



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LYSANNE SOUZA DE MOURA

**MODELAGEM COMPUTACIONAL APLICADA À REVITALIZAÇÃO DE RIOS  
URBANOS: estudo de caso em uma sub-bacia hidrográfica do Rio Tejió-  
Recife/PE**

Recife  
2022

LYSANNE SOUZA DE MOURA

**MODELAGEM COMPUTACIONAL APLICADA À REVITALIZAÇÃO DE RIOS  
URBANOS: estudo de caso em uma sub-bacia hidrográfica do Rio Tejipió-  
Recife/PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos com ênfase em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

Recife

2022

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Gabriel Luz CRB-4 / 2222

M929 Moura, Lysanne Souza de.  
Modelagem computacional aplicada à revitalização de rios urbanos:  
estudo de caso em uma sub-bacia hidrográfica do rio Tejipió-Recife/PE /  
Lysanne Souza de Moura. 2022.  
136 f: figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2022.  
Inclui referências apêndices e anexos.

1. Engenharia civil. 2. Recuperação de rios. 3. Inundações urbanas. 4. GBI.  
5. HEC-HMS. 6. HEC-RAS 2D. 7. Riachos urbanos. I. Cabral, Jaime Joaquim  
da Silva Pereira (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG / 2023 - 5

LYSANNE SOUZA DE MOURA

**MODELAGEM COMPUTACIONAL APLICADA À REVITALIZAÇÃO DE RIOS  
URBANOS: estudo de caso em uma sub-bacia hidrográfica do Rio Tejipió-  
Recife/PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, Área de Concentração Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em 30/08/2022

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral - UFPE

**BANCA EXAMINADORA**

participação por videoconferência  
Profa. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência  
Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência  
Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz (Examinador Externo)  
Universidade Federal da Paraíba

Dedico esse trabalho à minha família, por seu apoio e incentivo incondicionais. Também dedico àqueles que serão beneficiados pelo conhecimento proporcionado por essa pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por caminhar comigo todos os dias e ter permitido que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, João Vieira e Ramida Raline, por me ensinarem o valor da educação e me apoiarem em minhas decisões, por meio de suas preces e ações.

Ao meu irmão, Lyneker Souza, que me acompanhou desde o jardim da infância, quando dividimos a mesma escola, até a Pós-Graduação, quando dividimos a mesma Universidade. Obrigada Kinho, você foi o meu maior incentivador nessa etapa. Obrigada por insistir!

Ao meu esposo, Vitor Amaral, por ser meu esteio, meu suporte, ombro amigo e companheiro de vida. Sem você eu não teria conseguido!

À Arivânia Rodrigues, Marina Moura, Maiana Vilarim e Raquel Ferreira, amigas muito especiais que fiz nessa jornada, pelo apoio à pesquisa, dicas e trocas. Obrigada por tornarem os dias difíceis mais leves.

À Daniela Fernandes, amiga desde a graduação, pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

À Géssica Dias, representante do Instituto Solidare e Fórum Popular do Rio Tejiipió, pelo apoio à pesquisa por meio do fornecimento de informações e acompanhamento nos trabalhos de campo.

À Dra. Isabelle Macedo, pelo apoio na etapa final dessa pesquisa.

Ao meu orientador, Prof<sup>o</sup> Jaime Cabral, pela orientação e disponibilidade em transmitir conhecimento.

À CAPES, pelo apoio financeiro que proporcionou a realização dessa pesquisa por meio da bolsa de mestrado.

Ao PPGEC da UFPE, pela possibilidade de realização do mestrado.

E a todos os que, direta ou indiretamente, colaboraram com essa pesquisa, muito obrigada!

## RESUMO

As ocupações urbanas desordenadas modificam os padrões das cheias, aumentando as intensidades e periodicidades de ocorrências. Dessa maneira, as inundações destacam-se por ocasionarem muitos danos e perdas econômicas, como no caso da bacia do rio Tejipió, que tem sofrido recorrentemente (pelo menos cinco vezes ao ano) com eventos de inundação em períodos de chuvas intensas. As regiões de Coqueiral e Sapo Nú, em maio de 2022, foram afetadas e cerca de 2 mil famílias ficaram desabrigadas. A revitalização dos rios urbanos surge como um conceito à melhoria de suas condições ambientais e funções hidrológicas e hidráulicas, compreendendo o rio como elemento estruturador da revitalização urbana. Esses tipos de ações em bacias hidrográficas apresentam respostas positivas, como a implementação de áreas permeáveis baseadas em concepções de infraestrutura verde e azul. A pesquisa objetivou avaliar as respostas hidrológicas e hidrodinâmicas provenientes da modelagem computacional de cenários de revitalização em um trecho da bacia hidrográfica do Rio Tejipió-Recife/PE. Foram criados quatro cenários de análise: C0- Situação Atual, C1- Pré-urbanização, C2 – Desenvolvimento sustentável (redução de 15% de áreas impermeáveis distribuídas por sub-bacia) e C3 – Valorização de áreas verdes (áreas permeáveis na APP). Cada cenário foi submetido a quatro eventos, dois teóricos (tempo de retorno 10 e 25 anos) e dois reais (abril e maio de 2021). O cenário de revitalização com melhor resposta hidrológica foi o C2, em relação ao C0, com um aumento de 8% no  $T_c$ , redução de 5% das áreas impermeáveis e reduções nas vazões de pico em 4,5% (TR10), 4,6% (TR25), 6,0% (abril/2021) e 2,9% (maio/2021). Foi aplicado o modelo hidrodinâmico 2D aos cenários C0 e C2 nas áreas correspondentes às comunidades mais afetadas da região. Em Coqueiral as melhoras hidrológicas mitigaram as inundações, com uma redução de 4% nas áreas atingidas e 2% na profundidade máxima (em abril), aumentando as áreas com menores profundidades e, conseqüentemente, reduzindo as áreas mais profundas. Na calibração em Coqueiral o NSE foi de 0,71 (bom) e na validação foi de 0,50 (satisfatório). Em Sapo Nú a resposta hidrodinâmica foi representativa, pois fatores como a sinuosidade do rio provocaram o aumento das profundidades de inundação, e o desconhecimento de marcas de cheia impediram a calibração e validação do modelo. Modelos hidrológicos e hidrodinâmicos são capazes de simular chuvas teóricas e reais de maneira a subsidiar estudos para obras hidráulicas e intervenções

que requalifiquem e revitalizem os rios e bacias hidrográficas. Além disso, o papel do poder público e da população no processo de revitalização são fundamentais para o sucesso do processo. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

**Palavras-chave:** Recuperação de rios; Inundações urbanas; GBI; HEC-HMS; HEC-RAS 2D; Riachos urbanos.

## ABSTRACT

The disorderly urban occupations modify the patterns of floods, increasing the intensities and periodicity of occurrences. In this way, floods stand out for causing a lot of damage and economic losses, as in the case of the Tejipló River basin, which has suffered recurrently (at least five times a year) with flooding events in periods of heavy rains. The regions of Coqueiral and Sapó Nú, in May 2022, were affected and around 2,000 families were left homeless. The revitalization of urban rivers emerges as a concept to improve their environmental conditions, hydrological and hydraulic functions, comprising the revitalization of the river as an element of urban structuring. These types actions in the watersheds positive responses, such as the implementation of permeable areas, presented in green and blue infrastructure concepts. This research aimed to evaluate the hydrological and hydrodynamic responses from the computational modeling of revitalization scenarios in a stretch of the Tejipló-Recife/PE river basin. Four analysis scenarios were created: C0- Current Situation, C2 – Sustainable development (15% reduction of impervious areas distributed by sub-basin) and C3 – Enhancement of green areas (permeable areas in PPA). Each scenario was submitted to four events, two theoretical (time return 10 and 25 years) and two reals (April/2021 and May/2021). The revitalization scenario whit better hydrological response it was the C2, compared to C0, with an 8% increase in  $T_c$ , reduction of 5% impervious areas and reduction in peak flow from 4.5% (TR10), 4.6% (TR25), 6.0% (April/2021) and 2.9% (May/2021). The 2D hydrodynamic model was applied to the C0 and C2 scenarios in the areas corresponding to the most affects communities in the region. In Coqueiral, hydrological improvements mitigated the floods, with a reduction of 4% in the affected areas and 2% a maximum depth (in April), increasing in the smaller depth areas and, consequently, as reducing deeper areas. In the calibration at Coqueiral, the NSE was 0.71 (good) and in the validation it was 0.50 (satisfactory). In Sapó Nú, the hydrodynamic modelling was representative, as a sinuosity of the river provoked an increase in flood depths, and the lack of knowledge of the flood marks prevented the calibration and validation of the model. Hydrological and hydrodynamic models are capable of simulating theoretical and real rainfall and subsidizing studies for hydraulic works and interventions that requalify and revitalize rivers and hydrographic basins. In addition, the role of public authorities and the population in the revitalization process is fundamental to the success of the process. This study was

financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

**Keywords:** River recovery; Urban floods; GBI; HEC-HMS; HEC-RAS 2D; Urban streams.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução temporal do estudo das águas urbanas - aumento da integração e interdisciplinaridade da gestão da drenagem urbana .....	22
Figura 2 - Construções irregulares na calha do rio Tejipió, em Coqueiral, Recife-PE. Vista para montante. ....	23
Figura 3 - A) Diversidade da biota em um rio natural; B) Queda na diversidade em um rio retificado/canalizado. ....	24
Figura 4 - Mapa de localização das bacias hidrográficas no Recife.....	26
Figura 5 - Quadro descritivo das ações associadas às metodologias de intervenção .....	32
Figura 6 - Classificação sugestiva das terminologias de drenagem urbana.....	35
Figura 7 - Página do A Ver o Rio na rede social “Instagram” .....	44
Figura 8 - Página do FORTE na rede social “Instagram” .....	45
Figura 9 - Rio Marden em Calne, Inglaterra. A – Indicação das intervenções executadas; B – Imagem de satélite 4 anos antes da intervenção e destaque para a estrutura da represa; C – Estacas e pranchas laterais usadas para criar o novo açude; D - Imagem de satélite da área 1 ano antes da finalização do projeto; E – Estacas e pranchas revestidas em concreto; F – Estrutura vegetada. ....	49
Figura 10 - Implantação do Jardim de chuva em Enfield, Inglaterra. ....	50
Figura 11 - Mapa de Localização da bacia do rio Tejipió e Área de Estudo.....	51
Figura 12 - Mapa destacado a área de estudo.....	53
Figura 13 - A) Mapa hipsométrico da bacia; B) Mapa de declividade e distribuição de classes. ....	54
Figura 14 - Curva hipsométrica da bacia de estudo. ....	56
Figura 15 - Unidades de conservação na bacia de estudo. ....	57
Figura 16 - Espacialização das áreas urbanizadas na bacia de estudo.....	59
Figura 17 - Localização espacial dos pontos visitados.....	61
Figura 18 - Fotos dos pontos visitados e indicação dos aspectos encontrados. ....	62
Figura 19 - Registros das inundações de 2022.....	63
Figura 20 - Localização da bacia no recorte do mapa de inundação e pontos de alagamento do Recife.....	65
Figura 21 - Localização da bacia no mapa de zoneamento municipal de Recife.....	66

Figura 22 - Fluxograma da metodologia aplicada. ....	67
Figura 23 - Resumo geral da metodologia de classificação de imagens do MapBiomass .....	68
Figura 24 - Discretização da bacia de estudo. ....	69
Figura 25 - Esquema das bacias de contribuição no HEC-HMS. ....	72
Figura 26 - Localização das áreas inundáveis e recorte dos MDTs usados. ....	81
Figura 27 - Curvas-chave Coqueiral.....	82
Figura 28 - Geometria do trecho em Coqueiral, com destaque para a seção de entrada .....	82
Figura 29 - Curvas-chave Sapo Nú. ....	83
Figura 30 - Geometria do trecho em Sapo Nú, com destaque para a seção de entrada .....	83
Figura 31 - Interface de instalação do aplicativo Hidromapp.....	84
Figura 32 - (A) Treinamento no Instituto Solidare abril/2021; (B) Medições maio/2021 .....	85
Figura 33 - Fluxograma de valores utilizados na modelagem. ....	86
Figura 34 - Variações percentuais dos usos do solo ao longo dos anos na bacia do rio Tejipió.....	87
Figura 35 - Evolução do solo da bacia de estudo entre os anos de 1985 a 2019. ....	88
Figura 36 - Gráfico da variação do Tc em função das alterações na área urbanizada .....	90
Figura 37 - Gráfico da variação do Tc, por sub-bacia, em função das alterações na área urbanizada.....	91
Figura 38 - Hietograma de projeto TR-10 e TR-25.....	92
Figura 39 - Precipitações efetivas e valores de CN, por sub-bacias, nos cenários de análise .....	93
Figura 40 - Variação na área urbanizada da bacia em cada cenário <i>versus</i> a Pef escoada.....	94
Figura 41 - Hidrogramas resultantes: A) TR-10 e B) TR-25.....	96
Figura 42 - Hidrogramas resultantes: Abril/2021 .....	97
Figura 43. Hidrogramas Resultantes: Maio/2021 .....	98
Figura 44 - Hidrogramas de entrada na SB6 comparando as variações de Qp e vol em C0 e C2 .....	101

Figura 45 - Hidrogramas de entrada na SB7 comparando as variações de Qp e vol em C0 e C2. ....	101
Figura 46 - Valores medidos e observados nos eventos de Abril e Maio/2021 em Coqueiral. ....	103
Figura 47 - Mapas de profundidade por cenários e eventos em Coqueiral. ....	106
Figura 48 - Mapas de profundidade por cenários e eventos em Sapo Nú. ....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição das classes de declividade para a bacia de estudo.....	55
Tabela 2 - Destinação inadequada de lixo e esgoto na bacia em 2010 .....	60
Tabela 3 - Informações sobre os pontos visitados. ....	61
Tabela 4 - Características Fisiográficas das sub-bacias .....	70
Tabela 5 - Cenários de simulação das sub-bacias de estudo. ....	71
Tabela 6 - Valores de CN em relação ao uso e cobertura do solo. ....	75
Tabela 7 - Dados dos postos pluviográficos utilizados.....	76
Tabela 8 - Dados de entrada do modelo HEC-HMS. ....	78
Tabela 9 - Valores de R <sup>2</sup> para C2 e C3 (cenários de revitalização) em comparação com o C1, por sub-bacia, para cada evento.....	81
Tabela 10 - Dados de entrada para C0 e C2. ....	84
Tabela 11 - Classificação da avaliação de desempenho da modelagem hidrodinâmica. ....	86
Tabela 12 - Tempos de concentração dos cenários de análise, por sub-bacia e total, em minutos.....	91
Tabela 13 - Características principais do hidrograma resultante.....	95
Tabela 14 - Reduções percentuais das vazões de pico (Qp) em relação ao cenário atual (C0).....	98
Tabela 15 - Volumes escoados nos eventos (valores absolutos e percentuais do total da precipitação).....	99
Tabela 16 - Profundidades calculadas e medidas em Coqueiral.....	103
Tabela 17 - Resultado das métricas de desempenho para as marcas de cheia em Coqueiral no C0.....	103
Tabela 18 - Variações percentuais entre C0 e C2 quanto às áreas atingidas e profundidades máximas. ....	104
Tabela 19 - Faixas de normalização da cota de inundação. ....	105
Tabela 20 - Percentual de áreas por limiar de profundidades atingidas.....	108
Tabela 21 - Variação % das profundidades entre C0 e C2, por limiar e por evento. ....	109

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	Justificativa	17
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>21</b>
3.1	Águas urbanas	21
3.1.1	<i>Pressões urbanas e canalização dos rios</i>	23
3.1.2	<i>Os rios no Recife</i>	25
3.1.3	<i>Referências Legais e outros documentos relevantes</i>	27
3.2	Revitalização e demais conceitos de melhoria das condições de rios	29
3.3	Metodologias, abordagens, técnicas e tecnologias de suporte à revitalização de rios urbanos	32
3.3.1	<i>Classificação e descrição das metodologias de revitalização</i>	32
3.3.2	<i>Gestão do ciclo urbano da água e a revitalização de rios urbanos</i>	33
3.4	Modelagem computacional no apoio à revitalização de rios urbanos	39
3.4.1	<i>Modelagem hidrológica</i>	40
3.4.2	<i>Modelagem hidrodinâmica</i>	41
3.5	Fator social no sucesso da revitalização	43
3.6	Principais experiências de revitalização	46
<b>4</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>51</b>
4.1	Caracterização da Bacia do rio Tejipió	51
4.2	Caracterização da área de estudo	53
4.2.1	<i>Relevo</i>	53
4.2.2	<i>Clima e Vegetação</i>	56
4.2.3	<i>Aspectos socioambientais</i>	58
4.2.4	<i>Aspectos institucionais</i>	64
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>67</b>
5.1	Crescimento Urbano	67
5.2	Modelagem computacional	68
5.2.1	<i>Delimitação da bacia e rede hidrográfica</i>	69
5.2.2	<i>Construção dos cenários de revitalização</i>	70
5.2.3	<i>Modelagem hidrológica</i>	71
5.2.4	<i>Modelagem hidrodinâmica</i>	79

<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>87</b>
<b>6.1</b>	<b>Análise do uso do solo</b>	<b>87</b>
<b>6.2</b>	<b>Tempo de concentração</b>	<b>89</b>
<b>6.3</b>	<b>Precipitações</b>	<b>91</b>
<b>6.4</b>	<b>Hidrogramas resultantes</b>	<b>94</b>
<b>6.4.1</b>	<b><i>Características dos hidrogramas</i></b>	<b>98</b>
<b>6.5</b>	<b>Simulação da inundação</b>	<b>102</b>
<b>6.5.1</b>	<b><i>Manchas de inundação</i></b>	<b>102</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>110</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE A – MODIFICAÇÕES NO USO DO SOLO</b>	<b>124</b>
	<b>APÊNDICE B – CURVAS IDF PARA TR10 E TR25</b>	<b>125</b>
	<b>APÊNDICE C – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E ÁREAS DE INFLUÊNCIA POR SUB-BACIA</b>	<b>126</b>
	<b>APÊNDICE D – PRECIPITAÇÕES MEDIDAS POR SUB-BACIAS EM ABRIL/2021</b>	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE E – PRECIPITAÇÕES MEDIDAS POR SUB-BACIA EM MAIO/2021</b>	<b>128</b>
	<b>APÊNDICE F – APRESENTAÇÃO DO TREINAMENTO REALIZADO NO INSTITUTO SOLIDARE</b>	<b>129</b>
	<b>ANEXO A – AFLUENTES DO RIO TEJIPIÓ CADASTRADOS NO RECIFE</b>	<b>135</b>
	<b>ANEXO B – CONDIÇÕES DE UMIDADE</b>	<b>136</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades brasileiras nos anos de 1960/1970 priorizou a minimização das perdas territoriais, considerando rios, áreas alagáveis e encostas como obstáculos a serem transpostos, para que a urbe pudesse ser transformada em uma máquina de produção e circulação (ROLNIK & KLINK, 2011). Desenvolveu-se, então, um cenário de conflito entre a água e o desenho urbano, tornando-se comum o recobrimento dos corpos hídricos e a construção de avenidas de fundo de vale (SILVA-SÁNCHEZ & JACOB, 2012).

Canalizar e retificar rios também foi uma maneira de fortalecer tal concepção de cidade, pois era considerada a concepção higienista e corretiva de agilizar o escoamento das águas da chuva (SILVEIRA, 1998; TUCCI, 2008). Por outro lado, a descaracterização o ambiente natural causado pela canalização faz com que as águas passem a incrementar as vazões para jusante, potencializando a ocorrência de inundações.

Concomitante a isso, o rápido e desordenado crescimento da urbanização em áreas informais das cidades provocou o estrangulamento de cursos d'água, recaindo em problemas ambientais semelhantes aos citados anteriormente, como alagamentos e inundações. Almeida e Corrêa (2012) acrescentam que os rios urbanos passaram a compor a gestão das cidades como canais receptores de efluentes, resíduos sólidos e fonte de doenças, devendo ser aterrados ou ocultados.

Nesse sentido, Carneiro & Míguez (2011) afirmam que os assentamentos humanos modificam os padrões das cheias no meio urbano, principalmente, aumentando as intensidades e periodicidades de ocorrências. Como consequência de tais mudanças, as inundações ganham destaque por ocasionar cada vez mais danos e perdas econômicas. Em Pernambuco, entre 1985 e 2022, dois dos 11 eventos de inundação de grande magnitude registrados ocorreram em Recife e Jaboatão dos Guararapes, com 41 mil afetados (CRED, 2022).

A cidade do Recife possui um extenso histórico de inundações e tem registrado ao longo dos anos a diminuição dos intervalos entre esses eventos (SILVA, 2019). Essa condição está atrelada não somente ao processo de ocupação desordenada e ausência de planejamento, mas também ao aterramento de inúmeras áreas alagáveis, objetivando a implantação de vias para a mobilidade (SILVA, 2019).

Todos os rios de Recife encontram-se sobre uma planície fluviomarinha, o que potencializa constantes inundações e alagamentos no período chuvoso, principalmente nos ciclos da maré alta. Associado a isso, estão o assoreamento, o despejo de efluentes e de resíduos sólidos. No caso dos canais que ainda têm o leito preservado, a manutenção é limitada pelas ocupações irregulares nas áreas livres e a escassez de recursos financeiros para a preservação e fiscalização (CABRAL & ALENCAR, 2005).

O Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife – PDDR (EMLURB, 2016), identificou 159 pontos de alagamento e delimitou 62 áreas inundáveis (para eventos com tempo de retorno de 25 anos). Lafayette *et al.* (2018) identificaram 182 pontos de alagamentos na cidade do Recife, entre os anos de 2013 e 2017, demonstrando que essa é uma problemática recorrente na cidade.

