastres naturais mais frequentes que ocorrem nas áreas urbanas são as enchentes e inundações, e os registros das ocorrências aumentaram significativamente com o passar dos anos, devido às ações humanas e naturais que têm influência muito forte nesses eventos.

Os aspectos relacionados à natureza são as variáveis hidrológicas relativas a cada área, sendo o reflexo do relevo da área, precipitações hídricas deste local e do escoamento das águas. Em algum deles, porém, com as variações bruscas que ocorrem no planeta, há episódios de variações hidrológicas atípicas dos dados estatísticos já mapeados, dificultando a previsão destes eventos. Alguns dos fatores naturais que podem influenciar os episódios de inundações urbanas são: índice pluviométrico, assoreamento dos rios e variação das temperaturas e clima.

As ações humanas são relativas às interferências da área urbana ao longo da sua ocupação e povoamento para habitação. Ao longo dos relatos históricos, a implantação das cidades trazia impactos das áreas muito expressivas, como desvio de rios, aterramento de áreas de pântanos e mangues, desmonte de áreas montanhosas e impermeabilização das superfícies, trazendo transtornos à população.

### 2.1.1 Ações naturais

Estes agentes são todos os fatores causadores de enchentes e inundações que ocorrem pelos fenômenos da natureza, não tendo nenhuma interferência do homem. São fatores que apresentam relevância na estrutura morfológica das bacias hidrológicas e rios da região, assim como as áreas pantanosas e lagoas. Em relação aos rios, o escoamento principal se dá pelo leito menor de forma mais comum. Pelo leito maior ocorre escoamento quando ocorrem eventos de maior volume de chuvas torrenciais em curto espaço de tempo, podendo ocorrer cheias eventuais deste leito maior.

Dentre os fenômenos naturais existentes, iremos nos aprofundar nos conceitos de alguns deles, para melhor entender como ocorrem na natureza e sua relação direta com os eventos das

enchentes e inundações. Dentre estes fenômenos naturais, iremos conceituar o ciclo hidrológico, as bacias hidrográficas, infiltração dos solos e escoamento superficial.

#### 2.1.1.1 Ciclo hidrológico

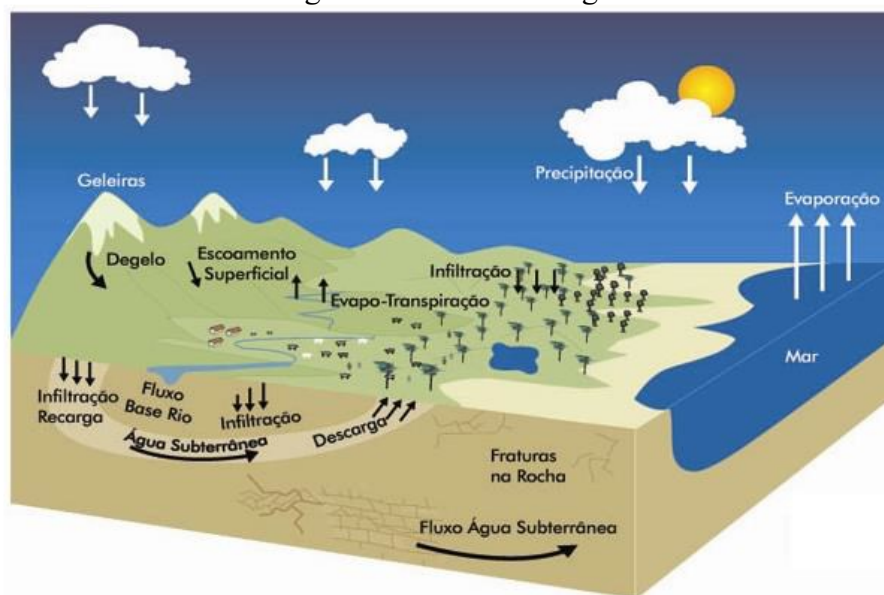
Segundo Tundisi (2017), a água é um recurso natural fundamental para a vida humana e participa de todas as dinâmicas dos ciclos ecológicos presentes no planeta. É um recurso envolto em várias aplicações como o uso industrial e doméstico, navegação, irrigação, produção de energia, lazer e recreação.

O ciclo hidrológico é o fenômeno da circulação entre a superfície terrestre e a atmosférica, que ocorre juntamente com a ação de outros fenômenos para o resultado. A energia térmica produzida pelo sol faz o fornecimento de energia para as partículas da água; os ventos permitem o deslocamento do vapor d'água entre áreas distintas, e pela gravidade ocorrem as precipitações das águas da atmosfera para o solo, a infiltração da água no solo e a drenagem superficial do solo.

A energia solar é um componente importante no funcionamento do ciclo hidrológico, pois o papel do sol para os fenômenos da evaporação da água e da evapotranspiração das plantas é fundamental, e é por causa desses fenômenos que os vapores de água são emitidos na atmosfera para criar as condições ideais para os fenômenos meteorológicos. Segundo Tundisi (2017), o vapor d'água adensado na atmosfera cria as nuvens que, sob a ação dos ventos e das movimentações de massas de ar, dão origem às precipitações das águas em forma de chuvas para a superfície terrestre.

Na figura 5 estão exemplificadas as fases do ciclo hidrológico, que serão aprofundados posteriormente, descrevendo as ações naturais de infiltração e escoamento superficial.

Figura 5 - Ciclo hidrológico



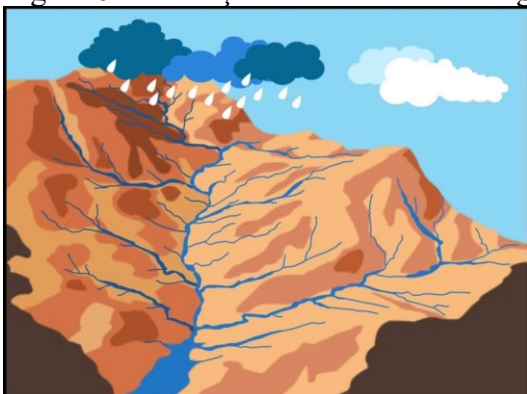
Fonte: adaptado de Ministério do Meio Ambiente, 2017, apud ANDRADE, 2019.

Tundisi (2017) descreve que, durante a precipitação, ocorrem alguns fenômenos sequenciais como a evapotranspiração pelas plantas e a evaporação quando há o choque da água com o solo durante o percurso superficial, infiltração e escoamento superficial, sendo estes dois últimos fenômenos identificados durante o estudo dos problemas verificados na área deste trabalho de pesquisa.

#### 2.1.1.2 Bacias hidrográficas

A definição de bacia hidrográfica conforme Silveira (2009) é de uma área de terreno com limitantes topográficos, com captação natural de águas de precipitações, em que a vazão efluente é drenada por um curso d'água e converge por um único ponto de escoamento conforme ilustrado na figura 6. As bacias hidrográficas são consideradas um meio sistêmico no qual há uma entrada das águas de precipitações que é dispersa pela superfície e tem a saída pelo escoamento superficial no exutório. Assim, o conjunto destas formações são definidas sub-bacias, que possuem na sua formação divisores de água, talvegues formadores e os exutórios. A definição de sub-bacias pela Agência Nacional de Águas é de áreas de drenagem dos principais afluentes do curso d'água definidor da bacia hidrográfica principal.

Figura 6 - Ilustração de uma bacia hidrográfica



Fonte: TOTH, 2011, apud ANDRADE, 2019.

De acordo com Toth (2011), os rios e afluentes que compõem uma determinada bacia fazem parte do sistema de escoamento superficial conduzido por essa bacia; assim, quando os eventos de enchentes e inundações ocorrem, a região que faz parte desta bacia é afetada integralmente. Há uma relação das bacias com as ocorrências de enchentes e inundações pela declividade, pois há variações de vazão de escoamento superficial que pode ser alterada de acordo com a variação desta declividade. Os divisores de água também podem variar a vazão caso haja modificação de seus parâmetros, visto que são os balizadores do direcionamento do escoamento superficial de um lado para o outro. Outro parâmetro importante é o índice pluviométrico, que é responsável pela intensidade das precipitações e intervalo de tempo que influencia diretamente nos eventos de enchentes e inundações.

#### 2.1.1.3 Infiltração dos solos

A infiltração do solo é o fenômeno natural que faz a absorção da água pelo solo e é realizada por um processo em que a força da gravidade impulsiona a água que está na superfície para o subsolo, percolando as áreas porosas do solo. A água absorvida pelo solo tem como função servir como fonte de reabastecimento de rios e lagos; outra parte é absorvida pelas raízes das vegetações e é fonte da recarga dos lençóis de águas subterrâneas.

A saturação da taxa de infiltração do solo é gradativa e tem seu ápice após um intervalo de tempo que pode variar de acordo com o volume de águas da precipitação. Entretanto, há outra forma de saturação da taxa de infiltração. Esta ocorre quando há interrupção de escoamento da água na superfície do solo, e acontece a redistribuição de umidade das camadas inferiores do subsolo, ficando estas saturadas.



Segundo Tucci (2007), quando a infiltração de uma precipitação decresce à taxa residual, ocorre a saturação da camada superficial, e a percolação descendente de água é inferior ao aporte de água na superfície. Neste caso, dá-se início ao processo de escoamento superficial.

Existem alguns fatores condicionantes descritos por Tucci (2007) para que o processo de infiltração se torne mais acelerado ou demorado, e os de maior relevância são: tipo de solo, existência e tipo de cobertura vegetal, grau de compactação do solo e impermeabilização. Esses fatores são fundamentais para perceber que, se a taxa de infiltração for baixa, há o aumento do escoamento superficial, e esse fator é problemático para a drenagem pluvial de áreas rurais e urbanas.

#### 2.1.1.4 Escoamento Superficial

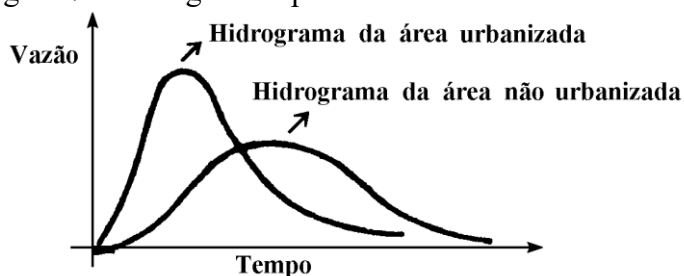
A definição de escoamento superficial por Silveira (2009) é quando ocorre a saturação da camada superior do solo, a infiltração se reduz à taxa residual e a infiltração é menor que a contribuição de água pela precipitação. Todos esses fatores juntos formam pequenos filetes de água que se deslocam pela força da gravidade por trajetos formados pelo relevo e topografia do terreno. Esse “caminho das águas” segue das cotas de maior para as de menor altimetria, criando o processo de escoamento superficial. Este fator, aliado a características regionais, são os principais responsáveis pelas inundações e enchentes nas áreas.

Mesmo falando de ações naturais para as ocorrências de inundações e enchentes, podemos pontuar que a implantação das áreas urbanas criou problemas que, associados às ações naturais, potencializaram os casos de inundações em áreas urbanas. Nesta implantação urbana, muitas vezes ocorre a requalificação dos espaços e são feitas muitas intervenções que causam impermeabilização, retirada de cobertura vegetal. Com a implantação do desenho urbano, também criam áreas com grande compactação dos solos. Esses fatores, juntamente com as precipitações, criam o ambiente propício para o escoamento lento e redução da infiltração da água nos solos.

A partir da intervenção urbana, vários outros fatores relacionados à implantação da cidade passam a ser causas das inundações urbanas. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2017), as causas relativas a projetos de drenagem inadequados ou obsoletos, uso e ocupação do solo, crescimento desordenado de áreas e impermeabilização do solo são fatores causadores

de inundações e podem ser potencializados pelas ações naturais, como é o caso das precipitações de grande intensidade. A figura 7 mostra nos hidrogramas a diferença de vazão da água em áreas naturais e outra área urbanizada. Temos uma vazão de pico muito mais definida na área urbanizada do que na não urbanizada, indicando que as intervenções da implantação urbana têm uma grande relevância para a redução da infiltração da água nos solos do que em áreas não urbanizadas.

Figura 7 - Hidrograma típico de uma bacia natural e resultante da urbanização



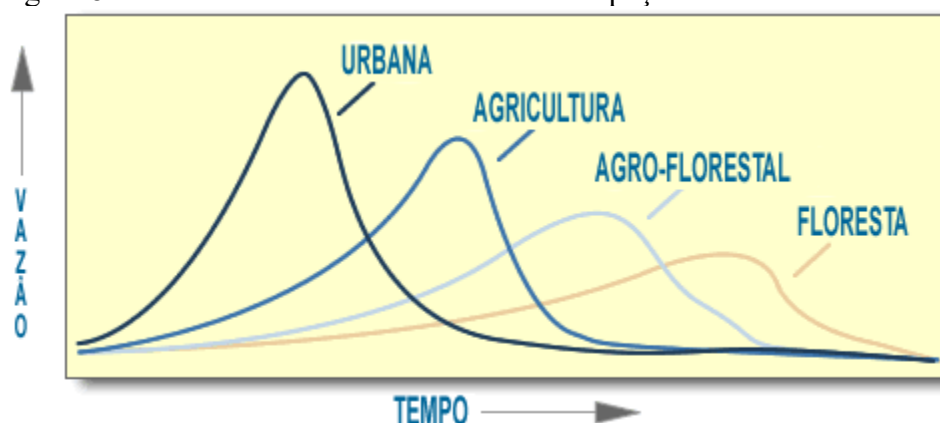
Fonte: TUCCI, 2001.

As águas decorrentes das precipitações seguem três caminhos ao atingir o solo: ação da infiltração no solo, ação da evaporação para a atmosfera e o caminho do escoamento superficial. O solo sofrendo com a impermeabilização cria um local propício para as inundações, pois a infiltração da água no solo é reduzida e gera aumento do escoamento superficial pelo excesso de águas na superfície dos solos. Além da impermeabilização, a urbanização desordenada traz outros problemas, pois não há planejamento de locais para o descarte adequado do lixo urbano, especialmente nas regiões de ocupações irregulares de baixa renda, e estes passam a ser despejados em terrenos baldios, valas e ruas. Esse acúmulo de lixo é carregado nas enchentes e levado para os sistemas de micro e macrodrenagem, causando obstruções e entupimento das bocas de lobo nas ruas, e o assoreamento e redução da seção natural dos rios urbanos, o que provoca a diminuição da capacidade de escoamento destes cursos d'água.

As inundações são a associação do aumento do escoamento natural, que é consequência da impermeabilização dos solos, causada pela redução da capacidade de escoamento hídrico dos leitos dos rios, e também influenciada pelo carregamento de lixos disperso e pela erosão do solo da bacia urbana, bem como pelo lançamento inadequado de esgotos brutos nas galerias de águas pluviais ou diretamente nos rios. Estes sofrem descartes inadequados e criam uma demanda excedente de águas de escoamento superficial.

A figura 8 abaixo mostra as diferentes vazões de pico para diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

Figura 8 - Vazões máximas conforme uso e ocupação do solo



Fonte: adaptado do mapa mental dos problemas das enchentes urbanas - UFRJ, 2017.

O gráfico com maior pico de vazão é relativo às áreas urbanas, e os demais gráficos, que representam qualquer outra área utilizada pelo homem, como áreas agrícolas e agrofloretais ou áreas naturais como florestas, têm vazões menores, comparativamente. Isso reforça que a implantação urbana que vem sendo executada gera impermeabilização dos solos e assoreamento dos sistemas de drenagem urbana, tornando-os obsoletos e ineficazes. Como essa implantação tem uma velocidade menor do que a densidade demográfica, há um crescimento desordenado, com uso e ocupação dos espaços de forma indiscriminada, ocorrendo problemas com o descarte inadequado de lixo e despejo sem controle dos esgotos, bem como possíveis processos de erosão do solo em áreas de ocupações irregulares de encostas, gerando o assoreamento do sistema de micro e macrodrenagem.

As inundações geram consequências ambientais, socioeconômicas e sanitárias. Resultam em estragos de assoreamento de rios e canais, entupimento da rede de drenagem, possível proliferação de vetores animados, contaminação dos mananciais por esgoto, como exemplos dos fatores sanitários e ambientais; além da destruição de imóveis, mobiliário urbano e carros, problemas no trânsito urbano, interrupção de fornecimento de serviços de energia, água e gás, como exemplos dos fatores socioeconômicos.

Conforme recomendação do Ministério do Meio Ambiente (2017), é necessário manter e preservar o ciclo hidrológico natural, minimizar o escoamento superficial gerado pelas alterações antrópicas do solo pela implantação urbana e criar mecanismos para que a infiltração no solo seja potencializada. Para essa atuação, é necessário o planejamento sustentável do uso e ocupação que possa contemplar o controle da erosão, permeabilidade do solo, infiltração e reutilização das águas pluviais, como por exemplo a pavimentação permeável e a captação das águas de chuva de telhados.

### 2.1.2- Ações Humanas

Os agentes humanos descritos aqui são os fatores causadores do aumento de enchentes e inundações que ocorrem pela intervenção das ações antrópicas a partir da sua interferência na área natural no processo de urbanização e implantação da cidade. Isso causa alteração do cenário natural da área, e com isso alterando e impactando os fenômenos naturais já descritos acima, como o ciclo hidrológico, o regime dos rios urbanos, o aumento da impermeabilização dos solos, maior magnitude do escoamento superficial, agravando as inundações urbanas.

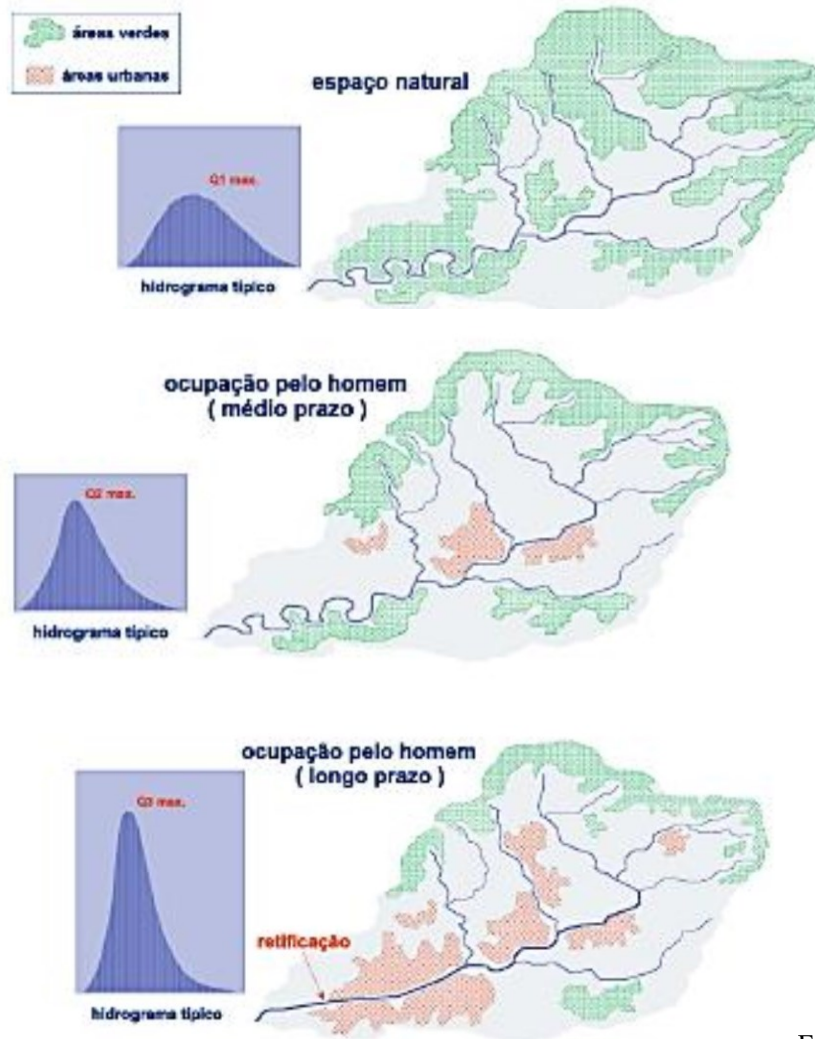
Ao analisar os relatos históricos, as ações humanas ao longo da implantação das cidades pautadas em conceitos de engenharia daquela época criaram fatores impactantes, como aterramento de áreas de manguezais e pantanosas, desvio de rios, impermeabilização das superfícies e alteração de relevo.

Segundo Poli (2013), o aumento populacional, em conjunto com o uso e ocupação do solo de forma indevida, causam uma maior impermeabilização do solo devido ao grande volume de terras utilizados para a terraplanagem, que acarretam a diminuição da capacidade de infiltração de água no solo, criando uma sobrecarga na capacidade de vazão do sistema de drenagem e conseqüentemente seu assoreamento.

A ocupação das áreas da cidade pela demanda demográfica pode ser vista na figura 9, em que cada uma mostra os padrões que influenciam as formações dos hidrogramas em longo prazo, pois conforme ocorre a ocupação urbana, as características das bacias vão sendo alteradas com aterros de áreas de pântanos, retificação de rios e impermeabilização de áreas de mata e solos naturais.

A retenção natural representa um importante papel no resultado da relação chuva versus volume superficial. A capacidade de retenção superficial é modificada, criando áreas impermeáveis no lugar de matas, aterramento de áreas alagadiças e retificação de rios. A repercussão dessas ações é refletida no aumento do pico e do volume dos hidrogramas de enchentes, além da tendência do aumento do risco de extravasamento das calhas dos rios, conforme mostra a figura 9.

Figura 9 – Influência da urbanização no hidrograma de enchente



Fonte: SERLA, 2001.

Numa visão geral, Canholi (2004) afirma que a maioria das bacias que são afetadas por enchentes e inundações teve a ocupação de seu entorno normalmente da jusante para a montante, sendo ocupadas pela população as áreas mais baixas, que são mais vulneráveis pelas cheias, e posteriormente as áreas mais altas, sendo mais seguras, por não sofrerem pelas cheias das águas, o que reforça que nos locais em que os eventos de enchentes não são frequentes, as áreas de várzeas foram ocupadas antes das outras regiões mais altas.

### 2.1.2.1 - Inundações Urbanas

Ao se falar de inundações urbanas, é preciso cadenciar que, na implantação das cidades, ao passar do tempo houve o crescimento da densidade populacional, com o aumento dos descartes de resíduos sólidos e ampliação do esgotamento sanitário, sem o redimensionamento de redes de esgotamento. Com isso, o descarte causou a poluição em rios e lençóis freáticos, entre outros fatores relativos à poluição ambiental. Essa implantação não planejada teve como consequência o crescimento das áreas impermeáveis nos espaços urbanos de uso comum, como nos lotes particulares na implantação dos imóveis, desta forma, com frequência o sistema de drenagem urbano é alterado com o aumento da velocidade de escoamento superficial e a vazão de pico.

Segundo Tucci (1995), os impactos gerados pela urbanização podem ser classificados da seguinte forma:

- Impactos ambientais: fatores gerados pelo aumento da produção de sedimentos, degradação da qualidade da água e contaminação dos aquíferos;
- Impactos no balanço hídrico: fatores gerados pelo aumento do volume do escoamento superficial e redução da vazão de recarga natural dos aquíferos e da evapotranspiração;
- Impacto no hidrograma de enchentes: fatores gerados pela diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial.

Segundo Poli (2013), as áreas urbanizadas são, dentre as que sofrem alguma intervenção dos homens, as que mais explicitam suas alterações, pois, além dos problemas de drenagem e impermeabilização já descritos, as populações sofrem com as alterações climáticas causadas pelo desequilíbrio ambiental, como as alterações de temperaturas nos centros urbanos e aumento das precipitações.

No processo de urbanização, há mudança no microclima das áreas pelos processos de desmatamento, construção de edificações, instalação de indústrias, com liberação de vapores na atmosfera. Esses fatores acarretam um aumento de temperatura no centro urbano onde essas alterações são concentradas, e essa diferença de temperatura é sentida quando se observam áreas mais periféricas e que são afastadas do centro e áreas rurais tendo diferenças que chegam a atingir 10° C de diferença entre a temperatura destas regiões. Além desses fatores, Poli (2013) descreve que o consumo de combustíveis fósseis por automóveis e indústrias faz da cidade uma fonte de calor que é denominado de “ilha de calor”. Nesse fenômeno, a elevação da temperatura

nos centros urbanos intensifica a evaporação, aumentando a sensação de calor e resultando no aumento da quantidade de chuvas na região.

Na visão de Tucci (1995), as alterações climáticas e o aumento de chuvas não são as únicas causas das enchentes; o aumento da velocidade de escoamento superficial pela impermeabilização do solo também é um fator contribuinte. Além disso, os rios passam a receber grandes quantidades de água residual e esgoto, aumentando a quantidade de água em seus leitos.

O caminho das águas tem a velocidade reduzida quando há cobertura vegetal, como troncos e folhas das vegetações, e assim o escoamento superficial é minimizado, gerando maior percolação e retardando até a chegada da água nos cursos d'água. Sem essas “barreiras naturais”, o deslocamento das águas pelas áreas urbanizadas é feito com maior rapidez até os pontos de captação, que podem ser os próprios rios, ou os sistemas de micro drenagem urbana, que sofrem com assoreamento, causando entupimento do sistema e dificultando a drenagem adequada do volume de águas que deveria ser escoado pelo sistema.

Outro problema que ocorre na rede de drenagem é o entupimento dos bueiros pelo lixo disperso e sedimentos de erosão do solo carregado nas ruas. Nos dias com ocorrência de chuvas, há impossibilidade de escoamento das águas pelos bueiros, causando concentração das águas nas ruas muito rapidamente, ocorrendo os alagamentos e ocasionando transtornos no trânsito, no comércio e também atingindo residências. Além disso, o assoreamento dos rios também gera inundações mais severas, com riscos sanitários e de saúde pública.

Poli (2013) afirma que as enchentes urbanas são verdadeiras ameaças para as populações, principalmente nas áreas periféricas, que têm menos estrutura urbana, conseqüentemente com deficiências de coleta e tratamento de esgoto.

Com esse panorama, as enchentes trazem conseqüências sanitárias muito preocupantes, pois o contato da população com a água contaminada por esgoto contribui para a proliferação de diversas doenças, entre elas a leptospirose.

As causas das inundações na cidade do Rio de Janeiro podem ser descritas como um somatório de fatores que, ao serem associados, geram maiores riscos urbanos. Esses fatores são as características climáticas, geográficas e geológicas, além do planejamento e desenvolvimento inadequado da cidade.

## 2.2 Drenagem Urbana

Após observar e entender os fatores que levam ao problema das inundações urbanas, iniciamos um estudo para conhecer o funcionamento da drenagem pluvial na cidade do Rio de Janeiro, com foco na região da Cruz Vermelha.

Silva (1968), ao conceituar drenagem urbana, define que é um sistema de esgotamento implantado na cidade que tem como função receptor as águas de chuva e destinar seu encaminhamento ao escoadouro próximo (mar, lago ou rio), para evitar que áreas urbanas sofram inundações ou se transformem em leitos de torrentes prejudiciais à população.

Ao se desenhar o histórico de ocupação da área central da cidade do Rio de Janeiro e focando na região de estudo, pode-se recorrer ao trabalho de Botelho (1998), que exemplifica a história do crescimento de uma cidade junto a uma grande área livre que era coberta pela vegetação natural e cursos d'água. Esse desenho natural era resultado do equilíbrio da constituição de topografia e geologia com a ação dos fenômenos naturais como a erosão. Com a necessidade do crescimento da ocupação do espaço, a área foi preparada para a urbanização e loteada para a construção de edificações, o que resultou em:

- remoção de parte considerável da vegetação natural (proteção da ação erosiva das águas pluviais);
- abertura do traçado urbano, com nivelamento de cotas por cortes e aterros;
- nivelamento de platô para loteamentos;
- edificação nos lotes;
- pavimentação das ruas e;
- início do povoamento pela população.

Nesta implantação urbana, houve uma grande impermeabilização da área que alterou as vazões de infiltração e aumentou o escoamento superficial. Sem uma drenagem capaz de fazer o escoamento adequado deste volume de águas, as questões relativas à drenagem passam a ganhar maior importância como fator relevante no planejamento da cidade.

Numa breve explanação sobre drenagem urbana, podemos esclarecer que o sistema de drenagem pluvial é constituído por duas partes: microdrenagem e macrodrenagem. A microdrenagem tem relação com as estruturas locais coletoras das águas pluviais, e a macrodrenagem tem relação com os canais e galerias que são localizadas nos fundos de vale, que são os grandes troncos coletores, de acordo com Chernicharo (1995).