De maneira mais específica destaca-se a bacia hidrográfica do rio Tejipló, que é a terceira maior e mais importante bacia hidrográfica do Recife (MUNIZ FILHO, 2005). Contudo, ela tem maior expressividade no tocante à drenagem urbana, pois é responsável por drenar quase toda a zona sul e sudoeste da cidade, concentrando a sua maior rede escoamento e contando com quase 56 km de canais e 65 km de galerias e rios (EMLURB, 2016; RECIFE, 1996 *apud* MUNIZ FILHO, 2005).

Silva (2019) afirmou que essa bacia tem sofrido anualmente com eventos de inundação em períodos de chuvas intensas, afetando a mobilidade da região, e causando danos materiais à população. O autor ainda destaca que existem diversos pontos de inundação (que estão relacionados à incapacidade de condução da calha do rio) ou de alagamento (ligados a ineficiência da microdrenagem) na bacia. Portanto, os problemas atuais e futuros na bacia do rio Tejipló poderão interferir em grandes proporções na dinâmica do Recife.

## **1.1 Justificativa**

Mesmo a bacia do rio Tejipló sendo tão relevante ao Recife, o PDDR não estudou a bacia como um todo, desconsiderando as áreas do Alto e Médio Tejipló em seu estudo, pois não levantou nenhum ponto de alagamento ou estimou a mancha de inundação nessa região (EMLURB, 2016). Por isso, as propostas de intervenção (EMLURB, 2013a; 2013b) e promoção à revitalização do rio foram direcionadas

apenas para o baixo Tejipió, fazendo com que toda a região a montante não fosse diagnosticada, nem contemplada com soluções.

A condição citada anteriormente evidencia a necessidade de estudos nesse sentido para a região, pois a sua população sofre com inundações pelo menos cinco vezes ao ano, como é o caso de Coqueiral e Sapo Nú. Em eventos chuvosos extremos como os ocorridos em maio de 2022, cerca de duas mil famílias ficaram desabrigadas, precisando ser resgatadas de suas casas durante a inundação.

A revitalização dos rios urbanos surge como um conceito à melhoria de suas condições e funções. Jacobi *et al.* (2015) afirmam que, nos centros urbanos, a busca por sustentabilidade deve considerar que os rios e riachos são responsáveis por inúmeros serviços ecossistêmicos, como a purificação da água e a regulação de cheias (POSTEL e THOMPSON JUNIOR, 2005). CABRAL *et al.* (2017) acrescentam que revitalização de um rio urbano envolve aspectos relacionados ao meio físico, hidráulico, hidrológico e ecológico, envolvendo atividades de gestão que resgatem as funções ambientais e sociais do rio no que se refere a biodiversidade, controle de inundações, lazer e requalificação do meio urbano.

A maior parte dos projetos de melhoria são relacionados apenas à qualidade das águas e/ou outros fatores ambientais, deixando questões hidráulicas, hidrológicas e sociais em segundo plano (CABRAL & MOURA, 2021). Contudo, o estudo do comportamento hidráulico e hidrológico dos rios urbanos é basal à sua revitalização, sendo parte relevante à tomada de decisões, subsidiando a escolha das técnicas e abordagens a serem utilizadas.

A modelagem ambiental é capaz de representar os rios são como parte da drenagem urbana, sendo composta por duas partes conectadas em sequência: um modelo hidrológico que representa a transformação da precipitação em vazão (escoamento superficial) e um modelo hidráulico para o estudo da propagação do escoamento em rios e canais e determinação da região inundada (MELLER, 2004).

A aplicação dos modelos em cenários de desenvolvimento é uma importante forma de compreender como será o comportamento dos rios em um futuro desejável ou tendencial, pois simulam as realidades possíveis. Com isso, eliminam-se incertezas e pode-se antecipar decisões futuras e formular estratégias e projetos.

Outro fator relevante ao sucesso da revitalização é o envolvimento social. Preuss *et al.* (2017) afirmam que as intervenções de revitalização de riachos urbanos devem envolver toda a sociedade, pois o êxito delas depende do reconhecimento e

compreensão dos problemas da maior parte da população e dos gestores públicos. Há também, nesse contexto, a capacitação social (LWA, 2003), que é a capacidade da sociedade em compreender elementos restritivos e facilitadores, e outros fatores ligados à revitalização (LIMEIRA & SILVA, 2010).

Nesse sentido, Cabral *et al.* (2019) destacam que a sociedade tem reconhecido a importância dos rios e riachos urbanos como parte do meio urbano, centralizando o planejamento a partir das especificidades pertinentes a cada um deles. Demonstra-se, portanto, que ações de revitalização são fundamentais para resolução de problemas como os encontrados na bacia do rio Tejipió.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar as respostas hidrológicas e hidrodinâmicas provenientes da modelagem computacional em diferentes cenários de revitalização em um trecho da bacia hidrográfica do Rio Tejipió-Recife/PE.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar as modificações espaço-temporais do uso do solo;
- Avaliar as implicações de cenários de revitalização sobre hietogramas de precipitação efetiva e hidrogramas de escoamento superficial;
- Simular manchas de inundação e analisar seus comportamentos sobre parte da área de estudo;
- Definir e categorizar áreas inundáveis.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Águas urbanas

Águas urbanas podem ser águas naturais, potáveis ou servidas, disponíveis na cidade e que compõem o ciclo hidrológico urbano. Estão presentes no sistema de abastecimento de água e esgotos sanitários, na drenagem urbana, nos rios, nas inundações ribeirinhas, ou influenciadas pela gestão de resíduos sólidos (TUCCI, 2008).

A etapa do ciclo hidrológico urbano mais alterada quando ocorrem precipitações intensas é o escoamento superficial – parcela das águas que escoam sobre a superfície e incrementam a vazão dos rios, riachos e galerias pluviais (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015; TUCCI E BERTONI, 2003). Dessa maneira, a impermeabilização desordenada do solo tem potencializado o escoamento superficial e as inundações.

Inundações são eventos naturais decorrentes das cheias sazonais sobre o leito maior do rio (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015). Entretanto, quando elas ocorrem no meio urbano, ultrapassando a capacidade de transporte dos rios, riachos, condutos ou canais, atingindo áreas que a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros, são denominadas inundações urbanas (TUCCI E BERTONI, 2003).

Nesse contexto, a hidrologia urbana busca compreender os efeitos do desenvolvimento das cidades sobre o ciclo hidrológico urbano e identificar maneiras de mitigar aqueles adversos (LIMA *et al.*, 2010), como as inundações urbanas. Quando tal estudo enfoca o escoamento superficial nas cidades, pode torna-la mais segura e resiliente (CABRAL, *et al.*, 2020).

A evolução dos estudos das águas urbanas é dividida em quatro fases (SILVEIRA, 1998; TUCCI, 2008), com as seguintes características:

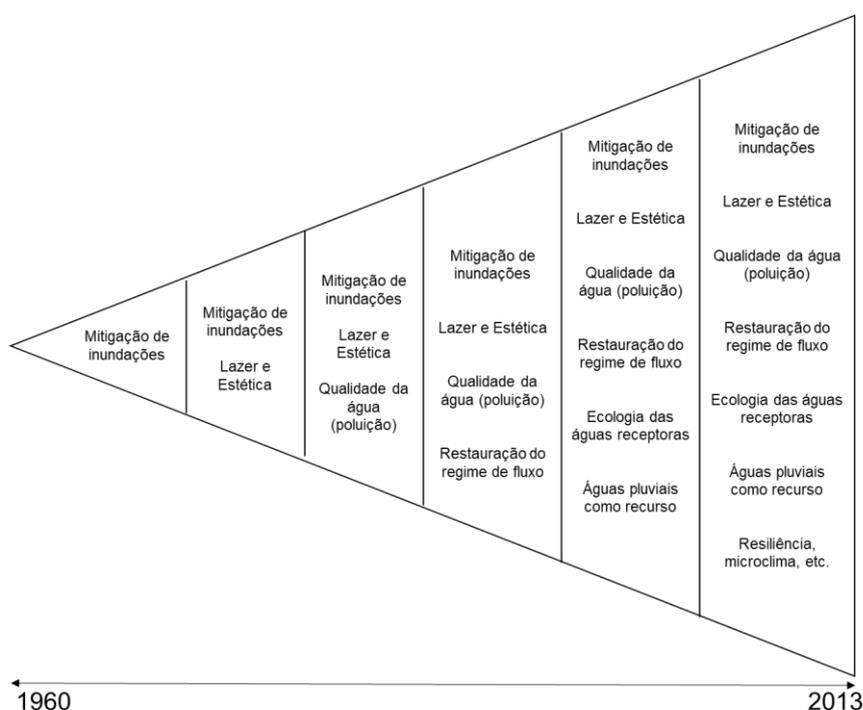
- (1) Pré-higienista/ Até início do século XX** – desfazer-se dos resíduos e ter água para abastecimento;
- (2) Higienista/ Antes de 1970** – evacuação rápida, sistema unitário e alargamento de ruas e canalizações subterrâneas;
- (3) Corretiva/ 1970 a 1990** – evacuação rápida, racionalização e normatização dos cálculos hidrológicos, dimensionamento correto das obras hidráulicas, sistema separador absoluto;

**(4) Desenvolvimento Sustentável/ Depois de 1990** – alternativas à evacuação rápida, reconhecimento da drenagem como poluidora, abordagem científica e ambiental do ciclo hidrológico urbano;

Em (1) e (2) buscava-se trazer mais conforto às cidades, entretanto não consideravam as interações entre as práticas e os corpos hídricos receptores, provocando inundações. Em (3), corrige-se os problemas anteriores, mas há diversos impactos ambientais por conta das muitas obras hidráulicas. Já em (4) busca-se uma visão integrada do sistema.

Essa evolução (Figura 1) reflete a integração da drenagem urbana como disciplina para além da engenharia civil, engajando arquitetos, paisagistas, urbanistas, ecologistas e cientistas sociais, com foco crescente na ecologia das águas receptoras (como a qualidade da água e regimes de fluxo) e a entrega de múltiplos benefícios (FLETCHER *et al.*, 2015).

Figura 1 - Evolução temporal do estudo das águas urbanas - aumento da integração e interdisciplinaridade da gestão da drenagem urbana



Fonte: Adaptado de Whelans *et al.*, 1994, *apud* Fletcher *et al.* (2015)

Mesmo diante de tantos avanços no contexto mundial, no Brasil ainda são aplicadas soluções relacionadas a fase higienista, como a canalização de rios. Isso acontece porque o planejamento das intervenções na drenagem urbana não

consegue ser tão rápido quanto a urbanização e, por isso, atua-se localmente para que as águas escoem agilmente, tendo por consequência vazões cada vez maiores levadas para jusante (CANHOLI, 2014).

### **3.1.1 Pressões urbanas e canalização dos rios**

As construções irregulares na calha principal dos rios e em seu leito maior (Figura 2) estão entre as principais pressões sofridas pelos rios urbanos. Essas edificações formam, na maioria das vezes, os aglomerados subnormais (designados também como “favelas”), que estreitam a calha fluvial, estrangulando a seção transversal do rio e potencializando a magnitude das enchentes e inundações.

Figura 2 - Construções irregulares na calha do rio Tejipió, em Coqueiral, Recife-PE. Vista para montante.



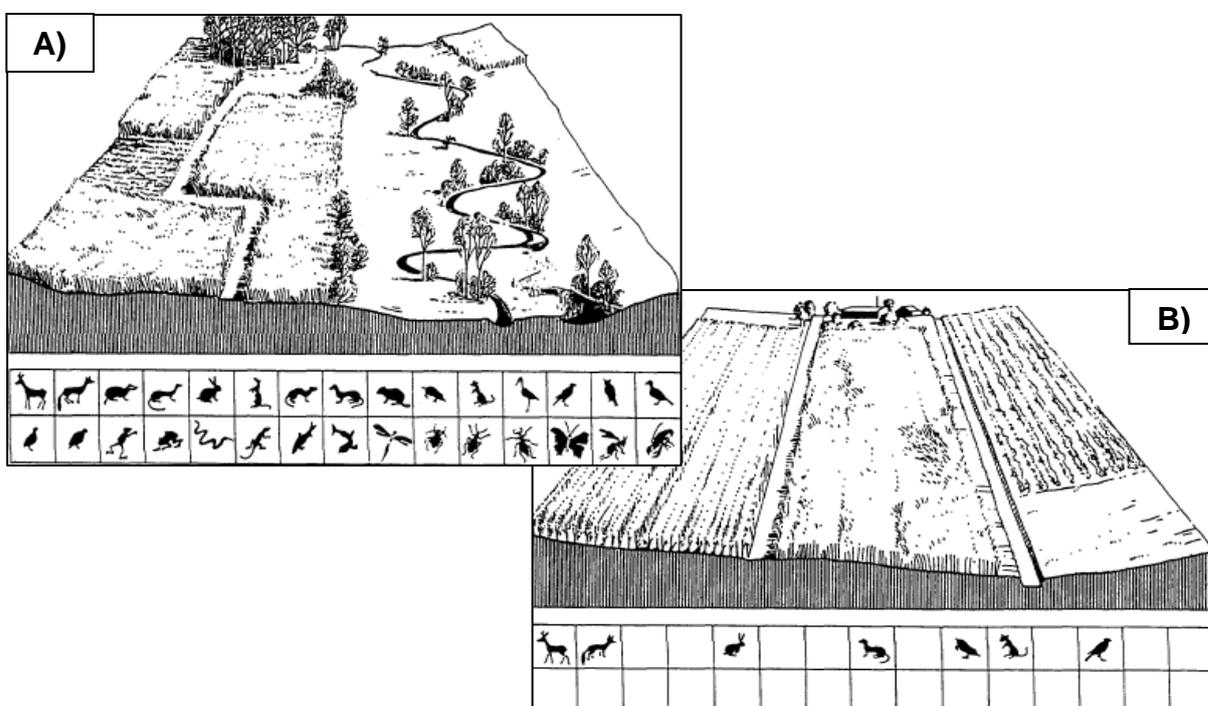
Fonte: A Autora (2021).

Por outro lado, também existem pressões provenientes de ocupações formais, estabelecidas sobre a calha e margens dos rios, pondo em risco o sistema de drenagem natural da cidade e resultando em consequências iguais as citadas no parágrafo anterior (CABRAL *et al.*, 2001).

A capacidade hidráulica dos rios também é reduzida pelo assoreamento, proveniente de erosões e acúmulo de resíduos sólidos. Portanto, os rios urbanos podem ser vistos como ambientes degradados, pois são um sistema em que todos os seus processos (hidráulicos, hidrológicos, biológicos, ambientais e sociais) estão em desequilíbrio (KOBAYAMA *et al.*, 2001).

Buscando solucionar os problemas decorrentes das pressões exercidas sobre os rios, a canalização deles passou a ser considerada como uma alternativa. Entretanto, os aparentes ganhos tornam-se em prejuízos ao meio ambiente, tais como: o favorecimento de ligações de esgotos clandestinos, ocupação das margens e das áreas de expansão de cheias, o isolamento da conexão hidráulica entre o aquífero e o rio (CABRAL *et al.*, 2001) e a perda de biodiversidade (BINDER, 1998) demonstrada na Figura 3. Tucci (2008) acrescenta que esse modelo favorece empresas construtoras que se apoiam na prática do uso de concreto para canalização.

Figura 3 - A) Diversidade da biota em um rio natural; B) Queda na diversidade em um rio retificado/canalizado.



Fonte: Binder (1998).

Nos países desenvolvidos, a alternativa de canalizar rios tem entrado em desuso desde os anos 1970. Esta mudança de paradigmas os fez concluir que, além dos ganhos ambientais, a concepção de drenagem urbana sob a perspectiva sustentável proporciona economia financeira, pois os custos de canalização de rios são muito elevados (TUCCI, 2008). Tucci (1997) constatou que quando um rio é canalizado, o prejuízo ao Estado é dobrado, porque o problema não é resolvido e os recursos são empregados de maneira equivocada.

Nesse sentido, Moura *et al.* (2020) afirmam que a canalização de rios se tornou um paradigma nos países em desenvolvimento, pois trata-se de uma solução técnica conhecida, com rápida execução a curto prazo e socialmente aceita. Entretanto, práticas voltadas para a integração dos cursos d'água às cidades, têm demonstrado resultados satisfatórios para o resgate das funções da drenagem urbana, ecológicas e aceitação social dos rios nas cidades (COMETTI *et al.*, 2019). Elas também permitem a diminuição da vulnerabilidade das cidades à eventos extremos (PATAKI *et al.*, 2013).

### **3.1.2 Os rios no Recife**

A cidade do Recife é entremeada por muitos rios e riachos e tornou-se conhecida como a “Veneza Brasileira”. Entretanto, seu desenvolvimento quase sempre desconsiderou a boa convivência com as águas, sendo feitas muitas modificações dos corpos hídricos baseadas no conceito higienista (canalização).

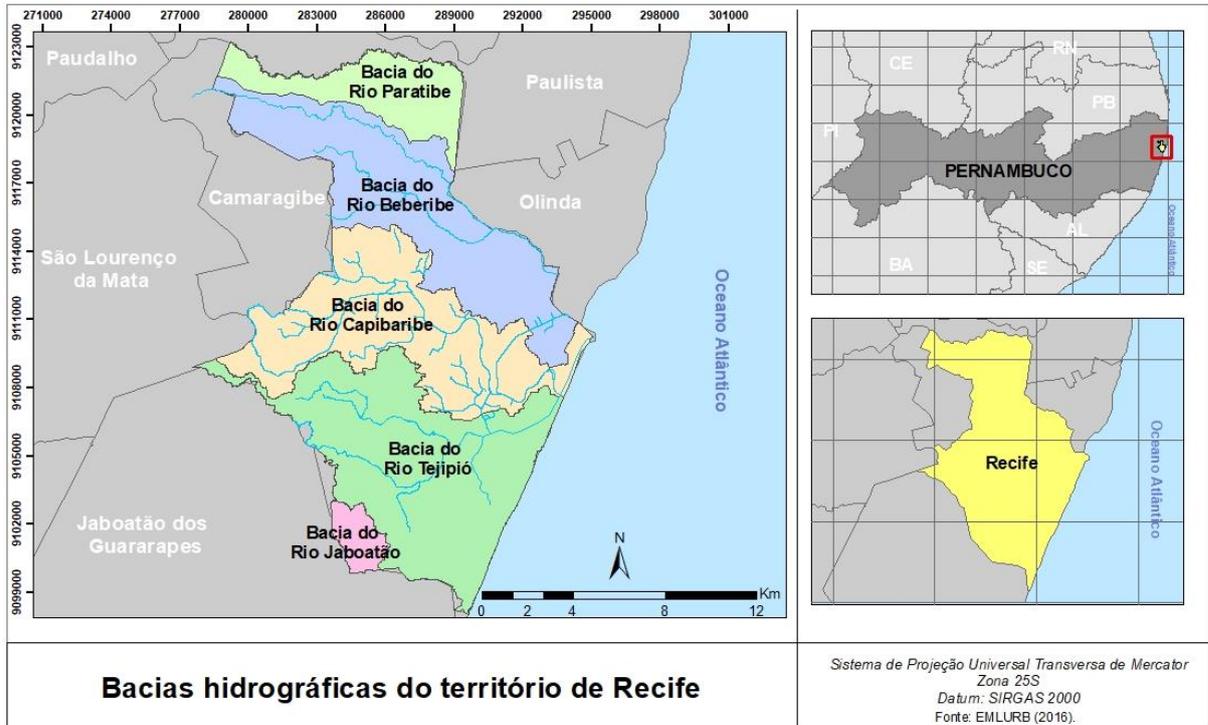
Dentre as principais intervenções implementadas para a macrodrenagem têm-se: o alargamento da calha fluvial na planície do Recife; a reconstrução de pontes (mais extensas e mais altas, evitando represamento); e a retificação do curso do rio Capibaribe no Bairro de Apipucos – que causava efeito de remanso em um meandro de grande sinuosidade (CABRAL E ALENCAR, 2005). Foram realizadas outras modificações na drenagem natural, resultando na canalização de cursos d'água e aterramento de baixios (PREUSS *et al.*, 2011).

A hidrografia de Recife (Figura 4) é formada por três bacias hidrográficas principais (Beberibe, Capibaribe e Tejipló, que possuem o mesmo estuário) e parte das bacias do rio Paratibe e Jaboatão. Rios naturais, rede de drenagem convencional, alguns itens de drenagem sustentável – o microrreservatório de detenção subterrâneo na rua Conselheiro Portela, barragens móveis (PREUSS *et al.*, 2011) e 99 canais – são responsáveis pelo manejo de águas pluviais da cidade. Ressalta-se que esses canais de Recife são trechos de rios e riachos que foram canalizados e a maior parte deles têm suas paredes revestidas (COMETTI *et al.*, 2019).

Os canais da macrodrenagem do Recife somam 133 km de extensão, dos quais 58% possuem revestimento, totalizando 77 km (EMLURB, 2016). O quadro 1 apresenta o número de canais nas bacias hidrográficas de Recife, suas extensões, e

presença ou ausência de revestimento. Já a microdrenagem é composta por canaletas e galerias, existem aproximadamente 1.580 km (EMLURB, 2016).

Figura 4 - Mapa de localização das bacias hidrográficas no Recife



Fonte: A Autora (2022).

Quadro 1 - Número de canais na macrodrenagem do Recife e condições de revestimento.

Bacia	Nº de canais				Extensão (km)		
	Totalmente revestidos	Sem revestimento	Parcialmente revestidos	Total	Revestido	Sem revestimento	Total
<b>Capibaribe</b>	15	4	14	33	29,0	10,3	39,2
<b>Beberibe</b>	14	3	8	25	17,9	12,4	30,4
<b>Tejió</b>	7	9	19	35	27,7	27,8	55,6
<b>Jaboatão</b>	0	2	4	6	2,5	5,0	7,6
<b>Total</b>	36	18	45	99	77,2	55,6	132,7

Fonte: Adaptado de Emlurb (2016).