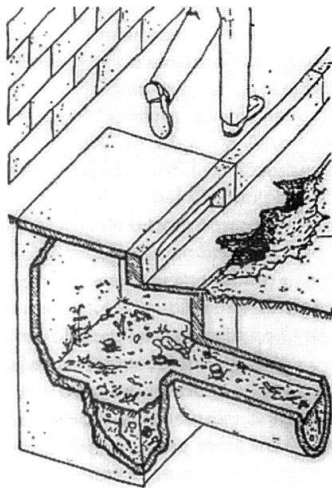


Na microdrenagem, é feito o escoamento das águas de chuvas que caem nas áreas urbanas pelas redes de drenagem públicas, que são responsáveis pelo escoamento das vias urbanas, evitando os empoeiramentos e possíveis inundações. Segundo Chernicharo (1995) este sistema é constituído pelos elementos: sarjeta, boca de lobo, tubos de ligação, poços de visita, caixas de passagem e galerias.

Esse sistema faz a captação das águas provenientes das chuvas que escoam dos telhados, vegetações, calçadas e pelos terrenos, chegando nas ruas. Essas águas escoam para as sarjetas e são captadas pelas bocas de lobo, sendo levadas para abaixo do nível da rua e seguem pelo subsolo pelos tubos de ligação. Destes, são direcionadas para os poços de visita ou para as caixas de passagem, já nas galerias de águas pluviais. As sarjetas são faixas situadas junto ao meio-fio, que têm a função de fazer o encaminhamento das águas pluviais para o direcionamento do sistema de captação. nas bocas de lobo, que escoam as águas ao poço de visita ou para as caixas de passagem, e destas são dirigidas para as galerias. Este trajeto é feito através dos tubos de ligação, como define Chernicharo (1995) conforme planta indicada na figura 12.

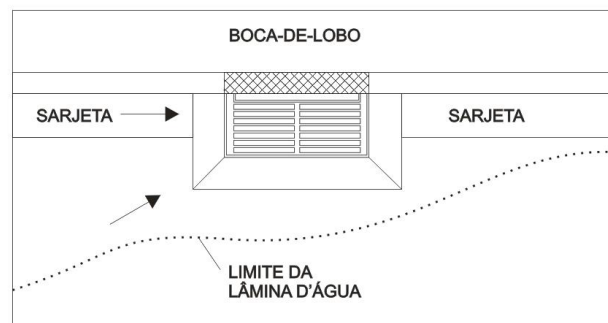
Por mais que o conjunto que engloba sarjetas, bocas de lobo e galerias esteja dimensionado corretamente, poderá não funcionar da forma adequada por insuficiência de capacidade dos tubos de ligação. As caixas de passagem permitem a interligação das bocas de lobo às canalizações pelos tubos de ligação. As figuras 10 e 11 ilustram o sistema de microdrenagem.

Figura 10 – Corte esquemático mostrando a sarjeta, boca de lobo, caixa de passagem e tubo de ligação.



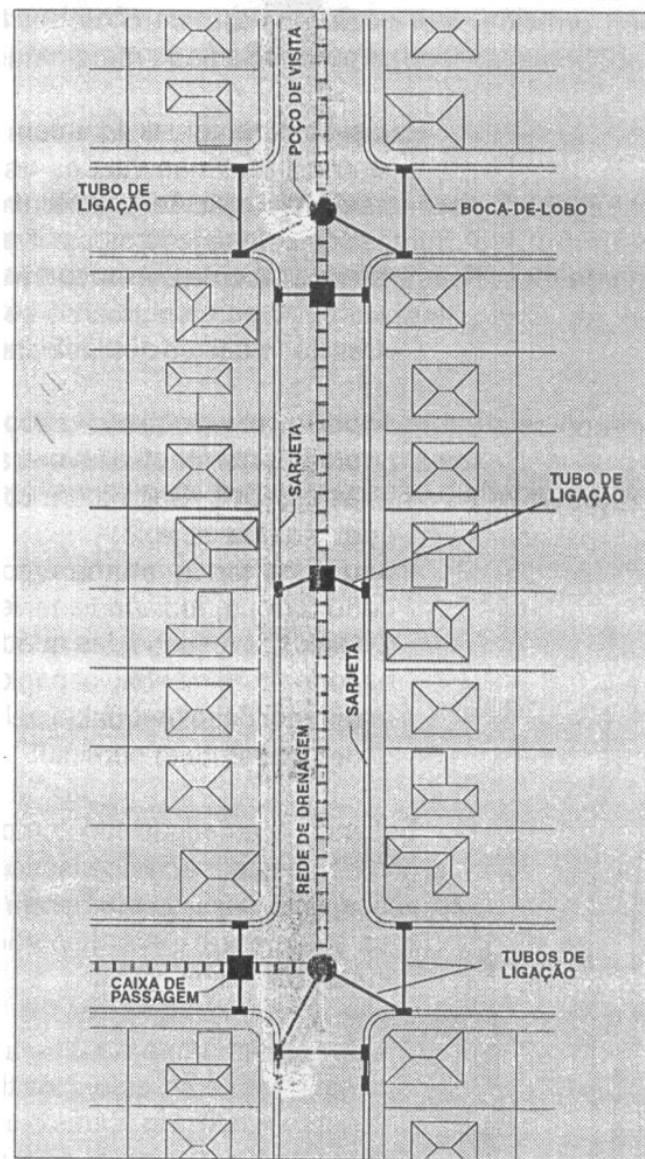
Fonte: MASCARÓ, 2005.

Figura 11 – As bocas de lobo têm o objetivo de evitar que as águas pluviais que escoam superficialmente pelas sarjetas ultrapassem seus limites de alagamento das vias.



Fonte: CHERNICHARO, 1995.

Figura 12 – Planta típica de um Sistema de Micro Drenagem Urbana.



Fonte: CHERNICHARO, 1995.

Segundo Chernicharo (1995), a macrodrenagem promove o escoamento final das águas pluviais provenientes do sistema de microdrenagem urbana.

A implantação da macrodrenagem, que representa o escoamento hídrico fluvial, deve permitir as condições adequadas de escoamento das águas recebidas das galerias pluviais e de toda a bacia hidrográfica drenante a montante. Esse sistema é constituído por canais que podem ser naturais ou artificiais, galerias, estruturas auxiliares e planejamento de obras de proteção para erosão, também podendo ser incluídos como outros componentes as vias de margens e faixas de servidão.

Mesmo sendo sistemas diferentes, há uma estreita relação entre os dois sistemas, havendo necessidade de o planejamento ser feito conjuntamente no estudo de uma determinada área. As áreas de fundo de vale podem sofrer intervenções conforme três tipos de concepções. A primeira concepção tem como conceito o canal aberto, que cria avenidas sanitárias ao longo das canalizações abertas executadas principalmente em concreto, sem possíveis estudos de sistemas de drenagem alternativos que sejam sustentáveis. Na segunda concepção, no conceito do canal fechado, as obras de canalização de cursos d'água são executadas em estruturas de concreto. Os arruamentos são executados sobre canais, transformando e modificando por completo o ambiente natural.

O conceito utilizado na terceira concepção é de criar uma estrutura a partir de um leito preservado. São feitas intervenções menores nos cursos d'água, evitando o emprego de soluções estruturais que alterem demais seu leito natural. A criação de áreas públicas de lazer, como parques lineares, ciclovias, pistas para pedestre, áreas de preservação e áreas verdes, são possíveis neste tipo de concepção, em áreas cuja ocupação urbana não é intensa. Já no caso de áreas com densidade de ocupação elevada, há necessidade de estudos de viabilidade técnicos e econômicos para conduzir soluções de intervenção que, além de não agredir o ambiente e a população residente, não sejam opções de total enclausuramento dos dispositivos de drenagem existentes.

Para o dimensionamento do sistema de macrodrenagem, alguns elementos são fundamentais, como o estudo hidrológico, que utiliza parâmetros como intensidade, frequência e duração das chuvas para determinar o volume das chuvas. Outro elemento importante para o dimensionamento é a bacia de drenagem, que é a área receptora que alimenta o sistema de escoamento. As características geológicas e geomorfológicas são elementos importantes na bacia de drenagem, pois possibilitam a determinação da parcela de chuvas que escoam na superfície do solo, as quais são captadas e conduzidas ao destino pelas canalizações pluviais.

Existem outros tipos de variáveis que influenciam no comportamento das chuvas e da bacia de drenagem, como a cobertura vegetal e o tipo de solo. A importância da cobertura vegetal passa a ser superior ao tipo de solo, pois, quando há cobertura mais densa, como matas ou gramados, a infiltração passa a ser mais efetiva e protege o solo contra erosões. Isso confirma a importância da inter-relação dos dados pluviométricos com a bacia de drenagem e as estruturas hidráulicas de esgotamento das águas pluviais.

Desta forma, procurou-se compreender como o sistema de drenagem é pensado e o que é feito para resolver as questões urbanísticas da cidade. Na cidade do Rio de Janeiro, focando na área de estudo, foram feitos planejamentos e execução de sistema de drenagem da forma

clássica, com o sistema de microdrenagem com todo seu sistema constituinte, e macrodrenagem. Foi utilizado o sistema de canalização dos canais, modificando por completo o ambiente natural.

### 2.2.1 Planejamento da cidade do Rio de Janeiro e implementação de estrutura de drenagem

As cidades brasileiras tiveram um crescimento desordenado ao longo do século XX, e no Rio de Janeiro não foi diferente. A cidade sofreu um movimento acelerado de densidade demográfica, e o planejamento urbano não acompanhou. Com isso, a implantação ocorreu sem a adequada estrutura urbana, criando problemas de saneamento. Essa deficiência do saneamento levou ao aparecimento de diversas doenças relacionadas ao problema na cidade. Com isso, os planejamentos urbanos passaram a ser uma prioridade para a implantação do saneamento mínimo e com isso combater as doenças que assolavam a cidade.

Este planejamento consistiu em recomendações feitas por médicos sanitaristas como uma solução para combater as doenças que assolavam a população das cidades. O planejamento dos sistemas de drenagem eram pontos importantes dentro do conjunto das obras de saneamento, uma vez que as enchentes eram comuns neste período, e as águas misturadas com o esgoto lançado diretamente no solo ficavam estagnadas, sem escoamento adequado, proliferando vetores causadores de doenças.

O estudo sobre as questões sanitárias teve início nas cidades europeias no fim do século XVIII, e estes estudiosos concluíram que as condições insalubres da cidade eram os fatores de causas das doenças e das altas taxas de mortalidade urbana. O avanço das ciências médicas trouxe profissionais que se tornavam observadores do social e do meio urbano, tendo novas visões da cidade pelos aspectos ligados à saúde.

A conclusão destes estudos também levou a crer que o ambiente produzia miasmas, que eram todas as emanações nocivas que corrompiam o ar e atacavam o corpo humano; assim, eram os responsáveis pelo surgimento das doenças. Outra recomendação que os sanitaristas defendiam neste período era a eliminação das águas paradas e o escoamento adequado das águas de chuva, por meio de sistemas de canalizações.

Os conceitos europeus chegam ao Rio de Janeiro e, para o combate aos males, foi proposta a drenagem dos terrenos de charcos pela Câmara Municipal, e as lagoas foram as primeiras áreas a sofrerem as intervenções.

Em 1643, a Lagoa de Santo Antônio (atual Largo da Carioca) foi a primeira a ser aterrada. Ela tinha comunicação com o mar por meio de um canal, que se dirigia para a Prainha (atual Praça Mauá), facilitando o escoamento das águas das enchentes, que já eram frequentes na cidade. A lagoa foi drenada, com obras de alargamento e aprofundamento do valado. Em 1646, outra intervenção foi feita, pois se constatou que a primeira obra não tinha sido suficiente, sendo aberta outra vala em direção à Praia do Carmo (Atual Praça XV), e neste local foi aberta ainda a Rua do Cano (atual Rua Sete de Setembro).

Além da questão sanitária, o aterramento das lagoas tinha como objetivo a expansão para novas áreas serem ocupadas e conter as inundações, que já ocorriam neste período, pois a população ainda se concentrava na área central, pela segurança e falta de transportes. A partir do século XIX, com a chegada da família real na cidade, houve necessidades maiores de planejamento para atender a demanda populacional e criar estruturas que permitissem a execução de atividades de âmbito político, econômico e ideológico.

Então, em 1779, foi planejado o desmonte do Morro das Mangueiras, um prolongamento do Maciço da Carioca, que era localizado onde hoje está a Rua Visconde de Maranguape, na Lapa, para utilização no aterro da Lagoa do Boqueirão para a construção do Passeio Público, que é conhecido por esse nome até os dias atuais. O projeto de um jardim público com áreas arborizadas provocou a ligação, e a abertura das ruas do Passeio e das Belas Noites (atual das Marrecas) ficou a cargo de Mestre Valentim da Fonseca e Silva, que, além de pensar no traçado e projeto deste jardim, ainda fez todas as esculturas que nele se encontravam.

Embora o desmonte tivesse ocorrido, ainda havia próximos à área central a Lagoa da Sentinela e o pântano de São Diogo. A Lagoa da Sentinela ficava no antigo caminho para Mataporcos (antiga denominação do bairro do Estácio) e Engenho Velho e era situada no encontro entre a Rua Matacavalos (Atual Rua do Riachuelo) e Rua do Conde (atual Frei Caneca), numa localização próxima ao bairro do Catumbi, que posteriormente foi aterrada e deu lugar ao Campo de Santana. O pântano de São Diogo ficava localizado onde hoje é área do bairro da Cidade Nova e foi aterrado a pedido do governo imperial para saneamento da área em 1835. Em seu lugar, foi projetado um estreito canal para receber águas das chuvas e dos riachos próximos e desaguar na Baía de Guanabara, que foi construída em 1857 e se denominou Canal do Mangue.

Segundo o Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP, 2002), apud Braga (2009), os conceitos sanitaristas permaneciam com a afirmação de que as áreas alagadas traziam as doenças para a cidade, e o processo de aterramento das lagoas da área central da cidade seguiu adiante.

As diversas lagoas e brejos que se localizavam entre os quatro principais morros que demarcavam o centro e o pântano de São Diogo foram aterradas. Além da Lagoa da Sentinela, que era localizada onde hoje está o Campo de Santana, outras áreas como a Lagoa da Pavuna (ou Lagoa da Lampadosa), localizada próximo à Praça Tiradentes, também foi aterrada. A Lagoa de Santo Antônio, que era rodeada pelo Morro do Castelo, e o de Santo Antônio, localizado hoje onde está o Largo da Carioca e se estendia numa área de mangue até a área do Teatro Municipal e era uma lagoa de desterro que se situava entre os morros do Santo Antônio e Santa Teresa, local da atual Rua dos Arcos na Lapa, também teve seu trecho todo aterrado. Com isso, foram alinhados para melhorar o acesso à zona sul da cidade.

Segundo Amador (1997), apud Braga (2009), alinhados com os Morros da Gamboa e da Saúde estava localizada a Ilha das Moças e dos Melões, que estavam posicionados na entrada do Estuário do São Diogo (ou saco do São Diogo), que era um braço de mar extenso e bem largo na embocadura e estava à direita do Morro da Gamboa e à esquerda da Ponta do Caju e Ilha dos Ferreiros. O estuário sofria estreitamento ao entrar em direção ao interior e atingia a área onde hoje está a Praça XV. Os principais rios contribuintes de acordo com Pimentel (2018) eram os rios Iguaçu (atual Rio Comprido), Maracanã, Trapicheiros, Joana e Catumbi, esses rios atravessavam um extenso manguezal, que era o Pântano de São Diogo, que abrangia a área do Campo de Santana e se alongava até a área da Praça da Bandeira e prosseguia como brejo até a Tijuca. Algumas das lagoas mais rasas, como a Sentinela, Pavuna ou Lampadosa e da Panela, tinham ligação com o estuário por meio de canais de maré e se ligavam ao estuário na sua origem.

As inundações eram problemas reais relacionados às águas, e os primeiros registros históricos de enchentes na cidade datam de setembro de 1711; depois são registrados diversos incidentes que nos assolam até os dias atuais. Então a água era um divisor de opiniões, pois de um lado a falta de água e de outro o excesso se tornavam um grande problema para se resolver na cidade, pois a falta da água para o consumo era um ponto delicado a ser resolvido, e o excesso, pelas chuvas torrenciais da época, também eram um grave problema sanitário.

Segundo Abreu (1997), por causa do incidente das chuvas de 1711, o Príncipe Regente ordenou um relatório sobre os desastres relativos a enchentes e suas complicações, que foi feito a partir deste evento para todas as tempestades que assolavam a cidade. O trabalho foi

apresentado pelo Tenente-General e Engenheiro dos Reais Exércitos João Manoel da Silva e relatava a D. João VI as razões do acontecido– “as águas do monte”. Este documento relatou que a topografia da cidade era composta por variações de inclinações nos terrenos, nos quais o relevo variava de encostas íngremes a terrenos planos no nível do mar, que facilitavam o escoamento rápido das águas pelas vertentes e se acumulavam com facilidade nas partes mais baixas. Também salientou que a “vala-mestra”, que era então o sistema de drenagem, localizado no eixo da atual Rua Uruguaiana, sempre estava coberta de dejetos e se encontrava no nível do mar, e por esse motivo não dava vazão às águas.

Abreu(1997) afirma que as chuvas não eram consideradas somente problemas; estudos começaram a levar alguns médicos a verem os efeitos benéficos, pois perceberam que, ao terem os temporais, a qualidade do ar melhorava e os miasmas eram eliminados. Além disso, as chuvas fortes faziam uma varredura e lavagem das ruas da cidade, já que não existiam redes de drenagem e esgoto ou sistemas de coleta de lixo.

Conforme Britto (2006, p.3-5), apud Ramos (2015), a implantação dos sistemas de drenagem foi uma necessidade para amenizar a situação de calamidade sanitária que atingia diversas cidades, onde o crescimento da população e o adensamento populacional nas primeiras décadas do século XIX não tiveram o acompanhamento de planejamento de infraestrutura sanitária, e com isso a proliferação de epidemias de febre amarela, cólera e varíola era frequente.

No século XIX, a cidade do Rio de Janeiro inicia um processo de expansão, e a primeira região a ser ocupada foi a área central da cidade, que passou a ter como principais ocupantes os imigrantes portugueses, que tinham como atividades principais o comércio nesta mesma região. Em 1843, o Relatório de Obras foi apresentado à Câmara Municipal pelo Beaurepaire Rohan, diretor de obras municipais. Este foi o primeiro documento que propôs a organização formal da cidade depois da independência do país, sendo considerado o primeiro plano urbanístico.

O plano do Relatório de Obras de Beaurepaire-Rohan trazia propostas para a reforma da cidade construída e para sua expansão, mostrando a intenção de introduzir a malha geométrica hispano-americana em uma cidade de origem portuguesa.

A proposta do plano apresentava técnicas de potabilização das redes de abastecimento de água similares a capitais europeias e demonstrava os primeiros estudos sobre saneamento e saúde pública, que tinham clara influência do pensamento higienista, que caracterizava as reflexões sobre as cidades naquele período. Esses conceitos dispostos no plano tiveram repercussão posterior na modernização da cidade, com reflexos nos planos posteriores da Comissão de Melhoramentos de 1875 e nas políticas de remodelação urbana, que tiveram como auge o início do século XX.

As ideias refletidas daquela época num plano urbanístico eram pioneiras e se organizavam em duas partes distintas: a primeira denominada “salubridade pública” e a segunda, “aformoseamento da cidade e seu termo e cômodo dos habitantes”, que demonstra preocupação tanto com a higiene como com a forma da cidade.

O plano de Beaurepaire tinha como filosofia a melhora da condição física para promover a formação de uma sociedade nova; com isso, focava na salubridade pública. Havia grande preocupação dos engenheiros com os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem.

Com esse cenário no século XIX, os sistemas de drenagem foram desenvolvidos por engenheiros e urbanistas dentro de um conjunto de obras de saneamento que tinha a tarefa de fazer o controle das águas de chuvas para a integração no planejamento do espaço urbano. Com esse conceito, foi construído o cais do Rio de Janeiro, que ficava localizado próximo ao morro de São Bento e contornava as praias da Saúde e Gamboa, onde hoje está localizada a região do porto da cidade e feito o aterro de parte do saco de São Diogo, ao lado do antigo Caminho do Aterrado (atual lado par da Avenida Presidente Vargas), dando acessibilidade à Quinta da Boa Vista.

Em 1857, o imperador D. Pedro II assina o contrato para elaborar o projeto do sistema de saneamento e desenvolver atividades para organizar e constituir uma empresa de capital inglês, a *The Rio de Janeiro City Improvments Company Limited*. A empresa também passaria a ser responsável pela construção e conservação da rede de águas pluviais dos distritos localizados na área central da cidade e aproveitaria valas existentes nestes locais. Havia necessidade das obras de drenagem, da implantação de redes de esgoto e abastecimento de água. Por iniciativa do Visconde de Mauá, uma das obras que foram executadas é a canalização do que havia sobrado do estuário de São Diogo, entre a Praça XV e a ponte dos Marinheiros, com a extensão de 1.176 metros. Em 1860, o canal é inaugurado, e, em 1876, a obra é complementada com a colocação de uma comporta junto à ponte (atual Viaduto dos Marinheiros), plantio de 700 palmeiras e da balaustrada em ferro no seu correr.

Em 1870, a febre amarela voltou a ser um problema na cidade, ocasionando milhares de mortes. Com isso, foi ordenada em 1874 pelo imperador a criação da Comissão de Melhoramentos, para a criação de um plano de melhoria da cidade, na qual um de seus integrantes era Francisco Pereira Passos. As ideias deste plano ilustravam o tratamento dado ao tema da drenagem e criaram Comissões de Saúde Pública para intervir na urbe, com o saneamento se tornando uma condição prioritária para o desenvolvimento e expansão da cidade.



No entanto, neste período, os profissionais da área da engenharia eram ligados diretamente à política nacional e local. Diante deste fato, eles fortaleceram o planejamento e a intervenção, promovendo as obras públicas, juntando nos Relatórios da Comissão de Melhoramentos o planejamento urbano com a preocupação sanitária, com o objetivo de preparar a cidade para abrigar atividades econômicas e livrá-la das epidemias.

As questões de estudo do Relatórios da Comissão de Melhoramentos seriam principalmente a drenagem, que tinha crucial importância, o alargamento e a abertura de ruas e praças, visando à melhoria das condições higiênicas e de circulação, a adequada ventilação das casas e o escoamento das águas pluviais, bem como o “dessecamento dos terrenos e aterro dos pântanos”. Evitar, com os novos alinhamentos, a demolição das propriedades públicas e particulares de maior importância e criar regras essenciais a serem seguidas na construção das habitações também se tornaram foco do estudo.

Os dois relatórios apresentavam questões relativas à salubridade e embelezamento de áreas públicas em um conjunto de obras de urbanização. O primeiro, apresentado em 1875, abrangia os “arrabaldes” da cidade e parte da área central, tendo como foco principal de intervenção o Canal do Mangue e como proposta reguladora determinações normativas relativas à construção de casas particulares. No segundo relatório, apresentado em 1976, apresentou estudos e projetos para o 2º Distrito, que tinham problemas de escoamento das águas pluviais tão complexos como os do 1º Distrito, nas ruas do Catete, Voluntários da Pátria, São Clemente. Havia pontos que estavam com nível inferior aos das praias para as quais deveriam se dirigir as águas esgotadas. Seguindo os conceitos descritos nos relatórios, no final do século XIX já aparecem os princípios de uma engenharia sanitária mais desenvolvida, influenciada pelos trabalhos do engenheiro Saturnino de Brito.

No fim da década do século XIX, ainda foram feitas algumas obras. Duas delas, que se destacam por se complementarem, foram a criação do sistema de abastecimento de água e a criação do sistema de esgotamento exclusivo para as águas pluviais (até então, era utilizado o sistema unitário, sendo as águas pluviais destinadas ao esgoto doméstico).

Os planos de ordenamento urbano ao longo do século XIX se embasaram na criação dos sistemas de drenagem, pois os paradigmas higienista-sanitarista eram vigentes e se preocupavam com a salubridade. O tratamento dado à questão da drenagem nos planos urbanísticos de Beaurepaire Rohan e da Comissão de Melhoramentos refletia este paradigma.

O processo de expansão da cidade pela população das áreas mais afastadas da cidade para migração e ocupação da área central se acelerou ao longo dos séculos XIX e XX. Com o foco na engenharia e planejamento da cidade, entre o fim do século XIX e as primeiras décadas

do século XX, foi se consolidando em todo o país uma expertise técnica na engenharia sanitária e hidráulica. Com isso, houve a formação de um corpo técnico formado por profissionais destas áreas e a consolidação de setores da administração pública capazes de projetar e administrar sistemas de saneamento adequados para aquela época. Nesta época, além dos engenheiros formados no Rio de Janeiro pela Academia Real Militar, a cidade também passou a ter profissionais formados pela Politécnica de São Paulo.

Neste período, o engenheiro Saturnino de Brito se destaca entre os profissionais brasileiros, pois trouxe ideias revolucionárias para o conceito higienista no Brasil, no planejamento do saneamento da cidade de Santos. Ele defendeu a utilização do sistema separador absoluto de redes de condutores separados para esgotos pluviais e cloacais na cidade de Santos, que sofria com severos problemas de drenagem, por sua proximidade à beira-mar, e obteve resultados positivos nesta implantação. Também teve reconhecimento ao criar um sistema de bombeamento de esgotos mais econômico, que atuava de acordo com o sistema separador absoluto. No início do século XX, o modelo de utilizar uma rede de drenagem pluvial separada dos esgotos domésticos passou a ser implantado nos projetos de saneamento das cidades brasileiras, inclusive na cidade do Rio de Janeiro. Porém, mesmo Saturnino tendo destacado a melhora no saneamento com a implantação das redes adequadas para a coleta de esgotos cloacais e pluviais, muitas não foram efetivamente instaladas, pois o processo de expansão e ocupação da cidade do Rio de Janeiro passou a ser mais acelerado do que a implantação de sua infraestrutura.

No ano de 1902, Francisco Pereira Passos foi convidado pelo Presidente Rodrigues Alves para o governo do Rio de Janeiro, assim dando início ao Plano de Reformas Urbanas de Pereira Passos. Ele já havia participado da Comissão de Melhoramentos da cidade anteriormente e já conhecia as dificuldades pelas quais o Rio de Janeiro vinha passando.

O prefeito Pereira Passos comandou, no curto período de 1902 a 1906, a maior reforma urbana já ocorrida no espaço carioca até então. A compreensão deste período de transformações fica mais clara dividindo em quatro períodos:

- Anos de 1902 e 1903 como um período de estratégias;
- Ano de 1904 como o das demolições;
- Ano de 1905 como o de repressão e consenso; e
- Ano de 1906 como o das inaugurações.

Pelo conhecimento da participação da Comissão de Melhoramentos, Pereira Passos cria em seu plano uma síntese de várias diretrizes desenvolvidas anteriormente, mas de forma atualizada, complementando e ampliando as intervenções federais já executadas para a

urbanização do Canal do Mangue, criação de um porto modernizado, criação de uma avenida litorânea e a abertura da Avenida Central. Também contemplava obras de alargamento, prolongamento e abertura de ruas e o uso das áreas públicas, além da criação de normas visando regular o contexto social para oferecer à população áreas arborizadas e ajardinadas, planos de criação de praças dotadas de pavilhões de música e sanitários públicos, projeto de um aquário municipal e planejamento de ruas com calçadas de pavimentação diferenciada para o passeio de pedestres. Havia um direcionamento para o cuidado com o meio ambiente, especialmente com as matas e nascentes d'água e com a preocupação as limpezas públicas e particulares, instituindo o reaproveitamento e a destinação do lixo.

O plano era objetivo e tinha como proposta a abertura de sete eixos viários que configurariam o suporte da cidade remodelada. A característica mais marcante deste plano em relação aos outros analisados anteriormente foi a programação de obras e sua execução imediata, que trazia um curto prazo para a finalização das obras. Assim, o plano de Pereira Passos passa a ser comentado como iniciador da configuração do Rio de Janeiro atual.

Uma das propostas mais importantes do plano era a abertura e alargamento de vias, pois dessa forma conseguiria o essencial para a cidade: saneamento, ventilação, circulação e embelezamento. Mesmo sendo ideias repetidas dos planos de Beaurepaire (1843) e da Comissão de Melhoramentos (1875-76), essas propostas estavam mais atualizadas e ainda tinham como conceitos, além da abertura de ruas, a higienização dos domicílios e a construção de prédios mais modernos. A articulação e a execução das ações eram o diferencial para a inovação deste plano, no qual o centro da cidade se transformou num canteiro de obras e modificou-se rapidamente, com a modernização dos espaços e novas edificações criando, novos hábitos e costumes com os conceitos de conjuntos de engenharia e saúde pública.