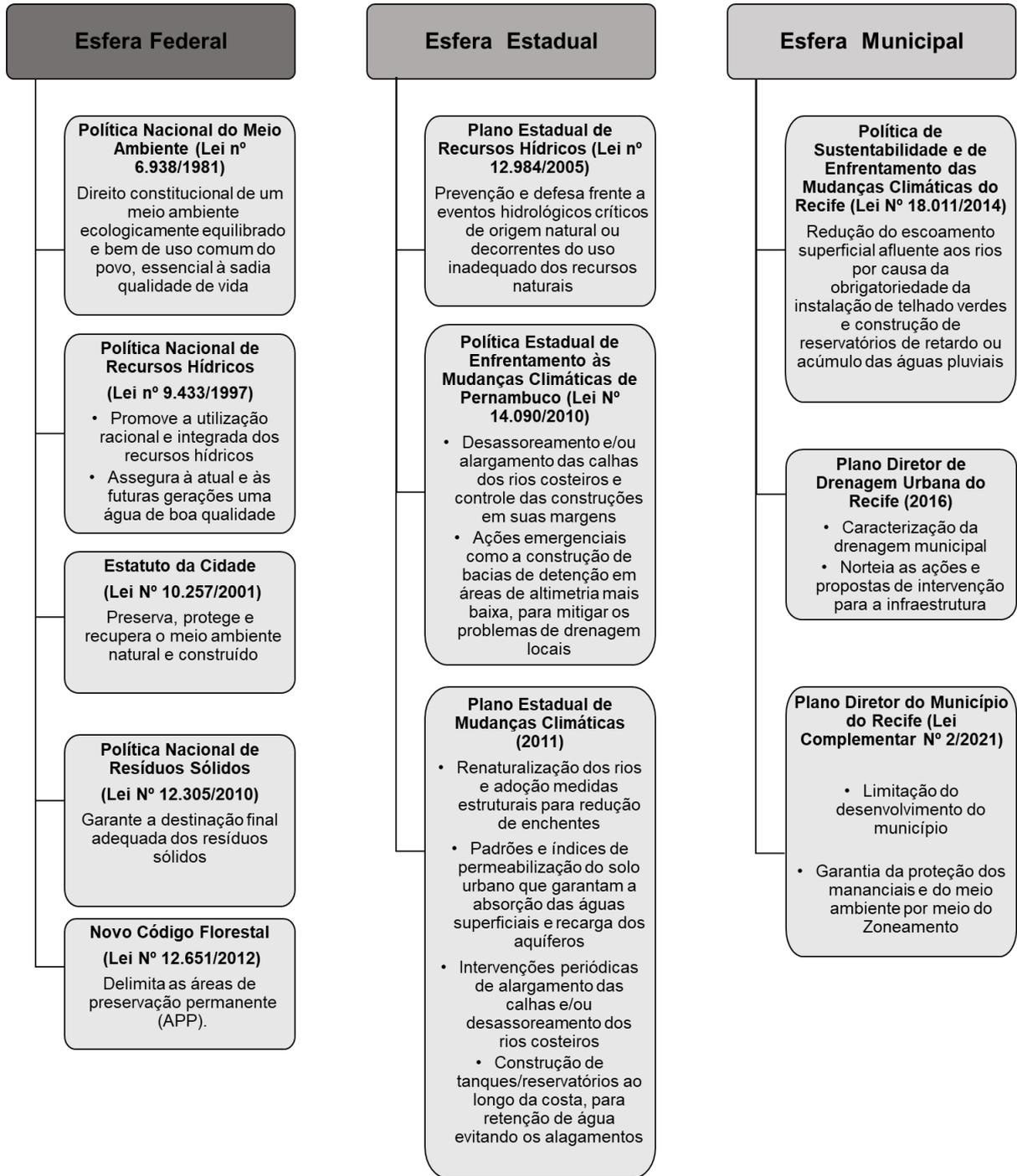
Ações objetivando melhorias à drenagem urbana de Recife têm sido desenvolvidas sob a perspectiva de revitalização, com uma abordagem multidisciplinar. A exemplo disto, cita-se os casos do Parque Capibaribe (CABRAL *et al.*, 2014) e dos estudos do Grupo de Recursos Hídricos (GRH) da UFPE para os riachos Cavouco, Parnamirim e Sítio dos Pintos (CABRAL *et al.*, 2019).

### **3.1.3 Referências Legais e outros documentos relevantes**

A existência de um arcabouço legal sólido, associado a documentos como os Planos Estaduais e Municipais de saneamento, de recursos hídricos, entre outros, são imprescindíveis para uma boa interação entre a cidade e os rios, pois, muitas questões referentes à gestão e ao planejamento das cidades também estão ligadas àquelas ambientais (SALGADO, 2014). Além disso, esses documentos dão suporte à revitalização e preservação dos rios urbanos, à drenagem, ao planejamento e à gestão das cidades sustentáveis (AFONSO, 2011).

Entretanto, para que haja sustentabilidade dos rios urbanos se faz necessário a implementação das leis existentes, associadas a estudos eficazes, adoção de medidas estruturais e não estruturais, vontade política e participação popular (SALGADO, 2014; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2020). O quadro 2 apresenta a síntese dos principais apoios legais e documentais que subsidiam a revitalização dos rios urbanos em todos os seus aspectos, inclusive do ponto de vista da drenagem urbana.

Quadro 2 - Síntese do arcabouço legal e outros documentos de apoio à revitalização de rios urbanos



Fonte: Adaptado de Afonso (2011) e Silva Júnior (2020).

### 3.2 Revitalização e demais conceitos de melhoria das condições de rios

Termos como “*restoration*”, “*revitalization*”, “*rehabilitation*”, “*rivitalizzazione*”, “*riqualificazione*”, são utilizados em países do exterior para designar a necessidade de melhoria do funcionamento dos rios urbanos frente a um estágio avançado de degradação. Segundo Veról (2013), esses termos tratam da recuperação dos cursos d’água a um estado menos antropizado.

Mesmo sendo termos conceitualmente diferentes, tornam-se sinônimos quando traduzidos para a língua portuguesa. Por isso, o Quadro 3 apresenta os principais termos, definições e autores a fim de esclarecer essas diferenças conceituais e ratificar a escolha do termo utilizado nesse trabalho.

Silva e Porto (2020) relatam que projetos de revitalização são mais abrangentes, diferenciando-se dos demais porquê integram fatores relevantes ao rio como condições sanitárias, variáveis naturais, urbanísticas, sociais e de gestão no processo de decisão. Além disso, a revitalização apresenta o rio como elemento central da revitalização urbana, que inclui a implementação de parques, áreas de lazer e pistas de caminhada (Veról, 2013).

Peduzzi (2021) afirma uma rede hidrográfica possui quatro dimensões a serem resgatadas para que ocorra a revitalização. Para ele deve-se considerar as conexões e dinâmicas que existem no rio, sendo elas: ligação de montante à jusante (conectividade longitudinal), do rio com as margens (conectividade transversal), do fundo com a superfície da água (conectividade vertical) e as mudanças temporais (dinâmica do rio). Rigotti & Rodrigues (2019) destacam que o termo revitalização pode caracterizar o processo de recuperação da saúde dos cursos d’água e a reintegração dos rios ao cenário urbano, sem necessariamente o retorno às suas condições originais (anteriores a degradação).

Dessa forma, compreende-se que revitalização é a recuperação e melhoramento dos atributos estruturais ou funcionais que provavelmente não estão presentes no sistema natural atual (CIRF, 2006), pois os rios encontram-se canalizados, retificados, cobertos ou em galerias (SVIZZERA, 2021), ou seja, é a “*re*” *vita* (radical latino que significa trazer à vida) dos processos e elementos-chave que regulam o funcionamento de um curso de água natural (ANGELONE *et al.*, 2012).

Quadro 3 - Termos utilizados para designar a melhoria das condições de rios

Termo	Definição	Fonte
Renaturalização	Retornar os corpos hídricos à condição natural (original, antes da perturbação), ou o mais próximo possível dessa condição, por meio da relação rio <i>versus</i> paisagem.	Silva & Porto (2020)
	I. Valoriza as condições naturais dos rios e das baixadas inundáveis; II. Regenera rios e córregos por meio do manejo regular ou de programas de renaturalização, tornando a biota o mais natural possível; III. Preserva e impede o uso de áreas naturalmente inundáveis.	Binder (1998)
Revitalização	Recuperação de processos (físicos, morfológicos e hidrológicos) e elementos-chave (autopreservação, interligação de habitats, diversidade ecológica, corredor ecológico, proteção contra inundações, espaços recreativos, proveito, lazer e abastecimento de água subterrânea) que regulam o funcionamento de um curso d'água natural.	Peduzzi (2021); Angelone <i>et al.</i> (2012)
	Restabelecimento, por meio de medidas construtivas, das funções naturais das águas superficiais represadas, canalizadas, retificadas, cobertas ou em galerias.	Svizzera (1991) <sup>1</sup>
	Recuperação e melhoramento dos atributos estruturais ou funcionais que provavelmente não estão presentes no sistema natural atual.	CIRF (2006)
	Conjunto de medidas possíveis que objetivam a recuperação da morfologia natural dos cursos d'água, controlando processos erosivos e facilitando o ressurgimento da biota. Pode-se listar as seguintes medidas: a) impedir o lançamento de esgotos sem tratamento em rios e córregos; b) impedir a disposição de lixo nas margens e nos leitos de rios e córregos; c) promover a melhoria dos rios já canalizados, buscando a valorização da paisagem e adaptando-os para seu aproveitamento, principalmente como área de recreação e lazer; d) permitir que o rio desenvolva um curso mais natural e volte a formar meandros.	SELLES <i>et al.</i> (2001)
	Processo de recuperação, conservação e preservação do meio ambiente, implementando ações integradas e permanentes que objetivem proteger os recursos hídricos, assegurar os usos múltiplos das águas e melhorar as condições socioambientais daqueles que residem na região da bacia hidrográfica.	MMA/FNMA (2005)
	Reintrodução do canal fluvial à paisagem, dando-lhe vida e novos usos por meio do restabelecimento da relação "corpo d'água – paisagem" de forma funcional.	Cengiz (2013); Findlay & Taylor (2006)
Restauração	"Restauração completa", busca retornar um sistema aquático ou habitat ao seu estado original e não perturbado. Dividido em passivo (remoção de distúrbios humanos para permitir a recuperação) e restauração ativa (manipulações ativas para restaurar processos ou condições).	Roni & Beechie (2013)
	Processo de assistência à recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído.	SER (2002)

<sup>1</sup> Termo incluído na revisão da lei de 11 de dezembro de 2009.

<b>Termo</b>	<b>Definição</b>	<b>Fonte</b>
<b>Restauração</b>	Restaurar as habilidades dos ecossistemas para continuar sua mudança e desenvolvimento contínuos sem restrições por interrupções humanas passadas ou presentes.	Westra (1995)
	Retorno de um ecossistema a condições (estruturais e funcionais) semelhantes as anteriores à perturbação, ou seja, o mais próximo possível da sua condição original.	IMA(2022); NRC (1999)
	Ações tomadas sobre uma área úmida natural (antropizada ou degradada), restabelecendo processos ecológicos e funções bióticas/abióticas, tornando-a um sistema persistente e resiliente, integrado à paisagem.	SWS (2000)
<b>Reabilitação</b>	“Restauração parcial”, restaura ou melhora alguns aspectos do rio, sem restaurar totalmente todos os componentes. Também pode ser usado como um termo geral para uma variedade de atividades de restauração e melhoria.	Roni & Beechie (2013)
	Retorno da área a um estado biológico apropriado. Tal retorno pode significar o uso produtivo da área a longo prazo, tal como a implantação de uma atividade que renderá lucros; ou atividades menos tangíveis em termos monetários, visando a recreação ou a valorização estético-ecológica.	IMA(2022)
	Restabelecimento parcial do ecossistema resultando em um ecossistema com condições biológicas e físicas do rio criadas ou modificadas.	Findlay & Taylor (2006)
<b>Requalificação</b>	Obtenção de um curso d'água mais natural por meio de duas frentes principais: evitar o agravamento do estado atual (degradado) e melhorar esse estado, dentro do possível. Essas melhorias estão relacionadas aos objetivos principais da requalificação fluvial (melhoria da qualidade da água, recuperação geomorfológica, diminuição do risco hidráulico e melhoria dos ecossistemas fluviais) e as ações em diferentes dimensões possíveis para a obtenção de cada um deles.	Veról (2013); Veról <i>et al.</i> (2015)
<b>Recuperação</b>	Restabelece as condições físicas, químicas e biológicas do corpo d'água, visando as melhorias das suas condições sanitárias.	Silva & Porto (2020)
	Série de medidas tomadas em áreas impactadas pela atividade com o objetivo de retornar a uma condição não degradada, que pode ser diferente da sua condição original, podendo consistir na preparação da área para uso futuro através de ações de proteção dos recursos hídricos e do solo.	IMA(2022)
	Alcançar um bom potencial ecológico (elementos físico-químicos e nutrientes dentro dos valores estabelecidos garantindo o funcionamento do ecossistema, com valores especificados para elementos de qualidade da água) e um bom estado químico (atingindo os objetivos ambientais e com níveis de elementos químicos dentro dos padrões) das águas de superfície.	União Europeia (2000) <sup>2</sup>

Fonte: A Autora (2022).

<sup>2</sup> Diretiva Quadro-Água.

### 3.3 Metodologias, abordagens, técnicas e tecnologias de suporte à revitalização de rios urbanos

Esta seção classifica e descreve as principais metodologias de revitalização de rios. Também apresentará uma abordagem de planejamento urbano voltada à mitigação dos impactos da urbanização no ciclo da água.

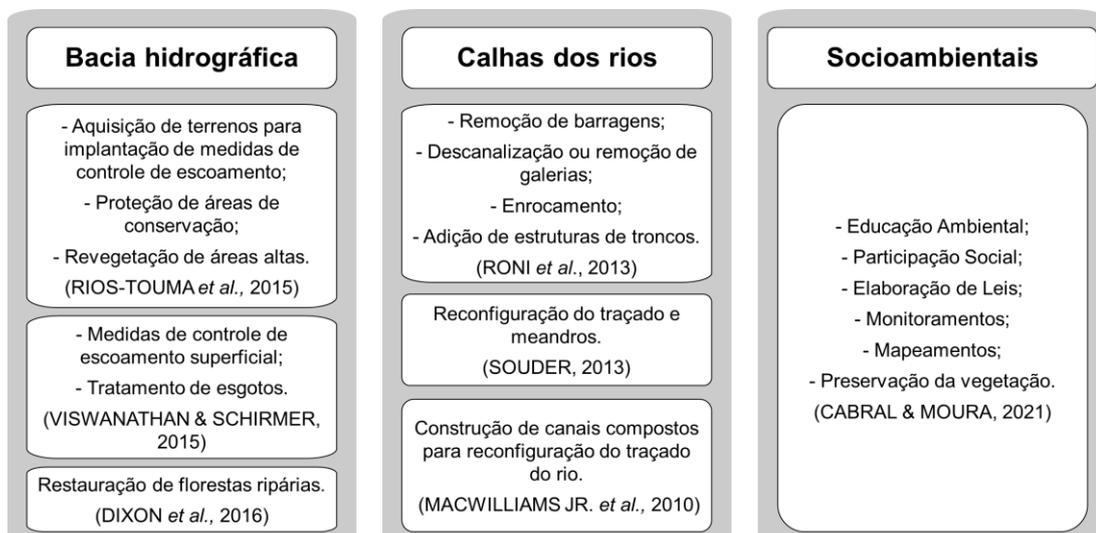
#### 3.3.1 Classificação e descrição das metodologias de revitalização

Segundo Rigotti & Rodrigues (2019) e Cabral & Moura (2021), as metodologias de revitalização classificam-se em quatro categorias, são elas:

- Restauração passiva: recuperação natural do sistema interrompendo as atividades degradantes (KAUFFMAN *et al.* 1997), técnicas eficazes e baratas, mas muito lentas;
- Intervenções na bacia hidrográfica: técnicas e medidas aplicadas de maneira dispersa na bacia (WALSH *et al.*, 2015), provocam boa recuperação dos processos ecológicos (RIGOTTI E RODRIGUES, 2019);
- Intervenções na calha do rio: mais frequentes e buscam restabelecer a morfologia dos rios (MORANDI *et al.* 2017) ou melhorar/criar habitats (BYEON *et al.* 2016);
- Intervenções socioambientais: relacionam-se às medidas não-estruturais;

A Figura 5 exemplifica as ações associadas às metodologias de intervenção.

Figura 5 - Quadro descritivo das ações associadas às metodologias de intervenção



Fonte: Adaptado e modificado de Rigotti & Rodrigues (2019)

Para escolher, ou não, dentre as intervenções de revitalização dos rios, diversas metodologias-suporte à decisão vêm sendo propostas. Nascimento (2020) afirma que intervenções como aumento de áreas permeáveis ou implementação de dispositivos de retenção/infiltração devem iniciar pelas cabeceiras e ruas mais íngremes, diminuindo a vazão e velocidade do escoamento na bacia. Ele propõe um fluxograma de decisão baseado na avaliação da bacia, classificando sua área em (I) “em urbanização” ou (II) “urbanizada”, implementando-se medidas não-estruturais e estruturais, respectivamente. No caso (I), o fluxograma segue para a previsão de sistemas de controle de vazão, priorizando a infiltração e retenção (servindo também ao caso II).

Cardoso e Baptista (2011) desenvolveram uma análise multicritério que consiste em: (a) delimitar e diagnosticar o trecho do curso de água a sofrer intervenção; (b) identificar alternativas; (c) avaliar as alternativas (criação de indicadores de impacto e análise da pontuação associada a cada indicador) e (d) comparar as alternativas (análise de desempenho das soluções por meio de ponderação simples).

Chin e Gregory (2005) identificam cinco categorias decrescentes para o potencial de recuperação de um corpo d'água: (1) Intactos – facilmente ocorrem autoajustes frente a pequenas perturbações; (2) Aptos à recuperação – com resistência moderada, se recuperam com facilidade de um eventual distúrbio; (3) Pré-degradados – em estado de deterioração progressiva, mas em processo de ajuste frente à perturbação; (4) Ponto de viragem – chegando à degradação, podendo se recuperar ou se degradar por completo; (5) Degradado – corpo d'água não se auto recupera, são necessárias intervenções diretas. Dessa maneira, áreas com potencial maior para recuperação são identificadas e demandam menores investimentos.

Segundo Macedo *et al.* (2011), as intervenções que podem reduzir as pressões sobre os rios urbanos no Brasil são aquelas aplicadas na bacia e voltadas para o saneamento ambiental, realocação de famílias de áreas irregulares e implementação de parques lineares objetivando da recuperação do ambiente.

### **3.3.2 Gestão do ciclo urbano da água e a revitalização de rios urbanos**

No processo de revitalização de rios urbanos os aspectos hidrológicos e hidráulicos (e. g. antecipação e o aumento dos picos de vazão) devem ser

cuidadosamente analisados. Isso porque interferem diretamente na dinâmica da cidade e tornam-se potencializadores das inundações durante precipitações intensas.

Pode-se afirmar, portanto, que as soluções para essas questões devem transpor os sistemas de drenagem urbana tradicionais até a proposição e implantação de sistemas alternativos, que objetivem mitigar os impactos e minimizar os danos causados pelas inundações nos centros urbanos (FLETCHER *et al.*, 2015).

Verifica-se, portanto, que novas concepções de planejamento urbano e conceitos de drenagem urbana não-tradicionais interligam-se com as abordagens descritas na subseção anterior, podendo contribuir à revitalização dos corpos hídricos com ações no âmbito da drenagem urbana.

Nesse encadeamento insere-se a chamada Infraestrutura Verde e Azul, ou *Green and Blue Infrastructure* (GBI), que é uma abordagem de planejamento urbano direcionada à mitigação dos impactos da urbanização no ciclo da água, por meio de diversas práticas que buscam integrar os objetivos de conservação da natureza à gestão do uso do solo e que se dá por meio de práticas que envidam proporcionar a infiltração e evaporação da água (ROSA, 2017; ROSA *et al.*, 2022).

Fletcher *et al.* (2015) destacam dentre essas práticas os seguintes conceitos:

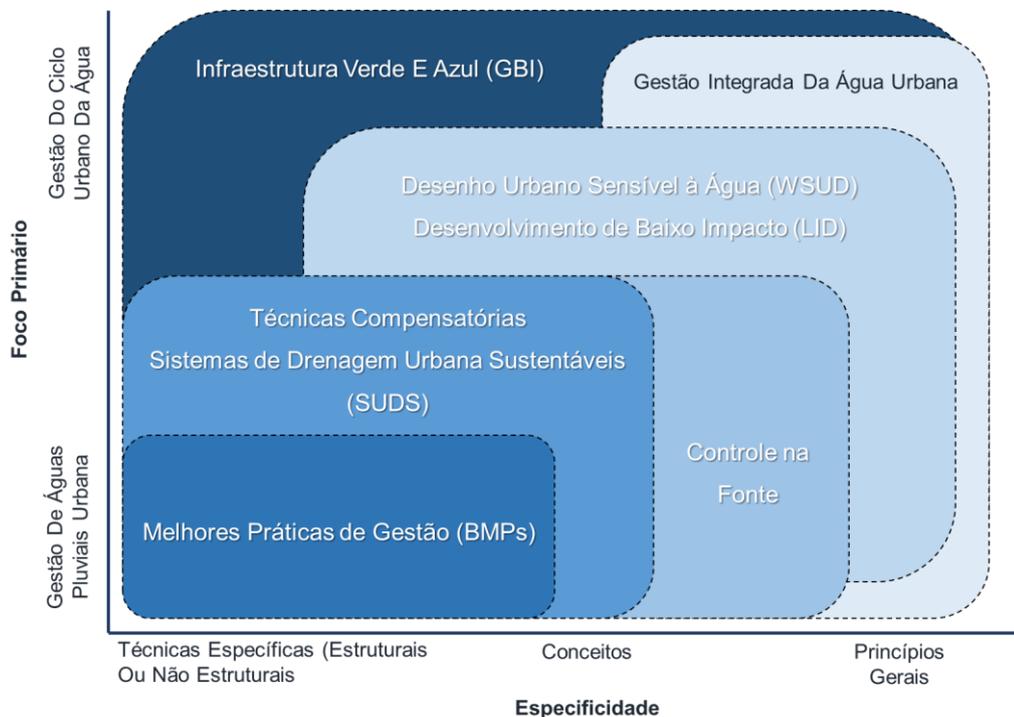
- Desenho Urbano Sensível à Água, ou *Water Sensitive Urban Design* (WSUD);
- Desenvolvimento de Baixo Impacto, ou *Low Impact Development* (LID);
- Melhores Práticas de Gestão, ou *Best Management Practices* (BMP)
- Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis, ou *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDs);
- Técnicas Compensatórias, *Alternative Techniques*.

Para os autores, esses termos sobrepõem-se (Figura 6) e são sustentados por dois princípios gerais: melhorias hidrológicas e de fluxo e melhoria da qualidade da água, que também são princípios da revitalização. No entanto, existem sutis diferenças na definição desses princípios subjacentes, pois baseiam-se no desenvolvimento local e contexto institucional.

Na Figura 6 observa-se ainda a classificação sugestiva das terminologias de acordo com sua especificidade e seu foco principal, mostrando também como esses termos se sobrepõem. Além disso, tal figura apresenta a amplitude de aplicação dessas sobreposições, ilustrando a extensão das ideias subjacentes, como também a natureza dinâmica e multidimensional dos termos utilizados. Destaca-se ainda que

essas classificações podem mudar ao longo do tempo, adaptando-se às realidades locais.

Figura 6 - Classificação sugestiva das terminologias de drenagem urbana



Fonte: Adaptado de Fletcher *et al.* (2015)

Alguns dos termos contidos na Figura 6 são descritos a seguir, bem como a forma como eles estão relacionados entre si.

### **I. Infraestrutura Verde e Azul (GBI)**

Esse conceito refere-se à junção dos termos “infraestrutura verde” – que busca preservar os valores e funções dos ecossistemas naturais dos espaços verdes (BENEDICT e MCMAHON, 2002) – e “infraestrutura azul” que proporciona o manejo eficiente das águas pluviais (GUIMARÃES *et al.*, 2018). As GBIs tornam-se um elemento estruturador da paisagem urbana, promovendo a integração entre as águas urbanas e as áreas verdes para recriar o ciclo natural da água (infiltração e retenção).

Destaca-se ainda que as estratégias de GBI podem ser aplicadas em escalas macro ou micro, ou seja, na metrópole ou no lote, melhorando a capacidade de

adaptação e mitigação de distúrbios provocados pelas mudanças climáticas nas cidades (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

## **II. Desenho Urbano Sensível à Água (WSUD)**

O WSUD abrange todos os aspectos da gestão integrada do ciclo urbano da água, incluindo abastecimento, esgoto e gestão de águas pluviais (FLETCHER *et al.*, 2015). Além disso promove uma visão sistêmica capaz de integrar aspectos técnicos da drenagem urbana com os aspectos institucionais, legais, sociais e econômicos (ROSA, 2017).

Há, portanto, uma grande mudança na forma como a relação entre a água, recursos ambientais e a infraestrutura hídrica são consideradas no planejamento e projeto das cidades e metrópoles, em todas as escalas e volumes pluviais (FLETCHER *et al.*, 2015). Na Austrália, o termo WSUD é frequentemente utilizado em conjunto com o termo cidades sensíveis à água. No entanto, há uma pequena diferença entre esses dois termos: cidade sensível à água é o objetivo, enquanto WSUD descreve o processo (BROWN & CLARKE, 2007).

## **III. Desenvolvimento de baixo impacto (LID)**

São projetos que objetivam estabelecer uma “paisagem funcional” que incorpore diretrizes de projeto capazes de simular as funções de infiltração e armazenamento de pré-urbanização (COFFMAN *et al.*, 1998, *apud* MIGUEZ, VERÓL e REZENDE, 2016). Logo, há uma concepção integrada do desenvolvimento em escala local, utilizando instrumentos, conceitos de design e unidades de controle que buscam a manutenção do armazenamento, da detenção e da infiltração e a evaporação (CANHOLI, 2014).

Os elementos base de atuação do LID (COFFMAN *et al.*, 1998, *apud* MIGUEZ, VERÓL e REZENDE, 2016) são : a) redução do coeficiente curva-número (CN) – aumento de áreas permeáveis, preservação da cobertura vegetal; b) manutenção do tempo de concentração- alongando caminhos, aumentando a rugosidade das superfícies; c) retenção – água retida em lagoas e bacias para controle da vazão de

pico, volumes e qualidade da água; d) detenção – armazenamento adicional com liberação posterior para reduzir inundações.

O LID pode promover a redução dos custos em obras públicas de drenagem em dois aspectos principais: 1) tubulações da rede de drenagem com menor diâmetro, logo, mais baratas; 2) atribuição da responsabilidade ao gerador de escoamento, os lotes privados. As técnicas compensatórias em escala de lote, utilizadas na abordagem LID, estão detalhadas no tópico “V”, juntamente com outras técnicas de maior escala. Pode-se destacar outras técnicas mais comuns: trincheiras de infiltração, telhados verdes, pavimentos permeáveis e reservatórios de lote.

#### **IV. Sistemas de drenagem urbana sustentáveis (SUDS)**

Essa abordagem busca desacelerar e reduzir o volume do escoamento superficial em áreas urbanizadas, gerenciando o risco de inundação a jusante e reduzindo o risco de poluição, com isso, ela maximiza os benefícios e minimiza os impactos negativos desse escoamento (BALLARD *et al.*, 2015; MIGUEZ, VERÓL e REZENDE, 2016).

A aplicação dos componentes SUDS para gerenciar a água do escoamento superficial deve buscar atender os seguintes objetivos:

- Usar água como recurso;
- Gerenciar a água e reduzir sua contaminação na fonte;
- Gerenciar o escoamento na superfície;
- Permitir a infiltração;
- Promover a evapotranspiração;
- Retardar e armazenar o escoamento, limitando os volumes de escoamento natural;
- Tratar as águas para reduzir o risco de poluição ambiental;
- Combinar SUDS (a partir de características e requisitos locais);

Para atender tais objetivos, os componentes SUDS classificam-se em seis sistemas com funções específicas (Quadro 4). Destaca-se que esses componentes não são independentes e um deles pode fornecer duas ou mais funções (BALLARD *et al.*, 2015).

Quadro 4 - Sistemas que compõem o SUDS, descrição das funções e exemplos

Captção de água da chuva	Revestimento permeável	Infiltração	Transporte	Armazenamento	Tratamento
Captam e facilitam o reuso da água da chuva dentro ou fora das edificações.	Superfícies que permitem a penetração da água e reduzem o escoamento para o sistema de drenagem.	Facilitam a infiltração de água no solo.	Transportam fluxos para sistemas de armazenamento a jusante.	Controlam os fluxos e volumes, com descarga lenta ao sistema, ou não (bacias de retenção)	Removem ou facilitam a degradação de contaminantes.
<b>Outras funções:</b> Armazenamento	<b>Outras funções:</b> Armazenamento; tratamento de subsuperfície.	<b>Outras funções:</b> Armazenamento temporário com liberação lenta para o solo.	<b>Outras funções:</b> Controle de fluxo e volume; tratamento.	<b>Outras funções:</b> Tratamento.	<b>Outras funções:</b> Armazenamento.
<b>Exemplo:</b> Cisternas.	<b>Exemplo:</b> Telhados verdes; Pavimentos permeáveis.	<b>Exemplo:</b> Trincheira de infiltração; Árvores de Infiltração.	<b>Exemplo:</b> Valas.	<b>Exemplo:</b> Bacias de retenção (ou lagoas; Wetlands; Bacias de detenção.	<b>Exemplo:</b> Sistemas de tratamento proprietários; Faixas de filtração; Sistemas de biorretenção.

Fonte: Modificado de Ballard *et al.* (2015)

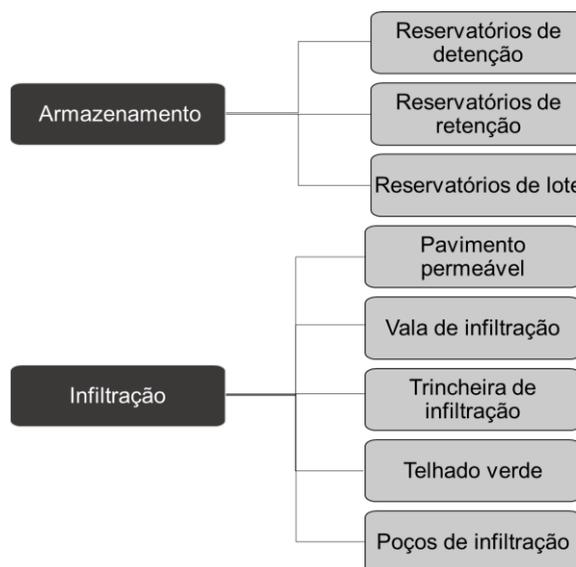
## V. Técnicas compensatórias

São dispositivos/técnicas que podem fazer parte de uma concepção de gestão de águas urbanas (GBI, WSUD, LID, SUDS, BMPs) ou ser implantados como complemento ao sistema de drenagem convencional (MIGUEZ, VERÓL E REZENDE, 2016). Tratam-se, portanto, de sistemas de retenção e/ou infiltração de águas pluviais que objetivam a redução de vazões de pico, reajustando sua distribuição temporal, podendo contribuir também à redução do volume escoado e da probabilidade de inundações (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011).

As técnicas compensatórias podem ser divididas em dois grandes grupos: (1) armazenamento e (2) infiltração, sempre objetivando a compensação dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, tendo os ganhos ambientais como consequência (MIGUEZ, VERÓL E REZENDE, 2016). O Quadro 5 esquematiza dentro desses grupos os principais tipos de técnicas compensatórias.

Esses dispositivos podem ser soluções multifuncionais que revitalizem e valorizem o ambiente urbano, otimizem os investimentos públicos, promovendo, assim, uma melhor aceitação das comunidades afetadas por inundações pela melhoria do ambiente construído (MIGUEZ, VERÓL E REZENDE, 2016).

Quadro 5 - Esquema com os diferentes tipos de técnicas compensatórias



Fonte: Miguez, Veról e Rezende (2016); Baptista, Nascimento e Barraud (2011).

## VI. Melhores Práticas de Gestão (BMPs)

Inicialmente cunhado no contexto industrial, o termo designava ações para a gestão do tratamento de efluentes e prevenção da poluição. Depois que as BMPs foram inseridas no âmbito da drenagem urbana, sua evolução incluiu a adoção de medidas não-estruturais e estruturais que têm o foco na qualidade das águas do escoamento superficial e incluíram a construção de infraestruturas de armazenamento e tratamento das águas pluviais (FLETCHER *et al.*, 2015).

As medidas não-estruturais estão relacionadas a técnicas naturais (metodologias passivas) de tratamento para a redução da poluição. Já as medidas estruturais objetivam a remoção de poluentes, a mitigação da erosão a jusante, o incentivo ao controle de cheias e a recarga do lençol freático (FLETCHER *et al.*, 2015).

### 3.4 Modelagem computacional no apoio à revitalização de rios urbanos

A modelagem é capaz de representar processos ambientais realizados naturalmente, por meio de procedimentos teóricos e simplificações (HIPÓLITO E VAZ, 2013). Uma das formas de classificar os modelos é pela forma como são representados, se físicos ou matemáticos. Os modelos matemáticos representam os processos naturais por meio de equações matemáticas e apresentam uma grande

vantagem sobre os outros, pois permitem a sua avaliação frente a diferentes cenários (TUCCI, 2005; HIPÓLITO E VAZ, 2013).

### 3.4.1 Modelagem hidrológica

Dentre os modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão destacam-se (SILVA, 2010; ROSA, 2017; SILVA, 2019): SWMM (*Storm Water Management Model*); HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*); SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*); MOUSE (*Model for Urban Sewers*); MODCEL (Modelo Matemático de Células de Escoamento); IPH-2 (Instituto de Pesquisas Hidráulicas); ABC (Análise de Bacias Complexas).

O Quadro 6 apresenta exemplos de modelos hidrológicos e suas classificações.

Quadro 6 - Modelos Hidrológicos.

<b>Classificação</b>	<b>Exemplos</b>
<b>Parâmetros agrupados</b>	HEC-HMS, Snyder ou Clark HU
<b>Distribuídos</b>	Vflo, MIKE URBAN, MIKE FLOOD
<b>Por eventos</b>	HEC-HMS, SWMM, SCS TR-20
<b>Contínuo</b>	SWMM, HSPF, Vflo
<b>Baseados fisicamente</b>	HEC-HMS, SWMM, HSPF, Vflo
<b>Estocástico</b>	Vazões sintéticas

Fonte: Adaptado de Bedient, Huber e Vieux (2013).

A escolha do modelo a ser utilizado deve se basear nos seguintes critérios: objetivos do estudo, características da bacia hidrográfica, disponibilidade de dados, familiaridade com o modelo e orçamento do projeto (BEDIENT, HUBER e VIEUX, 2013; TUCCI, 2005).

Modelos hidrológicos têm sido amplamente utilizados na pesquisa científica para analisar as respostas hidrológicas de eventos extremos, o comportamento de ondas de cheia, avaliar mudanças impactos das mudanças climáticas, do uso e ocupação do solo, implementação de técnicas compensatórias e de revitalização de bacias urbanas, entre outros.

Webster *et al.* (2021) utilizaram o HEC-HMS para calibrar e validar os dados do modelo de chuva-vazão na bacia do rio Yanuncay, que sofre inundações frequentes, atingindo a cidade de Cuenca no Equador.

Rosa *et al.* (2020) avaliaram a resposta hidrológica de uma bacia em 6 cenários diferente de uso do solo, no modelo hidrológico SWMM, para precipitações de projeto, em diferentes tempos de retorno, e para 2 precipitações medidas.

Steinmetz *et al.* (2019) utilizaram o HEC-HMS para avaliar a influência da modelagem concentrada e semidistribuída na aplicabilidade do HU do *Soil Conservation Service* (HU SCS) e do HU Instantâneo de Clark (HUI de Clark) na estimativa de hidrogramas de cheias. Já Vergutz *et al.* (2019) propuseram o uso de reservatório de detenção como técnica compensatória de drenagem urbana após seu estudo no HEC-HMS.

Silva *et al.* (2017) fizeram a modelagem hidrológica de três cenários (2003, 2006 e 2029) baseados em uma política de conservação (aumento de áreas permeáveis). Os autores determinaram hidrogramas de cheias para a bacia do Ribeirão das Antas, no município de Taubaté – SP, em três tempos de retorno (10, 50 e 100 anos). A vazão máxima estimada para TR=100 anos na projeção para o ano 2029 foi de aproximadamente 35m<sup>3</sup>/s, 61% menor que a estimada para o ano de 2003 (aproximadamente 90m<sup>3</sup>/s). O estudo demonstrou que a aplicação de ações voltadas à diminuição na impermeabilização pode contribuir à redução das vazões máximas.

### **3.4.2 Modelagem hidrodinâmica**

Dentre os modelos hidráulicos destaca-se o HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*), um sistema de análise de rios desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (USACE), disponível em versões livres e atualizadas (SILVA, 2019). Trata-se de um modelo matemático computacional que é capaz de analisar os rios em equações de escoamento unidimensional (1D) e bidimensional (2D).

Seus 4 componentes análise são: (1) cálculos de perfil de superfície de água de fluxo constante unidimensional; (2) simulação de escoamento permanente e não-permanente unidimensional e/ou bidimensional; (3) Cálculos de transporte de sedimentos (1D e 2D); e (4) análise unidimensional da qualidade da água (USACE, 2022).

As simulações de escoamento podem modelar a rede de cursos de água naturais ou canais construídos, planícies de inundação, ondas de cheia e diversas estruturas hidráulicas, em regime de fluxo permanente ou não-permanente. Além

disso, o HEC-RAS pode ser combinado com a plataforma de simulações hidrológicas HEC-HMS, citada anteriormente.

Os modelos 1D são confinados em uma calha, podendo ser para fluxos de escoamento permanente e hidrodinâmico, simulando manchas de inundação para vazões máximas ou ao longo do tempo, respectivamente. Em contrapartida, os modelos de escoamento hidrodinâmico em 2D, que não têm uma direção preferencial de escoamento, representam o comportamento da onda de cheia no tempo e no espaço. A escolha dos modelos depende, em grande parte dos objetivos do estudo.

Segundo o USACE (1993), deve-se optar por um modelo de escoamento hidrodinâmico no lugar de um modelo com escoamento permanente quando:

- Ocorrem variações bruscas e rápidas na vazão (p.ex. ruptura de barragens);
- Os rios e canais têm baixa declividade ( $S$ ) – sempre que  $S \leq 0,00038$  m/m (vazão de pico e nível máximo do escoamento não são simultâneos e há dificuldade de determinação dos níveis d'água máximos por causa do acúmulo de água na calha); dependendo dos objetivos do estudo para  $0,00038 < S \leq 0,00095$  m/m (com entrada de um tributário importante ou a existência de remanso na condição de contorno de jusante); optar pelo escoamento permanente se  $S > 0,00095$  m/m;
- A rede de escoamento é dividida – quando o escoamento se divide em duas calhas e se reencontra (utilizado sempre em escoamentos subcríticos).

Por outro lado, o uso de modelos hidrodinâmicos 2D são mais eficientes na simulação de eventos de inundação, em que o nível da água extrapola o leito principal e avança sobre as planícies de inundação, escoando segundo a topografia delas, (CUNGE et al., 1980 *apud* FONSECA NETO, 2018). Além disso, a delimitação de manchas de inundações permite uma análise espacial das proporções e possíveis impactos delas, subsidiando a escolha das metodologias que irão promover a revitalização dos aspectos hidrológicos e hidráulicos dos rios.

Nesse sentido, Rosa *et al.* (2022) utilizaram o modelo de inundação do HEC-RAS para avaliar os impactos da implantação de GBIs sobre a inundação numa bacia em expansão urbana.

Kamma *et al.* (2021) estudaram a revitalização do sistema de drenagem urbana na bacia de Tallo em Macáçar, na Indonésia, com base na lagoa de retenção de drenagem ecológica. Os autores utilizaram o modelo 2D do HEC-RAS para fazer a simulação da inundação. Foi estimada uma área total de distribuição de cheias de 26 km<sup>2</sup> e como solução para superar a inundação, foi proposta a construção de uma

lagoa de retenção, com uma capacidade máxima de 5,31mi m<sup>3</sup>. Para eles, a construção desta lagoa de retenção poderia reduzir 17,7 km<sup>2</sup> de área afetada pelas inundações.

Akter *et al.* (2020) também utilizaram o modelo HEC-RAS para observar a extensão detalhada e espacial da redução das inundações, frente à implementação de técnicas LID, em escala distribuída, para mitigação das inundações repentinas na cidade de Chittagong em Bangladesh.

### **3.5 Fator social no sucesso da revitalização**

O reconhecimento e compreensão da degradação dos rios urbanos por parte da população e dos gestores públicos estão associadas à construção social de cada indivíduo, em uma determinada realidade (MADRIGAL-SOLÍS *et al.*, 2020). Essas percepções estabelecem um sistema de valores, ideias e práticas que orientam a formação de uma ordem material e social, permitindo codificar e categorizar o mundo e o desempenho individual e em grupo (MOSCOVICI, 1979 *apud* MADRIGAL-SOLÍS *et al.*, 2020). Dessa maneira, a revitalização depende do envolvimento da sociedade e pode proporcionar respostas abrangentes que envolvam os aspectos hidráulicos, hidrológicos, naturais e sociais, pois incluem a sociedade como parte do processo (PREUSS *et al.*, 2017).

Ao assimilar essas percepções, o conhecimento popular e a pesquisa científica dialogam com eficiência, entendendo-se os valores e práticas da sociedade. Diante disto, Benez *et al.* (2010) declaram que a percepção da sociedade quanto aos recursos hídricos influencia suas ações e práticas atuais, como também revelam futuras intenções. Os autores afirmam ainda que o estudo do processo de percepções deve ser holístico, para compreender como os fatores humanos estão estruturados.

Para compreender essa relação, Petts (2007) *apud* Silva e Porto (2020) estudou um grupo de pessoas, sem formação específica, que estavam envolvidas na revitalização de um rio urbano, objetivando compreender a importância da população no processo. O autor identificou que o envolvimento social agregou conhecimentos específicos, conectou o grupo ao rio e atuou na comunidade. Os participantes destacaram que os elementos de revitalização urbana (espaços públicos para recreação) atuam como ponte à criação de identidade positiva e afetiva com o rio.

Outro fator-chave para o sucesso da revitalização é a capacitação social (LWA, 2003), Limeira & Silva (2010) a definem como sendo a capacidade de indivíduos, grupos e instituições para compreender elementos restritivos e facilitadores, e outros fatores ligados à revitalização, fornecendo resultados desejáveis e sustentáveis. Para isso, a capacitação social deve estabelecer um sistema composto por três elementos: **a)** capacidade técnica – habilidades físicas e operacionais; **b)** capacidade gerencial – sistema capaz de conduzir seus relacionamentos alcançando e mantendo o compromisso com as exigências legais; **c)** capacidade financeira – aptidão do sistema para adquirir e gerenciar recursos financeiros, permitindo a ele alcançar e manter compromisso com os padrões e requisitos legais.