Porém a reincidência das inundações continuou nos bairros da Cidade Nova, Estácio e São Cristóvão, decorrentes da insuficiência do Canal do Mangue e dos rios que nele desembocavam, muito agravada pelas obstruções devido às obras. Em alguns rios, como o Maracanã, Joana e Trapicheiro, as obras de canalização punham encanamentos abaixo do estrado das pontes, e assim retinham a passagem dos objetos arrastados pela correnteza, diminuindo a capacidade de escoamento.

Com isso, Pereira Passos determinou que as novas edificações fossem recuadas para possibilitar a implantação de uma pavimentação diferenciada entre calçadas e ruas, e assim de melhorar o aspecto das vias de circulação e o escoamento das águas pluviais.

O plano de Pereira Passos retratou a evolução do planejamento urbanístico da cidade e a aplicação dos conceitos higienistas nos problemas da drenagem urbana, que se tornaram

viáveis por um conjunto de obras que envolveram a ampliação e melhoria das redes, a canalização de rios e intervenções específicas na orla da Baía de Guanabara. Abaixo seguem as principais intervenções feitas neste período:

- Desmonte do Morro do Senado e o aterro do que ainda restava das antigas lagoas, onde foram abertas as ruas Mem de Sá e Salvador de Sá. A Lapa teve neste contexto mudanças: no lugar de casebres e cortiços, foram erguidas construções de ares franceses;
- Abertura da Avenida Central (atual Rio Branco), reorganizando drenagem pluvial e esgotos;
- Construção do novo porto do Rio de Janeiro pelo governo federal;
- Pavimentação das vias pelo início da introdução dos automóveis na cidade, além de obras de embelezamento, como a da Praça XV;
- Canalização dos rios como parte da higienização e saneamento da cidade.

Com isso, o ciclo do urbanismo higienista do século XIX efetivamente se completou na primeira década do século XX, o que não significou que todas as questões de saneamento e drenagem na cidade tivessem sido resolvidas. Ao contrário, ao longo do século XX outros problemas decorrentes da estrutura da cidade aparecem, e outras formas de enfrentamento se evidenciam.

Abreu (2006), apud Ramos (2015) descreve que a evolução urbana no Rio de Janeiro foi marcada pelas “contradições existentes no sistema político-econômico do país de então” no período de 1906 a 1930.

A sede do Distrito Federal na cidade levou no século XX a continuação do projeto de adequação às demandas de uma cidade moderna, com o incentivo do processo de renovação da área central e de embelezamento da zona sul. Ao mesmo tempo, as indústrias aumentavam na cidade e se expandiam para os subúrbios, sem o adequado planejamento e apoio público. Nos anos 1910 e 1920, houve uma significativa expansão pela criação de quatro linhas ferroviárias que faziam a ligação da área central com os subúrbios.

Mas a preocupação com a melhoria das condições de saneamento da cidade ainda era mais importante do que a ampliação dos serviços de infraestrutura urbana. Mesmo tendo investimentos públicos em algumas áreas da capital, os serviços de saneamento continuavam em uma situação precária. Com isso, constatou-se a insuficiência do volume de água distribuída como pontos de estrangulamento para o crescimento urbano.

Na década de 1910, outro problema assolava a cidade: a ocupação dos morros cariocas por habitações precárias, surgindo as favelas da Mangueira e de São Carlos, com registros de algumas ocupações semelhantes em Copacabana, Leme e Botafogo. Como a cidade não contava com políticas públicas habitacionais, as favelas se multiplicaram, chegando ao Catumbi, Ipanema, Lagoa e Leblon. Desta forma, a discussão sobre o futuro da capital passou a orbitar sobre o tema da habitação popular, mas o aumento do número de cortiços em alguns bairros, de favelas nas encostas dos morros, criava problemas sérios pela pobreza ali instalada.

Em 1926, o urbanista francês Alfred Hubert Donat Agache foi convidado a elaborar um plano diretor para a cidade, trazendo uma equipe composta por engenheiros hidráulicos, sanitaristas, geógrafos e geólogos. O primeiro plano diretor da cidade, denominado Plano Agache, foi concluído em 1930, tratando de forma global a cidade inteira, mesmo tendo maior atenção voltada para a área central, que era o Distrito Federal, a capital da República.

O saneamento constituiu a terça parte do plano e foi encarado exaustivamente de forma técnica. Este ponto mostrou os aspectos relacionados à funcionalidade, à engenharia urbana e ao movimento “cidade eficiente”, que começava a se impor na década de 1920 ao movimento “cidade bela” das décadas anteriores.

Propostas de construção de reservatórios para regular a distribuição, o uso de hidrômetros e a fiscalização da qualidade da água distribuída para prevenção contra epidemias foram sugeridas, como melhorias de preparo da cidade para o futuro, em suprimento do abastecimento pelos chafarizes.

No Plano Agache, as soluções apontavam concepções que iam além das técnicas tradicionais e que consideravam a realidade específica da cidade do Rio de Janeiro. Nas questões relativas a inundações, o plano trazia estratégias para solucionar as causas principais das inundações.

Havia muito o que fazer e investir na cidade para que a drenagem e o saneamento fossem ajustados corretamente.

Segundo Britto (2006), apud Ramos (2015), no período entre o início do século XX até a década de 1940, a concepção de saneamento foi consolidada, consistindo na preparação do espaço para extensão da ocupação urbana. Para isso, o governo federal criou Comissões de Saneamento que eram chefiadas por engenheiros que atuaram em áreas específicas, suprimindo as deficiências do setor público municipal, responsável pelos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem. Tiveram um papel importante na consolidação da engenharia sanitária nacional, pois representavam a capacidade e reconhecimento da

engenharia brasileira na implementação de ações compatíveis com a realidade do país naquele momento.

Nos anos 1930 a 1940, observaram-se avanços na questão da drenagem sobre as recomendações do Plano Agache. Porém, com a explosão da Revolução de 1930, o Plano Agache foi visto com desconfiança pelo novo governo e perdeu força, principalmente os referentes à prevenção das inundações, que foram logo esquecidos.

Nas décadas de 1940 e 1950, as áreas da saúde pública e do saneamento se afastam e seguem caminhos distintos: os pensamentos da medicina e da engenharia, que estavam alinhados, passam a ter divergências e se separam. Os conceitos do saneamento como preparação de áreas para a ocupação urbana desapareceram, passando a ser implantados dentro dos objetos do planejamento urbano, que passaram a envolver outros profissionais, como sociólogos, economistas e gestores urbanos. No final dos anos 1940, as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro já apresentavam crescimento desordenado, envolvendo novas formas de atuação dos poderes públicos, tendo que intervir e controlar esse avanço com o planejamento urbano.

Os anos 1950 chegaram, e o Rio de Janeiro continuava enfrentando ainda uma série de problemas de infraestrutura. Em 1957, sob a administração de Negrão de Lima, foi criada a Superintendência de Urbanização e Saneamento do Antigo Distrito Federal (SURSAN), órgão destinado a assumir o planejamento e a realização das grandes obras de infraestrutura e os projetos de urbanização. Sua finalidade era executar o plano de realizações da cidade e administrar os recursos financeiros. A SURSAN foi responsável por projetos e obras de saneamento, englobando as ações de drenagem e de esgotamento sanitário e abastecimento de água, além das obras viárias, que faziam parte de ações de urbanização. Funcionou como um dispositivo administrativo que atendia aos interesses do governo de Carlos Lacerda e passou a planejar e executar o urbanismo de forma mais planejada, com uma visão renovadora da cidade, o que atendia a uma cidade que estava em franco crescimento.

Mesmo tendo sido criada com esse objetivo, suas ações não abandonaram o planejamento realizado pelo plano de realizações que já vinha se delineando em décadas anteriores, rememorando aspectos do Plano Agache, da Comissão de Plano da Cidade e do DURB (Departamento de Urbanismo). A SURSAN foi um órgão público que se embasava na proposta de planejamento com uma intenção, um planejamento que deveria preceder à ação e que deveria ser executiva, o que ocorreu na década de 1960. Era subordinada à Secretaria de Obras Públicas, antiga Secretaria de Viação e Obras Públicas, porém tinha autonomia para realizar as grandes obras previstas no planejamento do plano de realizações citadas abaixo:

- Avenida Beira Mar, na faixa litorânea do aterro;

- Avenida Radial-Oeste, da Praça da Bandeira até São Francisco Xavier (primeiro trecho);
- Avenida Radial-Sul, do Largo da Glória à Lapa; e
- Avenida do Canal, de vários rios.

O fim dos anos 1960 mostra que a consciência ecológica passou a fazer parte dos conceitos sanitários nos países desenvolvidos, que já analisavam que os modelos de drenagem tradicionais não tratavam de forma adequada as relações entre as cidades e o ciclo hidrológico. Havia necessidade de melhores reflexões sobre as ações de urbanização e sua relação com o meio ambiente, principalmente no que relacionava à quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

Com essa reflexão, foram formulados novos paradigmas para a drenagem. As obras tradicionais, que abrangiam a implantação de condutos, sarjetas, bocas de lobo, arrios retificados, entre outras, teriam de ser ampliadas para admitir outros tipos de soluções alternativas e complementares à evacuação rápida dos excessos pluviais, dentro de um contexto de preservação ambiental. As soluções de utilização de recursos como obras de retenção e amortecimento de escoamentos, como os pavimentos permeáveis, superfícies e valas de infiltração, reservatórios e lagos de detenção e a preservação dos arrios naturais, passaram a fazer parte de alternativas para serem empregadas na drenagem urbana. Além disso, ao evidenciar a preocupação ambiental, preconizou-se também o tratamento dos esgotos pluviais, que podem ser tão poluidores quanto os cloacais.

Em 1960, a sede do governo federal foi transferida do Rio de Janeiro para Brasília, e o que antes era o Distrito Federal passou a ser o Estado da Guanabara. A cidade, mesmo perdendo as funções relativas à administração pública, ainda possuía um forte centro de serviços. E, com a criação do Estado da Guanabara, Carlos Lacerda foi eleito governador, com novos planejamentos para a criação de um novo plano diretor denominado Plano Doxiadis.

Esse plano tinha como objetivo a adaptação da cidade a sua nova condição, com a perda da sede da capital do país, e conseguir com isso receber mais recursos financeiros. Os objetivos deste planejamento não se preocupavam com o embelezamento, mas com o funcionamento e com as necessidades futuras.

O crescimento da indústria automobilística também teve ascensão nesse período em que o carro passou a ser acessível a grande parte da população. Com isso, a cidade passou a ter vias saturadas pelo aumento do volume de carros circulando e pela circulação de pessoas, que passaram a habitar em apartamentos e a trabalhar em prédios comerciais, concentrando um

grande número de pessoas em áreas nunca definidas para esse uso. Mas, com todos esses avanços, as enchentes continuavam a ser um problema presente na cidade.

O Plano Doxiadis representou, para o governo de Lacerda, uma maneira de ascensão política, mas com o pensamento desenvolvimentista de um escritório grego que trazia conceitos do urbanismo internacional, com as teorias que estavam sendo discutidas nos Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna (CIAM) naquele período. Esse conhecimento internacional trouxe eficiência e técnica para o planejamento urbano tão emblemático para o momento que a cidade passava. Havia mudanças a fazer pela nova condição que a cidade entrava, e não era momento de demoições, mas sim de construir e manter um lugar privilegiado para o Rio de Janeiro dentro da federação.

Rezende (1982), apud Ramos (2015) descreve que em 1964 foi criada a Comissão Executiva de Desenvolvimento Urbano do Estado da Guanabara (CEDUG), que trabalharia em conjunto com a equipe grega e era constituída por técnicos brasileiros responsáveis pela coleta de material, interpretação e conclusões, enquanto a equipe grega ficou responsável pela elaboração do plano e trabalhava em Atenas. Em 1965, o Plano Doxiadis, segundo plano diretor para o Estado da Guanabara, foi entregue.

O Plano Doxiadis fez uma abordagem da cidade considerando o entorno como área metropolitana. O estado foi abordado em três níveis: a macroescala (a Guanabara no contexto do país); a mesoescala (a Guanabara no contexto do Grande Rio) e a microescala (estudo de áreas selecionadas para as quais foram feitas proposições específicas – Mangue, Copacabana e favelas).

Na macroescala, a análise foi feita da Guanabara no contexto nacional e a relação com outros centros, a relação entre o seu desenvolvimento frente ao de São Paulo. Na mesoescala, foi feita análise do Estado da Guanabara e a sua região de influência imediata, que era a área metropolitana; desta forma, foi realizada uma análise aprofundada dos problemas internos que dificultavam o desenvolvimento, como o crescimento intenso da população, com reflexos na habitação, educação e transportes, e a relação conflituosa com a região metropolitana. Realizou propostas para a solução dos problemas e estabeleceu marcos no plano diretor e os planos quinquenais para um cenário de 35 anos até o ano 2000. E, na microescala, analisou Copacabana, com problemas exemplares pela falta de estacionamentos, parques e áreas de lazer, e o Mangue, antigo e obsoleto, onde a indústria vinha tomando o lugar da habitação. Com uma análise das condições locais, apresentou diretrizes e protótipos que poderiam vir a ser aplicados não só nessas áreas, mas em outras áreas do estado como um todo.



Apesar de todas as considerações e ponderações para um crescimento mais sustentável para a cidade, o Plano Doxiadis havia dado tanta ênfase à questão da drenagem como o Plano Agache fez, remetendo o tema a um planejamento específico pelos órgãos responsáveis. Mesmo com todos esses estudos, a cidade continua fragilizada, com os temporais e suas consequências para a população.

Com todas as inovações internacionais vindas para o país, a década de 1960 e início da de 1970 impulsionaram uma revolução que passou a prezar pela consciência ecológica e a explosão tecnológica. A preocupação com o tratamento do esgoto de todos os tipos, estudos para alternativas ao conceito de evacuação rápida das águas e a preocupação da preservação das bacias hidrográficas foram alguns destes novos pensamentos. Essa nova forma de pensar o saneamento urbano passa a ser mais complexo, e o trabalho é multidisciplinar e variável para cada região, tendo como complicador a necessidade de cada caso ser tratado pontualmente.

Nas décadas de 1970 e 1980, a linha de pensamento que tinha o referencial do planejamento das engenharias sanitárias e hidráulica prevalecem, porém não houve grandes planejamentos ou execução de obras na cidade. Pelo contrário, houve uma estagnação no desenvolvimento do planejamento, ao mesmo tempo que o crescimento das cidades passou a tomar um ritmo muito acelerado. O foco estava na construção de habitações para acomodar a demanda de pessoas que estavam circulando na cidade.

Na década de 1970, houve outras reflexões acerca do papel do Estado no planejamento urbano, trazendo uma ideia de responsabilidade social junto à ocupação da cidade. Já a década de 1980 foi descrita como a “década perdida”, pois, devido aos problemas econômicos enfrentados no país, e com o pouco investimento em planejamento urbano, não havia capacidade de implantação de projetos para solucionar questões sociais, econômicas e urbanas. A partir da década de 1990, as políticas públicas passam a atuar com um modelo de gestão mais flexível, e parte do planejamento passa a ser subdividido em unidades inferiores de gestão, transferindo papéis para a esfera municipal, promovendo o incentivo ao empreendedorismo das cidades e favorecendo a redemocratização brasileira.

Ainda na década de 1990, há uma retomada do planejamento urbano do Rio de Janeiro, com o projeto Rio Cidade no governo do prefeito César Maia. O foco deste projeto é o embelezamento e a ordenação como marketing urbano para criar a imagem de cidade moderna e atrair investimentos. Porém esse embelezamento de algumas áreas passa a agravar as desigualdades sociais da cidade. Este tipo de abordagem também é aplicado em outras cidades latino-americanas no mesmo período, causando uma crescente segregação espacial nas cidades.

Posteriormente a esse período até os dias atuais, há intervenções pontuais na drenagem artificial das áreas centrais, como o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara, que consiste em um conjunto de ações que compreendem o planejamento e adequação relativos a intervenções nas áreas de esgotamento sanitário, abastecimento de água, coleta e destinação final de resíduos sólidos, drenagem de águas pluviais, dragagem de rios e lagoas, controle ambiental e mapeamento digital. Também foram feitas ações em áreas com problemas históricos de inundações, como os reservatórios de detenção que abrangiam as áreas da Tijuca. Os “piscinões” foram construídos na Praça da Bandeira, na Avenida Heitor Beltrão, Praça Varnhagem, Praça Niterói e o último, junto à Rua Borda do Mato, no Grajaú, além de uma galeria que desviou parte da água do Rio Joana, passando por baixo do bairro de São Cristóvão e ligando diretamente na Baía de Guanabara. Essa técnica havia sido implantada na cidade de São Paulo com muito êxito para a contenção das enchentes da cidade e trazida para a implantação no Rio de Janeiro. Nas demais áreas da cidade, no entanto, apenas intervenções pontuais foram feitas, mesmo com o aquecimento da economia e as muitas construções motivadas pela especulação imobiliária. Isso só aumentou a demanda de águas nos sistemas de drenagem sem um dimensionamento e adequação para esse volume.

Para ilustrar a problemática das enchentes que assolam a cidade há anos, foram listados os relatos das enchentes mais significativas na área central da cidade, descritos os episódios entre os anos de 1711 até 2016, sempre relatando os episódios de maiores proporções (AZEVEDO, 2015).

Os primeiros relatos de episódios de enchentes na cidade do Rio de Janeiro são registros oficiais do século XVIII, pois anteriormente os registros eram esporádicos de viajantes. Nos dias atuais, temos tecnologias para monitoramento destes episódios, mas persistentes e com as mesmas intensidades dos episódios anteriores.

- Setembro de 1711: grandes inundações registradas na região da Baía de Guanabara.
- Abril de 1756: grandes inundações em toda a cidade. Registro de alagamentos no centro, desabamentos e mortes não quantificadas.
- Fevereiro de 1811: a catástrofe ficou conhecida como “águas do monte”, por conta do desmoronamento de vários morros na cidade, incluindo o Morro do Castelo, com número de vítimas fatais não quantificado.
- Março de 1906: o Canal do Mangue, próximo à Praça da Bandeira, transbordou, provocando alagamento em quase toda a cidade, e houve desmoronamento com mortes em Santa Teresa, Santo Antônio e Gamboa.

- Março de 1911: alagamento na Praça da Bandeira; choveu 150mm em 24 horas.
- Março e junho de 1916: transbordamento do Canal do Mangue nos dois eventos.
- Abril de 1924: fortes chuvas encheram novamente o Canal do Mangue, provocando inundações na Praça da Bandeira, Morro de São Carlos e outros bairros da região.
- Fevereiro de 1928: alagamento na Praça da Bandeira e desabamento e mortes não quantificadas nos morros de São Carlos, Salgueiro, Mangueira e Santo Antônio.
- Fevereiro de 1938: alagamento da Praça da Bandeira; choveu 136mm em 24 horas.
- Janeiro de 1940: alagamento em toda a cidade; choveu 112mm em 24 horas.
- A partir de 1966, a Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (GEORIO) documentou os acidentes geológicos-geotécnicos de grandes proporções da cidade, e estes foram selecionados para acrescentar informações ao estudo.
- Janeiro de 1966: fortes chuvas duraram uma semana e provocaram deslizamentos em todo o Estado, com total colapso dos meios de transporte e serviço de energia elétrica conforme mostra a figura 13; morreram em torno de 250 pessoas, e mais de 50 mil ficaram desabrigadas. Choveu 237mm em 24 horas.

**Ocorrência:** escorregamento em tálus/ colúvio, seguido de corrida do mesmo material, que atingiu a cabeceira de um grande anfiteatro e percorreu uma distância de mais de 200metros no vale.

**Principais consequências:** destruição de sete casas e morte de 70 pessoas.

Figura 13 – Foto da capa do Jornal Última Hora de 1966



Fonte: DEREZYNSKI et al., 2017.

- Fevereiro de 1967: inundação generalizada e colapso dos sistemas de transporte e de distribuição de energia elétrica; desabaram uma casa e dois edifícios entre as ruas Belisário Távora e General Glicério.

**Ocorrência:** escorregamento de solo residual em encosta natural.

**Principais consequências:** além de obstruir as duas ruas localizadas no bairro de Laranjeiras, a ocorrência provocou a destruição de uma casa, dois prédios e 119 mortes. Este acidente foi emblemático e contribuiu para o fortalecimento da GEORIO.

- Dezembro de 1968: Morro da Providência, no bairro da Saúde.

**Ocorrência:** desintegração de 300m<sup>3</sup> de rocha associada à ação extensiva de explosivos em uma pedreira próxima, causando a fragilização do maciço, deixando o solo residual sobre a rocha susceptível a escorregamentos.

**Principais consequências:** destruição de 20 moradias e morte de 32 pessoas.

- Fevereiro de 1971: quase todos os bairros; enchentes e desmoronamentos, transtornos, prejuízos e mortes.

- Março de 1983: desabamento em Santa Teresa e Catumbi.

**Ocorrência:** escorregamento de solo, lixo e entulho em encosta natural.

**Principais consequências:** o escorregamento atingiu dois prédios – um de três andares e um sobrado – localizados na rua Navarro e vitimou duas pessoas. Além disto, vários prédios foram interditados na mesma rua.

- Março de 1986: desabamento de barracos nos Morros do Salgueiro, Estácio, Catumbi e Rio Comprido.

**Ocorrência:** escorregamento de lixo e entulho.

**Principais consequências:** a ocorrência provocou a morte de nove pessoas na comunidade.

- Fevereiro de 1988: maior enchente histórica até então, conforme mostra a figura 11. Choveu 430mm em 24 horas, resultando em 600 mortes, em torno de 20 mil desabrigados e deixando a cidade completamente parada, com especial ênfase para a Estrada Dom Joaquim Mamede (clínica geriátrica Santa Genoveva), no bairro de Santa Teresa.

**Ocorrência:** escorregamento de solo e blocos de rocha em encosta natural.

**Principais consequências:** além de destruir parte da edificação da unidade de saúde, a ocorrência provocou a morte de 21 pessoas que estavam na clínica.

- Junho de 1989: alagamento de várias ruas; deslizamentos em Santa Teresa; uma pedra rolou na Ladeira Ari Barroso, no Leme; alagamento do hipódromo da Gávea.
- Junho de 1994: interrupção das funções básicas da cidade e estabelecimento do caos, sobretudo na Zona Sul.
- Fevereiro de 1996: chuvas atingiram a zona oeste e sul da cidade, provocando um grande transtorno urbano, conforme demonstra a figura 14. Choveu 200mm em oito horas.

Figura 14 – Foto da capa do Jornal do Brasil de 22/02/1988 e O Globo de 14/02/1996



Fonte: DEREZYNSKI et al., 2017.

- Janeiro de 2010: diversos bairros da cidade do Rio de Janeiro foram afetados, como Grajaú, Tijuca, Santa Teresa, Rio Comprido e Jacarepaguá. Choveu 288mm em 24 horas;
- Abril de 2010: alguns episódios de enchentes:
  - 1- Morro dos Prazeres, no bairro de Santa Teresa

**Ocorrência:** Escorregamento de solo residual e lixo, com volume mobilizado na ordem de 500m<sup>3</sup>.

**Principais consequências:** o acidente deixou 30 vítimas fatais, destruição de residências e obstrução de passagens na comunidade.

2- Bairro de Santa Teresa

**Ocorrência:** escorregamento de solo em talude de corte com 300m<sup>3</sup> de volume aproximado.

**Principais consequências:** o acidente provocou a destruição parcial de três moradias e a destruição total do acesso junto à crista do talude.

3- Bairro do Catumbi

**Ocorrência:** escorregamento de solo e lixo com mais de 100m<sup>3</sup> jogado pela Comunidade da Mineira em área de encosta onde, na jusante, existem várias moradias ou lotes sem construção, com frente para a Rua Itapiru.

**Principais consequências:** o escorregamento atingiu um lote vazio, junto e após o número 650 da Rua Itapiru, vindo também a atingir este logradouro e as moradias aos fundos do referido endereço, invadindo-as. Por medidas de segurança, três casas foram interditadas.

- Setembro de 2016: alagamento no Catete e Centro conforme figura 15.

Figura 15 – Página 17 do jornal O Globo do dia 21/09/2016, com reportagem sobre os danos provocados pelas chuvas do dia 20/09/2016

**Culpa pelos alagamentos é da Cedae, diz prefeitura**  
 Companhia vai rever operação de comportas. Chuva causa enchentes em ruas no Catete e no Centro

**COM ÁGUA PELA JANELA**  
 O dia é que choveu que chegou no início da madrugada com um volume de água que chegou ao ponto de inundar as ruas do Catete, onde apenas no bairro de Santa Teresa, milhares de pessoas foram afetadas. A Prefeitura de Rio de Janeiro informou que a Companhia Cedae não fez o devido planejamento para evitar os problemas de inundação em áreas urbanas. A Prefeitura informou que a Cedae não fez o devido planejamento para evitar os problemas de inundação em áreas urbanas. A Prefeitura informou que a Cedae não fez o devido planejamento para evitar os problemas de inundação em áreas urbanas.

**CHUVA DE FRENTE FINA**  
 O sistema de drenagem de águas pluviais da Prefeitura de Rio de Janeiro não foi suficiente para evitar os problemas de inundação em áreas urbanas. A Prefeitura informou que a Cedae não fez o devido planejamento para evitar os problemas de inundação em áreas urbanas.

**CHUVA DE FRENTE FINA**  
 O sistema de drenagem de águas pluviais da Prefeitura de Rio de Janeiro não foi suficiente para evitar os problemas de inundação em áreas urbanas. A Prefeitura informou que a Cedae não fez o devido planejamento para evitar os problemas de inundação em áreas urbanas.

Fonte: DERECZYNSKI et al., 2017.

### 2.2.2 O uso e ocupação do solo na cidade do Rio de Janeiro e a drenagem urbana

A falta de uma gestão integrada do uso e ocupação do solo e da infraestrutura nos sistemas de drenagem podem ser destacados por Tucci (2005), *apud* Ramos (2015) como impactos negativos no desenvolvimento urbano sobre a população e o meio ambiente. No processo de urbanização e loteamento das áreas urbanas, é removida parte da vegetação natural (que protegia este solo da ação erosiva das águas de chuvas) e o traçado das ruas em cortes e aterros.

Nas áreas que sofrem o planejamento urbano devem-se ter cuidados para que essa intervenção não acarrete erosões nos terrenos e desbarrancamentos, pois com a urbanização criam vias que possibilitam que as águas decorrentes das chuvas possam correr de forma mais veloz, uma vez que não haverá obstáculos. Com isso, a pavimentação pode ser danificada e o solo pode ser carregado, causando assoreamento dos córregos receptores, sendo a impermeabilização das áreas um fenômeno que pode agravar esse quadro.

Esses fatos podem ocorrer, segundo Botelho (1998), em maior ou menor escala, dependendo apenas do tipo de urbanização empregado na área. Tendo como foco a drenagem urbana, podemos analisar três tipos básicos de urbanização. No primeiro tipo, projeta-se mantendo as características geológicas e topográficas da área e fazendo pequenas intervenções com obras de correção e direcionamento. No segundo tipo, não se respeitam as características naturais do terreno no projeto e há necessidade de serem feitas obras de proteção de grande porte, como muros de arrimo, sistema pluvial complexo e canalização de córregos. O custo da obra é vultoso e, mesmo com toda a estrutura construída, as consequências são danosas. E no terceiro tipo, ao se projetar, não se preserva, as características do terreno e não são feitas obras de contenção, criando um cenário com consequências danosas e perigosas na urbanização.

Esse terceiro tipo de urbanização é bastante empregado na implantação dos espaços urbanos, principalmente na cidade do Rio de Janeiro, por ter um relevo bem diversificado e pelo histórico de a ocupação urbana ter sofrido com a desorganização de um crescimento populacional desordenado. A ocupação ocorreu em áreas de encostas e próximas a leito; assim, a cidade passou a sofrer com constantes casos de desbarrancamento e inundações de suas áreas ocupadas. Esses problemas são frutos do processo de urbanização desordenada, que causou a impermeabilização das áreas.

As águas pluviais que são carregadas levam para o sistema de drenagem uma carga de poluentes que assoreiam e sobrecarregam o sistema de drenagem e são levadas aos rios.

Prodanoff (2006), apud Ramos (2015), ao falar sobre a poluição difusa, discute sobre qual grau de poluição dos esgotos pluviais temos pelo escoamento superficial das águas pluviais nas áreas urbanas, pois o depósito de poluentes nas áreas de drenagem é esparso. Essa poluição gerada nas áreas urbanas tem como origem o escoamento superficial sobre áreas impermeáveis, áreas de construção, depósitos de lixo ou resíduos industriais. Nestes locais, o escoamento superficial da água carrega o material solto ou solúvel que está na superfície até os corpos d'água, levando cargas poluidoras muito significativas que usam como meio de carreamento as redes de drenagem, e estas passam a ter o papel de fonte de degradação dos corpos hídricos.

As fontes da poluição difusa têm como origem as superfícies impermeáveis da cidade, como ruas, calçadas, pavimentos de residências e condomínios, telhados, galpões, coberturas e estacionamentos. Diariamente há contribuição de depósito dos agentes poluidores como resíduos da abrasão e desgaste das ruas pelos veículos, lixo acumulado, resíduos orgânicos de animais, construção civil, resíduos de combustível, óleos e graxas deixados por veículos e poluentes do ar. Ao haver precipitações, toda essa poluição depositada é carregada para as galerias que se destinam ao sistema de drenagem e direcionada para os corpos hídricos.

No Rio de Janeiro, a infraestrutura pública implantada para drenagem urbana é ineficiente, pois não há preocupação com a conservação das redes de drenagem, nem com a preservação das áreas de escoamento final, uma vez que os poluentes difusos não carregados pela superfície seguem livremente até desembocar nos corpos hídricos. Mas um sistema de drenagem urbano adequado não necessita ter capacidade para absorção das enchentes extraordinárias, que são catástrofes consideradas fora da normalidade, mas que possa ser um sistema que atenda as condições cotidianas das precipitações e que possa complementar com algumas recomendações, segundo Silva (1968), apud Ramos (2015): criação de políticas para controle da erosão dos morros; política educacional para minimizar o lançamento de detritos nas ruas e nos receptores das águas pluviais; política para implantação de esgotamento sanitário em áreas habitadas para redução do despejo destes detritos nas redes de drenagem pluvial; obtenção de dados por experimentos da velocidade de escoamento superficial; revisão e complementação dos projetos de drenagem para melhoria da eficiência do escoamento das águas.



## 2.3 Técnicas aplicadas para melhoria da drenagem urbana

As técnicas para a drenagem urbana evoluíram ao passar dos séculos com os estudos do saneamento urbano. Desde meados do século XIX são feitos diversos estudos e pesquisas para se alcançar as técnicas utilizadas hoje para o saneamento urbano. As fases das pesquisas tiveram algumas etapas, e dessas evoluções, a primeira foi a etapa com características higienistas; posteriormente, na segunda etapa, foi a racionalização e normatização dos cálculos hidrológicos com fortalecimento dos princípios da engenharia hidráulica; e a terceira etapa com a abordagem científica e ambiental do ciclo hidrológico urbano, despertando a concepção ambientalista.

Os conceitos que são utilizados atualmente têm um embasamento na consciência ambiental e na explosão tecnológica que, associados, podem levar a ganhos bem consistentes para a implantação do saneamento e para a gestão sustentável do saneamento e da drenagem urbana.

### 2.3.1 Métodos aplicados para mitigar as inundações urbanas

Para o melhor entendimento das técnicas atuais aplicadas para reduzir e mitigar as inundações urbanas é necessário primeiramente conceituar o que são **medidas estruturais**, estas são métodos que compreendem as obras da engenharia que alteram o curso principal do rio, seus afluentes e também os canais a fim de reduzir os prejuízos provocados pelas enchentes, podendo ainda ser subdividida em: extensivas e intensivas (DNAEE/MME/CPRM, 1987). As medidas estruturais podem ser divididas em extensivas e intensivas.

As **medidas estruturais extensivas** tem como intuito alterar a relação precipitação-vazão, por intervenção da cobertura vegetal no solo, através de práticas agrícolas corretas e reflorestamento da bacia, com isso trazendo uma série de benefícios como o aumento da capacidade de infiltração do terreno, diminuição da velocidade média do escoamento da água, e conseqüentemente ocasionando a redução e retardação nos picos de enchentes, além de controlar a erosão do solo (CORDERO; MEDEIROS; TERAN, 1999).

As **medidas estruturais intensivas** são direcionadas a agir no rio e tem como objetivos diversas formas de controle dependendo do tipo da obra, podendo exercer as funções de acelerar

o escoamento, ou retardar o escoamento ou desviar o escoamento (SIMONS et al., 1977, apud, DNAEE/MME/CPRM, 1987).

Abaixo são descritas algumas técnicas que estão sendo utilizadas como forma de contenção de enchentes nas principais cidades brasileiras pela engenharia na atualidade.

Os **reservatórios de amortecimento**, também chamados de **piscinões**, são um dos exemplos mais conhecidos e populares para a redução de enchentes. São métodos criados como soluções para amortização de picos de cheias de alguma região específica, e com isso reduzir as enchentes em curto prazo com a criação de reservatórios para armazenamento das águas excedentes de chuvas e transbordamento de rios e fazendo a liberação de forma controlada após os episódios das precipitações.

O método de implantação dos piscinões é de grande importância como medida de combate às enchentes, mas deve ser associado a outras soluções em conjunto e nunca utilizada como solução única e autossuficiente. É um método que ficou muito conhecido quando foi implantado na cidade de São Paulo, com grande sucesso, ao reduzir as enchentes que a cidade sofria periodicamente. No Rio de Janeiro, os piscinões foram implantados numa região que sofria com as inundações. O projeto teve o planejamento para amortização dos picos de chuvas da região da Tijuca para a bacia do Rio Joana, englobando a construção de cinco reservatórios de detenção. Porém, diferente da implantação deste método nos países mais desenvolvidos, a implantação dos piscinões nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e de São Paulo enfrentam problemas com a grande carga de poluição das águas superficiais e a manutenção pouco efetiva pelos governos, reduzindo sua eficácia. Os possíveis problemas dos piscinões da Praça Niterói e da Praça Varnhagen, na bacia hidrográfica da Praça da Bandeira, no Rio de Janeiro, é que eles recebem água de transbordamento de rio acima de certa cota, possuindo grades a montante da captação e que podem gerar perdas de carga expressivas no escoamento hídrico e agravar as inundações a montante. Por isso, essas intervenções de engenharia devem ser acompanhadas de intervenções que atacam a causa das inundações urbanas, retendo água adequadamente na bacia hidrográfica urbana a montante, e evitando o assoreamento dos sistemas de drenagem com intervenções de saneamento básico e ambiental adequadas, para reduzir a concentração de vazões nas partes planas e baixas da bacia, que vão gerar o transbordamento hídrico de calha fluvial e as consequentes maiores manchas de inundação urbana.

Outro exemplo de método estrutural para redução das enchentes são os **túneis de drenagem**, que trabalham de forma similar aos piscinões, porém não há um reservatório, e sim

uma galeria que faz a canalização para uma bacia hidrográfica, correspondendo a um processo de transposição de vazões de uma área para outra. No projeto de melhorias da drenagem da bacia do Rio Joana no Rio de Janeiro, foi implantado de um túnel de drenagem além dos piscinões. Este túnel foi projetado para fazer o desvio da água do rio Joana através do túnel de drenagem para a Baía de Guanabara, evitando que durante as precipitações de grandes volumes pudessem ocorrer as enchentes na região da Praça da Bandeira e evitar a sobrecarga na bacia do Canal do Mangue que deságua na Baía de Guanabara. Conforme foi dito na definição dos piscinões, os túneis de drenagem também sofrem com a carga de poluição em grande escala e com a manutenção pouco eficiente do sistema de drenagem que deve ser feita pelos órgãos responsáveis, além da deficiência na gestão da bacia hidrográfica urbana a montante, que é feita sem sustentabilidade ambiental. Todos esses fatores explicam o aumento da frequência e magnitude das inundações urbanas ao longo do tempo.

As **bacias de detenção**, também denominadas **bacias de estocagem**, são tanques com espelho d'água permanente, construído para reduzir o volume das grandes precipitações, sedimentando cerca de 80% dos sólidos em suspensão e fazendo o controle biológico dos nutrientes. Geralmente são projetos desenvolvidos em áreas de lazer abertas onde há necessidade de serem feitos rebaixamentos de 1,5 a dois metros que funcionam como reservatório de acumulação das águas escoadas das superfícies das encostas nos períodos de precipitações intensas, assim reduzindo o risco de inundação das vias e das bacias. A bacia faz a retenção das águas durante os episódios das precipitações. O escoamento é feito posteriormente às chuvas intensas por uma drenagem na parte inferior da estrutura ou por bombeamento para uma boca de lobo, havendo a necessidade de remoção periódica do lodo e manter a proteção contra a eventual queda de animais e pessoas, sendo necessárias manutenção e limpeza periódicas.

As bacias possuem duas variantes: as “**bacias de acumulação seca**” ou **de detenção** e as “**bacias de acumulação em água**” ou **de retenção**. A bacia de detenção perde toda a água nos períodos de estiagem e é projetada para armazenar temporariamente o volume das enxurradas e liberá-lo lentamente, a fim de reduzir a descarga de pico à jusante. A bacia de retenção mantém um nível mínimo de água na estiagem e pode funcionar como um lago permanente projetado para ser definido no traçado urbano como área de recreação, com os mesmos objetivos da bacia de detenção, porém faz a diferença que a liberação do volume das águas acumuladas ocorra mais lentamente.

Outro método conhecido para mitigar as enchentes é a técnica da **barragem de cheias**. A definição de Tucci (2003) é que se trata de uma barreira artificial construída em cursos de

água para que estas sejam contidas em grandes quantidades. São colocadas com o objetivo de abastecimento, irrigação, geração de energia e para que as cheias dos rios sejam contidas.

Otoni et al. (2018) relata que um conjunto de barragens de cheias, quando são localizadas adequadamente na bacia hidrográfica drenante, podem ser obras com custos menores do que para a implantação dos piscinões, além de gerar efeitos positivos de redução da concentração de vazões fluviais nas partes baixas da bacia.

O **asfalto permeável** também é uma técnica utilizada para aumentar a absorção de águas e minimizar o acúmulo de águas provenientes das chuvas. É uma técnica mais recente e funciona como medida mitigadora para combater as enchentes e tem como função fazer a infiltração das águas beneficiando a recarga de lençol freático, aumentar a umidade nas áreas verdes urbanas e melhorar a qualidade da água infiltrada, pois retêm as impurezas e cargas de poluições periféricas, beneficiando o meio ambiente e a drenagem sustentável. Por ser uma tecnologia mais nova, o uso ainda é pouco difundido, pois tem um custo um pouco mais elevado na aplicação e manutenção, mas tem o benefício de redução das obras de drenagem, pelo seu sistema sustentável. É necessário ressaltar que a eficácia do asfalto permeável tem uma grande relação com a compactação do solo e do processo de colmatação dos revestimentos que costumam limitar o potencial de absorção da água oriunda do escoamento superficial.

Outras medidas estruturais extensivas que possuem suma importância são planejamento de reflorestamento de áreas degradadas com priorização nas APPs e a criação de projetos que definam a aplicação de obras de controle de erosão.

As **medidas não estruturais** são capazes de reduzir e mitigar consideravelmente os problemas provocados pelas enchentes, e geralmente com um custo mais acessível sendo aplicadas individualmente ou em comum as medidas estruturais (DNAEE/MME/CPRM, 1987).

Essas medidas têm como objetivo a conscientização da população frente à ocupação territorial e à forma de atuação das pessoas diante dos problemas com a poluição. Elas agrupam-se em: ações de regulamentação do uso e ocupação do solo; educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e lixo; seguro-enchente; e sistemas de alerta e previsão de inundações (CANHOLI, 2004).

São empregadas com trabalhos para sensibilizar a população, muitas vezes em parceria com órgãos e contam com o apoio governamental. É um trabalho que precisa ter uma abrangência muito grande, pois para ser bem executado deve envolver a educação, fazendo um trabalho de sensibilização nas escolas, com aulas de educação ambiental e palestras. O posicionamento governamental tem influência na implantação de sistemas de alertas para

inundações e criação de leis que incentivem a população a utilizar tecnologias para a preservação ambiental, na construção civil, por exemplo.

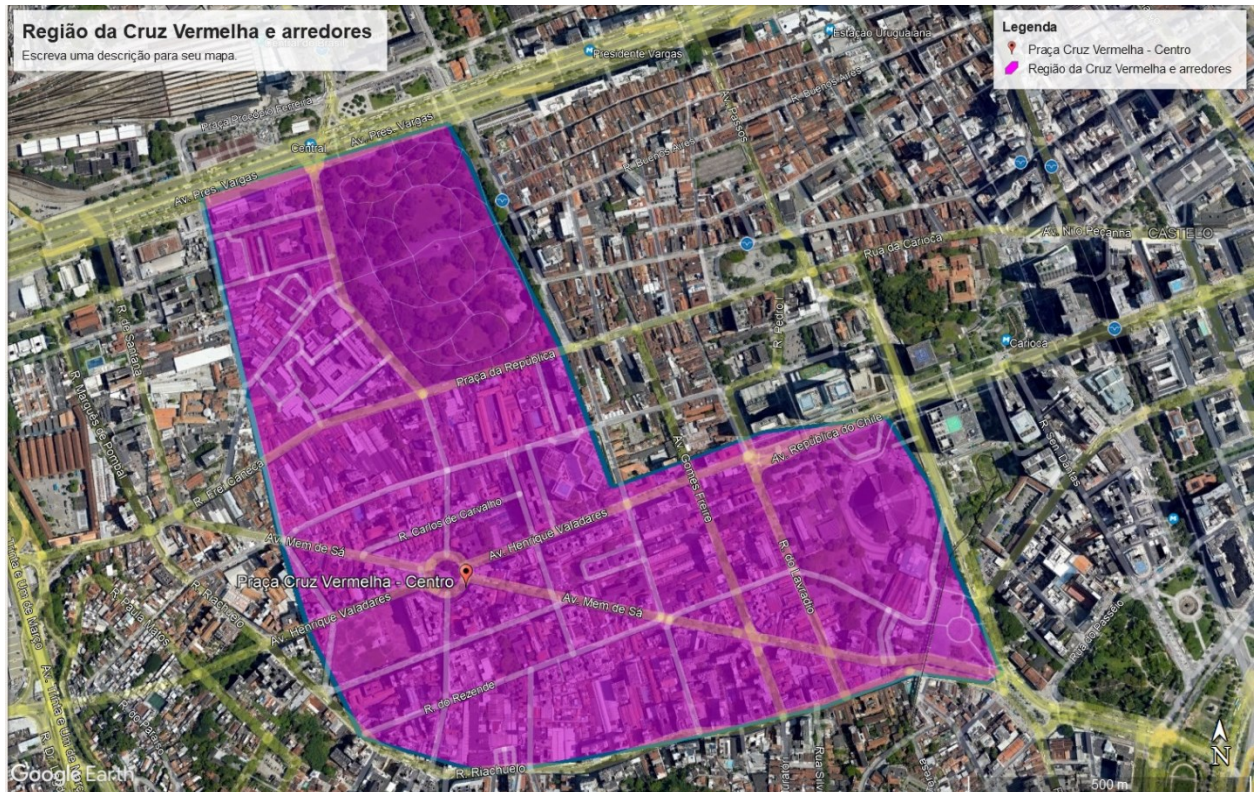
Algumas medidas não estruturais são fundamentais para o controle das inundações urbanas como a implantação do saneamento de esgotos e lixo, bem como a implantação de monitoramento hidrológico e do uso e ocupação do solo, assim como a limpeza permanente do sistema de micro e macrodrenagem criando um ordenamento urbano que garante a manutenção dos sistemas de drenagem e captação de águas pluviais integro para as ocorrências.

### 2.3.2 O uso do conceito das *sponge cities* para a drenagem urbana sustentável da região da Cruz Vermelha

Analisando o panorama que deve apresentar a drenagem urbana sustentável, podem-se apontar os fatores para preservar as condições naturais de infiltração, evitar a transferência para jusante de aumento de vazão, volume e carga de contaminação no escoamento pluvial e erosão do solo. Também pode-se implantar a coleta seletiva para reciclagem dos resíduos sólidos, primordialmente em áreas de favelas, gerando renda para a população e reduzindo o lixo disperso, na busca da sustentabilidade com redução considerável do assoreamento por resíduos nos rios. A busca desses objetivos não pode ser realizada individualmente, mas deve ser um trabalho coletivo que se inicia pela educação. Além da educação, o trabalho em conjunto pode ser uma alternativa para evitar as inundações, pois, ao se propor trabalhos articulados de técnicos como engenheiros e urbanistas em planejamentos urbanos e de saneamento, podem ser utilizados diversos conceitos de drenagem urbana sustentável para mitigar e melhorar a drenagem nos pontos problemáticos da cidade.

A localização da área central da cidade para objeto deste estudo perpetua como motivação pela importância econômica e histórica do Rio de Janeiro, ao estudar a implantação das primeiras áreas urbanas e as intervenções urbanísticas que foram executadas percebemos que se trata de uma área muito rica em exemplos para a pesquisa, desta forma foi mapeada na figura 16 a área do estudo que abrange a Região da Cruz Vermelha e arredores que englobam o Campo de Santana até os Arcos da Lapa.

Figura 16 – Descrição da região de estudo



Fonte: autoria própria.

Já são aplicados diversos conceitos isolados para mitigar as enchentes, pois, uma vez que as águas de chuva em excesso se precipitam sobre a bacia urbana, a alternativa é retê-las adequadamente para evitar a concentração de vazões nas áreas planas e baixas. A utilização das bacias de retenção no interior de áreas urbanas, assim como outros elementos da cidade, requer previsão de limpeza e retirada dos resíduos acumulados. Da mesma forma, todos os sistemas de micro e macrodrenagem devem ser permanentemente limpos, para que eles funcionem da melhor forma possível durante os períodos de chuvas intensas na bacia urbana.

Ao longo do desenvolvimento do conceito da cidade sustentável, internacionalmente foram feitas algumas implantações com essa preocupação, que se propunha a inserir um desenho urbano ecológico. Um exemplo de aplicações de drenagem urbana sustentável é o projeto de *Coffee Creek*, localizado na cidade de Chicago, EUA. Este plano de urbanização previu áreas de vizinhança compactas de uso misto, em que a implantação de residências, locais de trabalho e comércio não afetassem o terreno. Planejaram-se algumas áreas de conservação da bacia do rio que atravessa a área urbana. Foram implantadas construções que utilizavam telhados verdes, vegetação retentora de águas pluviais, poços secos, cisternas, trincheiras contínuas de árvores, áreas alagadas artificialmente, trincheiras de cascalho, solos especialmente tratados, tinas perfuradas para retardamento das águas e dispersores.

Outro exemplo de implantação de cidade sustentável é o *Woodlands*, localizado em *Montgomery County*, próximo de Houston, EUA. É um projeto de um empreendimento privado cuja implantação teve início em 1974, ocupando uma área de oito mil hectares da cidade junto a bosques e pinheiros. Possui um sistema de drenagem que dispõe de drenagem dos solos para absorver as águas nas áreas baixas arborizadas e nos vales de cursos d'água, para escoar aguaceiros, prevenindo dessa forma as enchentes rio abaixo. Além do uso das várzeas arborizadas existentes, assegura um sistema interligado de parques e trilhas pela cidade.

Fogeiro (2019) relata que na China, em 2012, após episódios de graves inundações em Pequim, surgiu o conceito das *sponge cities*, em que foram associadas várias soluções com foco sustentável para aplicação em conjunto com o intuito de melhoras significativas no controle das águas. O conceito de *sponge cities* nos centros urbanos é uma inovação na integração da gestão hídrica das águas pluviais e projetos de planejamento urbano. Este conceito se originou nas cidades chinesas que sofriam prejuízos das fortes chuvas no período chuvoso do ano hidrológico, e tinham também episódios em que sofriam com a escassez de água no período de estiagem do ano hidrológico. O gerenciamento hídrico das precipitações é tratado de forma sustentável por seus gestores, garantindo o recolhimento e reuso de forma adequada, aplicando tecnologias. Ainda sobre o conceito, pode-se dizer que, além da captação dos grandes volumes de água, ele também compreende a capacidade de reutilizar as águas de chuva para mitigar os impactos de escassez ou de águas contaminadas e sujas.

Por sua vez, Zhang et al. (2018) afirmam que, para resolver os problemas causados pelo aumento das inundações pontuais, poluição e escassez da água, o governo chinês propôs a implantação do conceito de *sponge cities* para a melhoria do desenvolvimento urbano. O principal responsável pelo desenvolvimento deste conceito na China é o arquiteto e paisagista *Kongjian Yu*, que já possuía reconhecimento internacional por reintroduzir antigos sistemas de água chineses no design moderno, ainda conforme Zhang et al. (2018). Os projetos são maiores do que apenas o planejamento, visando construir nas cidades a resiliência para enfrentar o aumento do nível do mar, secas, inundações e tempestades de pluviosidade rápida e extrema. As cidades chinesas são precursoras deste novo conceito de cidade, que são aplicados para garantir a eficiência na resolução dos problemas causados pelas enchentes e inundações.

Com isso, o governo chinês priorizou o assunto escoamento das águas para o planejamento das suas cidades. O plano é a criação de áreas que podem absorver grandes quantidades de água para retê-la e posteriormente esta água ser lentamente reabsorvida no meio ambiente. Para isso, utilizou conceitos de cobertura vegetal, bacias de infiltração ou zonas de lagos, vegetação autóctone e pavimento permeável.

Com isso, Zhang et al. (2018) apresenta as principais características para a construção de uma cidade-esponja:

- 1 - Multiescalas. A construção da cidade-esponja precisa ter o apoio da população, observando a drenagem urbana e a bacia hidrográfica, para que o ciclo urbano da água seja bem regulado, tratando as precipitações, enchentes e inundações em multiescalas no ambiente urbano.
- 2 - Amplo período de reaparecimento de chuvas. A cidade-esponja necessita lidar com as precipitações no período de baixas e altas intensidades, para que o projeto padrão consiga conter adequadamente as intempéries dos eventos causados pelas inundações.
- 3 - Versatilidade. A construção da cidade-esponja tem a função de impedir inundações urbanas, aliviar a inundação urbana, reduzir a poluição das chuvas e do escoamento e melhorar o ambiente ecológico da água. Também tem a função de aumentar a água disponível por uso direto ou indireto.
- 4 - Sistemáticos. A construção da cidade-esponja é um projeto sistemático que envolve a conservação da água, arquitetura, jardins, paisagens, municípios e planejamento, etc. O projeto requer pessoal técnico e profissional para planejar, projetar, construir, operar e manter as instalações de engenharia, bem como supervisionar, organizar e coordenar os vários departamentos.
- 5 - Natureza de longo prazo. A cidade-esponja é um conceito de desenvolvimento e gestão da água urbana que devem ser desenvolvidos a partir de medidas de médio e longo prazo. (Zhang et al., 2018, p. 3)

Os autores complementam que a cidade-esponja é aquela de baixo impacto no modelo de desenvolvimento e construção, com base em um sistema de controle de inundações, oferecendo o acúmulo natural, penetração, purificação e relaxamento de espaços verdes, solo, rios e lagos. A cidade é capaz de lidar com os períodos de precipitação intensa, evitando os desastres com as enchentes e inundações, mantendo um ambiente hidrológico e ecológico, com medidas estruturais e não estruturais. (Zhang et al., 2018)

A implantação em outros países passa pela Europa, onde o arquiteto Carlo Becker dedica seu trabalho à “estratégia da cidade-esponja de Berlim”, onde aplica o conceito no projeto que recicla a água da chuva, ao mesmo tempo que evita grandes inundações e controla a temperatura da cidade para atenuar o efeito de ilha de calor.

Fogueiro (2019) também conceitua que as cidades-esponja abordam as principais problemáticas das cidades, como:



a) Redução de água disponível em áreas urbanas e periurbanas:

Ao longo da expansão urbana e da urbanização da cidade, segundo Council (2016), muitas áreas foram impermeabilizadas para a construção de vias urbanas, zonas pavimentadas, telhados e áreas de pátios e estacionamentos, que não tinham nenhuma absorção do solo, tendo que fazer a captação quase que exclusivamente pela infraestrutura de drenagem e canalizam-na para rios, lagos ou para o mar. A utilização deste design tradicional de drenagem criou desenhos de cidades cada vez mais impermeáveis e têm um impacto cada vez maior sobre o ciclo natural da água, criando maior dificuldade da água pluvial em penetrar em solo urbano, causando menos disponibilidade de água para ser extraída de aquíferos em áreas urbanas e periurbanas.

b) As águas levam poluição e carregam partículas ao serem descarregadas nos rios ou no mar:

As águas residuais e água de chuvas são descartadas em um sistema de drenagem único que, direcionadas para a estação de tratamento de águas residuais, são tratadas e posteriormente descarregadas nos rios ou no mar. Nas ocorrências de chuvas mais intensas, há o transbordamento das águas da estação de tratamento de águas residuais e descarregamento sem tratamento nos rios, aumentando o nível de poluição das massas de água locais.

c) Aumento da intensidade e frequência das inundações urbanas:

As mudanças climáticas intensas e extremas colocam em risco a capacidade de absorção da superfície urbana, pois aumentam o risco de inundação provocadas por tempestades. A inundação leva ao aumento da poluição das águas subterrâneas e tem um grande impacto diretamente relacionado à saúde pública.

d) Os espaços urbanos mais impermeabilizados:

O crescimento das cidades tem um ritmo mais acelerado e desorganizado para suportar o crescimento de população do que o planejamento de saneamento, tendendo à criação dos espaços impermeáveis sem redimensionar as drenagens, sobrecarregando sua capacidade.

O foco da necessidade de uma implantação sustentável para as cidades, junto com o episódio da grande enchente em Pequim em 2012, levou a estudos de aplicar diversos conceitos técnicos sustentáveis de forma harmoniosa para que a cidade passasse a ter maiores possibilidades de integração com o meio ambiente, sem a necessidade de tantas intervenções urbanísticas, sanitárias e hidráulicas para conter as diversas enxurradas que poderiam assolar futuramente.

Assim, a implantação das *sponge cities* integra espaços verdes abertos e contínuos como hidrovias interligadas, canais e lagos em bairros que já represam e filtram a água, bem como podem fomentar ecossistemas urbanos e aumentar a biodiversidade. O aproveitamento da água de chuva de telhados, com cobertura verde com capacidade de retenção de água da chuva auxiliam a minimizar a quantidade de águas que possam causar inundações em picos de precipitação e melhoram o microclima, além de gerarem benefícios econômicos para a população.

O planejamento urbano focado na cidade-esponja tende a definir um design com elevada permeabilidade, incluindo a construção de biodepressões e sistemas de biorretenção para deter o escoamento e permitir, sempre que possível, a infiltração de água subterrânea; utilização de pavimentos permeáveis, que permitem o fluxo de veículos e pedestres, ao mesmo tempo que fazem a absorção hídrica, aumentando o caudal das águas subterrâneas, e implantação de sistemas de drenagem que permitem a infiltração de água no solo ou que direcionam o escoamento da água da chuva para espaços verdes para absorção natural, ou que retardem o escoamento superficial de encosta para as sarjetas das ruas, amortecendo a concentração de vazões na micro e macro drenagem a jusante.

A utilização dos conceitos de sustentabilidade que a cidade-esponja compila permite a reciclagem de águas, incentivando economia de água para a população.

Na implantação do conceito da cidade-esponja, foram verificados vários benefícios, como:

- Melhora na qualidade da água, pois a melhor filtração da água pluvial fez com que houvesse confiança nas fontes de água urbanas, o que aumentou a acessibilidade aos recursos;
- Diminuição de carga para os sistemas de drenagem, pois, ao infiltrar e filtrar naturalmente o solo, há uma diminuição da quantidade de água descartada nos sistemas de drenagem, e as águas que são destinadas ao sistema não carregam tantas impurezas, facilitando o tratamento;
- Manutenção e restauração da biodiversidade, com a criação de mais espaços verdes conectados com áreas de lagos, criando habitat úmido para a melhora da biodiversidade;
- Aumento da quantidade de água limpa, reduzindo recursos econômicos dispensados para o tratamento de água pluvial;

- Redução do risco de inundação, com a disposição de mais áreas permeáveis, com maior absorção das águas e reduzindo o acúmulo destas águas para o escoamento;
- Mitigar os efeitos das ilhas de calor, com a melhora do microclima, aumento do teor de umidade na atmosfera através da evapotranspiração e o aumento da reflexão da radiação solar, contribuindo para a regulação da temperatura urbana;
- Redução de custos de manutenção dos edifícios pela implantação de coberturas verdes, que fazem um isolamento térmico e proteção da impermeabilização, reduzindo os custos energéticos e manutenção em geral, além da melhoria estética do ambiente, com mais verde na paisagem urbana;
- Isolamento acústico, pela implantação das coberturas verdes, pois absorvem, refletem ou desviam as ondas sonoras por meio do substrato e vegetação.

Para a implementação do conceito das *sponge cities* em Pequim, e para que as técnicas e instrumentos fossem acessíveis para a construção pública e privada, foi necessário o desenvolvimento de um conjunto de estratégias de incentivo para a implantação de instrumentos de gestão de águas pluviais. Foram criadas políticas de recompensa ou penalização pelo uso da água pela população caso a cota de utilização ultrapassasse ou não o estipulado, criação de campanhas de sensibilização, criação de subsídios temporários como equipamentos de gestão de águas, monitoramento para redução dos vazamentos e perdas na rede de abastecimento de água de forma mais vigorosa, premiação para a implementação de soluções sustentáveis de reciclagem de água, criação de selo de certificação ambiental e criação de bônus para construção (compensação no índice de impermeabilidade para área construída).