Iniciativas sociais de revitalização e valorização de rios têm ganhado expressão no Brasil, principalmente aquelas que envolvem ações culturais como ferramenta de integração (CARVALHO, CABRAL E ALENCAR, 2020). Uma dessas iniciativas é o “A Ver O Rio Capibaribe” (Figura 7), um grupo da sociedade civil que promove a sensibilização e educação por meio ações culturais como o Floco: bloco de carnaval fluvial.

Figura 7 - Página do A Ver o Rio na rede social “Instagram”.



Fonte: Instagram @aver.capibaribe (2022).

Outras iniciativas que atuam de maneira semelhante ao “A Ver o Rio” podem ser vistas no Quadro 7. Tais iniciativas reforçam a importância da participação da comunidade nas modificações da paisagem.

Quadro 7 - Iniciativas sociais de intervenção cultural em cursos d'água e suas estratégias de envolvimento da comunidade

Iniciativa social	Local	Principais características	Ações culturais voltadas a integração social
<b>Projeto Manuelzão</b>	Rio das Velhas/MG	Formação de comitê de bacia, limpeza	FestiVelhas - festival cultural na bacia do rio das Velhas
<b>A Ver o Rio</b>	Recife/PE	Sensibilização e educação ambiental	Floco: bloco de carnaval fluvial
<b>Parque Capibaribe</b>	Recife/PE	Projeto multidisciplinar de um parque linear	Intervenções urbanas, workshops, eventos
<b>Praias do Capibaribe</b>	Recife/PE	Ações voltadas para a prática do lazer no rio	Construção de mobiliário urbano, debates e eventos
Iniciativa social	Local	Principais características	Ações culturais voltadas a integração social
<b>Revitalização do Arroio Dilúvio</b>	Porto Alegre/RS	Ações estruturais e não estruturais	Oficinas e ações com a comunidade para desenhar espaços públicos
<b>Coletivo Plantando água</b>	Brusque/SC	Sensibilização da comunidade para a importância dos rios	Palestras em escolas, ações coletivas de plantio e limpeza de margens de rios
<b>Programa Córrego Limpo</b>	RMSP/SP	Despoluição e revitalização de cursos d'água, governança colaborativa	Ecomobilizações, ações culturais - dança, esporte, plantio e limpeza do rio
<b>Rios e Ruas</b>	São Paulo/SP	Ações educativas	Exposições, expedições, corridas de rua e passeios

Fonte: Modificado de Carvalho, Cabral e Alencar (2020).

Destaca-se também o FORTE (Fórum do Rio Tejió) em Recife-PE (Figura 8), uma organização social, que se estrutura em câmaras, com o objetivo de melhorar as condições do rio Tejió a partir de soluções de cunho político e técnico. As reuniões são sistemáticas (plenárias) e participam dele representantes do poder público, da academia e da sociedade.

Figura 8 - Página do FORTE na rede social "Instagram"



Fonte: Instagram @forte.tejipio (2022).

### 3.6 Principais experiências de revitalização

O reconhecimento da necessidade de melhorar as funções hidráulicas, hidrológicas, ecológicas e sociais dos rios urbanos degradados, bem como de promover a aproximação da população com o ambiente fluvial, permitiu muitas intervenções e a criação de projetos, no Brasil e no Mundo (Veról, *et al.*, 2015; Preuss, 2013).

Alguns casos são referências como o Rio *Cheonggyecheon*, em Seul – Coréia do Sul, tendo em vista que a proposta de restauração do rio foi, na verdade, uma grande revitalização urbana, tendo o rio como elemento estruturador da paisagem. A melhora ambiental veio por consequência, tendo em vista que o rio era poluído e enterrado. Ou seja, pode-se dizer que a revitalização desse rio se tratou de uma união de abordagens metodológicas para atender uma necessidade urgente de revitalização urbana e fluvial, resultando em um parque linear.

Os quadros 8 e 9 apresentam uma compilação de casos, nacionais e internacionais, respectivamente. Neles foram considerando detalhes de projeto como local em que foi realizado, tempo de execução, objetivos da revitalização, abordagens utilizadas e custos.

Observando-se os casos brasileiros, notou-se que a maior parte deles estão atrelados a intervenções na bacia hidrográfica e na calha dos rios, objetivando o controle de cheias. Quanto à melhoria da qualidade da água, todos os casos apresentam ações voltadas à requalificação do esgotamento sanitário e da drenagem. O Córrego do Cruzeiro destaca-se nesse sentido, pois a rede coletora de esgoto foi ampliada, melhorada e 596 ligações foram executadas (SABESP, 2021).

No Córrego Pirarungáua, as ações de revitalização ocorreram por ocasião do desabamento do seu recobrimento em 2007, o que levou os gestores do Jardim Botânico de São Paulo a considerarem a adoção de medidas recuperação de suas margens. Ressalta-se as ações dos Projetos Novo Pinheiros e Parque Capibaribe, de grande escala, onde o primeiro traz toda a integração de revitalização em todas as escalas e funções, já o segundo tem seu foco primário na revitalização urbana, reintegrando o rio à cidade, fomentando o seu uso como espaço de lazer e, posteriormente, recuperando outras funções.

Quadro 8 - Estudos de caso de revitalização no Brasil.

Casos Nacionais								
Rio	Projeto	Localização	Ano	Objetivos principais	Abordagem metodológica	Extensão (m)	Custo (US\$) <sup>3</sup>	Fonte
Córrego do Cruzeiro	Programa Córrego Limpo	São Paulo, Brasil	-	(5), (8)	(a)	2.000	~ 2mi	SABESP (2021); Silva e Porto (2020);
Córrego Pirarungáua	-	São Paulo, Brasil	2008	(5), (7), (8)	(a), (c)	250	~ 1,3mi	Silva e Porto (2020)
Pinheiros	Programa Novo Pinheiros	São Paulo, Brasil	2019 - atual	(2), (5), (8), (9)	(a), (b), (c) <sup>4</sup> , (d)	~ 9.000	~ 288,6 mi	Silva e Porto (2020); Novo Pinheiros (2020)
Capibaribe	Parque Capibaribe	Recife, Brasil	2013 - atual	(2), (4), (5), (8), (9), (10)	(a), (b), (d)	30.000	-	Parque Capibaribe (2021); Silva e Porto (2020); Cabral <i>et al.</i> (2014)
Iguaçu-Sarapuí	Projeto Iguaçu	Baixada Fluminense (RJ)	-	(1), (2), (4), (6), (8)	(a), (b), (c), (d)	-	-	Vérol <i>et al.</i> (2013)
Das Velhas	Programa DRENURBS	MG	-	(1), (2), (4), (5), (6), (8), (9), (10)	(a), (b), (c), (d)	-	-	Silva e Porto (2020); Vérol <i>et al.</i> (2013)

**Legenda**

**Objetivos:** (1) Controle de inundação; (2) Acesso ao Público/Recreação; (3) Controle de Subsidência; (4) Habitat e Biodiversidade; (5) Qualidade da Água; (6) Recuperação Geomorfológica/Criação de Meandros; (7) Descobrimto do Rio; (8) Requalificar Drenagem/Esgotamento Sanitário, (9) Educação Ambiental; (10) Participação popular.

**Abordagens metodológicas:** (a) Restauração passiva ou indireta; (b) Intervenções na bacia hidrográfica; (c) Intervenções na calha dos rios; (d) Intervenções Socioambientais.

OBS.: <sup>3</sup>Valores convertidos para cotação da data final do projeto; <sup>4</sup>Unidades de recuperação de qualidade da água.

Fonte: A Autora (2022).

Quadro 9 – Estudos de caso de revitalização no Mundo.

Casos Internacionais								
Rio	Projeto	Localização	Ano	Objetivos principais	Abordagem metodológica	Extensão (m)	Custo (US\$) <sup>3</sup>	Fonte
Marden	Rejuvenescimento do centro da cidade	Calne, Inglaterra	1999	(1), (2), (6), (8)	(c), (d)	100	-	RESTORE (2013)
Vida	EU LIFE+	Tonder, Dinamarca	2009 - 2019	(1), (2), (4)	(c)	1.000	~ 1,5mi	RESTORE (2013)
Isar	Plano do Isar	Munich, Alemanha	2000 - 2011	(1), (2), (4)	(b), (c)	8.000	~ 45,2mi	RESTORE (2013); Vérol <i>et al.</i> (2013)
Salmons Brook <sup>1</sup>	Jardins de Chuva da Rodovia Alma	Enfield, Inglaterra	2015 - 2016	(1), (2), (4), (5)	(b)	600	-	RiverWiki (2021)
Irwell	Wetland Urbana de Castle Irwell	Salford, Inglaterra	2014 - 2017	(1), (2), (4)	(b), (d)	2.300	~ 5,9mi a 11,9mi	RiverWiki (2021)
Hovinbekken	Projeto de reabertura e restauração do riacho Hovinbekken	Oslo, Noruega	2001 - 2011	(1), (2), (4), (5), (6), (7)	(a), (b), (c)	-	-	RiverWiki (2021)
Cheonggyecheon	Projeto de Restauração do Rio Cheonggyecheon	Seul, Coreia do Sul	2000 - 2005	(1), (4), (6)	(a), (b), (c)	5.300	280mi	RESTORE (2013); Vérol <i>et al.</i> (2013)
Matanza-Riachuelo	Projeto Restauração do Rio Matanza-Riachuelo	Buenos Aires, Argentina	2018 - atual	(2), (5) <sup>2</sup>	(a)	100	-	RiverWiki (2021)
Bidasoa	-	Bera, Espanha	2016	(4)	(c)	1.500	>~11,9mi	RiverWiki (2021)
Comal	-	New Braunfels, EUA	2013 - atual	(4)	(a), (c)	-	-	RiverWiki (2021)
Tahlequah e Illinois	Projeto de restauração do Rio Illinois	Tahlequah, EUA	-	(4), (5)	(b), (c)	-	-	RiverWiki (2021)

**Legenda - Objetivos:** (1) Controle de inundação; (2) Acesso ao Público/Recreação; (3) Controle de Subsidência; (4) Hábitat e Biodiversidade; (5) Qualidade da Água; (6) Recuperação Geomorfológica/Criação de Meandros; (7) Descobrimto do Rio; (8) Requalificar Drenagem/Esgotamento Sanitário, (9) Educação Ambiental; (10) Participação popular. **Abordagens metodológicas:** (a) Restauração passiva ou indireta; (b) Intervenções na bacia hidrográfica; (c) Intervenções na calha dos rios; (d) Intervenções Socioambientais. OBS.: <sup>1</sup>Jardim de chuva; <sup>2</sup>Fitorremediação; <sup>3</sup>Valores convertidos para cotação da data final do projeto.

Fonte: A Autora (2022).

Os benefícios percebidos, nesse caso de pequena escala, perpassam pelas esferas ambientais, sociais e econômicas. No caso do Rio Vida (Figura 9), a ação foi motivada, principalmente, pelo valor histórico de um Moinho, que estava sofrendo com problemas de subsidência no seu entorno. Por consequência, o projeto também objetivou, controlar inundações no centro urbano de Tonder e conservar a fauna. A figura 9.A mostra as intervenções executadas: 1) Criação de remanso, áreas alagáveis e passarela pública; 2) Estrutura de represamento removida; 3) Obras de melhoria do rio; 4) Moinho histórico; 5) Seção do canal “re-meandrado”; 6) Grande açude com crista, longitudinal ao rio. As figuras 9.C a 9.F mostram as etapas do processo.

Figura 9 - Rio Marden em Calne, Inglaterra. A – Indicação das intervenções executadas; B – Imagem de satélite 4 anos antes da intervenção e destaque para a estrutura da represa; C – Estacas e pranchas laterais usadas para criar o novo açude; D – Imagem de satélite da área 1 ano antes da finalização do projeto; E – Estacas e pranchas revestidas em concreto; F – Estrutura vegetada.



Fonte: Google Earth (2021); RESTORE (2013)

O inovador projeto Jardins de Chuva da Rodovia Alma (Figura 10), em Enfield na Inglaterra, integra conceitos de recuperação dos rios urbanos e renaturalização do sistema de água para a bacia do rio Salmons Brook. Esse projeto integra um outro

chamado projeto “Restauração dos rios urbanos de Enfield” que abrange 8 locais nas bacias hidrográficas de Salmons Brook e Pymmes Brook (sub-bacias da bacia hidrográfica de Lea). O projeto visa melhorar a qualidade da água, subsidiar a gestão de risco de inundação, melhorar os espaços públicos, aumentar o habitat de boa qualidade e, assim, promover a biodiversidade.

Figura 10 - Implantação do Jardim de chuva em Enfield, Inglaterra.



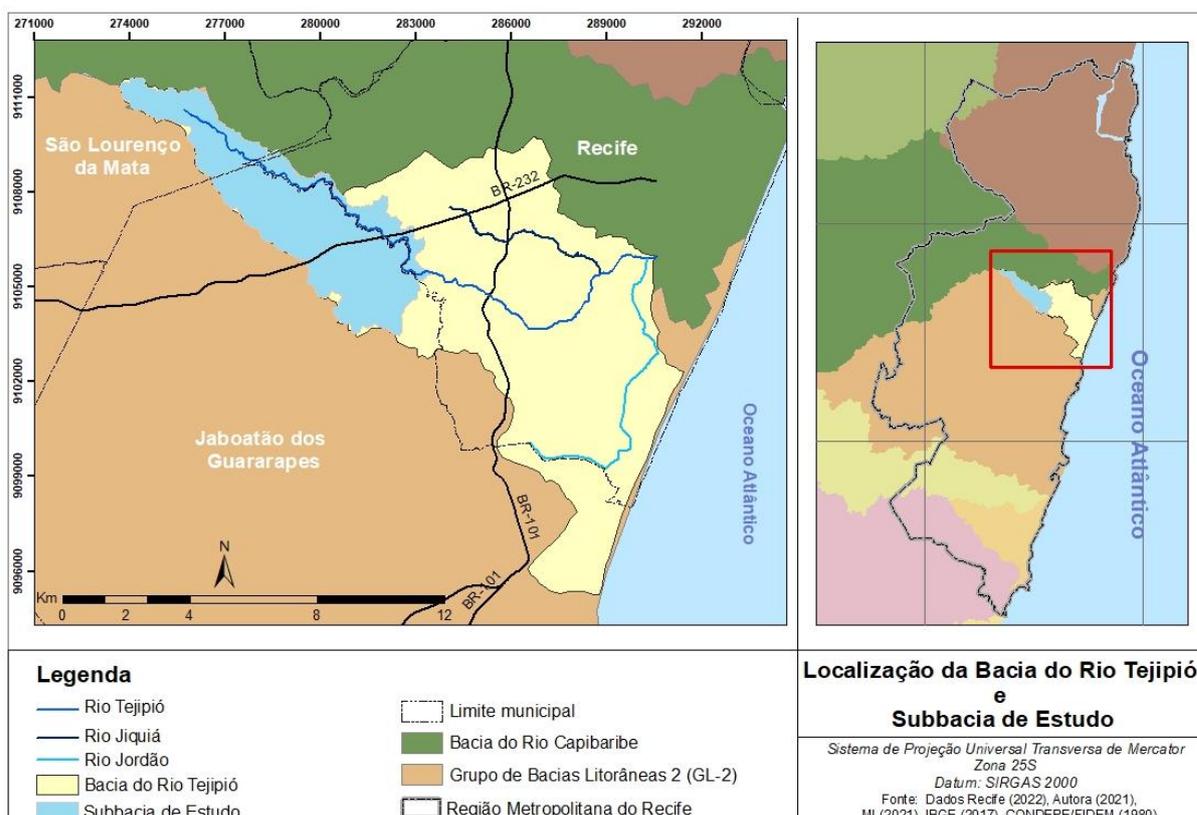
Fonte: Google Earth (2021)

## 4 ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 Caracterização da Bacia do rio Tejipió

A bacia hidrográfica do rio Tejipió (Figura 11) integra o grupo de bacias litorâneas 02 (GL-2) de Pernambuco, com aproximadamente 93 km<sup>2</sup> (SILVA, 2019). Ela está localizada no território de três municípios da Região Metropolitana do Recife (RMR) da seguinte maneira: 7% da área da bacia em São Lourenço da Mata (contendo também a nascente do rio principal, o Tejipió), 23% em Jaboatão dos Guararapes e 70% no Recife (SILVA, 2019).

Figura 11 - Mapa de Localização da bacia do rio Tejipió e Área de Estudo.



Fonte: A Autora (2022).

Os principais rios que compõem sua rede hidrográfica são o Tejipió (cerca de 23 km de extensão) e seus afluentes Jiquiá e Jordão. Ao todo são 65 cursos d'água afluentes à rede hidrográfica supracitada. Em Recife são 37 afluentes (Anexo A) no (EMLURB, 2016) e 28 em São Lourenço da Mata e Jaboatão dos Guararapes (SUDENE, 1971). Nesse último município destacam-se os riachos Jangadinha e Mussaíba como os principais afluentes ao Tejipió.

Em termos de área, a bacia do Tejipió é a terceira bacia mais importante, depois das bacias do Capibaribe e do Beberibe no contexto metropolitano (MUNIZ FILHO, 2005). Entretanto, no tocante à drenagem do Recife, essa bacia torna-se a mais expressiva, pois concentra a maior rede de recursos hídricos da Cidade. Sua rede de drenagem conta com quase 56 km de canais (Quadro 1), além de galerias e rios (65 km), que drenam quase toda a zona sul e sudoeste do Recife (RECIFE, 1996 *apud* MUNIZ FILHO, 2005).

Além disso, a bacia do Tejipió possui em seu território diversos equipamentos urbanos relevantes à dinâmica da Cidade do Recife, como o Aeroporto dos Guararapes e o Aeroclub do Recife, o Distrito Industrial do Curado, a Estação de Tratamento de Esgotos do Cabanga e o Açude Jangadinha. Há também 5 Unidades de Conservação nessa bacia (CPRH, 2021), sendo 1 de uso sustentável, a reserva de floresta urbana Mata de Jangadinha e as demais de proteção integral: refúgio da vida silvestre (RVS) Mata São João da Várzea, RVS Mata do Curado; RVS Mata do Engenho Uchôa e parte da RVS Mata de Mussaíba.

Segundo Silva (2019), 66,1% bacia do Tejipió encontra-se impermeabilizada e apenas 33,9% da bacia ainda permeável. É interessante destacar que áreas permeáveis coincidem com aquelas mais próximas à nascente na porção alta da bacia, no município de São Lourenço da Mata.

A classificação da bacia em relação a altitude e características ocupacionais pode ser feita dividindo-a em três setores: Alto (predominantemente rural), Médio (morros e ocupação das regiões ribeirinhas) e Baixo (planície costeira densamente ocupada) Tejipió (SILVA, 2019). O Quadro 10, a seguir, apresenta esses setores, bem como seus limites, que podem ser visualizados na figura 11 a partir da localização das BR-232 e BR-101.

Quadro 10 - Zoneamento da bacia do Tejipió em função do relevo.

<b>Setores</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Altitudes (m)</b>	<b>Limites</b>
<b>Alto Tejipió</b>	23,0	140 a 20	Da nascente a BR-232
<b>Médio Tejipió</b>	18	20 a 10	Da BR-232 a BR-101
<b>Baixo Tejipió</b>	52	10 a 0	Da BR-101 a Planície do Pina

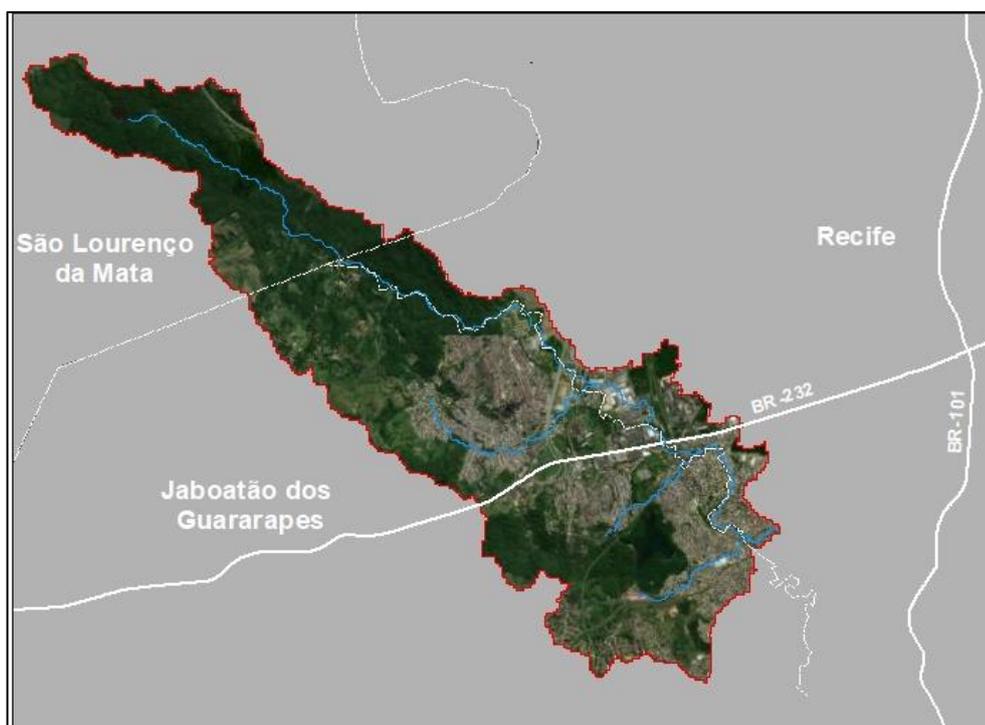
Fonte: Adaptado de Silva (2019).

Nesse cenário insere-se a área de estudo que é objeto de pesquisa desse trabalho, a sub-bacia em azul destacada na figura 11. Essa é uma região que sofre inundações recorrentes e, por vezes, muito severas em sua área urbanizada, portanto sua descrição sendo pormenorizada a seguir.