Esses modelos de soluções integradas das *sponge cities* atenderam muito bem a necessidade de Pequim, sendo implementada em outras cidades fora da China, a exemplo de Berlim, como foi citada.

Segundo Fogueiro (2019), outros exemplos mostram a visão mais integrada desta solução em projetos de espaços exteriores que apresentavam problemas distintos e adotaram as cidades-esponja como projetos para ajustar e melhorar seus espaços. O bairro de ST. Kjeld, em Copenhague, adotou as *sponge cities* como programa de adaptação às alterações climáticas e prevê uma redução de 20% das emissões de CO<sub>2</sub> e uma cidade neutra em carbono até 2025. Na área de Derbyshire Street, em Londres, foram implantadas as soluções das cidades-esponja para contribuir com a redução da pressão no sistema de drenagem de Londres. E a implantação das cidades-esponja em Melbourne, na Austrália, foi feita para contribuir com o trabalho das

empresas de água da cidade e é uma associação do governo com outras empresas parceiras, que garantem o fornecimento de água de qualidade para a população. Os conceitos também dão embasamento para a implantação de medidas de eficiência hídrica, promovendo educação ambiental, investindo em iniciativas de água reciclada e recolhendo mais águas pluviais de telhados, para reutilização em irrigação e outros usos adequados à finalidade.

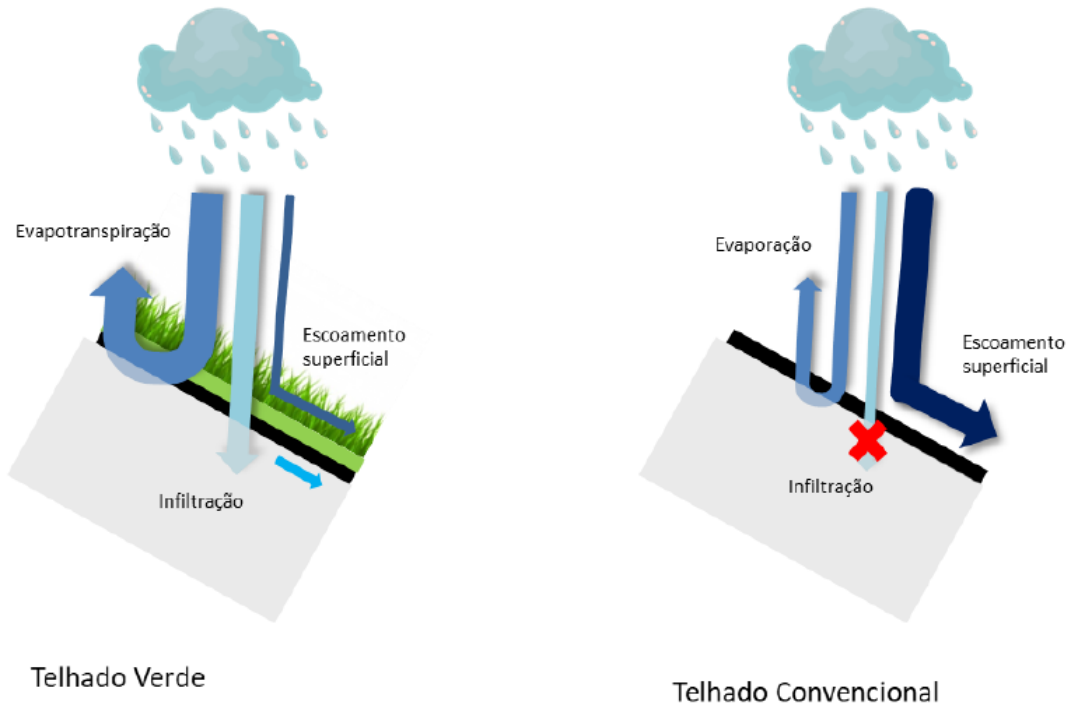
Medidas como a implantação de telhados verdes, piscinas, parques alagáveis e calçamento permeável são adotadas no conceito das cidades-esponja nos projetos implantados. Serão descritos abaixo como essas técnicas são aplicadas nestes projetos.

### 2.3.2.1 Telhado verde

Com a urbanização, a impermeabilização do solo se torna um problema muito grave para o escoamento das águas, e a aplicação de telhado verde passa a ser uma possibilidade para conter a onda de cheias de um período de precipitações, utilizando telhados cobertos por vegetação, segundo Matta (2015). A utilização dos telhados verdes nas edificações dos centros urbanos tem a função de barreira térmica dentro dos ambientes, além de compor a paisagem urbana.

A aplicação do telhado verde se apresenta como melhoria na utilização de telhados convencionais uma vez que a utilização do telhado convencional com telhas cria superfícies que levam as águas captadas diretamente para os sistemas de calhas direcionando a drenagem urbana, muitas vezes saturando a vazão do escoamento. Segundo Matta (2015), os telhados convencionais, em comparação com os telhados verdes, apresentam altas vazões de escoamento superficial (figura 17).

Figura 17 - Escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração em telhados verdes e tradicionais



Fonte: SOUZA, 2020.

Mesmo com os benefícios descritos, apenas sua implantação não consegue conter e controlar a vazão do escoamento superficial criado pelas chuvas. Na aplicação do conceito das cidades-esponja, o telhado verde deve ser combinado com os outros meios: os parques alagáveis, praças, piscinas e calçamentos permeáveis, como medidas estruturais para que possam minimizar os impactos das intensas chuvas nas metrópoles. Podem ser utilizados diversos tipos de vegetações para compor um telhado verde, desde espécies simples, como suculentas, gramíneas, flores selvagens e ervas aromáticas, utilizando as vegetações mais apropriadas para a região de estudo.

### 2.3.2.2 Praça-piscina

A implantação das praças-piscinas cria um sistema no qual a água é captada por calhas para as bacias subterrâneas, que podem ser utilizadas como mobiliário urbano. Neste sistema, a água flui naturalmente e retorna para reservatórios subterrâneos de armazenamento e que não são encaminhados para a canalização de esgoto. Esta água subterrânea armazenada é destinada

para a conservação das vias e manutenção de árvores e jardins da cidade. Segundo Médici e Macedo (2020), a aplicação desta técnica reduz os efeitos das ilhas de calor nos centros urbanos, e o aproveitamento desta água poderá ser ainda maior com sistemas de filtragem para redistribuição em pontos da cidade. Os aspectos sanitários desta solução no armazenamento das águas de chuva devem ser observados.

### 2.3.2.3 Parques alagáveis

Os parques alagáveis criam uma infraestrutura para garantir que os espaços comportem a absorção dos volumes de água de chuvas, em que pontos específicos dos parques são alagados. No conceito das cidades-esponja, há a previsão de passarelas suspensas em grande parte da área para garantir o acesso de pedestres o ano todo, e a parte alagável fica inacessível nos períodos de cheia, podendo essas áreas serem utilizadas nos períodos de estiagem.

Para sua implantação, é necessário observar a vegetação para absorver a água e garantir a biodiversidade da região. A partir das características topográficas, geralmente os parques alagáveis são implantados nas margens dos rios e nas costas, porém podem ser implantados em áreas sem um curso d'água, mas que armazenam as águas das chuvas (figura 18).

Figura 18 - Parque alagável com passarelas suspensas na cidade de Jinhua, na China



Fonte: SOUZA, 2020.

Deve-se destacar que a implantação de parque alagável e praça piscina tem um caráter mais harmonioso na composição da paisagem urbana quando comparados nas técnicas convencionais utilizadas como os grandes reservatórios implantados nas cidades brasileiras chamados de “piscinões”, ou mesmo os reservatórios e bacias de retenção. O volume acumulado nos “piscinões” é mais vistoso, porém os impactos ambientais criados pela implantação são muito grandes.

#### 2.3.2.4 Calçamentos permeáveis

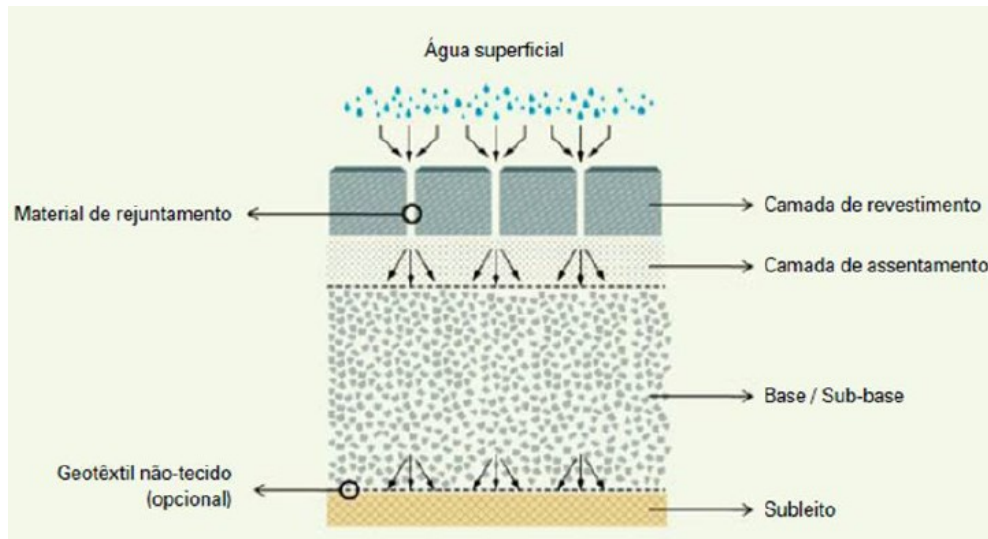
O conceito do asfalto permeável já foi descrito anteriormente, porém no conceito da cidade-esponja são descritos, além do asfalto permeável, outros tipos de calçamentos permeáveis para serem aplicados.

O calçamento permeável é utilizado em substituição ao asfalto convencional por um concreto permeável e drenante que consegue absorver a água da chuva. O mecanismo de drenagem do asfalto convencional funciona com o escoamento das águas de chuvas no sistema de drenagem urbana e que se mistura à rede de efluentes. Já a tecnologia do concreto permeável foi desenvolvida para que o piso tenha a capacidade de absorver e amortecer os grandes volumes de água pluvial.

De acordo com Médici e Macedo (2020), essa tecnologia já foi implantada em um projeto urbano numa praça na Dinamarca em que foi utilizado material fibroso (stone wool), que funciona como esponja e libera a água retida lentamente para o solo. A característica deste material é que em torno de 95% da água que entra em contato com o material é absorvida. Porém, deve-se observar que a permeabilidade do solo com a tecnologia do concreto permeável precisa da associação de outras medidas para garantir a eficiência de todo o sistema, uma vez que a vegetação garante que o solo consiga absorver o determinado volume de água.

Na utilização do piso permeável com material intertravado, este tipo de revestimento “(...) deve permitir a passagem rápida da água, que então fica armazenada por um período nas camadas de base e sub-base” (figura 19), ou seja, funciona como um reservatório e filtro, segundo Marchioni e Silva (2011).

Figura 19 – Seção tipo do pavimento com piso intertravado permeável



Fonte: SOUZA, 2020.

O calçamento permeável ou calçada drenante também é uma alternativa inteligente e sustentável que pode auxiliar a cidade para uma melhor gestão da água urbana. Este tipo de tecnologia permite que a água infiltre na placa do piso e seja absorvida pelo solo, podendo absorver um volume considerável de água pluvial.

#### 2.3.2.5 Jardins de chuva

O conceito dos jardins de chuvas é a criação de pequenos espaços de jardins que fazem o armazenamento e infiltração lenta das águas por meio deste espaço que é densamente vegetado. Esta técnica, também conhecida como área de biorretenção, geralmente é empregada em áreas próximas a construções para servir de área de captação e infiltração das águas providas dos telhados. Têm a função de criar uma área maior de absorção que retém parte desta água e proporciona a infiltração mais lenta, permitindo que o volume de águas pluviais possa ser encaminhado para o sistema de drenagem público ou capturado e tratado em sistemas de drenagem sustentável, sendo reaproveitado para outros fins. As vegetações utilizadas nos jardins de chuva devem ser adaptadas à região de implantação e resistentes a inundações ocasionais. Os jardins de chuva são medidas que contribuem para a infiltração e retenção dos volumes de água precipitados e estimulam a atividade biológica de plantas e microrganismos para remover os poluentes das águas pluviais (figura 20).



Segundo Fogeiro (2019), estes jardins geralmente são compostos por três áreas que estão relacionadas com a umidade no solo: a zona menos funda, nos locais onde o solo é mais seco em relação às demais, onde se coloca a vegetação que tem menos resistência a encharcamento; a zona intermédia, resistente a encharcamentos temporários e solo úmido, na época de chuvas; e a área mais funda, em locais onde a água se aloja mais tempo para ser absorvida pelo solo, onde têm de ser selecionadas plantas que resistam a encharcamentos mais prolongados.

Figura 20 - Imagem de um jardim de chuva

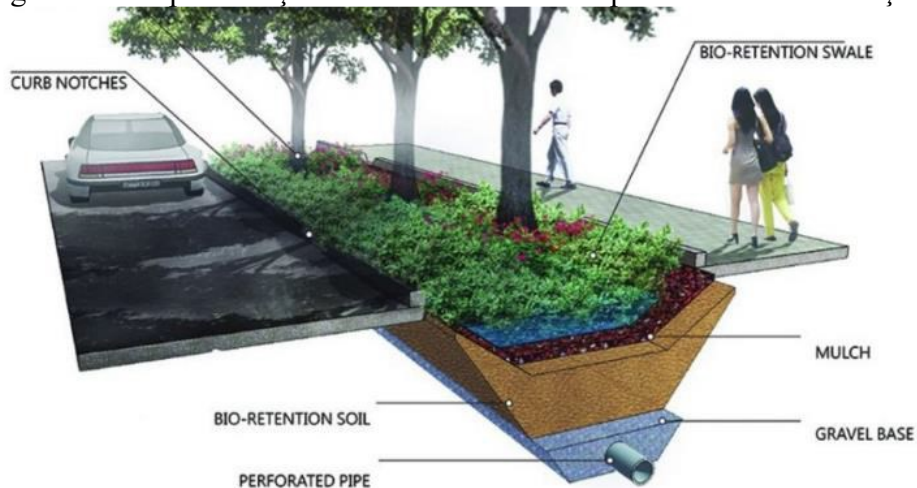


Fonte: FOGEIRO, 2019.

#### 2.3.2.6 Valas de infiltração

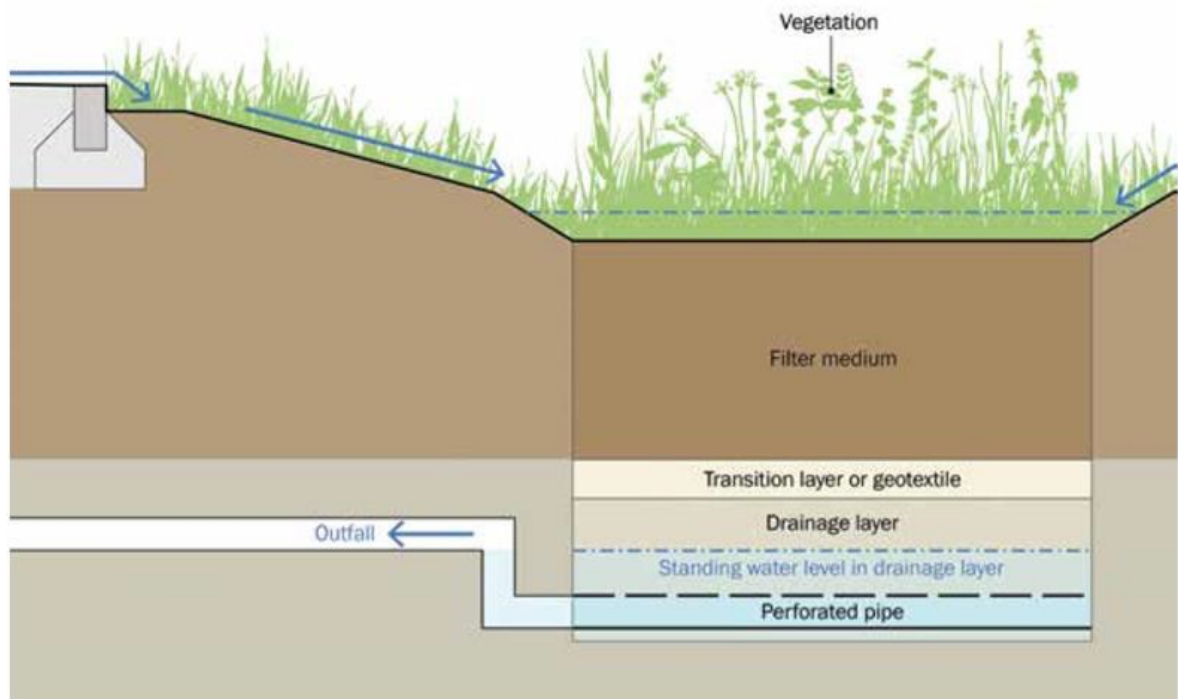
A utilização das valas de infiltração (figuras 21 e 22) como sistema básico de drenagem é feita para direcionar o escoamento superficial utilizando cobertura de vegetação que filtra as águas fazendo a remoção de poluentes nessa drenagem. Este sistema de valas reduz a velocidade dos fluxos das águas por meio da detecção de águas pluviais.

Figura 21 - Representação do escoamento viário para a vala de infiltração



Fonte: FOGEIRO, 2019.

Figura 22 - Representação em corte de uma vala de infiltração



Fonte: FOGEIRO, 2019.

No Brasil, alguns esforços para a implantação de medidas não estruturais sustentáveis já vêm sendo articulados mesmo sofrendo resistência. Santos (2019) cita que em São Paulo foi elaborado o projeto de Lei 01-00114/2017 do Vereador Ricardo Teixeira, para promover a

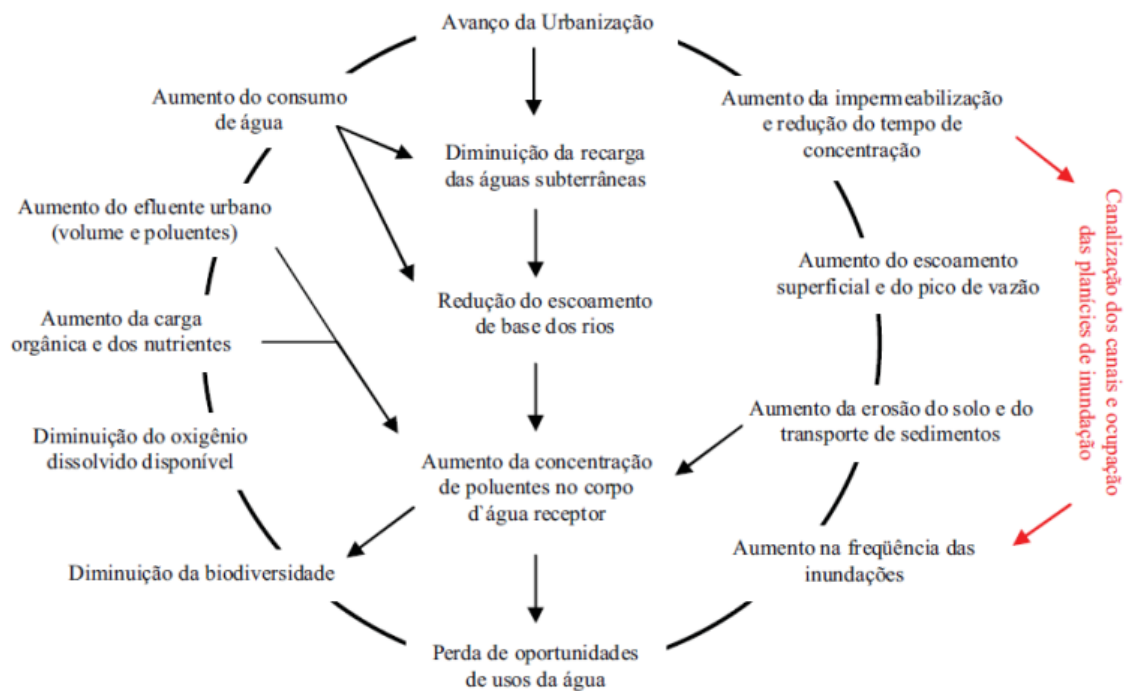
implantação de asfalto permeável e rede de captação das águas pluviais nas principais ruas do município de São Paulo com problemas de alagamento, porém esse projeto ainda não havia sido implantado, nem popularizado sem sua aplicação legal.

O panorama que se vê na cidade do Rio de Janeiro em relação à abordagem da drenagem sustentável é uma caminhada longa e está longe de ser uma referência completamente integrada aos planos urbanísticos. Os sistemas de drenagem da cidade ainda são os projetados pelos paradigmas do passado e que, além de não serem os adequados, já se encontram saturados há muitos anos. Esse aspecto, aliado às particularidades do sítio da cidade e ao seu processo de ocupação, tornam o Rio de Janeiro ainda muito vulnerável às inundações. Essa vulnerabilidade foi e é ainda a maior preocupação ao desenvolver os planos para orientação do desenvolvimento urbano da cidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 23 faz uma abordagem dos impactos que a urbanização pode influenciar na forma de captação das bacias hidrográficas, aumentando o volume d'água e causando inundações..

Figura 23 – Impactos da urbanização da bacia hidrográfica no ciclo d'água



Fonte: REZENDE, 2010.

A implantação da urbanização da cidade ao longo dos séculos pode ser vista em todas as tomadas de decisão que foram descritas na figura 19, porém essas intervenções foram feitas de forma gradativa e sempre somados a outros impactos até o conceito de cidade que temos hoje, com o nível de impactos e degradação.

A urbanização sem planejamento que ocorreu na cidade do Rio de Janeiro criou uma situação caótica, ocasionando o crescimento da pobreza, desigualdades sociais e a falta de gestão sanitária, não sendo superado pela modernização da economia. Esses problemas enfrentados na urbanização da cidade podem ser observados no microcenário que é a região da Praça da Cruz Vermelha e seus arredores, onde houve diversos problemas relativos à drenagem no decorrer dos séculos.

### 3.1 Aspectos Gerais – Estudo de caso da Região da Praça da Cruz Vermelha

As causas das enchentes na cidade do Rio de Janeiro podem ser descritas como um somatório de fatores que, ao serem associados, podem gerar maiores riscos para a cidade. Esses fatores são as características climáticas, geográficas e geológicas, além do planejamento e desenvolvimento da cidade ao longo de sua urbanização.

As características climáticas do Rio de Janeiro podem ser descritas resumidamente para ajudar a entender como as precipitações podem ser fatores de influência a riscos de inundações. na área central da cidade, especificamente na região da Cruz Vermelha, que é o foco deste estudo. A cidade do Rio de Janeiro se caracteriza pelo clima tropical, quente e úmido predominantemente. Por isso, as temperaturas apresentam poucas variações anuais, sendo as mais quentes no interior e as mais frias no litoral e nas altitudes mais elevadas. As precipitações têm médias entre 1.100 e 2.100 mm anuais, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Segundo a Rio-Águas (2011), tendo como base os dados disponíveis na estação climatológica principal do Rio de Janeiro da fundação, que se situa no Jardim Botânico, a tabela 2 apresenta os valores médios (1.851 a 1.990) de precipitação, número de dias chuvosos e temperatura.

Tabela 2 – Precipitações, dias chuvosos e temperatura

Período	Precipitação (mm)	Nº dias de chuva	Temperatura (°C)
Verão	397	38	25,5
Outono	322	31	23,9
Inverno	144	21	20,9
Primavera	244	34	22,3
TOTAL	1107	124	23,2

Fonte: Rio-Águas, 2011.

Os fatores estáticos, como relevo, e dinâmicos, como sistemas de circulação atmosféricas intertropicais e polares, influenciam o clima da cidade. As ocorrências de chuvas se associam diretamente à atuação das massas de ar Tropical Atlântica, que é quente e úmida, e Polar Atlântica, com características fria e seca. As chuvas que ocorrem na cidade apresentam características sazonais bem definidas. Os fatores que influenciam a sucessão dessas precipitações são a proximidade do local com o mar, a topografia acidentada da região e suas

proximidades, o padrão de circulação regional das massas de ar da atmosfera e alguns eventos de grande escala em nível planetário.

Nos meses de março a setembro, têm-se as estações outono e inverno: períodos que apresentam chuvas normalmente ocasionadas por entradas de frentes frias, com temperaturas mais amenas, e baixa umidade do ar. A canção “Águas de março”, escrita em 1972 por Tom Jobim, eterniza o período de chuvas que ocorre na cidade de forma lúdica, com a frase que representa esse período: “São as águas de março fechando o verão.”

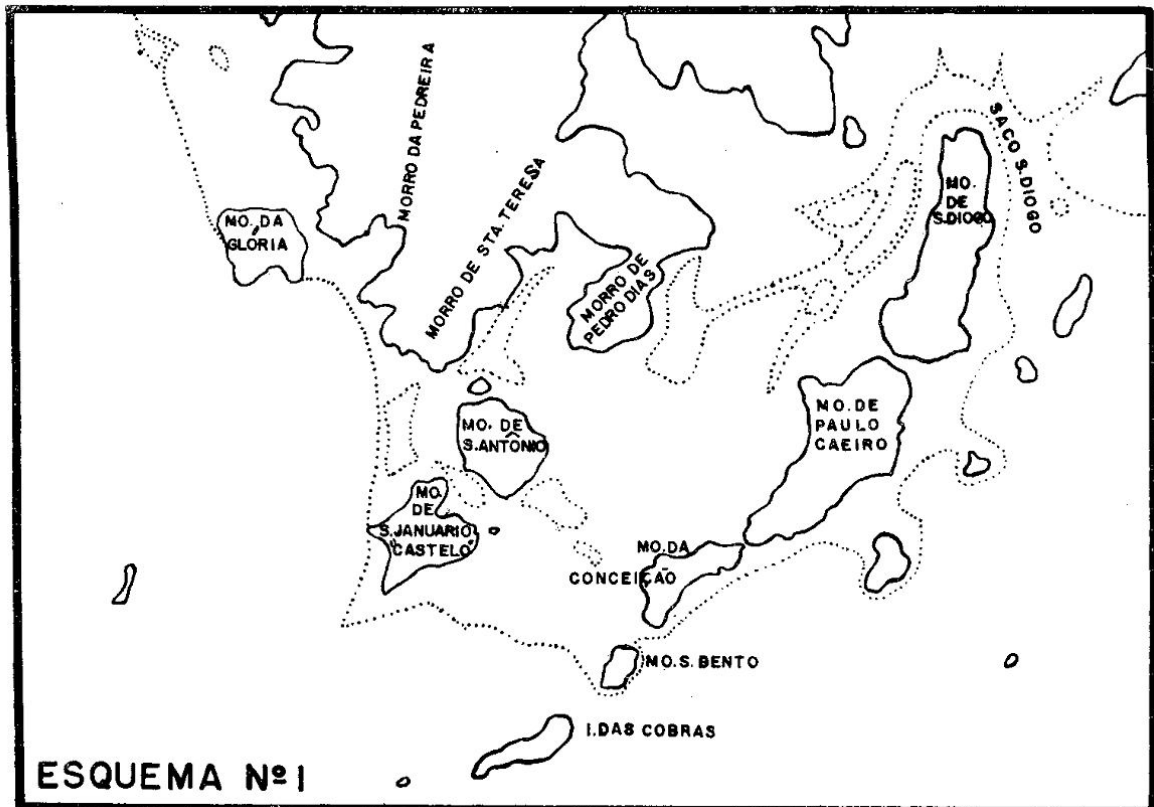
As estações da primavera e do verão acontecem entre setembro e fevereiro, apresentando temperaturas bastante elevadas, sendo comum ocorrerem chuvas de convecção no final da tarde, por causa da ascensão e esfriamento das massas de ar. Geralmente nestes períodos há maiores precipitações, com grandes volumes de chuvas em menores períodos. Há uma maior tendência de ocorrências de inundações. nos períodos de chuvas mais intensas neste período, já que o volume das chuvas, na ocorrência destas precipitações, é maior. Porém não é regra que haja sucesso no escoamento em episódios de chuvas mais moderados, pois, como há um problema de escoamento severo na região de estudo, quando o volume da precipitação é mais intenso, ocorrem as inundações., devido ao escoamento lento.

As características geomorfológicas da cidade do Rio de Janeiro já trazem áreas de relevo bem diversificados, pois são compostos por maciços que recobrem boa parte da cidade, que também apresenta áreas bem definidas de pântanos, rios e mananciais recortando as áreas de relevo mais baixas.