## 4.2 Caracterização da área de estudo

A área de estudo (Figura 12) – designada doravante como bacia de estudo – possui cerca de 24,23 km<sup>2</sup> e está localizada nos setores alto e médio do rio Tejipió, abrangendo o território dos três municípios da bacia do rio Tejipió. Essa sub-bacia ocupa parte da zona rural de São Lourenço da Mata, dos bairros de Curado, Cavaleiro e Floriano em Jaboatão dos Guararapes e Várzea, Curado, Tejipió, Totó e Coqueiral no Recife.

Figura 12 - Mapa destacado a área de estudo.



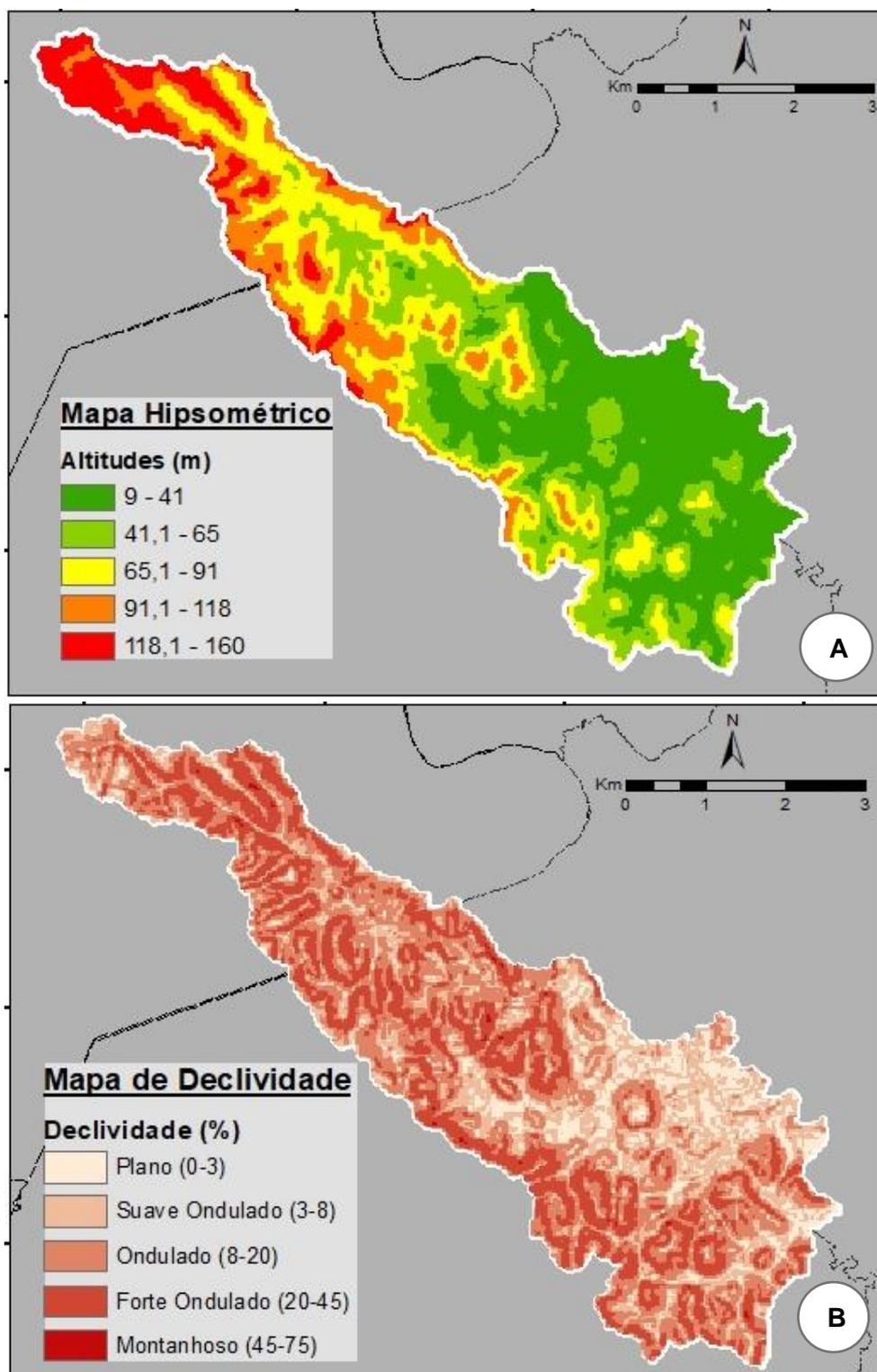
Fonte: A Autora (2022).

### 4.2.1 Relevo

O relevo da bacia apresenta uma grande variação de altitude (figura13- A), com valores entre 9m (próximo ao seu exutório, nas porções leste e sudeste) e 160m

(próximo a sua cabeceira, na região noroeste). Essas variações podem ser melhor compreendidas quando expostas em termos de declividade (figura 13- B).

Figura 13 - A) Mapa hipsométrico da bacia; B) Mapa de declividade e distribuição de classes.



Fonte: EMBRAPA (2018) e Autora.

Seguindo a classificação da EMBRAPA (2018), foram identificadas 5 classes de declividade no relevo da bacia, sendo predominante o relevo ondulado e forte ondulado (37,35% e 28,46% da área, respectivamente), as demais classes podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição das classes de declividade para a bacia de estudo.

Declividade (%)	Altitudes (m)	Relevo	Área (km <sup>2</sup> )	%
0-3	<50	Plano	2,56	10,56
3-8	50 a 100	Suave Ondulado	5,66	23,37
8-20	-	Ondulado	9,05	37,35
20-45	50 a 200	Forte Ondulado	6,90	28,46
45-75	-	Montanhoso	0,06	0,27
<b>Total</b>			24,23	100

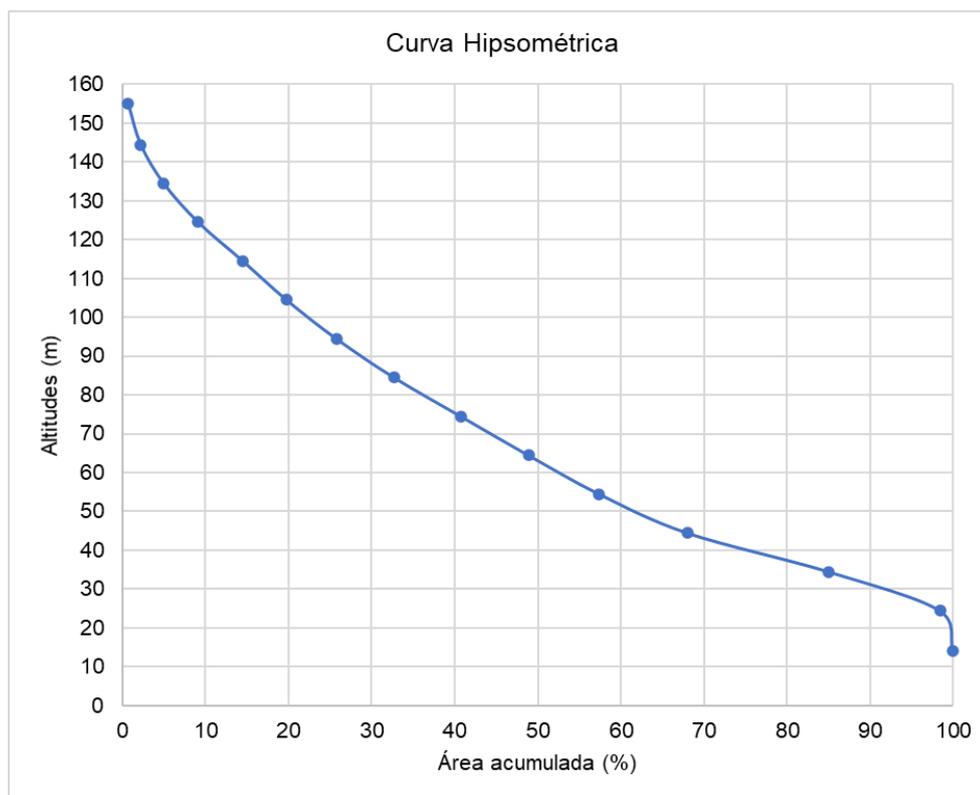
Fonte: EMBRAPA (2018); A Autora (2022).

Em contrapartida, comparando-se as figuras 13 e 12 é possível notar que maior parte da ocupação urbana se encontra sobre os relevos plano e suave ondulado, chamadas de regiões de fundo de vale. Isso ocorre porque tratam-se de superfícies pouco acidentadas, onde a construção é mais simples, possuindo maior acesso a infraestrutura urbana (SILVA-SÁNCHEZ E JACOB, 2012). Os principais problemas nessas regiões relacionam-se aos alagamentos e inundações, pois são os espaços naturais das águas – planícies de inundação (MUNIZ FILHO, 2005).

Distribuindo as altitudes médias, em relação ao nível médio do mar, ao longo da bacia é possível obter sua curva hipsométrica (Figura 14). Por isso, destaca-se que 57% de sua área se encontra acima de 55m altitude e 43% entre 45m e 9m, podendo indicar que nessa região a influência das marés é menos significativa.

Cabe destacar que as áreas com relevos ondulados e fortemente ondulados podem apresentar problemas associados a escorregamentos e erosões, muitas vezes iniciados por voçorocamento (MUNIZ FILHO, 2005) proveniente do aumento das vazões escoadas superficialmente sobre rios efêmeros desviados ou drenagem dos morros sobre o solo exposto.

Figura 14 - Curva hipsométrica da bacia de estudo.



Fonte: A Autora (2022).

#### 4.2.2 Clima e Vegetação

Segundo a classificação de Köppen, a bacia de estudo está sob a influência do clima “As” (Tropical quente e úmido, com verão seco e chuvas de inverso), predominante na faixa litorânea do nordeste brasileiro. Nele a estação chuvosa está concentrada entre maio e julho e a estação seca na primavera, de setembro a dezembro (ALVES *et al*, 2013). Essa localidade apresenta um elevado índice pluviométrico de 1.800 a 2000 mm/ano e elevada umidade relativa do ar (MUNIZ FILHO, 2005).

Essas características climáticas associadas às condições edáficas favoreceram a formação da Floresta Perenifólia e Sub-perenifólia, uma vegetação natural de alta densidade, com grande diversidade de espécies e porte elevado, originando a Mata Atlântica (MUNIZ FILHO, 2005). Inicialmente, essa vegetação estava presente nas áreas de colinas e várzeas aluviais.

Entre os anos de 2000 e 2016, mais de 349 hectares de mata atlântica foram desmatados na bacia, isso corresponde a 14% de sua área (TERRABASILIS, 2021),

entretanto alguns remanescentes de mata e resquícios de vegetação original foram preservados nas formas de Unidades de Conservação (Figura 15), criadas pela Lei Estadual nº 9.989/87 e requalificadas pela Lei nº 14.324/2011 (CPRH, 2020).

A Reserva de Floresta Urbana Mata de Jangadinha está completamente inserida na bacia, em território público de Jaboatão dos Guararapes, e tem área de 84,68 ha. Os Refúgios de Vida Silvestre Mata de São João (em Recife, propriedade privada) e Mata de Mussaíba (em Jaboatão dos Guararapes, propriedade público e privada) estão parcialmente na bacia, com 8,01 ha e 93,61 ha, respectivamente.

Figura 15 - Unidades de conservação na bacia de estudo.



Fonte: A Autora (2022).

### 4.2.3 Aspectos socioambientais

Segundo Muniz Filho (2005), o povoamento da bacia do rio Tejipió iniciou-se na região de sua foz, onde atualmente localiza-se o bairro de Afogados, em meados do século 16. Nesse mesmo período, engenhos de cana de açúcar foram instalados às margens dos rios Tejipió e Jiquiá, e os rios escoavam a produção. A partir disso, iniciaram-se os primeiros núdulos populacionais periféricos, que passaram a ser subdivididos em sítios e, posteriormente, em loteamentos.

Entretanto as formas de apropriação das terras variaram desde a aquisição de lotes regulares – IPSEP, Conj. Habitacionais do Curado –, até as invasões em áreas vulneráveis e assentamentos espontâneos – Jardim do Campo, Jangadinha, entre outros. Essas apropriações ocorreram de acordo com o momento histórico, intensificando-se no século 20, trazendo às habitações diferentes perfis socioculturais e econômicos. Isto posto, pode-se compreender o atual panorama da área de estudo dessa pesquisa.

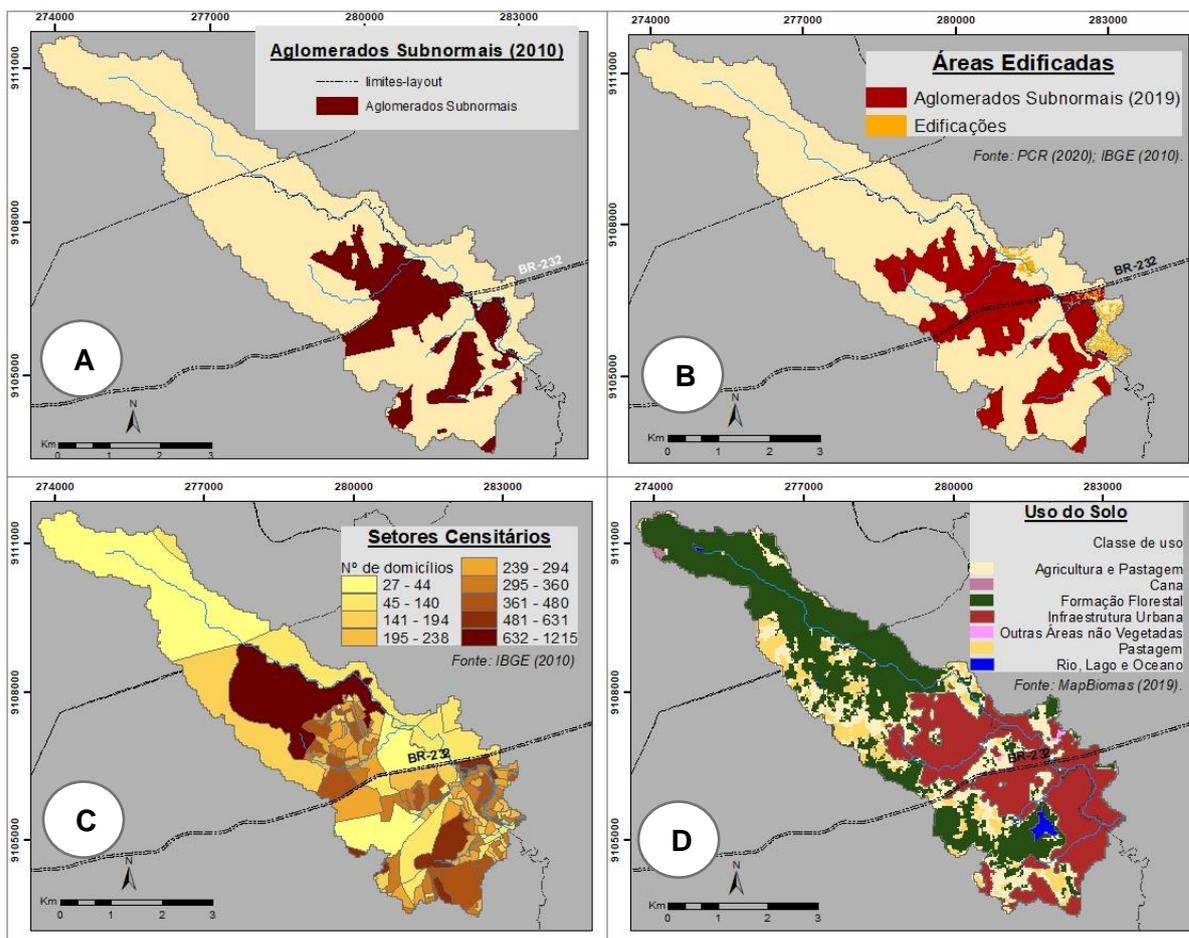
De acordo com o último Censo, em 2010, 126.950 pessoas residiam na bacia, correspondendo a 16,2%, 1,5% e 0,5% da população total dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Recife e São Lourenço da Mata, respectivamente. Essa população dividia-se em 146 setores censitários (Figura 16-C), distribuídas em 39.232 domicílios. Do total de setores, 41% continham aglomerados subnormais<sup>3</sup> (IBGE, 2022) que correspondiam a 15.722 domicílios e 15 AGSN (Figura 16-A).

Considerando a média de 3 moradores por domicílio, isso significava que cerca de 37% da população da bacia de estudo estava vivendo em situação precária de habitabilidade, constituindo o déficit habitacional da região, demonstrando a vulnerabilidade e baixa resiliência dessa população. Em 2019 foi iniciada a atualização do cadastro dos AGSN, tendo sido contabilizados 19 AGSN na área de estudo, 17 em Jaboatão dos Guararapes e 2 em Recife (Figura 16-B), elencados no Quadro 11.

---

<sup>3</sup> É um conjunto constituído de, no mínimo, 51 unidades habitacionais carentes, identificadas com base nos seguintes critérios: a) Ocupação ilegal da terra, ou seja, construção em terrenos de propriedade alheia (pública ou particular) no momento atual ou em período recente (obtenção do título de propriedade do terreno há dez anos ou menos); e b) Possuir pelo menos uma das seguintes características: • urbanização fora dos padrões vigentes - refletido por vias de circulação estreitas e de alinhamento irregular, lotes de tamanhos e formas desiguais e construções não regularizadas por órgãos públicos; ou • precariedade de serviços públicos essenciais, tais quais energia elétrica, coleta de lixo e redes de água e esgoto. Os aglomerados subnormais podem se enquadrar, observados os critérios de padrões de urbanização e/ou de precariedade de serviços públicos essenciais, nas seguintes categorias: invasão, loteamento irregular ou clandestino, e áreas invadidas e loteamentos irregulares e clandestinos regularizados em período recente (IBGE, 2022).

Figura 16 - Espacialização das áreas urbanizadas na bacia de estudo.



Fonte: MapBiomias (2019); IBGE (2010); A Autora (2022).

Quadro 11 - Lista de AGSN na bacia de estudo em 2019.

Nome ASGN	Nome ASGN	Nome ASGN	Nome ASGN
Alto da Colina – Coqueiral <sup>a</sup>	Cavaleiro <sup>a</sup>	Floriano <sup>a</sup>	Rua Nacional <sup>a</sup>
Alto do Curado II <sup>a</sup>	Curado III – Cova da Onça <sup>a</sup>	Jangadinha <sup>a</sup>	Vila do Loreto <sup>a</sup>
Alto Dr Júlio Lira <sup>a</sup>	Cuscuz <sup>a</sup>	Jardim Campo <sup>a</sup>	Sapo Nu <sup>b</sup>
Alto São Sebastião (Alto da Besta) <sup>a</sup>	Distrito Industrial do Curado <sup>a</sup>	Parque Ribeiro de Brito <sup>a</sup>	Totó – Pantanal <sup>b</sup>
Caixa D'Água <sup>a</sup>	Do Canal <sup>a</sup>	Rua Marechal Rondon <sup>a</sup>	-

<sup>a</sup> - Jaboatão dos Guararapes; <sup>b</sup> - Recife

Fonte: IBGE (2019); A Autora (2022).

Diante de tão elevado número de pessoas e domicílios nas margens e até leitos dos rios, em períodos de enchente se instaura um cenário de calamidade pública marcado pela ocorrência de desabrigados, desabamento de moradias, acúmulo de

lixo e entulhos, além do aumento de casos de doenças de veiculação hídrica (FREITAS FILHO, 2011). Esse cenário torna-se cíclico, tendo em vista que, após o evento, quando nível de água voltado ao seu curso normal, a população das áreas afetadas retorna ao espaço anteriormente ocupado ficando vulnerável ao próximo evento (HORA e GOMES, 2009).

Em 2010, 89% da população responsável era alfabetizada, apesar disso a renda da maior parte dos domicílios (42%) era inferior a 2 salários mínimos, seguidos com 0,87% de 2 a 3, 0,39% de 3 a 5 e 0,12% com mais de 5 salários refletindo, portanto, o baixo grau de escolaridade dessa população. Quanto maior o grau de instrução maior a sensibilidade às questões ambientais (TRAMONTINA e CARNIATTO, 2019), logo, a tendência dessa população é/foi o estabelecimento de ocupações espontâneas impactantes à região, principalmente no tocante ao seu saneamento básico e impermeabilização do solo (Figura 16-D).

Além disso, por encontrar-se na borda urbana dos três municípios, a região da bacia tende a apresentar resultados socioeconômicos negativos, com investimentos públicos desproporcionais à região, desprovendo-a de serviços básicos. Isso se dá porque a dispersão urbana exige uma descentralização de investimentos em infraestrutura, meios de transporte e moradia (SILVA *et al.* 2015).

Isso se reflete também na destinação inadequada dos resíduos sólidos e líquidos (tabela 2). Considerando 3 moradores por domicílio e o coeficiente de retorno para esgoto de 0,8, pode-se estimar que, em 2010, 19,84 l/s de esgoto eram lançados no rio, aumentando a concentração de poluentes, potencializando doenças de veiculação hídrica e perdas de serviços ecossistêmicos.

Tabela 2 - Destinação inadequada de lixo e esgoto na bacia em 2010

<b>Resíduo</b>	<b>Destinação</b>	<b>% dos domicílios</b>
<b>Lixo</b>	Enterrado	0,04
	Terreno Baldio ou rua	5,56
	Rio	5,56
<b>Esgoto</b>	Rede Geral ou Drenagem	42,07
	Fossa Rudimentar	30,39
	Vala	3,46
	Rio	8

Fonte: IBGE (2010); A Autora (2022).