Ao longo dos anos, porém, as regiões do Centro sofreram com diversas intervenções urbanas, sem gestão ambiental e focando na urbanização acelerada, em decorrência da demanda demográfica intensa pela industrialização. Com isso, foram feitas intervenções como aterramento de pântanos e rios, além de aterramentos de áreas marítimas para a criação de maiores áreas urbanas nas proximidades da parte central e para facilitar o acesso à zona sul da cidade.

Segundo Braga (2009), a disposição do relevo na cidade do Rio de Janeiro era definida conforme o mapa representado na figura 24, no período de tempo anterior às grandes intervenções dos espaços físicos do centro da cidade, motivados pelos planos urbanísticos que tiveram como maior característica o desmonte de diversos morros entres os demonstrados neste mapa, como: Morro do Castelo, Conceição, Santo Antônio, Paulo de Caeiro, São Diogo, Pedro Dias e Santa Teresa.

Figura 24 - Esquema com a disposição do relevo original



Fonte: AMARANTE, 1960, apud BRAGA, 2009.

O mapa ilustrado na figura 25 mostra a divisão geral atual das áreas do centro, que surgiram por conta desse desmonte anterior no relevo da cidade; são eles: Santo Cristo, Gamboa, Saúde, Centro, Estácio, Cidade Nova e Catumbi.

Figura 25 - Mapa com a disposição dos bairros atuais



Fonte: IPP, 2007, apud BRAGA, 2009.

No histórico do planejamento urbano pode-se observar obras de retificação de rios com o propósito de melhoria no escoamento das águas causadas pelas inundações que eram constantes na cidade e a implantação de sistemas de drenagem e esgotamento urbano. Porém, estes sistemas se tornaram obsoletos em pouco tempo e não foram redimensionados, ocasionando a saturação das redes para as demandas de águas.

As construções de hospitais de grande porte na região da Cruz Vermelha são tão antigas e importantes para a cidade que a referência do nome da praça é o prédio do Hospital da Cruz Vermelha do Brasil, que fica neste local e foi implantado na década de 1920. Embora o nome da praça homenageie a Cruz Vermelha, o Hospital Municipal Souza Aguiar é mais antigo: sua fundação data do início do século como hospital de emergência e é até hoje referência em emergência para a cidade, além de concentrar a demanda de assistência cotidiana e estar localizado junto ao Campo de Santana.

Posteriormente, na década de 1930, foi implantado o Instituto de Assistência dos Servidores do Estado do Rio de Janeiro (IASERJ). No entorno da praça, também temos o edifício do Instituto Nacional do Câncer (INCA), que foi implantado no fim da década de 1930. Na região também estava localizado o Instituto de Ortopedia e Traumatologia (INTO),



implantado na região na década de 1970 e que teve sua sede deslocada para outro endereço em 2011, sendo instalado no local o Instituto Estadual do Cérebro Paulo Niemeyer (IEC). O Hemorio também está localizado nas proximidades da região e concentra o banco de sangue da cidade do Rio de Janeiro, com uma demanda de pacientes constante. A área tem uma vocação para a assistência de pessoas, e com isso a demanda e circulação de pessoas já é muito grande, o que transforma os alagamentos em problemas não apenas pontuais, mais de impedimento aos complexos hospitalares para os diversos atendimentos e acompanhamentos que os usuários das unidades necessitam ter.

Nesta região, passam diversos eixos viários de ligação entre a área do Centro e da Zona Norte da cidade, onde se tem um importante trajeto de mobilidade viária. Esta ligação é feita por vias principais da cidade, como a Avenida Presidente Vargas, Rua do Riachuelo, Rua Mem de Sá, Rua Frei Caneca e diversas outras. Ao ocorrer uma retenção ou paralização da via por inundações, há um problema viário no centro da cidade que acarreta outros tipos de problemas, como o da mobilidade urbana.

Para toda a volta da região da Cruz Vermelha, podemos enumerar áreas que sofreram alterações em seu relevo original, como o Campo de Santana, Cinelândia e Largo da Carioca, que perderam suas características de lagoas e pântanos para serem transformadas em áreas urbanas, passando a ter uma impermeabilização dos solos que não era sua característica anteriormente. No caso do Campo de Santana, foi um projeto executado ao se retirar a área de pântano e implantado no local um parque público, com áreas verdes e espelhos d'água artificiais que não possuem a atribuição de captação de águas de chuvas e apenas de área para composição e melhoria da temperatura e umidade dentro deste parque. Assim também acontece no Passeio Público construído na área da Cinelândia. A localização do parque público também era um pântano que foi aterrado para a construção de áreas verdes e espelhos d'água que também não têm a função de coletores das águas de grandes precipitações.

Regiões de maciços, como o do Castelo, sofreram com os conceitos sanitaristas da época, que pregavam o desmonte de sua composição para melhorias sanitárias. As áreas de praias, como um trecho da Cinelândia, Rua Santa Luzia, Cidade Nova e áreas onde hoje está instalada a região portuária da cidade, também sofreram com aterramento e descaracterização do desenho natural. Especificamente na Cidade Nova, o projeto desenvolvido para o canal do Mangue é uma obra urbanística de grande porte que não corresponde ao traçado natural da região.

A Lapa também sofreu muito com a impermeabilização das suas áreas, pois, ao passar pelo processo de urbanização, criou-se um traçado viário que corta e atravessa os pórticos dos

arcos do Aqueduto, transformando os grandes vãos que ladeiam os arcos em áreas impermeáveis. Tendo sido uma lagoa que sofreu aterramento, a área da Praça Cardeal Câmara não consegue captar as águas em períodos de fortes precipitações, mesmo que em períodos curtos de tempo.

O bairro de Santa Teresa teve sua ocupação em uma área de um complexo de maciços que tinha vegetação nativa bem densa e sofreu o processo de habitação por estar no entorno da área central da cidade. É um bairro que teve seu desenvolvimento com planejamento urbanístico, mas nas cotas de altitude mais elevadas onde a ocupação urbana não é mais permitida pelas legislações vigentes. Foi ocupado por construções irregulares, criando áreas de implantação urbana e demográfica descontroladas, sobrecarregando o sistema de drenagem de forma acentuada.

As “favelas” são um problema que assola o bairro, pois houve um avanço descontrolado destas comunidades, que não dispõem dos sistemas básicos de distribuição de água, esgoto e drenagem, além dos serviços de recolhimento de lixo. A carência destes serviços básicos coloca em risco o bairro, já que o despejo de dejetos nas encostas e o descarte de águas servidas e esgotos não tratados diretamente nas ruas são riscos para deslizamento de encostas na região e de assoreamento e entupimento dos sistemas de drenagem nas partes planas e baixas da bacia hidrográfica.

A retomada do planejamento da área central do Rio se deu no começo dos anos 2000, pois a cidade iria sediar dois grandes eventos mundiais, a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016. Esses dois eventos trouxeram projetos de modernização para toda a cidade, mais especificamente com grandes obras na região portuária e Praça Mauá, porém o entorno desta área, que é a região da Cruz Vermelha, também foi contemplado com implantações de empreendimentos.

A construção e revitalização de imóveis para a implantação de hotéis, flats, restaurantes, academias e edifícios residenciais foram feitos em diversas ruas dessa região, para dar suporte aos eventos que a cidade iria receber, e era necessário comportar essa demanda de turismo e aumento de população circulando na região.

Anteriormente a esse fato, já tinha sido elaborado um projeto e desenvolvimento da construção de um prédio comercial de grande porte para comportar grande parte de funcionários da Petrobras. Esse projeto trouxe para a região, além do aumento de demanda de pessoas do próprio empreendimento, ocupações de outros prédios comerciais e residenciais em seu entorno, que aumentaram ainda mais a circulação de pessoas, porém o dimensionamento das redes de drenagem pública não foi corretamente reestruturado para essa nova demanda.

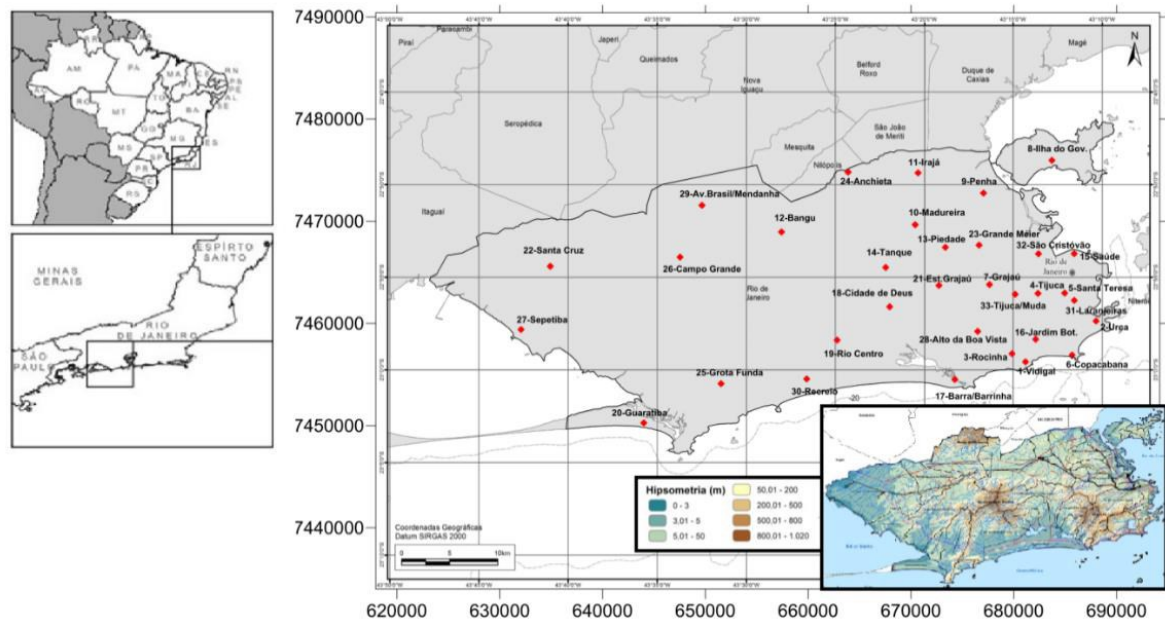
A região da Cruz Vermelha tem muitas intervenções de projetos que foram executados anteriormente, porém não colocados em operação. Na implantação das linhas e ramais do modal metroviário de transportes da cidade, no fim da década de 1970 e início de 1980, havia no projeto inicial o traçado de uma estação de passageiros na Praça da Cruz Vermelha. Com isso, foram construídas galerias subterrâneas com túneis que ligariam essa estação às demais, porém o projeto não foi consolidado para a implantação dessa estação, mas as obras subterrâneas foram executadas.

Todos esses fatores associados fazem com que os problemas de enchentes na região continuem presentes até os dias de hoje. Ao menor sinal de chuvas mais intensas, vários pontos dessa região são assolados pelas inundações que, além do transtorno pontual nas áreas que ficam intransitáveis, causa problemas no deslocamento em geral. A região sofre com esse problema, e toda a estrutura que nela existe sofre também, pois posteriormente às enchentes há um acúmulo de lama, dejetos carreados e esgoto que ainda ficam expostos ao longo das vias, mesmo estando junto a áreas hospitalares, comércios, escritórios comerciais e áreas turísticas, criando uma sensação insalubre e desagradável dentro dessa área urbana..

### **3.1.1 Análise do regime pluviométrico da região do Centro do Rio de Janeiro**

A cidade do Rio de Janeiro conta com um sistema de monitoramento de precipitações chamado Sistema Alerta Rio, que é operado pela Georio conforme a figura 26. Este sistema tem 33 estações pluviométricas automáticas, que são distribuídas em pontos específicos, e opera um sistema de alerta de chuvas intensas para a cidade. De acordo com a série histórica de 1997 a 2016 do Alerta Rio, o total anual médio de chuvas é de 1212,4 mm na cidade. No Rio de Janeiro, as maiores chuvas ocorrem no mês de janeiro, com precipitação média de 176,6 mm, e agosto é definido como o mês mais seco, com média de 39,8 mm, segundo a Georio (2018).

Figura 26 - Localização das 33 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio e detalhe hipsométrico da cidade do Rio de Janeiro



Fonte: SICILIANO et al., 2018.

Segundo Pristo et al. (2018), na cidade existe uma distribuição sazonal das chuvas, com os maiores acumulados registrados durante a estação do verão e os menores no inverno. As estações de outono e primavera apresentam índices intermediários de precipitação, assim como acontece com os acumulados anuais de chuva, em que os maiores volumes são registrados nas regiões próximas aos maciços em todas as estações do ano.

De acordo com o Alerta Rio (2016), as chuvas não ocorrem de forma homogênea em todas as regiões, pois, devido às características do relevo acentuado do Rio de Janeiro, proximidade do oceano e vegetação da Mata Atlântica, a cidade tem características distintas de acordo com a região.

Para a região da Praça da Cruz Vermelha, que é o foco deste estudo, verificamos que as condições pluviométricas são analisadas pela Estação Pluviométrica (EP) da Saúde, responsável por fornecer os dados de chuvas na área de abrangência do estudo (figura 27). Esta área é definida pelo Sistema Alerta Rio para cada estação mapeando a cidade. As imagens georreferenciadas com a delimitação de cada EP são disponibilizadas pelo sistema Alerta Rio.

A EP Saúde está distante em torno de dois quilômetros da área de estudo da Praça da Cruz Vermelha e está localizada no topo do prédio do Hospital Federal dos Servidores do Estado, na área central da cidade do Rio de Janeiro, nas coordenadas geográficas latitude - 22,89606° e longitude -43,18786°, UTM (SAD 69 Zona 23). Os dados históricos disponíveis e utilizados neste trabalho compreendem o período de 1 de janeiro de 1997 até dezembro de 2019.

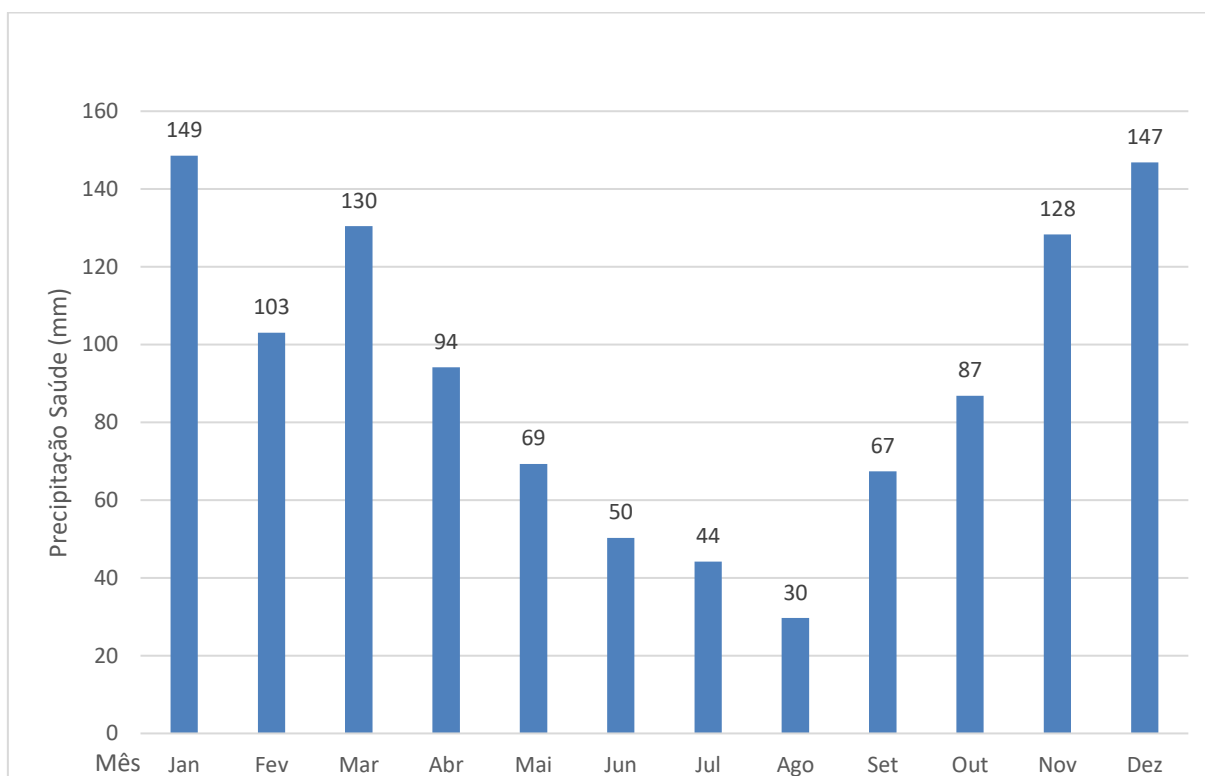
Figura 27 - Área de abrangência da estação pluviométrica da Saúde



Fonte: autoria própria.

A figura 28 representa o gráfico com as médias pluviométricas mensais da estação pluviométrica da Saúde, com dados analisados entre os anos de 1997 e 2019. Ao analisar este gráfico, percebem-se médias indicando meses mais úmidos no período entre outubro e abril e médias indicando meses mais secos entre o período de maio e setembro. Estes dados pluviométricos fazem parte do acervo de informações de monitoramento do Sistema Alerta Rio, que disponibiliza essas informações diretamente no site, de forma gratuita.

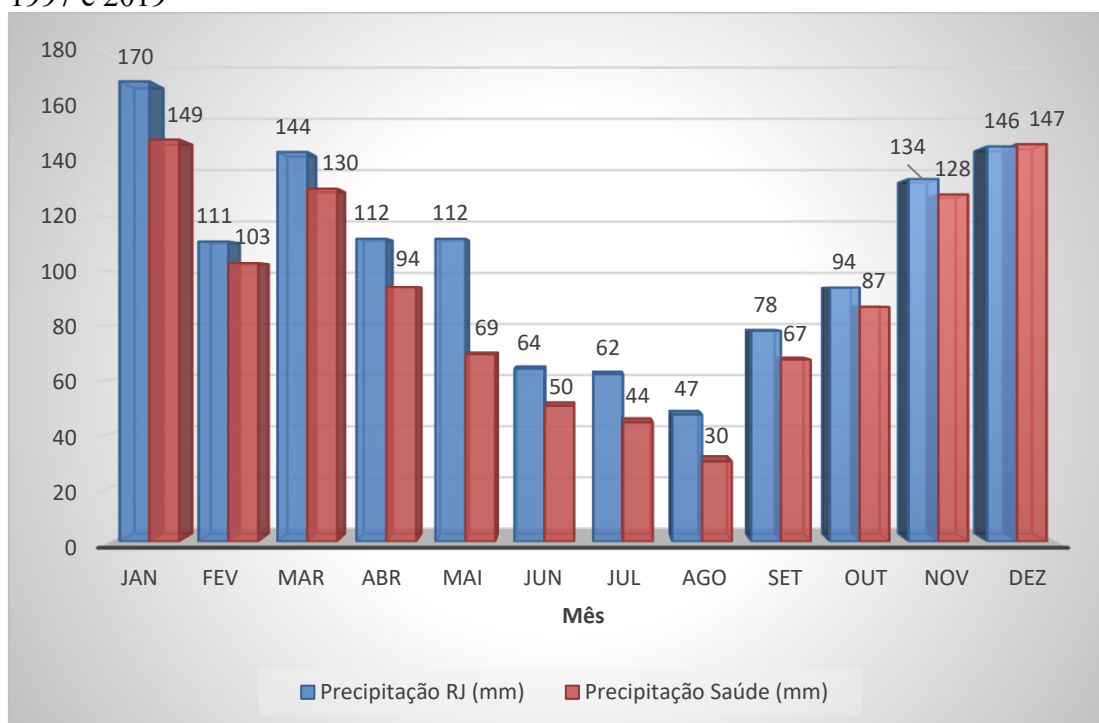
Figura 28 - Média pluviométrica mensal da EP Saúde no período entre 1997 e 2019



Fonte: análise de dados do autor, com dados do sistema Alerta Rio.

A análise dos dados dos volumes médios mensais de chuva na cidade do Rio de Janeiro e na estação pluviométrica da Saúde foi utilizada como parâmetro para a construção do gráfico comparativo representado na figura 29 e traz como forma de avaliação dos valores para compreensão dos dados que são obtidos pelas médias descritas respectivamente da cidade do Rio de Janeiro e da EP Saúde, com dados disponíveis pelo Sistema Alerta Rio da cidade do Rio de Janeiro (2021).

Figura 29 - Média de chuvas da cidade do Rio de Janeiro e na EP Saúde no período entre 1997 e 2019



Fonte: análise de dados do autor, com dados do sistema Alerta Rio.

Podemos observar que a estação pluviométrica da Saúde tem um volume de precipitações mensais com pouca variação em relação às médias da cidade do Rio de Janeiro, com a diferença variando entre 10 e 20 mm na maior parte dos meses, com picos superiores nos meses de janeiro e maio e variações menores em fevereiro, outubro, novembro e dezembro. Observando o período seco, que abrange entre junho e setembro, a média do volume de chuvas na área da EP Saúde fica entre 10 a 20 mm de diferença no valor comparada à média pluviométrica da cidade do Rio de Janeiro.

Segundo Siciliano et al. (2018), no município do Rio de Janeiro, o trimestre mais chuvoso é dos meses de novembro a janeiro e o de menos chuvas é entre os meses de junho a agosto. De junho a agosto, podemos verificar nas médias da EP Saúde uma tendência de comportamento mais seco do que nos meses iniciais do ano, com precipitações acumuladas inferiores a 50 mm.

Ainda conforme Siciliano et al. (2018), agosto se caracteriza como o mês mais seco do ano, com médias de precipitações de 30 mm nas regiões do Centro. Já o mês de setembro caracteriza-se como o término do período seco e do inverno, notando que as precipitações médias dobram comparativamente do mês de agosto para setembro.

O período do final da primavera e o início do verão, que caracteriza os meses de novembro e dezembro, têm uma tendência acentuada nos índices pluviométricos, com precipitações acima de 125 mm das médias, mas o mês de janeiro tem o maior índice de precipitações médias dos meses, apresentando 149 mm, um pouco abaixo dos valores de dezembro, que se aproximam bastante deste valor, com índices de 147 mm.

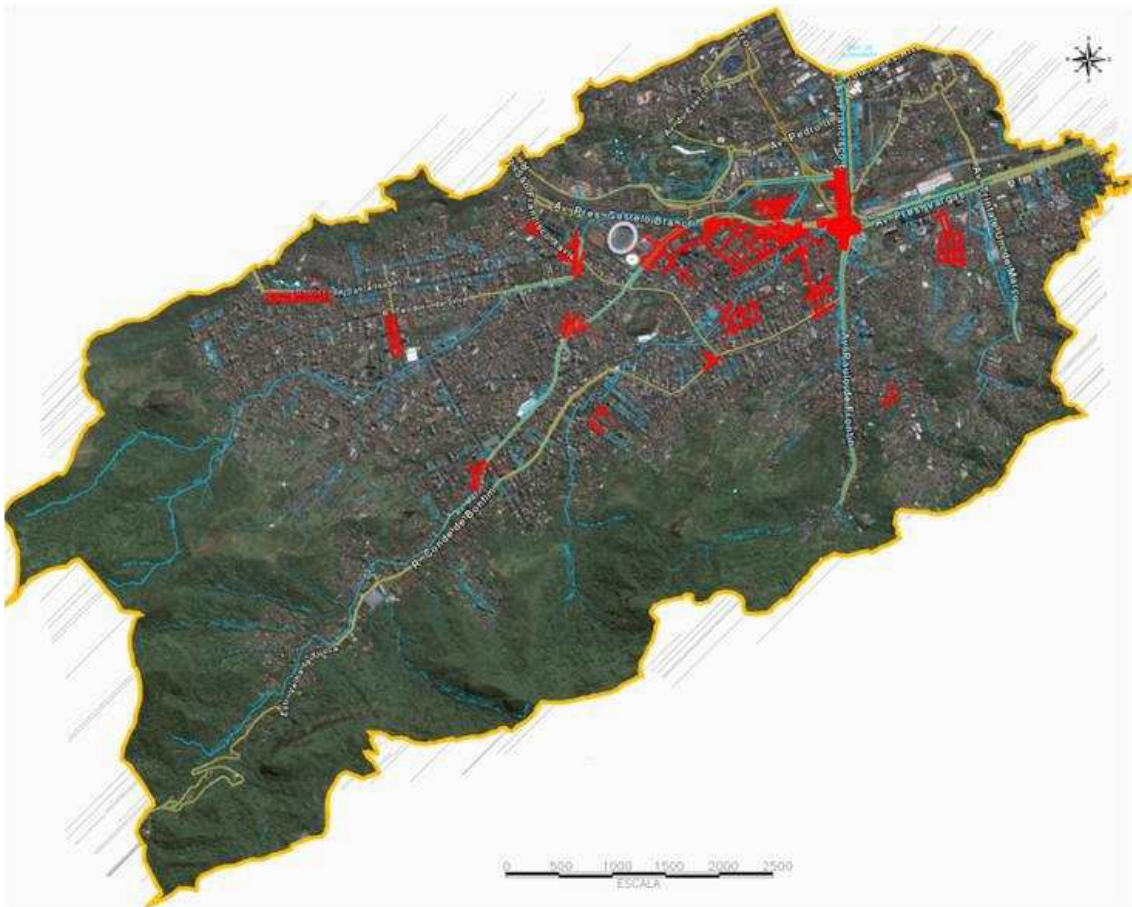
### **3.1.2 Análise dos alagamentos na região da Praça da Cruz Vermelha**

A ocupação irregular, favelização e expansão urbana não planejada contribuem diretamente para a redução das áreas permeáveis da cidade. E, associada a esses fatores, observamos que na cidade do Rio de Janeiro as chuvas intensas passam a ser mais frequentes, muitas vezes concentrando precipitações expressivas em curtos intervalos de tempo, além dos fatores climáticos do cenário do aquecimento global, que criam concentração de calor nos dias e noites. Com este cenário da cidade, e com as análises de que a região do Centro tem precipitações bem elevadas nos meses de novembro a janeiro, podemos mapear na área da Cruz Vermelha trechos que são alagados frequentemente com as chuvas fortes destes períodos. O volume destas precipitações é grande em um período geralmente pequeno, o que causa o acúmulo dessa água em forma de alagamento, pois o sistema de drenagem existente não tem vazão suficiente para essa demanda.

O Plano Diretor de Manejo de águas pluviais da cidade do Rio de Janeiro (PDMAP), elaborado pela Rio-Águas em 2011, mapeou para seus estudos a mancha de inundação na área central da cidade (figura 30), onde a região de estudo está englobada. Este PDMAP da Rio-Águas (2011) descreve que a bacia do Centro está localizada no centro urbano da cidade do Rio de Janeiro, que não corresponde com o centro geográfico. A bacia é composta por sub-bacias cujos talvegues deságuam diretamente na Baía de Guanabara, em duas regiões principais: a Marina da Glória e a região portuária. Tem sua hidrografia formada por um conjunto de galerias que percorrem dois eixos: no sentido Cidade Nova/ Catumbi, em direção à baía da Marina da Glória, e no sentido Candelária-Marina da Glória. Estas galerias drenam as águas pluviais provenientes dos bairros do Centro, Saúde, Santa Teresa, Gamboa e Glória. A figura 31 mostra a localização da Bacia do Centro no mapa das macrorregiões de drenagem do município do Rio de Janeiro.



Figura 30 – Mancha de inundação levantada na área central do Rio de Janeiro



Fonte: Rio-Águas, 2011.

Figura 31 – Localização da bacia do Centro no município



Fonte: Rio-Águas, 2011.

A Rio-Águas (2011) descreve que a área da bacia do Centro possui 8,2 km<sup>2</sup> e engloba um conjunto de pequenas bacias cujos talwegues drenam para a Baía de Guanabara, composta pelas bacias da Rua do Riachuelo, Rua do Resende, Rua do Lavradio e onde se destaca a bacia da Rua Mem de Sá. Esta possui 1,84 km<sup>2</sup> e tem problemas com as ocorrências de inundações que são conhecidas historicamente na cidade. A figura 32 mostra a planta hidrográfica da Bacia do Centro em foto aérea, destacando a bacia do talvegue da Rua Mem de Sá.

Figura 32 – Planta hidrográfica da Bacia do Centro, com destaque para a bacia contribuinte da galeria da Rua Mem de Sá



Fonte: Rio-Águas, 2011.

Os cursos d'água da bacia da Rua Mem de Sá não são abertos; todos os talwegues são dotados de galerias subterrâneas para o escoamento das águas pluviais. A região da Praça da Cruz Vermelha está englobada na bacia do Centro e faz parte das áreas de risco dessa bacia. As galerias de águas pluviais desta região são muito antigas e se tornaram insuficientes com o aumento do escoamento, além de sofrerem com o assoreamento por lixo pois a limpeza destas galerias não é periódica e poluição difusa que recebem.