Compreendendo esse contexto, realizou-se o diagnóstico da bacia de estudo por meio de visitas de campo nos meses de abril e maio de 2021, nos bairros do

Curado e Coqueiral, no Recife, em parceria com o Instituto Solidare (ONG) e o Fórum Popular do Rio Tejipló (FORTE). As visitas ocorreram logo após episódios de inundação na área, com um intervalo de aproximadamente 1 mês entre eles.

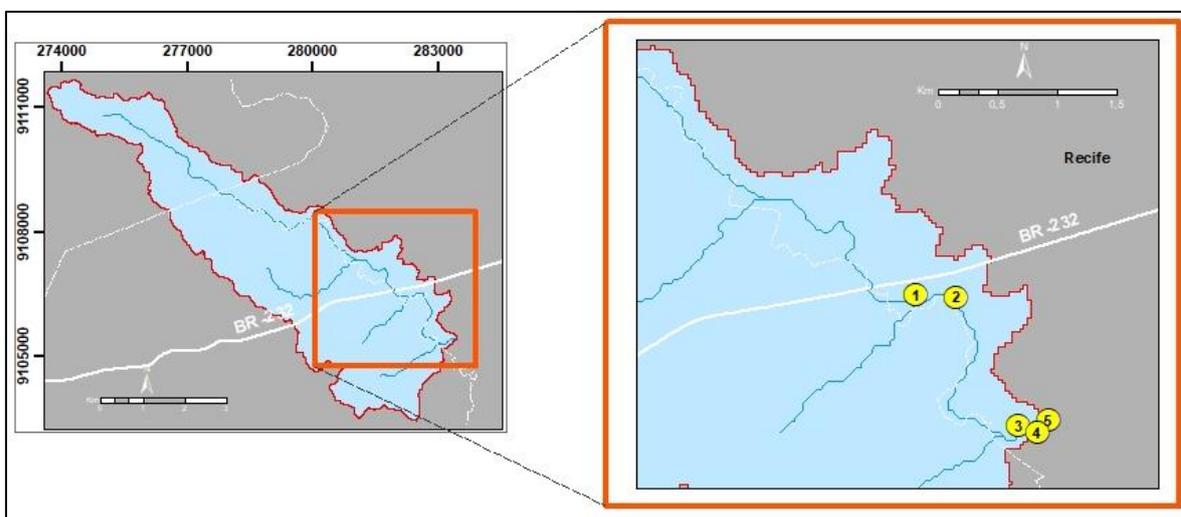
Durante o campo comprovou-se a continuidade do cenário de degradação do rio descrito no último Censo, há 12 anos. A área ainda conta com a presença de moradias irregulares nas margens e no seu leito, além de despejos de efluentes domésticos e resíduos sólidos (predominando plástico, isopor, tecidos e resíduos da construção civil – os RCC). Dessa maneira, a Tabela 3 relaciona os pontos visitados com a sua localização na bacia (figura 17) e imagens da área (figura 18).

Tabela 3 - Informações sobre os pontos visitados.

Local	Bairro	Figura 17	Ponto	Coordenadas (Long/Lat)
<b>Comunidade Sapo Nú</b>	Curado	1 <sup>a</sup> -1C	1	282569m L / 9106534m N
<b>R. Nelson de Sena</b>	Curado	2 <sup>a</sup> – 2D	2	282629.62 m L / 9106527.36 m N
<b>R. João de S. Canto</b>	Coqueiral	3 <sup>a</sup> -3B	3	283188.78 m L / 9105415.15 m N
<b>R. Profº Rutilho</b>	Coqueiral	4 <sup>a</sup>	4	283384.72 m L / 9105384.39 m N
<b>Av. Guanabara</b>	Coqueiral	5 <sup>a</sup> -5B	5	283444.23 m L / 9105396.87 m N

Fonte: A Autora (2022).

Figura 17 - Localização espacial dos pontos visitados.



Fonte: A Autora (2022).

Silva *et al.*, (2015) declaram que o avanço da urbanização sobre os espaços limítrofes municipais provoca prejuízo às questões ambientais, pois pressiona os remanescentes florestais e/ou áreas de preservação por conta do desmatamento, poluição de rios ocupação de áreas frágeis.

Figura 18 - Fotos dos pontos visitados e indicação dos aspectos encontrados.

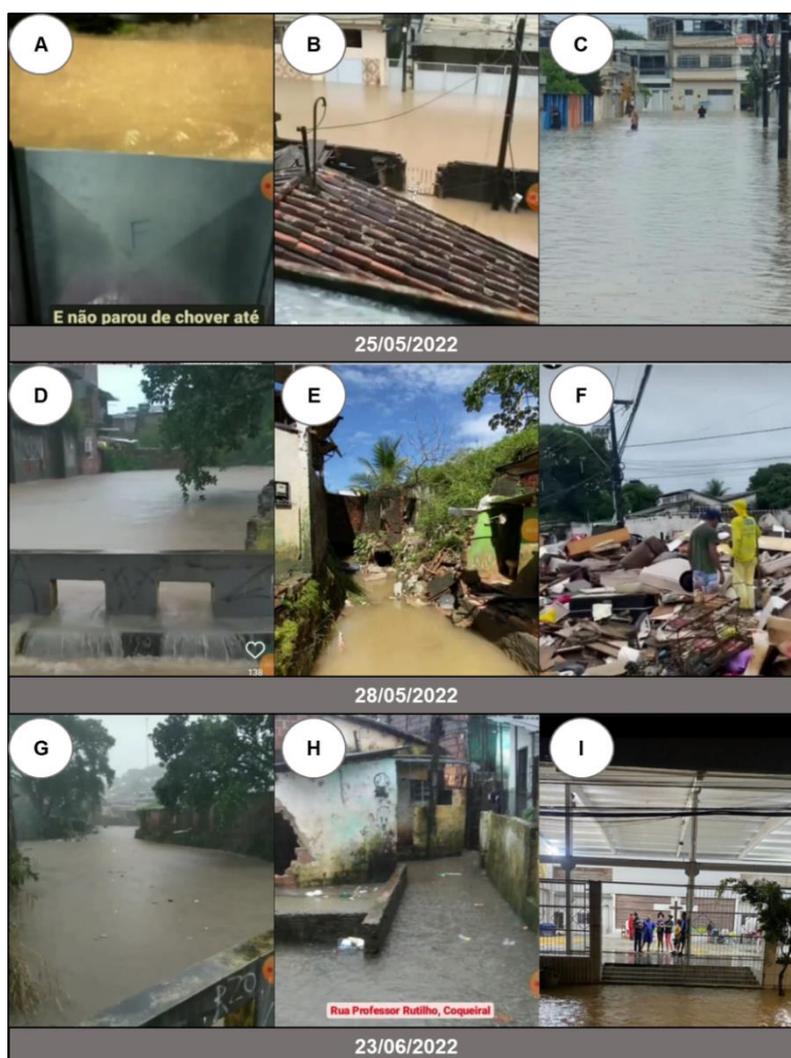


Fonte: A Autora (2021).

Na bacia de estudo ocorrem cerca de 5 eventos de inundação por ano, demandando um conjunto de ações que visem a revitalização do rio e a convivência das pessoas com as cheias. Os eventos mais recentes ocorreram nos dias 25 e 28 de maio (Figura 19 – A, B, C, D) e 23 de junho de 2022 (Figura 19 – G, H, I), com muitos danos e perdas (Figura 19 – E, F).

Tendo em vista que essa é uma região sensível a esse tipo de evento, ações visando o aumento da infiltração, retenção e o retardo do escoamento contribuinte a rede, e ações de convivência com as enchentes são fundamentais para a minimização de danos. O Programa de Extensão Habite Melhor da Universidade de Pernambuco tem instruído a população local quanto as medidas têm sido tomadas, como o uso de comportas (Figura 19 – A).

Figura 19 - Registros das inundações de 2022.



Fonte: População local (2022).

#### **4.2.4 Aspectos institucionais**

Com a existência do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDR), do Plano Diretor Municipal do Recife e seu zoneamento (destacados na seção 3.1.3 e no quadro 2), buscou-se os estudos e/ou medidas existentes, por parte do poder público, para a bacia de estudo.

No tocante ao PDDR (EMLURB, 2016) a área de estudo não foi contemplada com um diagnóstico abrangente. Não foram levantados pontos de alagamento no interior da área da bacia de estudo (Figura 20), nem propostas de intervenção (dragagem) (EMLURB, 2013a). A modelagem da mancha de inundação (EMLURB, 2013b) considerou o trajeto do rio como iniciado a partir do bairro de Coqueiral, região próxima ao exutório da bacia de estudo (destaque na Figura 20).

Dessa maneira, as medidas de promoção à revitalização do rio foram direcionadas apenas para o baixo Tejipió, fazendo com que toda a região a montante não fosse contemplada com soluções.

Quanto ao zoneamento (RECIFE, 2021) foram identificadas 3 zonas na bacia (figura 21): Zona Especial de Interesse Social<sup>4</sup> 1 (ZEIS), Zona de Ambiente Natural<sup>5</sup> (ZAN) e Zona de Desenvolvimento Sustentável<sup>6</sup> (ZSD) Tejipió, sendo as duas últimas integrantes da Macrozona do Ambiente Natural e Cultural (MANC).

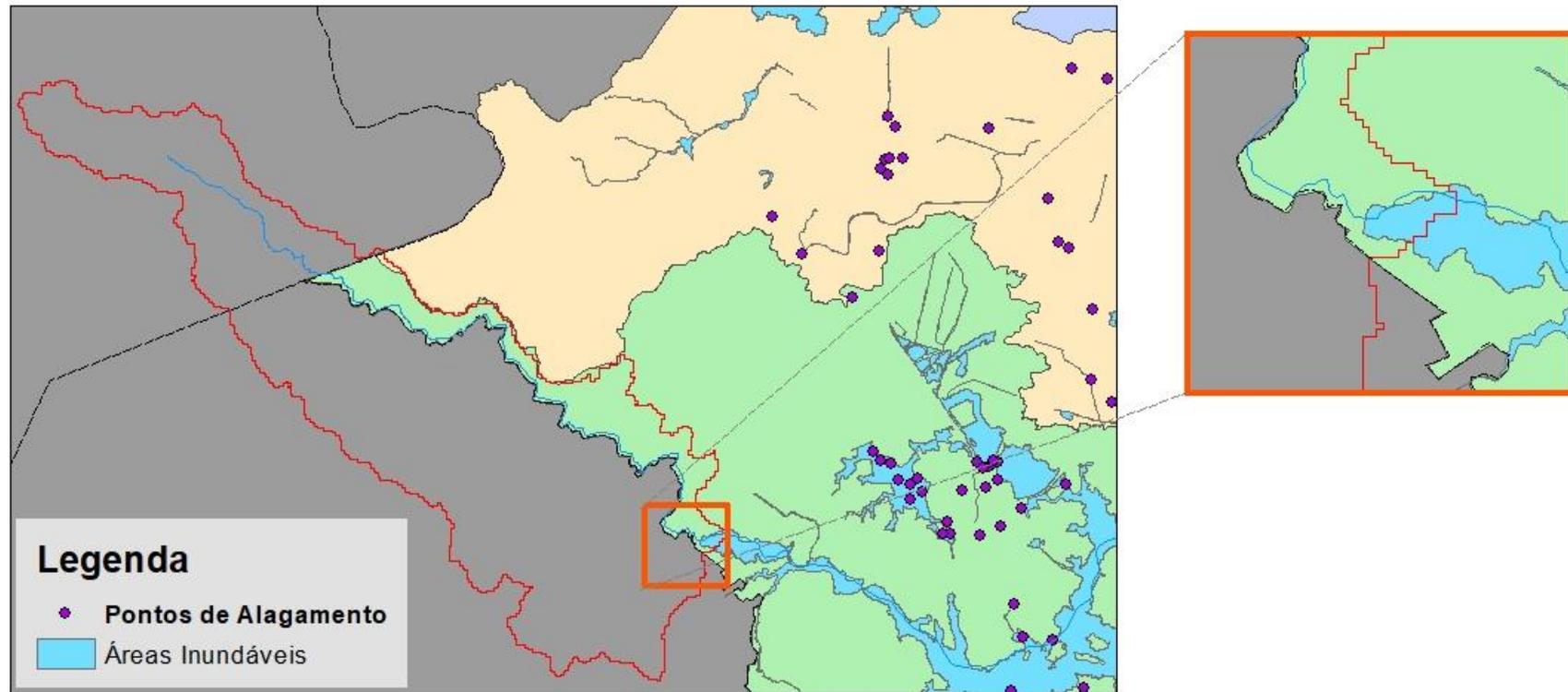
---

<sup>4</sup> Assentamentos habitacionais de população de baixa renda, surgidos espontaneamente, consolidados, carentes de infraestrutura básica, que não se encontram em áreas de risco ou de proteção ambiental, passíveis de regularização urbanística e fundiária, bem como de construção de habitações de interesse social (HIS).

<sup>5</sup> Objetiva garantir padrões sustentáveis de ocupação, preservar e potencializar seu sistema hídrico-ambiental e a conexão entre eles.

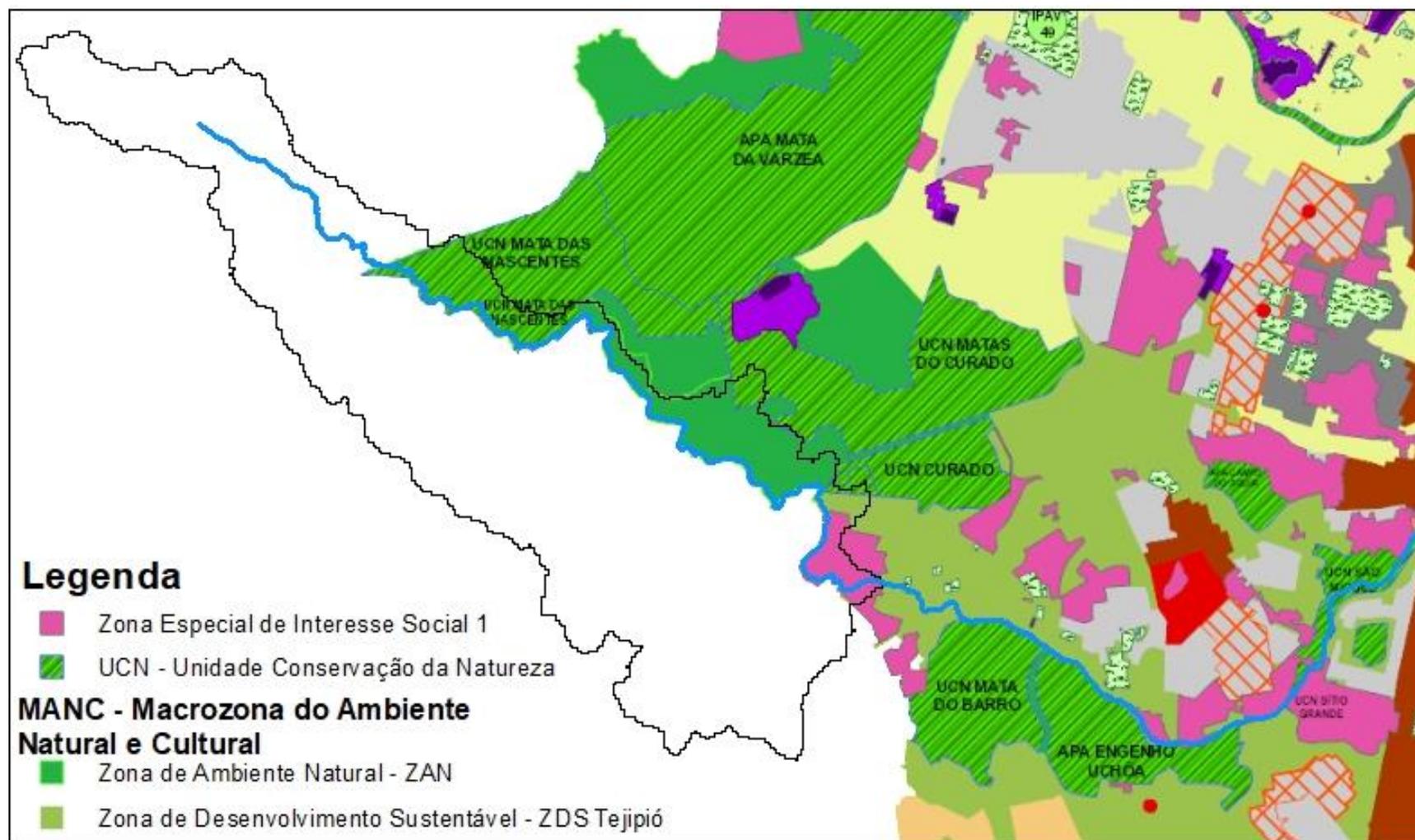
<sup>6</sup> Objetiva o equilíbrio urbanístico-ambiental e a preservação dos recursos naturais e do patrimônio cultural, articulando os elementos do patrimônio cultural e os corpos hídricos que cortam o Recife, de modo a reconquistar a relação cidade-água, garantir qualidade ambiental, constituir corredores ecológicos urbanos, manter o fluxo gênico e promover a integração entre bairros, a requalificação dos espaços públicos e a valorização dos bens culturais.

Figura 20 - Localização da bacia no recorte do mapa de inundação e pontos de alagamento do Recife.



Fonte: EMLURB (2016), A Autora (2022).

Figura 21 - Localização da bacia no mapa de zoneamento municipal de Recife.

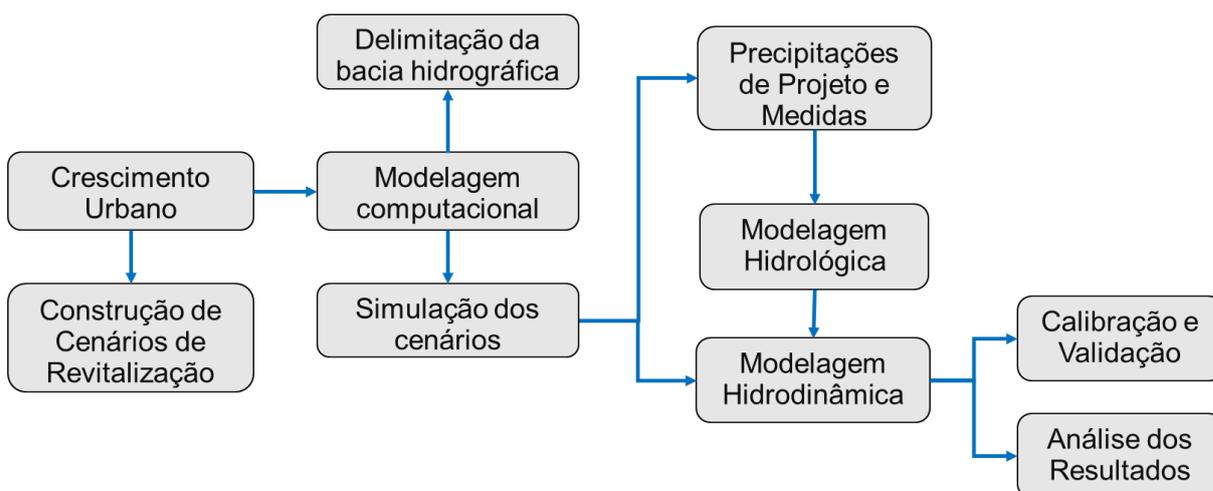


Fonte: Recife (2021); A Autora (2022).

## 5 METODOLOGIA

O presente estudo integrou um Sistema de Informação Geográfica (SIG), um modelo hidrológico e um modelo hidrodinâmico. Ao examinar o crescimento urbano no ambiente SIG, foi possível definir os cenários desejados, bem como o atual. Na sequência, por meio da modelagem computacional foi possível realizar a delimitação da bacia hidrográfica e simular os cenários propostos do ponto de vista hidrológico e hidrodinâmico. O modelo hidrológico foi analisado frente a diferentes eventos, teóricos e reais, e o modelo hidrodinâmico verificou as respostas da bacia a tais eventos. Houve ainda a calibração e validação do modelo hidrodinâmico para um evento real e a análise dos resultados finais. A Figura 22 retrata didaticamente a metodologia descrita.

Figura 22 - Fluxograma da metodologia aplicada.



Fonte: A Autora (2022).

### 5.1 Crescimento Urbano

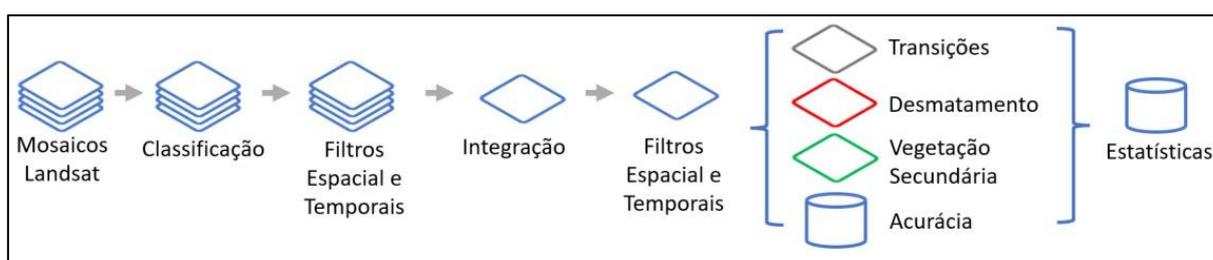
A análise do crescimento da mancha urbana e outras alterações no uso do solo na bacia foi realizada por meio da série temporal Coleção 6 do MapBiomas, no *software QuantumGIS*, entre os anos 1985 e 2019, com intervalos de cinco anos (exceto o intervalo entre 2015 e 2019), verificando-se oito cenários.

O MapBiomas é uma rede colaborativa, composta por ONGs, universidades e startups de tecnologia, que produz mapas anuais de cobertura e uso do solo, monitora mensalmente a superfície de água e marcas de fogo com dados a partir de 1985

(MAPBIOMAS, 2022a). A Figura 23 fornece uma visão geral da metodologia utilizada pelo projeto para essa classificação (MAPBIOMAS, 2022b).