A situação da bacia da Rua Mem de Sá é uma das mais críticas, pois as inundações causam prejuízos e transtornos à população circulante e prejudica o intenso tráfego da região.

Segundo a Rio-Águas (2011), o despejo de todas as tubulações decorrentes das contribuições da bacia da Rua Mem de Sá é concentrado em uma só galeria, que tem sua capacidade de escoamento variando ao longo da sua extensão. Com isso, em episódios de precipitações volumosas, não há como a galeria drenar de uma vez toda a demanda de água, causando as inundações na região, conforme a figura 33.

Figura 33 – Inundações na Bacia do Centro



Fonte: Rio-Águas, 2011.

Posteriormente aos estudos do plano diretor e se passando quase dez anos desse estudo, de acordo com reportagens do G1 e Bandnews em setembro de 2020, os problemas com pontos de alagamento e inundação na área da Praça da Cruz Vermelha continuam a ser destaque nos jornais, com precipitações intensas que em 24 horas tiveram volumes equivalentes aos totais do mês, sendo uma situação atípica, pois setembro, embora já seja um mês com características mais chuvosas, não tem um volume tão alto de precipitações médias no seu histórico. Nesse episódio de setembro de 2020, foram descritas nas notícias situações de alagamento na Rua Mem de Sá, onde houve queda de árvore e interdição da via, e alagamento da Rua do Resende, indicando um ponto deste alagamento dentro da área do Prédio da Coordenação Administrativa do INCA (COAGE), onde o pátio interno desta edificação sofreu mais uma vez com esse episódio de alagamento.

Os episódios de inundações na área da Praça da Cruz Vermelha são periódicos e nas figuras 34, 35 e 36 são ilustrados eventos de alagamentos devido a precipitações volumosas nas áreas internas do prédio anexo (COAGE) do INCA e na Rua do Resende, onde há o encontro com a Rua André Cavalcante. Esses eventos foram observados em dois em períodos de fevereiro de 2021: respectivamente o primeiro no início do mês (05/02/21) e o segundo no fim (22/02/21).

Figura 34 –Foto da vista da Rua do Resende, esquina com a Rua André Cavalcante alagada durante precipitação intensa no dia 22/02/2021



Fonte: autoria própria.

Figura 35 – Foto da vista do pátio interno do prédio anexo (COAGE) do INCA alagado na Rua do Resende durante precipitação intensa no dia 22/02/2021



Fonte: autoria própria.

Neste estudo, a partir dos dados dos índices pluviométricos analisados da estação pluviométrica da Saúde, dados do PDMAP da Rio-Águas, notícias publicadas sobre alagamentos na região e informações do Alerta Rio, foram identificadas as regiões que estão englobadas na região da Praça da Cruz Vermelha e seus arredores que sofrem com as precipitações de grandes volumes. Além disso, pode-se constatar que o nível de risco das áreas da Bacia do Centro e sua susceptibilidade a inundações decorre da baixa velocidade de escoamento do sistema de drenagem durante os eventos hidrológicos. Os pontos de alagamento e inundação na área da Praça da Cruz Vermelha ocorrem devido a motivos diversos, tais como impermeabilização do solo e consequente aumento da velocidade dos escoamentos, associada a deficiências de capacidade hidráulica em galerias antigas e falta de manutenção e periodicidade de limpezas destas galerias pelos órgãos responsáveis. Os eventos vêm ocorrendo com uma periodicidade praticamente anual para chuvas, com períodos de retorno relativamente reduzidos, sendo inaceitável essa regularidade destes desastres, considerando os transtornos e prejuízos que afetam a cidade.

A identificação das áreas suscetíveis a inundações e a magnitude destas últimas são os dados de partida para que seja possível quantificar os prejuízos causados na área da bacia hidrográfica. Com isso, essa primeira identificação das áreas que são mais atingidas pelas inundações na região serve para que se estabeleçam procedimentos cabíveis, visando a obtenção de informações sobre os danos causados e com isso constatar a viabilidade das soluções propostas para a transformação dos prejuízos em benefícios.

Figura 36 – Foto da vista da Rua do Resende, esquina com a Rua André Cavalcante, alagada durante precipitação intensa no dia 05/02/2021



Fonte: autoria própria.

### **3.2 Aplicação do conceito da *sponge city* para soluções do problema da drenagem na região da Praça da Cruz Vermelha**

No estudo da região da Praça da Cruz Vermelha, foram identificadas áreas que sofrem potencialmente com os problemas de episódios de alagamentos e inundações na bacia do Centro devido aos eventos de precipitações elevadas.

Foram produzidos estudos de implantação de melhorias da drenagem a partir do levantamento feito:

- Mapeamento da área de estudo com foco em zonas críticas de alagamento;
- Elaboração de proposta de implantação de melhorias das drenagens artificiais aplicando os conceitos das cidades esponjas;
- Sugestão de implantação de medidas e tecnologias das cidades esponjas para mitigar os problemas mapeados na região da Praça da Cruz Vermelha.

Após essa identificação, foi montado um roteiro onde estas áreas foram mapeadas e descritas em zonas específicas onde foram analisados os problemas enfrentados em cada uma delas e posteriormente estudada a aplicação dos conceitos da cidade-esponja para a implantação de melhorias na drenagem das águas acumuladas e mitigar os problemas que estas retenções provocam nesses espaços da cidade.

#### **3.2.1 Roteiro de intervenções para solucionar os problemas de alagamento**

Focando na área de estudo, diante do levantamento histórico da região, percebemos que toda sua estrutura natural foi alterada, criando um desequilíbrio para a captação das águas e formando áreas impermeáveis, o que é um grande aliado aos problemas de aumento da frequência das chuvas intensas e alteração dos fatores climáticos pelo aquecimento global.

Dessa forma, ao estudar a área foco deste trabalho, percebemos que a região que pertence à bacia hidrográfica do Centro sofre com os episódios de inundações e alagamentos e a partir destas análises pudemos enumerar os locais que mais sofrem com os picos de inundações das chuvas intensas. Com áreas de escoamento subdimensionadas para o volume

de águas proveniente das chuvas e recebendo as águas carreadas de pontos com coordenadas mais altas, estas áreas possuem características similares, pois recebem uma demanda de águas que se acumulam devido ao escoamento lento, por possuir um sistema de drenagem urbano antigo e pouco eficiente para o escoamento adequado.

O objetivo deste estudo é criar uma proposta de implantação de melhorias da drenagem artificial da região, utilizando os conceitos da cidade-esponja. Para isso, primeiramente foi necessário mapear as áreas que são mais atingidas pelos alagamentos na região. Para atingir esses objetivos, as técnicas previamente estudadas do conceito das cidades-esponja serão sugeridas para implantação de estratégias em que a vegetação e os sistemas propostos sejam adaptados às condições geográficas das áreas de estudo e tragam o resultado de melhoria do problema de alagamentos que persistem ao decorrer dos anos.

Analisando a região da Praça da Cruz Vermelha, identificamos diversas áreas que podem ser estudados para a implantação de melhorias da drenagem da região e, a partir do mapeamento delas, elaboramos um roteiro de intervenções para solucionar os problemas de alagamento focado no conceito das cidades-esponja.

Neste roteiro separamos áreas que são mais suscetíveis a picos de alagamentos:

- a) Extensão da Rua do Resende, que abrange os arredores entre as ruas Carlos Sampaio e Ubaldino do Amaral;
- b) Extensão da Rua do Resende, que abrange os arredores entre as ruas Gomes Freire e do Lavradio;
- c) Extensão da Rua Gomes Freire, que abrange os arredores entre as ruas da Relação e Mem de Sá;
- d) Extensão da Rua da Relação, que abrange os arredores entre as ruas do Lavradio e Gomes Freire;
- e) Extensão da Rua do Lavradio, na altura da Rua dos Arcos, e do Resende, seguindo até a Mem de Sá;
- f) Rua dos Arcos, junto à Praça Cardeal Câmara, entre o aqueduto e a Rua do Lavradio;
- g) Extensão da Rua Vinte de Abril, que abrange os arredores entre a Rua do Senado e a Praça da República;
- h) Rua Carlos Sampaio, entre a Praça da Cruz Vermelha até a Rua do Senado.

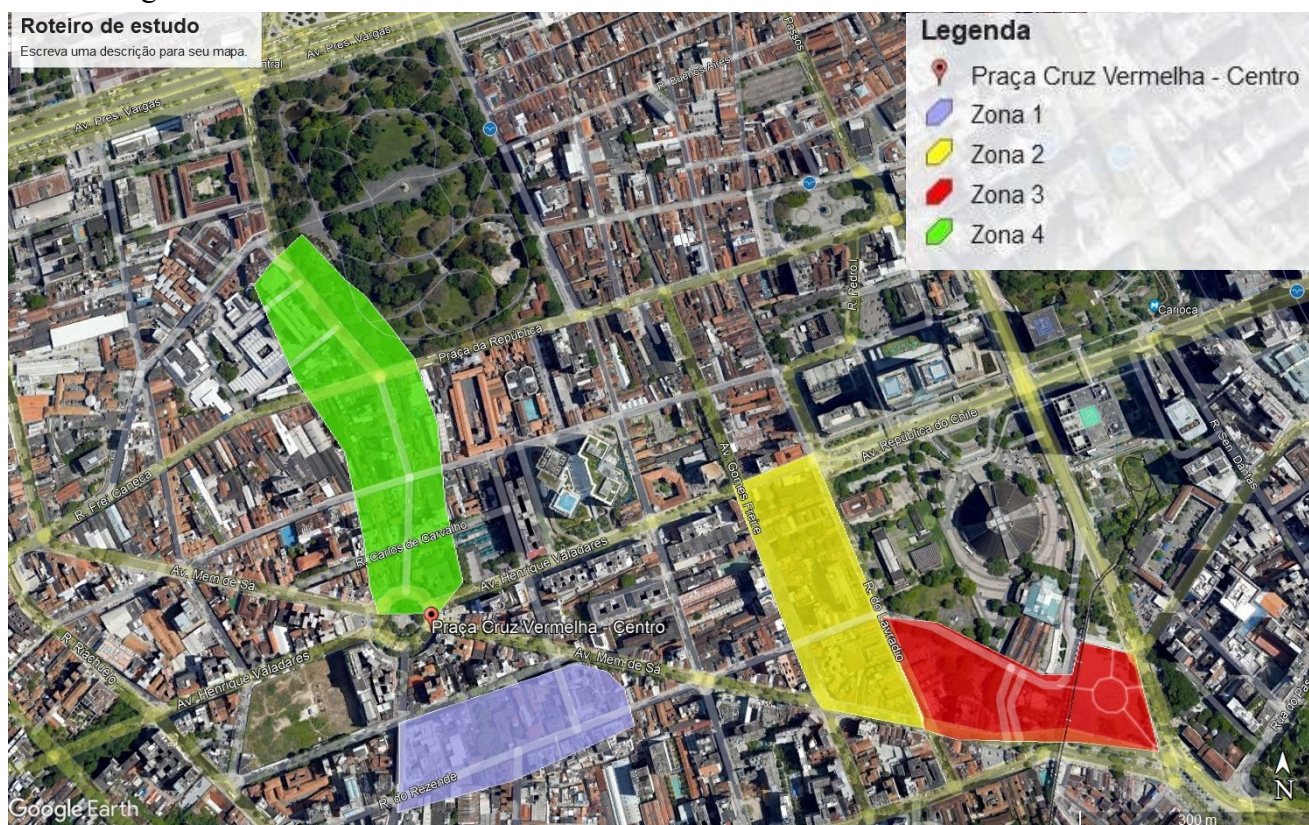
Portanto, é importante destacar um primeiro estudo com propostas de implantação de técnicas para melhorias do sistema de drenagens urbana, que analisam pontualmente uma região historicamente afetada pelas inundações, que aumentariam a permeabilidade e filtragem das



águas, dando maior qualidade à região e trazendo novo foco para futuros estudos de outras áreas da cidade.

As áreas mapeadas foram definidas neste roteiro em quatro zonas, conforme mostra a figura 37, que foram agrupadas pelas características, proximidade e necessidade de propostas que abrangem a melhoria da região em que estão englobadas.

Figura 37 - Zonas do roteiro de estudo



Fonte: autoria própria.

A **zona 1** descrita no mapa abrange a área “a”, definida no roteiro e que está localizada na extensão da Rua do Resende, no trecho que abrange os arredores entre as ruas Carlos Sampaio e Ubaldino do Amaral, estendendo-se um pouco mais além destas áreas, por receber as águas carreadas provenientes de pontos mais altos, como mostra a figura 38.

A Rua do Riachuelo, que está em cota mais alta que a Rua do Resende, recebe as águas provenientes das áreas de Santa Teresa, que descem até as ruas com relevo mais baixo em relação às suas cotas, encontrando as demandas de águas residuais destas áreas. Como a Rua do Resende neste trecho apresenta declividade em relação ao seu redor, passa a ter o papel de uma “bacia de contenção” de todo esse volume de água excedente, que não consegue ser esgotado pelo sistema de captação de drenagem num primeiro momento, pois não tem dimensionamento para o recebimento de um volume tão elevado de uma só vez.

A **zona 1** recebe todo o escoamento das águas direcionadas das áreas de maior relevo, vindas do Bairro de Fátima e recebendo as águas residuais de Santa Teresa. Essas águas descem pelo alto da Rua André Cavalcante e carregam também pela Rua do Riachuelo e são depositadas na Rua do Resende. Essa área tem seu escoamento feito pelas bacias da Rua do Resende e da Rua do Riachuelo, que capta toda essa demanda de água carregada e segue no sistema de drenagem para a bacia da Rua Mem de Sá. Todo esse sistema é muito antigo e subdimensionado para a demanda atual de toda a captação da região.

Figura 38 – Demarcação da zona 1



Fonte: autoria própria.

Para a definição da **zona 2**, descrita no roteiro, foram associadas as áreas “b”, “c” e “d” estudadas, que abrangem as áreas entre as ruas da Relação, do Lavradio, do Resende e Gomes Freire, conforme mostra a figura 39. Essa região sofre com alagamentos frequentes, mesmo em períodos curtos de chuvas, com intensidade elevada.

A **zona 2** recebe as águas das cotas mais altas que escorrem para essa região, que tem cotas mais baixas e por não tem áreas permeáveis que diminuam a velocidade desse carregamento de águas. Também tem um sistema de drenagem que não consegue captar de uma só vez esse volume de águas, pois é antigo e subdimensionado para essa demanda. Essa zona tem seu escoamento feito pelas bacias da Rua do Resende e do Lavradio, onde recebem o

volume das águas captadas e seguem no sistema de drenagem urbana, que tem em todo seu traçado a necessidade de reavaliação para redimensionamento, por ser muito antiga.

Figura 39 – Demarcação da zona 2



Fonte: autoria própria.

O acúmulo de águas na **zona 2** é causado pela drenagem deficiente de todo um trecho que recebe grandes quantidades de águas nas ocasiões de precipitações acentuadas. Por não terem um escoamento adequado para a demanda total de águas que recebem ao longo desse trajeto, causam o acúmulo nessa região, criando transtornos para a circulação de veículos, pedestres, perda econômica e risco de vetores, pois há a retenção de lama e dejetos quando há o escoamento lento da água retida. O carreamento de sujeiras ocorre e cria problemas nessa região, pois há diversos pontos comerciais de serviços como lojas, restaurantes, bares, livrarias, hotéis e demais serviços, além de prédios de órgão públicos que prestam serviços públicos, onde há circulação de pedestres, entre usuários e funcionários, como da sede da Vigilância Sanitária do Município, Tribunal de Justiça do Trabalho, sede da Polícia Civil e Delegacia de Polícia nas proximidades.

A **zona 3** (figura 40) foi definida no roteiro como a associação das áreas “e” e “f”, que foram identificadas para este estudo de intervenções e que abrangem a área das ruas do Lavradio, do Resende, dos Arcos e Praça Cardeal Câmara. Nessa região estão as estruturas do aqueduto da Lapa, que levava água potável da região de Santa Teresa para as áreas mais baixas

da cidade. Hoje essa estrutura é um ponto turístico da cidade, com seu desenho muito conhecido que serve de estrutura, na sua parte superior, para os trilhos do bonde que trafega por Santa Teresa até uma estação no centro da cidade.

Figura 40 – Demarcação da zona 3



Fonte: autoria própria.

As águas que são recebidas pela **zona 3** são provenientes do carreamento das áreas das proximidades de cotas mais altas das ruas de acesso ao bairro de Santa Teresa, como a Joaquim Silva e Travessa do Mosqueira, e seguem o caminho em declive pela Rua do Riachuelo sem retenção, até se depositar na Rua do Lavradio. A Praça Cardeal Câmara, por sua vez é uma área impermeável que não retém as águas das chuvas, escorrendo pela Rua dos Arcos, que tem menor declividade e acumulando água de enchentes. Essa zona também tem como sistema de drenagem urbana as bacias da Rua do Resende e da Rua do Lavradio, sendo essas linhas os problemas de serem obsoletos, já descritos neste trabalho.

As áreas “g” e “h”, identificadas neste estudo e descritas como **zona 4**, estão localizadas na extensão da Praça da Cruz Vermelha, seguindo pela Rua Carlos Sampaio até a sua continuação na Rua Vinte de Abril, que abrange os arredores entre Rua do Senado e Praça da República (figura 41). Essa região recebe as águas carreadas provenientes da Praça da Cruz Vermelha, que fazem o caminho das águas descendo para esse ponto, que tem cotas mais baixas.

A **zona 4** sofreu com muitas alterações do seu relevo natural no processo de ocupação e urbanização da cidade, e sofre com esse fato até os dias atuais. A transformação da área hoje ocupada pela Praça da República, que naturalmente era uma área de manguezal, tem a vocação de recebimento das águas para drenagem natural. As obras subterrâneas do sistema metroviário

que atravessam a Avenida Presidente Vargas e se encontram no subsolo da Praça da Cruz Vermelha contribuem para uma maior área impermeável, carreando as águas ao encontro do trecho da Rua Vinte de Abril em direção à Praça da República. Nessa região há uma convergência da direção das águas pelas ruas que são ligadas pela Praça da Cruz Vermelha, fazendo uma rota desse fluxo para a parte mais baixa, que está localizada na Rua Vinte de Abril, estendendo-se para a lateral da Praça da República. Essa região tem grande impermeabilidade; a Praça da Cruz Vermelha tem pavimentação com grandes áreas impermeáveis, mesmo existindo alguma arborização e jardins, estes não conseguem absorver nem parte da água, que se acumula e se desloca para a área mais baixa. As demais áreas próximas também não têm permeabilidade e sistemas de drenagem que captam o volume dessas águas para reduzir e minimizar o alagamento nos episódios de chuvas dessa área.

Figura 41 – Demarcação da zona 4



Fonte: autoria própria.

O emprego do conceito das cidades-esponja nessa região é extremamente possível, uma vez que a aplicação tem base na sustentabilidade, melhoria da qualidade da água, maior quantidade de água limpa, redução do risco de inundação, menor carga para os sistemas de drenagem, ajudando a manter e restaurar a biodiversidade, a mitigar o efeito de ilha de calor e a aumentando a valorização imobiliária da região. Porém, para uma total aplicação das técnicas utilizadas no conceito das cidades-esponja, deve ser feito um planejamento que englobe um

novo estudo de plano urbanístico da macrorregião do Centro, com a reavaliação de todo o sistema de saneamento, englobando principalmente a drenagem urbana, já implantada na região, e a reestruturação e reorganização das áreas impermeáveis e verdes próximas.

### 3.2.2 Resultados do estudo de implantação de melhorias da drenagem das zonas propostas

Após a análise do mapeamento das zonas levantadas neste trabalho, foi identificado dentro do conceito das cidades esponja qual seria o produto proposto neste estudo e como resultado descreve-se o conjunto de intervenções possíveis para solucionar ou mitigar essa problemática. Abaixo foram relacionados os produtos dos resultados do estudo de implantação de melhorias da drenagem aplicando o conceito das cidades esponjas:

- Criação de espaço para infiltrar água da chuva,
- Filtrar a água para reaproveitamento,
- Utilizando pavimentação permeável, jardins de chuvas, praças-jardins, valas de drenagem,
- Praças-piscinas,
- Bacias de retenção,
- Telhados verdes,
- Plantio de vegetação nativa e
- Melhoria da arborização urbana.

As técnicas aplicadas no conceito das cidades-esponja foram analisadas para a melhor intervenção das zonas selecionadas para este estudo, focando numa boa performance de solução, como a criação de espaço para infiltrar água da chuva, filtrar a água para reaproveitamento, utilizando pavimentação permeável, jardins de chuvas, praças-jardins, valas de drenagem, praças-piscinas, bacias de retenção, telhados verdes, plantio de vegetação nativa e melhoria da arborização urbana.

A substituição do asfalto convencional para o permeável deve ser implantada em todas as vias de tráfego de veículos das zonas descritas neste estudo, possibilitando que a água da chuva drene diretamente pela sua superfície, criando assim uma área permeável nas vias de rolamento. A substituição dos tipos de pavimentação existentes por pavimento permeável nas

calçadas e calçamentos de áreas das praças também melhoraria a permeabilidade das áreas de praças que são identificadas no roteiro de estudo.

Pode-se ampliar a utilização da pavimentação permeável pelas áreas de estacionamento particulares descoberto da região para melhorar ainda mais a permeabilidade, porém essas áreas não foram contempladas neste estudo.

A recomendação de utilização de jardins de chuvas e de telhados verdes em áreas internas das construções que sofrem com alagamentos é uma forma de criar espaços mais permeáveis, para minimizar o transbordamento das águas, que causam transtornos nos pátios internos das construções da região mapeada no trabalho. O telhado verde proporciona, além da redução de águas descartadas e da velocidade deste descarte, também uma melhoria no microclima interno da edificação, pois cria uma barreira com a vegetação para a incidência de radiação nos períodos mais elevados, reduzindo assim a sensação de ilha de calor dentro dos espaços.

Este estudo de caso mapeou as áreas públicas para a implantação de telhados verdes e jardins de chuvas, tendo nas áreas particulares um grande potencial de desenvolvimento de melhorias.

O estudo de implantar vegetações nativas e melhoria da arborização urbana está ligada aos fatores de melhoria de áreas úmidas e permeáveis em localizações que não têm vegetação e na recuperação de áreas que já tiveram uma implantação de áreas de jardins e não conseguiram manter, devido à utilização de espécies e técnicas de manutenção inadequadas.

Utilizando o conceito de melhoria da drenagem natural, também podemos descrever que a utilização da técnica de criação de praças jardins contribui positivamente na infiltração de demanda das águas. A utilização dessas técnicas tem a função de criar áreas de drenagem naturais, que amenizem a demanda que é despejada nas ocorrências de chuvas mais fortes na drenagem urbana. Além disso, a criação de áreas de bacias e reservatórios de retenção, para amenizar a demanda de grandes volumes de água. A implantação de valas de drenagem ao longo de vias e áreas de praças e pátios também tem a função de captar a demanda do volume de águas elevado, que traz transtornos durante as chuvas da cidade.

No conceito da implantação das cidades esponja, a utilização das técnicas é feita de forma associada, pois o que faz desta proposta viável é a criação de várias formas pontuais que, juntas, desenvolvam um papel de maior importância, com a redução considerável dos problemas de acúmulo de águas pelo baixo fluxo da drenagem artificial. Com isso, é possível a utilização da implantação desta técnica em outras localidades a partir dos estudos das especificidades de cada local.

Ao aplicarmos diretamente os conceitos da cidade esponja analisados acima, nas zonas propostas no roteiro, podemos verificar que há a possibilidade do emprego das técnicas para possíveis intervenções que minimizem os problemas recorrentes nessas áreas.

A proposta do conjunto de técnicas do conceito da cidade-esponja que podem ser empregadas na **zona 1** engloba a substituição do asfalto existente nas vias públicas pelo permeável por toda a via André Cavalcante, desde seu encontro no ponto mais alto do bairro de Santa Teresa até a Rua do Resende, para o aumento da área permeável no caminho que as águas percorrem até sua retenção. Além disso, também é recomendada essa substituição ao longo das ruas do Resende e Ubaldino do Amaral, além da substituição ao longo da Rua do Riachuelo. Para melhorar a captação das águas que chegam pela Rua do Riachuelo, também é recomendada a implantação de um reservatório de retenção subterrâneo no terreno onde hoje está localizado o estacionamento do Supermercado Mundial, conforme PDMAP da Rio-Águas (2011), que indica essa solução para melhoria da drenagem nas galerias do sistema de drenagem da bacia da Rua do Riachuelo.

Outra técnica do conceito a ser aplicada na **zona 1** é a implantação de jardins de chuva, telhados verdes e pavimentação permeável dentro de áreas de entidades públicas existentes ao longo da Rua do Resende, possibilitando maior escoamento. O trecho da Rua do Resende tem áreas públicas federais e estaduais com espaços de pátios internos, jardins e áreas abertas. A área que está localizada no prédio anexo do INCA (COAGE) tem um pátio interno arborizado, com jardins que podem substituir o pavimento existente pelo pavimento permeável, remodelando as áreas verdes com a inserção de vegetação nativa que sejam apropriadas para alagamentos e possibilitem a infiltração gradual das águas retidas. As áreas de jardins internos podem ser substituídas por jardins de chuvas, para promover a infiltração e retenção de grandes volumes de água precipitadas que também se acumulam no pátio interno. A implantação de telhados verdes nas edificações dessa instituição também promove a melhor absorção de águas, reduzindo o excesso dispensado na via, como ocorre hoje. E, para o reaproveitamento da água descartada, pode-se implantar a drenagem sustentável onde a água é reaproveitada para outros usos.

Outra instituição pública localizada na Rua do Resende é o Laboratório Central de Saúde Pública Noel Nutels (LACEN RJ), que tem uma área de jardins na entrada, que possibilita a implantação de vegetações nativas para a melhor absorção e permeabilidade e a inserção de jardins de chuvas junto das quedas dos telhados, melhorando a penetração das águas que são despejadas pelas calhas. Também é proposta a drenagem sustentável, para reutilização das águas captadas, diminuindo o volume de águas para a drenagem pública. Na cobertura da



edificação, também é proposta a implantação de telhados verdes, melhorando a absorção de águas e o microclima interno da edificação, evitando a sensação de ilha de calor pelos usuários. No mapa abaixo foram indicadas as intervenções na zona 1 (figura 42).

Figura 42 – Mapa das intervenções na zona 1



Fonte: autoria própria.

Para a **zona 2**, foi avaliada a proposta de implantação do asfalto permeável, em substituição ao asfalto existente nas vias que fazem parte dessa área de estudo, como as ruas da Relação, do Lavradio, do Resende e Gomes Freire, para permitir a absorção, filtragem e infiltração de águas, reduzindo e mitigando seu acúmulo e reduzindo a possibilidade de enchentes nessa área. Ao longo da Rua do Lavradio, temos algumas entidades públicas, como o Tribunal Regional do Trabalho, o CIEP José Pedro Varela e a sede da Subsecretaria de Vigilância e Fiscalização Sanitária do Município, com áreas e pátios internos. Nessas áreas, recomenda-se aplicar outras formas de melhoria de infiltração das águas: primeiramente a substituição das pavimentações tradicionais pelas permeáveis dentro desses pátios, para melhorar a drenagem e infiltração das águas que se acumulam nesses locais, reduzindo seu caminhamento para as vias públicas e diminuindo a demanda das captações de drenagem da rede pública. A aplicação da técnica de implantação dos telhados verdes nessas edificações acarretaria a redução do escoamento das águas servidas dos telhados e direcionamento da água descartada para áreas verdes localizadas nos pátios internos das instituições. Para essas áreas verdes, é recomendada a implantação de jardins de chuva, para melhoria da captação das águas acumuladas e das chuvas e a captação por drenagem sustentável, beneficiando a melhoria da

infiltração da água e possibilitando a reutilização dessa demanda de água para as instituições. Todas as intervenções estão indicadas no mapa abaixo (figura 43).

Figura 43 – Mapa das intervenções na zona 2



Fonte: autoria própria.

Ao estudarmos os conceitos a serem aplicados na **zona 3**, percebemos que a Praça Cardeal Câmara tem grande parte de sua extensão com área impermeável. Mesmo tendo uma área destinada a jardins, esta não possui nenhuma vegetação que sirva adequadamente para a melhoria da permeabilidade, não permitindo a absorção das águas acumuladas. A criação de um novo estudo urbanístico para essa praça se torna necessária, uma vez que hoje não há motivação de se frequentar ou circular por esse espaço, pois é uma área árida, sem nenhum atrativo e transformado em ponto de permanência de mendigos e moradores de rua.

Com um novo estudo de revitalização dessa área, a utilização do conceito de praça-piscina nesse trecho se faz uma boa opção. Também é recomendada a implantação de um reservatório de retenção subterrâneo no espaço da praça, conforme PDMAP da Rio-Águas (2011), que indica essa solução para a melhoria da drenagem nas galerias do sistema de drenagem da bacia da Rua do Lavradio.

Também foi estudada a necessidade de criação de áreas de sombra, com árvores nativas, que tragam conforto térmico e implantação de vegetação adequada, para a melhor captação e retenção das águas nesse espaço, além da substituição da pavimentação existente para a permeável no restante da praça. A implantação de arborização urbana na Praça Cardeal Câmara pode surtir grandes benefícios, pois possibilita a retenção de parte das chuvas nas copas,

retardando e diminuindo o escoamento superficial, auxiliando na penetração de águas no lençol freático. O sombreamento reduz a temperatura do pavimento, além de criar áreas de sombra e reduzir a incidência das águas acumuladas nas proximidades, dando sombra e trazendo embelezamento para essa zona, que hoje é muito aberta e desvalorizada.

Também é recomendada a substituição do asfalto existente no trecho das ruas que compõem a **zona 3**, que são as ruas do Resende, do Lavradio e dos Arcos, pelo asfalto permeável, para melhorar a retenção e acúmulo de águas que ocorre ao longo da Rua do Lavradio, na altura do encontro das ruas do Resende com a dos Arcos. Esse ponto recebe as águas que descem da Praça Cardeal Câmara e da extensão da Rua do Resende, criando um bolsão de alagamento e impossibilitando a circulação de pedestres e de automóveis, pois ficam retidas com o escoamento lento. A utilização dessa pavimentação permeável proporciona uma maior infiltração e absorção das águas, reduzindo a quantidade de águas acumuladas, fazendo com que o sistema de drenagem pública possa descartar o restante das águas, sem colapsar, como ocorre atualmente.

A criação de áreas verdes com vegetação nativa, para melhorar a infiltração das águas e reduzir o acúmulo de águas nas vias, e a implantação de valas de drenagem junto às ruas em declive, para absorver e captar as águas vindas de Santa Teresa, também foram estudadas para aplicação nessa área. As intervenções estão ilustradas no mapa abaixo (figura 44).

Figura 44 – Mapa das intervenções na zona 3



Fonte: autoria própria.

Para a **zona 4**, observamos que a aplicação dos conceitos da cidade-esponja pode ajudar a promover um melhor equilíbrio entre as áreas verdes já existentes, além dos conceitos de sustentabilidade para a melhoria da região, proporcionando a mitigação dos problemas que já são conhecidos por décadas ao longo da história. A promoção de ajustes e criação de espaços que melhoram a qualidade das águas infiltradas e despejadas nas redes de saneamento também cooperam para o melhor desempenho dos sistemas públicos de esgotamento urbano e criam novas vocações para os espaços abordados.

Para toda a área que abrange a Praça da Cruz Vermelha, segue pela Rua Carlos Sampaio, continuando pela Rua Vinte de Abril, abrangendo os arredores entre a Rua do Senado e a Praça da República, é recomendada a substituição da pavimentação existente pela permeável.

Na **zona 4** está localizada a sede da Cruz Vermelha do Brasil, que possui uma construção com pátios internos pavimentados e arborizados utilizados como área de estacionamento. A sugestão é a substituição da pavimentação existente desta área por pavimentação permeável, utilizando a drenagem sustentável para fazer a captação e retenção da água, para a reutilização pela própria instituição. A implantação de jardins de chuvas também pode ser aplicada para melhorar ainda mais a captação das águas, que escorrem e se encaminham na direção da área de baixada próximo ao Campo de Santana. Também é recomendada a utilização de telhados verdes, para reduzir o caminhamento das águas das calhas, chegando menos volume nas áreas do pátio interno.

Para a Praça da Cruz Vermelha, foi analisada a necessidade de remodelagem das áreas verdes com vegetação nativa, para melhorar a infiltração das águas e reduzir o acúmulo de águas, e a arborização urbana com espécies que possam contribuir para a melhoria desse cenário de permeabilidade. A pavimentação existente também necessita de substituição para a pavimentação permeável. Esse conjunto de intervenções ajuda a diminuir e mitigar o volume de águas que não conseguem ser absorvidas pela drenagem pública e são direcionadas para a área baixa, seguindo pelo caminho da Rua Carlos Sampaio.

Outra forma de melhorar essa captação das águas e drenagem é a modernização dos conceitos urbanísticos da proposta do Campo de Santana. Hoje o espaço conta com áreas verdes gramadas, arborização, trechos pavimentados e espaços de lagos artificiais, porém trata-se de um conceito do início do século, que pode ser atualizado para aproveitar todos esses cenários de forma mais sustentável, sem alterar seu traçado histórico.

Para isso, neste estudo observamos que os lagos existentes no espaço do Campo de Santana podem ser modernizados e adaptados para sistemas sustentáveis, que trabalhem com as tecnologias adotadas nas bacias de retenção. Essas bacias não seriam apenas áreas de

contemplação; passariam a ter função de espaço captador e retentor das águas. Além disso, fariam a filtragem dessa água, para que possa ser reaproveitada no próprio espaço do parque para limpeza e rega das áreas verdes.

A troca de áreas hoje revestidas com pavimentações permeáveis também contribuirá para a melhor infiltração das águas deste espaço e, junto com a preservação das áreas verdes existentes, com a transformação destas em espaços de praças jardins e com a implantação de mais vegetações nativas, que tenham melhor forma de captação e absorção de águas de chuvas, terão a função de aumentar a capacidade de infiltração das águas desse espaço. As intervenções estão indicadas no mapa abaixo (figura 45).

Figura 45 – Mapa das intervenções na zona 4



Fonte: autoria própria.

Os resultados deste trabalho trazem também como produto a proposta de subsidiar políticas voltadas para a mitigação dos impactos das enchentes na região central do Rio de Janeiro, uma vez que poderiam ser desenvolvidas legislações que trariam benefícios aos proprietários de imóveis que implantassem algumas das técnicas propostas em suas edificações como isenção de impostos ou benefícios legais em contrapartida da implantação destas tecnologias como forma de incentivo a melhoria da região.

#### 4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho conseguiu atender os objetivos propostos após expor o panorama da drenagem urbana na área da Praça da Cruz Vermelha, analisados os problemas enfrentados e definindo um roteiro de propostas de intervenções para a implantação de melhorias na drenagem das águas acumuladas, com a aplicação dos conceitos da cidade-esponja para viabilizar o saneamento urbano para a redução dos efeitos das enchentes.

Devemos ter em mente que as inundações são processos naturais e que fazem parte do funcionamento do sistema fluvial, mas os episódios de inundações fora de controle que trazem as calamidades públicas não fazem parte destes processos naturais. Esses desastres são causados pelos processos de urbanização que ocorreram ao longo dos anos e, para a implantação e crescimento da cidade, foi feita a retirada da vegetação natural da bacia, a impermeabilização do solo na área drenada, o assoreamento das calhas dos sistemas de drenagem e as construções desenfreadas nas planícies de inundação dos rios. O relevo da cidade também é um fator que favorece a demanda de fluxos de águas pelos maciços e o depósito nas áreas de rios e pântanos.

A falta de área de escoamento e drenagem adequados, além do aumento da velocidade de carreamento desse volume de água e os episódios de chuvas extremas são o contexto para ocorrer as enchentes e causar os desastres sociais e ambientais mais frequentes.

Nos últimos anos, também foram feitas intervenções urbanas na região: houve o aumento de empreendimentos imobiliários no setor comercial, mas principalmente nos setores residencial e hoteleiro, o que traz uma maior demanda para as redes de drenagem da cidade. Sem um planejamento urbano adequado, esses locais passam a sofrer com alagamentos periódicos nos episódios de chuvas mais intensas, com drásticos eventos de enchentes. Essas intervenções foram executadas e não tiveram o êxito esperado, pois não foi feita a modernização da rede de drenagem urbana, nem o planejamento da forma adequada, visando o ajuste de um sistema de drenagem obsoleto com as técnicas de melhorias naturais de captação das águas.

Neste estudo, as propostas das melhorias aplicadas aos conceitos das cidades-esponja visam auxiliar com formas de reduzir o escoamento das águas decorrentes das precipitações mais intensas com técnicas que criam espaços permeáveis, para minimizar o volume de águas que é descartado no sistema de drenagem urbana dessa área central. A partir dos resultados encontrados, concluiu-se que:

Para que se tenha o objetivo esperado, é de grande importância que as medidas discutidas neste trabalho possam ser implantadas na área de estudo como modelo e

posteriormente nos demais pontos que sofrem com inundação na cidade do Rio de Janeiro, para que possam ser minimizados os prejuízos das chuvas. Entretanto, para a resolução de problemas na infraestrutura de drenagem urbana da região, são necessários de projetos de longo prazo, como são os projetos do PDMAP da Rio-Águas (2011), que estudam a implantação de melhorias para o sistema, que é antigo e subdimensionado para as demandas atuais.

Conforme foi mostrado no estudo do roteiro de propostas de intervenções para implantação de melhorias na drenagem, a eficiência do projeto de drenagem urbana sustentável envolve a junção dos sistemas tecnológicos e conceituais como nas cidades-esponja, que, através de propostas como a utilização de tanques de retenção e praças-piscinas, podem amenizar os problemas de inundações em grandes áreas, como apresentado nesta proposta de intervenção.

No estudo, foi mostrado que a implantação de praças-piscinas nas áreas da Praça Marechal Câmara e no Campo de Santana criam áreas de infraestrutura nas quais é possível armazenar o volume excedente de água da chuva e reutilizá-lo, além de implantar áreas de vegetação nativa que tenham propriedades para a absorção e resistência a alagamentos, dando suporte para a retenção e drenagem natural dessas águas. As valas de retenção também foram sugeridas para amenizar os problemas e criar áreas de captação das águas acumuladas.

Também foi indicada, no estudo do roteiro de propostas, a implantação de técnicas sustentáveis como pavimentações drenantes: asfalto ou pisos, como exemplos os intertravados, aplicados nos trechos indicados neste estudo de caso, seriam muito efetivos para prevenir enchentes.

A implantação das técnicas sustentáveis, como a criação de jardins de chuvas, que recebem as águas provindas das calhas e a captação, numa drenagem sustentável que recolhe as águas e as armazena, utilizando a vegetação como filtragem natural, possibilitando a reutilização destas águas para áreas internas das edificações, fazem parte dos conceitos das cidades-esponja. Esta utilização foi indicada nas propostas para aplicação nas edificações institucionais que estão inseridas nas zonas do roteiro

Também foi sugerida neste estudo a utilização dos telhados verdes, que recebem as precipitações, fazem a retenção para a redução do volume descartado e drenam um quantitativo menor dessas águas.

Por fim, este estudo pode servir como recomendação para trabalhos futuros, na medida em que consegue esclarecer que a implantação de conceitos como o das cidades-esponja, no qual se propõe formas de evitar as enchentes urbanas e os danos que esta causa na cidade, é

essencial para os estudos de melhorias dos espaços da cidade do Rio de Janeiro, que sofrem recorrentemente com os episódios de alagamentos e inundações.

A implantação destas técnicas sustentáveis tem impactos, custos e prazos bem menores em comparação a implantação de técnicas tradicionais e se comparando aos prejuízos causados pelas inundações ao longo dos anos esse custo se torna menor muito menor. Porém há sempre necessário frisar que o apoio das esferas governamentais na manutenção dos sistemas de drenagem urbana ou a sustentável é imprescindível para torna-lo melhor operante.

Como recomendação de estudos futuros, propõe-se a continuidade de pesquisas, com ênfase no estudo da aplicação dos conceitos de cidades-esponja em diferentes localidades da cidade do Rio de Janeiro, pois, por se tratar de debates internacionais recentes, os estudos apresentados são poucos e com pouca relevância nos estudos desenvolvidos e apresentados com foco na cidade do Rio de Janeiro e em outras áreas do Brasil, assim como há dificuldade em localizar as publicações internacionais sobre o tema.

Não há nenhuma forma diferente da implantação de técnicas sustentáveis para escapar dos alagamentos, mas algumas mudanças na estrutura da cidade podem minimizar o efeito das águas em excesso. O que instiga a pesquisa é encontrar alternativas para evitar a impermeabilização do solo e o escoamento das águas, pois não há como reduzir o volume de chuvas.

É importante lembrar que o conceito das cidades-esponja é multidisciplinar e necessita que os projetos passem pela gestão de políticas urbanas, que consideram parâmetros legais e educativos. Tem como ponto de partida a atualização dos poderes públicos, iniciando-se com a revisão do planejamento municipal, por meio da alteração da legislação: planos-diretores e códigos de obras, com criação de demandas de reavaliação dos sistemas de saneamento utilizados que refletiram na área estudada.

Finalizando a conclusão, há uma extrema necessidade de sensibilização da população, com o investimento em campanhas e focando na educação ambiental, para que as soluções sustentáveis empregadas persistam ao longo dos anos.



## REFERÊNCIAS

- ABREU, Mauricio de Almeida, **Evolução Urbana do Rio de Janeiro**, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, SMU/IPLANRIO, 3a Edição, 1997. 156p.
- ABREU, Maurício de Almeida. ROSA, L. P. et al. **A cidade e os temporais: uma relação antiga**. Rio de Janeiro: Tormentas Cariocas, COPPE/UFRJ, 1997.
- ALCANTARA, Ulysses M. A. **As primeiras galerias de águas pluviais do Rio de Janeiro**. Revista Municipal de Engenharia. Rio de Janeiro, jan./mar. 1953.
- AMADOR, Elmo da Silva. **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza**. Rio de Janeiro, 1997.
- ANDREATTA, Verena et al. **Linhas gerais do projeto urbanístico Rio Cidade**. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: IPLANRIO, 1996.
- ALVES, Ramon Teixeira Marques; ANDRADE, Mateus Francisco de. **Construção de mapa de inundações em área urbana: estudo de caso da cidade de Conselheiro Lafaiete - MG**. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia Civil. Ouro Branco, MG: Universidade Federal de São João del-Rei, 2019.
- ARAUJO, Ligia Maria N. et al. **Avaliação da distribuição espaço-temporal histórica de eventos chuvosos no Rio de Janeiro**. Artigo publicado em: <<https://iwra.org/member/congress/resource/PAP00-5885.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- AZEVEDO, Marina de Abreu. **Integrando água e planejamento urbano: um estudo sobre intervenções mitigadoras de enchentes na Grande Tijuca**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015. Artigo publicado em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013528.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- BANDNEWS. Reportagem 2020. **Chuva provoca transtornos no Rio**. Disponível em: <<http://bandnewsfmrio.com.br/editorias-detalhes/chuva-provoca-transtornos-no-rio>>. Acesso em: 26 out. 21.
- BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- BRAGA, Fernanda Figueiredo; MARQUES, Jorge Soares. **Transformações no espaço físico da área central da cidade do Rio de Janeiro através do processo de urbanização e das políticas públicas: implicações para o sistema de drenagem e para a ocorrência de enchentes**. UERJ, Rio de Janeiro, 2009.
- BRASIL, Gerson. **História das ruas do Rio**. Rio de Janeiro: Lacerda, 2000.

BUDGE, Trevor. **Sponge Cities and Small Towns: a new economic partnership**. Published on-line by the Centre for Sustainable Regional Communities, La Trobe University, 2005. ISBN number 1920948848. Disponível em: <[www.latrobe.edu.au/cscc/2ndconference/refereed](http://www.latrobe.edu.au/cscc/2ndconference/refereed)>. Acesso em: 15 set. 21.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

CERQUEIRA, L.F.F., **Os Impactos dos Assentamentos informais de Baixa Renda nos Recursos Hídricos e na Saúde Coletiva, O Caso da Bacia de Jacarepaguá**. Dissertação de M.Sc., FEN/UERJ, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, 2006.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Manual de Saneamento e Proteção para os Municípios vol.2 Saneamento**, DESA/UFGM/FEAM, 1995.

CORDERO, Ademar; MEDEIROS, Péricles Alves; TERAN, Albanella Leon. **Medidas de Controle de Cheias e Erosões**. 1999. Disponível em: <<http://ceops.furb.br/index.php/publicacoes/artigos?start=5>>. Acesso em: 05 set. 2020.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Histórico do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <[http://www2.cbmerj.rj.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20:resumo-historico-do-corpo-de-bombeiros-militar-do-estado-do-rio-de-janeiro&catid=1:conhecendo-o-cbmerj&Itemid=9](http://www2.cbmerj.rj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=20:resumo-historico-do-corpo-de-bombeiros-militar-do-estado-do-rio-de-janeiro&catid=1:conhecendo-o-cbmerj&Itemid=9)>. Acesso em: 10 out. 2019.

DERECZYNSKI, Claudine Pereira; CALADO, Renata Novaes; BARROS, Airtton Bodstein. **Chuvas extremas no município do Rio de Janeiro: histórico a partir do século**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Vol. 40 - 2/2017, p.17-30. Artigo publicado em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/11422/10871>>. Acesso em: 10 out. 2018.

DNAEE/MME/CPRM - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica/ Ministério das Minas e Energia/ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Santa Catarina. Zoneamento de Áreas Inundáveis e do Potencial Erosivo: Cartas de Enchentes para Cidades do Vale do Rio Itajaí-Açu - SC**. Florianópolis: Texto, 1987. 3 v.

DONG, Guoqiang; WENG, Baisha; QIN, Tianling; YAN, Denghua; WANG, Hao; GONG, Boya; BI, Wuxia; HINDAWI, Ziqiang Xing. **The Impact of the Construction of Sponge cities on the Surface Runoff in Watersheds**. Advances in Meteorology. Vol. 2018. Article ID 6241892, 9 pages – China. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2018/6241892>>. Acesso em: 18 dez. 2021.

D'ORSI, R. N.; PAES, N. M.; MAGALHÃES, M. A.; COELHO, R. S.; JUNIOR, L. R. S.; VALENTE, L. R. S. **Os 50 maiores acidentes geológico-geotécnicos na cidade do Rio de Janeiro entre 1966 e 2016**. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, 2016.

FOGEIRO, Jéssica Simões. **Cidade-esponja**: aplicação do conceito e métodos no bairro Marechal Gomes da Costa, Porto. Dissertação de M.Sc em Arquitetura Paisagista. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2019.

G1. Reportagem 2020. **Chuva forte no RJ causa alagamentos e transtornos; sirenes são acionadas e ruas da capital são interditadas**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/09/22/rio-tem-manha-de-chuva-forte-e-sirenes-acionadas-em-comunidades.ghtml>>. Acesso em: 26 out. 21.

HALL, M. J., Urban Hydrology, Belfast – Ireland, Elsevier Ltd., 1984, ISBN 0-85334-268-7

HAMIDI, Ali; RAMAYANDI, Bahman; SORIAL, George A. **Sponge City -An emerging concept in sustainable water resource management**: a scientometric analysis. Lishui Institute of Ecology and Environment, Nanjing University. Published by Elsevier B.V - reserv. 2021. 100028. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666916121000153>>. (1-s2.0-S2666916121000153-main). Acesso em: 15 set. 2021.

IBGE. **Censo demográfico 20**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE, 2010.

IPP (Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos). **Um passeio no tempo**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://portalgeo.rio.rj.gov.br/EOUrbana/>>. Acesso em: 18 dez. 2021.

JIANG, Yong; ZEVENBERGEN, Chris; FU, Dafang. **Can “Sponge Cities” Mitigate China’s Increased Occurrences of Urban Flooding?** Aquademia: Water, Environment and Technology, 1:1(2017), 03. ISSN: 2468-1946. Disponível em: <<https://www.aquademia-journal.com/article/AVV1HRS2>>. Consultado em: 15 set. 21.

JIANG, Yong; ZEVENBERGEN, Chris; MAB, Yongchi. **Urban pluvial flooding and storm water management**: a contemporary review of China’s challenges and “sponge cities” strategy. Environmental Science and Policy 80 (2018) 132–143. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.016>>. Consultado em: 15 set. 21.

LASHFORD, Craig; RUBINATO, Matteo; CAI, Yanpeng; HOU, Jingming; ABOLFATHI, Soroush; COUPE, Stephen; CHARLESWORTH, Susanne; TAIT, Simon. **SuDS & Sponge Cities**: A Comparative Analysis of the Implementation of Pluvial Flood Management in the UK and China. Sustainability 2019, 11, 213. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability)>. Acesso em: 18 dez. 2021.

MACAULAY, David. **Subterrâneos da cidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1988.

MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. **Pavimento intertravado permeável**: melhores práticas. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24p.

MASCARÓ, Juan L. e YOSHINAGA, Mário. **Infraestrutura Urbana**, Editora +4, Porto Alegre 2005- p.85.

MATTA, Gustavo Velloso da. **Simulação hidrológica da implementação conjunta de telhados verdes e microrreservatórios domiciliares em área urbana de Belo Horizonte –**

**MG. 110 f. Monografia.** (Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitarista) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2015.

MÉDICI, Daniel; MACEDO, Leticia. **Cidades-esponja:** conheça iniciativas pelo mundo para combater enchentes em centros urbanos. G1, fev. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2020/02/16/cidades-esponja-conheca-iniciativas-pelo-mundo-para-combater-enchentes-em-centros-urbanos.ghtml>>. Acesso em: 15 set. 21.

MOREIRA, Fernando Diniz. **A formação do urbanismo moderno no Brasil:** as concepções urbanísticas do Engenheiro Saturnino de Brito. Rio de Janeiro: Coleção Espaço e Debates, 1997.

OLIVEIRA, Marina Honorato de; ROSA, João Luiz G. G.; SILVA, Victor Matheus R. C.; GALLEGO, Consuelo A. G. **O estudo dos espaços livres do distrito de Jundiapéba como forma de mitigação das questões de drenagem.** Revista UMC, Edição Especial PIBIC, dezembro 2020. ISSN 2525-5250. Disponível em: <<https://revistes.upc.edu/index.php/SIIU/article/view/9795>>. Acesso em: 15 set. 21.

OTTONI, Adacto Benedicto. MATTOS, Cristina Coelho da Silva e OTTONI, Maria Luíza de Souza Oliveira. **Análise Crítica da Obra do Reservatório de Amortecimento (“Piscinão”) da Praça Niterói, Rio de Janeiro-RJ e Proposição de Soluções com Sustentabilidade Ambiental para o Controle das Inundações na Região.** vol. 11, n. 23. Rio de Janeiro: Revista ANAP Brasil, 2018.

PENA, Rodolfo Alves. **O problema das enchentes:** as enchentes são fenômenos naturais, mas podem ser intensificadas pelas práticas humanas no espaço das cidades, 2014. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/geografia/enchentes.htm>>. Acesso em: 9 abr. 2021.

PIMENTEL, Márcia. **O estratégico bairro do Rio Comprido.** MultiRIO, 2018. Disponível em: <<http://multirio.rio.rj.gov.br/index.php/leia/reportagens-artigos/reportagens/13679-o-estrategico-bairro-do-rio-comprido>>. Acesso em dezembro 2021.

PRISTO, M. V.; DEREZYNSKI, C. P.; SOUZA, P. R.; MENEZES, W. F. Climatologia de Chuvas Intensas no Município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

POLI, Cláudia Maria Basso. **As causas e as formas de prevenção sustentáveis das enchentes urbanas.** 2013. Disponível em: <

PRODANOFF, Jorge Henrique. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2006. Disponível em: <<http://www.apedya.com/web/FileDetails.aspx?IDFile=160827>>. Acesso em: 18 dez. 2021.

RAMOS, Simone dos Santos. **Drenagem urbana no Rio de Janeiro**: a expansão da cidade para a zona sul. A drenagem no bairro de Botafogo nos séculos XIX e XX. Dissertação de M.Sc, UFRJ / FAU. Rio de Janeiro, 2015.

RATHKE T. A. **Medidas de controle pluvial no lote**: pavimentos permeáveis e telhados verdes. Monografia. (Graduação em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jul. 2012. 89 p.

REIS, José de Oliveira. **O Rio de Janeiro e seus prefeitos**: evolução urbanística da cidade. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 1977.

REIS, José de Oliveira et al. **As inundações do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Revista Municipal de Engenharia, jan./dez. 1990.

REZENDE, O. M. **Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à baixada fluminense**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Rio de Janeiro, mar. 2010.

REZENDE, Vera. **Planejamento urbano e ideologia**: quatro planos para a Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1982.

RIO-ÁGUAS. **Plano Diretor de manejo de águas pluviais da Cidade do Rio de Janeiro - PDMAP**. Disponível em: <[www.rio.rj.gov.br/rioaguas](http://www.rio.rj.gov.br/rioaguas)>. Acesso em: 5 set. 2011.

ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi; PIERRI, Alexandre Coan. **Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil**. Research, Society and Development - ISSN 2525-3409. Res., Soc. Dev. 2019; 8(2):e3482703. ISSN 2525-3409. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i2.703>>. Acesso em: 15 set. 21.

SANTOS, Carolina de Sousa dos. **Análise da drenagem urbana com ênfase na redução de riscos de enchentes**. Rev. Augustus. ISSN: 1981-1896. v.24, n. 48. p. 146-158. Rio de Janeiro: jul./out. 2019.

SANTOS, Sérgio Roberto Lordello dos. **Expansão urbana e estruturação de bairros do Rio de Janeiro**: o caso de Botafogo. Dissertação de M.Sc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1981.

SERLA. Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro**: uma abordagem geral. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, 2001.

SICILIANO, W. C.; BASTOS, G. P.; OLIVEIRA, I. T. de; NUNES DA SILVA, G.; OBRACZKA, M.; OHNUMA Jr., A.A. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação**

**pluvial no município do Rio de Janeiro.** REVISTA INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS, v. 8, p. 221-233, 2018.

SILVA, J. R. **Os esgotos do Rio de Janeiro: história do sistema de esgotos sanitários da cidade do Rio de Janeiro. 1857 – 1997.** Vol.1. Rio de Janeiro: CREA / SEAERJ, 2002.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. UFRGS, 2009. Cap. 2, p. 35-51.

SOSA, Manoel Rodrigues. **A Guanabara de Doxiadis e a Havana de Sert. Ekistics e Urban Design: novas direções na ruptura do CIAM.** Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ/CLA/FAU/PROURB, 2008.

SOUZA, Talita Silvia de. **Estudos de tecnologias em *Sponge City* para drenagem da água pluvial: aplicação no Rio Arrudas em BH.** Monografia. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais/ Escola de Arquitetura, 2020.

SOUZA, T. M. K.; OTTONI, A. B. **Análise crítica das causas e soluções sustentáveis para o controle de enchentes urbanas: o caso prático da bacia hidrográfica da Praça da Bandeira (estudo de caso).** Artigo da Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 03, n. 17, pp. 60-76.

TOTH, Mariana. **GEO - Conceição: Bacias Hidrográficas do Brasil, 2011.** Disponível em: <<http://geoconceicao.blogspot.com.br/2011/08/bacias-hidrograficas-do-brasil.html>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

TUCCI, C. E. M. **Ciência e Aplicação.** 2. ed. Rio Grande do Sul: ABRH, 2003.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul.** ABRH, Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2003.

ZEVENBERGEN, Chris; FU, Dafang; PATHIRANA, Assela. **Transitioning to Sponge cities: Challenges and Opportunities to Address Urban Water Problems in China.** Water2018, 10, 1230; doi: 10.3390/w10091230. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/water](http://www.mdpi.com/journal/water)>. Acesso em: 15 set. 21.

ZHANG, Shuhan; LI, Yongkun; MA, Meihong; SONG, Ting; SONG, Ruining. **Storm Water Management and Flood Control in Sponge City Construction of Beijing.** Water, ago. 2018. Disponível em: <[https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com\\_pmetabusca&mn=88&smn=88&type=m&metalib=aHR0cHM6Ly9ybnAtcHJpbW8uaG9zdGVkLmV4bGlicmlzZ3JvdXAuY29tL3ByaW1vX2xpYnJhcncvbGlid2ViL2FjdGlubi9zZWZyY2guZG8/dmlkPUNBUEVTX1Yx&Itemid=124](https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_pmetabusca&mn=88&smn=88&type=m&metalib=aHR0cHM6Ly9ybnAtcHJpbW8uaG9zdGVkLmV4bGlicmlzZ3JvdXAuY29tL3ByaW1vX2xpYnJhcncvbGlid2ViL2FjdGlubi9zZWZyY2guZG8/dmlkPUNBUEVTX1Yx&Itemid=124)>. Acesso em: 15 set. 21.

ZHOU, Jinjun; LIU, Jiahong; SHAO, Weiwei; YU, Yingdong; ZHANG, Kun; WANG, Ying; MEI, Chao. **Effective Evaluation of Infiltration and Storage Measures in Sponge City Construction: A Case Study of Fenghuang City.** Water 2018, 10, 937 2 of 11 Water 2018, 10, x FOR PEER REVIEW 2 of 11. Doi: 10.3390/w10070937. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/water](http://www.mdpi.com/journal/water)>. Acesso em: 15 set. 21.