As imagens dos satélites Landsat são selecionadas no período de um ano e, pixel a pixel, compõe o mosaico, que é processado por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina (machine learning) na plataforma Google Earth Engine. Para cada pixel, em cada uma das sete bandas espectrais, são extraídas métricas como a mediana dos valores da banda, que explicam o comportamento do pixel naquele ano, entre outras (MAPBIOMAS, 2022c). A partir dos mosaicos de imagens, são produzidos mapas de classes de cobertura e uso da terra (floresta, campo, agricultura, pastagem, área urbana, água, etc) para cada bioma brasileiro (MAPBIOMAS, 2022c). São aplicados filtros espaciais e temporais, sendo integrados todos os mapas de classe em um único mapa, gerando as estatísticas daquele ano.

Figura 23 - Resumo geral da metodologia de classificação de imagens do MapBiomas.



Fonte: MapBiomas (2022b).

## 5.2 Modelagem computacional

A modelagem envolveu o uso de dois modelos, o hidrológico *HEC-HMS 4.8* – utilizado para simulação das estimativas das vazões afluentes ao curso d'água principal, por sub-bacia, - e o modelo hidrodinâmico *HEC-RAS 6.1*, para simular o comportamento da onda de inundação ao longo do canal, da planície de inundação e do tempo.

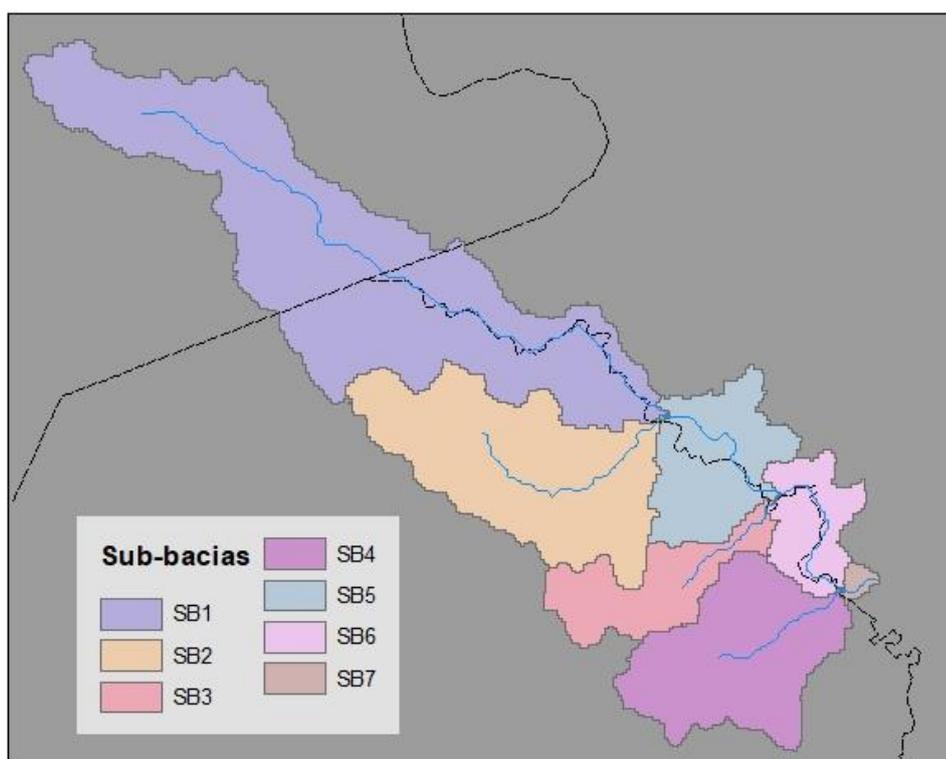
A bacia de estudo e as sub-bacias utilizadas no modelo foram delimitadas no módulo de pré-processamento de dados do *HEC-HMS*, por meio de ferramentas de geoprocessamento aplicadas ao Modelo Digital da Elevação (MDE).

### 5.2.1 Delimitação da bacia e rede hidrográfica

A delimitação da bacia hidrográfica foi baseada no Modelo Digital de Elevação (MDE) do sensor SRTM, por meio do mosaico das imagens “s09\_w035\_1arc\_v3” e “s09\_w036\_1arc\_v3”, com resolução de 30m, disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS). Optou-se por esse MDE por tratar-se de uma região muito urbanizada em que o alto nível de detalhamento de um sensor Lidar, por exemplo, demandaria um elevado custo computacional de processamento.

O MDE foi importado para o ambiente SIG do *HEC-HMS*. Nele foi dada sequência ao preenchimento de falhas, direções de fluxo, identificação dos rios – que depende do limite de acumulação de drenagem (dado em km<sup>2</sup> e ligado ao nível de detalhamento desejado – quanto menor seu valor mais rios são identificados), escolha do exutório e delineamento da bacia e sub-bacias. O limite de acumulação de drenagem adotado foi de 1,1km<sup>2</sup>, pois a rede de drenagem se assemelhou àquela identificada por Silva (2019) e fornecida pela EMLURB. O exutório foi escolhido num ponto a montante da ponte da Av. Guanabara, em Coqueiral. Com isso, foram delimitadas sete sub-bacias e suas drenagens (Figura 24).

Figura 24 - Discretização da bacia de estudo.



Fonte: A Autora (2022).

Após a delimitação automática das sub-bacias, foi verificado se elas representavam a realidade de maneira coerente, comparando-as à delimitações anteriores de Freitas Filho (2011) e Silva (2019), sendo possível extrair suas características fisiográficas (Tabela 4).

Tabela 4 - Características Fisiográficas das sub-bacias

Características da bacia								
Sub-Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Rio principal (km)	Declividade (m/m)	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Sinuosidade	Ordem do rio (Straller)	Coefficiente de compacidade (Kc)	Fator de forma (Kf)
1	10.20	8.23	0.0092	0.805	1.35	1	2.54	0.10
2	4.98	3.15	0.0025	0.630	1.53	1	1.96	0.20
3	1.80	1.77	0.0040	0.973	1.37	1	2.34	0.12
4	3.57	1.83	0.0044	0.508	1.25	1	1.71	0.29
5	2.27	2.02	0.0015	0.884	1.31	2	1.86	0.43
6	1.29	2.08	0.0034	1.592	1.56	2	1.81	0.22
7	0.13	0.48	0.0021	3.870	1.25	2	1.60	0.28

Fonte: A Autora (2022).

### 5.2.2 Construção dos cenários de revitalização

Segundo o MMA (2006), cenários são retratos coerentes de futuros possíveis, prováveis ou desejáveis. Auxiliam na eliminação de incertezas e permitem a antecipação de decisões futuras e formulação de estratégias e projetos. Portanto, dos cenários dependem os prognósticos que projetem a revitalização de uma bacia hidrográfica.

Nesse sentido, a base da modelagem foi preparada prevendo quatro cenários diferentes (Tabela 5), de modo que o as respostas da bacia fosse analisadas. Os cenários foram simulados para os tempos de retorno de 10 anos e 25 anos, pois o primeiro é considerado um evento recorrente e o segundo é recomendado pelo Ministério das Cidades para projetos de macrodrenagem (BRASIL, 2004).

Objetivando analisar o comportamento do modelo frente a eventos reais, os quatro cenários foram analisados ainda sob outros dois eventos chuvosos medidos, o primeiro iniciado em 09/04/2021, às 18h e finalizado em 13/04/2021, às 10h, e o segundo, começando em 12/05/2021, às 20h, até 15/05/2021, às 23h.

Tabela 5 - Cenários de simulação das sub-bacias de estudo.

Cenário	Identificação	TR (anos)	Eventos (2021)
0	Situação atual	10 / 25	Abril / Maio
1	Pré-urbanização (1985)	10 / 25	Abril / Maio
2	Desenvolvimento sustentável	10 / 25	Abril / Maio
3	Valorização de áreas verdes	10 / 25	Abril / Maio

Fonte: A Autora (2022).

O “cenário 0” (C0) foi construído para retratar a resposta à condição atual de uso e ocupação do solo da bacia, no ano de 2019 (de acordo a Coleção 5 do MapBiomias). No “cenário 1” (C1) idealizou-se verificar as respostas dos eventos no passado, segundo o mapa de uso e ocupação da coleção 6 do MapBiomias, objetivando indicar as características de pré-urbanização.

O “cenário 2” (C2) considerou o zoneamento previsto pelo Plano Diretor do Recife (Lei complementar nº2/2021) e sua política urbana de meio ambiente, sustentabilidade, enfrentamento às mudanças climáticas e de defesa civil (Art. 164), com uma redução de 15% nas áreas impermeáveis, por sub-bacia. Essas áreas corresponderam ao entorno das edificações existentes e foram delimitadas com a ferramenta *buffer* do *QuantumGIS*, sendo consideradas como possuindo características de campos abertos relvados. Ou seja, as calçadas e canteiros teriam essas características.

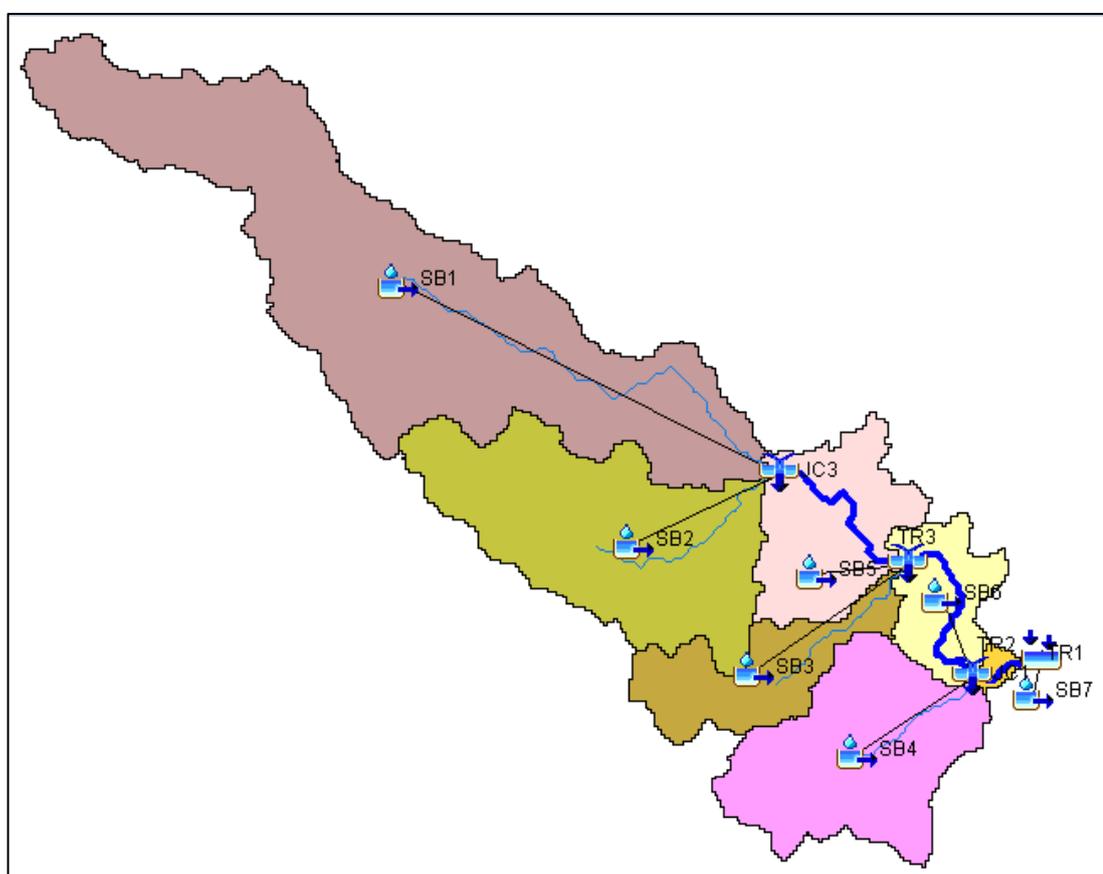
Por fim, “cenário 3” (C3) incluiu a valorização de áreas verdes, baseado no programa de revitalização de bacias da APAC, considerando a regeneração florestal da Área de Preservação Permanente (APP) de 30 metros, instituída pela Lei Federal nº 12.651/2012 e recobrimento de vegetação rasteira nas áreas não vegetadas e de agricultura.

### 5.2.3 Modelagem hidrológica

O HEC-HMS é um *software* de simulação hidrológica por eventos que pode ser associado ao Hidrograma Unitário do NRCS (Serviço de Conservação de Recursos Naturais). Nesse modelo, a bacia é discretizada em sub-bacias menores de acordo com a drenagem principal, onde os parâmetros e a precipitação são tidos como uniformes por sub-bacia (TUCCI, 2005) e pode-se modelar eventos reais ou estimados, utilizando equações de chuvas teóricas.

Delimitadas as sub-bacias e montado o esquema gráfico do modelo (Figura 25), adotou-se o método do Hidrograma Unitário (HU) do NRSCS, como modelo de chuva-vazão. O HU é uma função de transformação de hietogramas de precipitação excedente em hidrogramas de escoamento superficial (SHERMAN, 1932 *apud* CANHOLI, 2014), que reflete condições de deflúvio para o desenvolvimento da onda de cheia na seção considerada (PINTO *et al.*,1976). Logo, a bacia hidrográfica é comparada a um reservatório linear onde a precipitação efetiva, ou excedente, unitária tem distribuição uniforme, intensidade constante e duração específica.

Figura 25 - Esquema das bacias de contribuição no HEC-HMS.



Fonte: A Autora (2022).

O método NRCS foi desenvolvido para simular hidrogramas de cheias nos projetos de obras hidráulicas (SCHUSTER, 2014), entretanto tem sido amplamente utilizado na modelagem hidrológica em geral por causa do número reduzido de parâmetros impostos para o cálculo e porque esses parâmetros têm relação com as características físicas da bacia (SCS, 1975 *apud* TUCCI, 2000).

- **Chuva excedente**

Chuva excedente é a parcela da precipitação que escoar superficialmente na bacia e pode ser determinada pelo método Número de Curva ou *Curve Number*, desenvolvido pelo NRCS. O NRCS-CN foi desenvolvido mediante a análise de mais de 3 mil tipos de solos e coberturas vegetais (naturais ou plantações), visando estabelecer a correlação empírica entre a capacidade de armazenamento da bacia com o índice CN (NRCS, 1986 *apud* CANHOLI, 2014).

O balanço hídrico adotado pelo método é:

$$P = I_a + F + P_{ef} \quad (1)$$

Onde, P (mm) é a precipitação acumulada em um intervalo dado de tempo;  $P_e$  (mm) é a chuva efetiva em um intervalo dado de tempo; F é a infiltração acumulada ao longo do evento chuvoso; e  $I_a$  é a abstração inicial correspondente à interceptação vegetal e armazenamento em depressões, e S é o armazenamento máximo de água na camada superficial do solo (mm).

O método considera como hipótese conceitual que a razão entre Q escoamento superficial e escoamento superficial máximo possível ( $P - I_a$ ) é igual ao quociente da razão entre o volume de infiltração (F) e o volume máximo potencial de retenção (S), isto é:

$$\frac{P_{ef}}{P - I_a} = \frac{F}{S} \quad (2)$$

Há ainda uma segunda hipótese, que é a de que as perdas iniciais correspondem a 20% do armazenamento máximo na bacia, ou seja:

$$I_a = 0,2.S \quad (3)$$

Dessa forma a precipitação efetiva é obtida por

$$P_{ef} = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad (4)$$

Para  $P > I_a$  e  $P_{ef} = 0$ , quando  $P \leq I_a$ .

Substituindo a equação 3 na equação 4, tem-se

$$P_{ef} = \frac{(P-0,2.S)^2}{(P-0,8.S)} \quad (5)$$

Para  $P > I_a$  e  $P_{ef} = 0$ , quando  $P \leq I_a$ .

A determinação do armazenamento máximo (S) é dada por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

em que,  $S(mm)$ : armazenamento máximo de água no solo; CN: número curva ( $\leq 100$ ), se  $CN=100$ , não há armazenamento na bacia.

A estimativa do valor de CN considera o tipo de solo, sua classificação hidrológica, o uso da terra e ocupação do solo da bacia e a condição de umidade anterior ao evento (TUCCI *et al.*, 1995). Os valores de CN para o Cenário 0 foram provenientes do Catálogo de Metadados da ANA (Agência Nacional de Águas), após o cruzamento dos *shapefiles* das sub-bacias e do CN no SIG. Essa base de valores de CN, atribuídos aos solos brasileiros, foi feita no pelo cruzamento dos tipos de solo (EMBRAPA, 2006) com as classes hidrológicas indicadas por Sartori *et al.* (2005) e com o de uso do solo e ocupação da terra do IBGE de 2014 (ANA, 2018).

Como as bacias urbanas podem ter múltiplos usos e ocupações do solo, seus valores de CN também variam. Usualmente realiza-se a média ponderada dos valores de CN com relação às suas respectivas áreas, para aquisição do valor médio (CANHOLI, 2014). Por isso, após o cruzamento dos *shapefiles* foi realizada a média ponderada dos valores de CN, pelas áreas em cada sub-bacia.

No caso dos Cenários 1, 2 e 3, não foi possível utilizar a mesma base de dados da ANA, pois ela correspondia ao uso do solo atual, verificando-se os valores de CN por meio do tipo de solo. Foi, portanto, identificado que a região possui argissolo vermelho-amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006), pertencente ao grupo hidrológico C (SARTORI *et al.*, 2005) e, posteriormente, consultados os valores tabelados (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores de CN em relação ao uso e cobertura do solo.

Uso e Cobertura do solo (Grupo Hidrológico C)		CN
<b>ÁREAS RURAIS</b>		
Solo lavrado em fileiras retas		87
Plantações regulares em fileiras retas		84
Pastagens normais em curvas de nível		75
Florestas	Esparsas	78
	Densas, alta transpiração	62
<b>ÁREAS URBANAS</b>		
Bosques ou zonas florestais	Cobertura boa	70
Espaços abertos, relvados, parques, etc, boas condições	Relva > 75% da área	74
<b>ÁREAS RESIDENCIAIS</b>		
	Área Impermeável (%)	
Área Residencial Tipo 1	65	90

Fonte: Adaptado de Collischonn e Dornelles (2015) e Canholi (2014).

- **Chuva de projeto ou chuva teórica**

A precipitação acumulada sobre a bacia pode ser calculada por meio da equação de chuva de projeto, chamada curva IDF (intensidade, duração e frequência), determinada para a região de estudo e discretizada, por meio do método dos blocos alternados, de acordo com a duração do evento. A duração dessa precipitação deve ser dada por  $D_{cr} \geq T_c$  (IPH, 2005), onde  $D_{cr}$  é a duração crítica – tempo em que toda bacia hidrográfica contribui ao escoamento superficial – e  $T_c$  o tempo de concentração da bacia hidrográfica.

A equação de chuva utilizada foi a definida pelo PDDR (2016), considerada uniforme sobre as sub-bacias dada por:

$$i = \frac{611,3425 \cdot T_r^{0,1671}}{(t+7,3069)^{0,6348}} \quad (7)$$

com  $i$  (mm/h) é a intensidade máxima de chuva;  $T_r$  é o tempo de retorno, em anos; e  $t$  o tempo de duração, do bloco de chuva em min.

- **Eventos observados**

Outra maneira de modelar no HEC-HMS é por meio da resposta hidrológica para um evento chuvoso medido e distribuído espacialmente, por sub-bacia. A

distribuição da precipitação média é obtida pelo método de Thiessen (a precipitação média dada pela média ponderada das precipitações pela área de influência dos postos).

As precipitações medidas foram obtidas por meio dos postos pluviográficos do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). Os dados foram agrupados a cada hora. Na sequência, foram identificadas as áreas de influência dos postos, utilizando o método do polígono de Thiessen no *QuantumGIS*. A Tabela 7 elenca os postos pluviométricos, suas localizações e as sub-bacias influenciadas. O apêndice C indica as áreas influenciadas em termos percentuais.

Tabela 7 - Dados dos postos pluviográficos utilizados.

Código	Posto Pluviométrico	Sub-bacias influenciadas	Coordenadas (Long/Lat)
261370101A	Chã da Tábua	SB1	275696 mL/ 9115701 mN
260790103G	Curado II	SB1, SB2, SB3, SB4, SB5	279284 m L/ 9106087 m N
260790108A	Curado 4	SB1, SB2, SB3, SB5	280267 m L/ 9107310 m N
260790102A	Cavaleiro2	SB3, SB4, SB5, SB6, SB7	282914 m L/ 9105227 m N

Fonte: A Autora (2022).

- **Tempo de concentração**

O tempo de concentração de cada sub-bacia foi obtido pela fórmula de Desbordes (DESBORDES, 1974 *apud* SILVEIRA, 2005), que considera a área total da bacia, a declividade do trecho e a fração impermeável da bacia. Ela é indicada para bacias urbanas, com área inferior a 51km<sup>2</sup>, declividade inferior a 7% e rios com menos de 18km de extensão, dada pela equação 8.

$$T_c = 0,0869 \cdot A^{0,3039} \cdot S^{-0,3832} \cdot A_{imp}^{-0,4523} \quad (8)$$

em que  $T_c$  (min) é o tempo de concentração;  $A$  (km<sup>2</sup>) é a área da bacia;  $S$ (m/m) é a declividade média do canal principal e  $A_{imp}$  é a fração de área impermeável ( $A_{impermeável}/A_{bacia}$ ) – varia de 0 a 1.

A área impermeável, por sub-bacia, foi calculada a partir do mapa de uso do solo “Coleção 5” do Mapbiomas (Figura 16 - D), em 2019, sendo considerados como impermeáveis as classes: infraestrutura urbana e outras áreas não vegetadas.

Os eventos medidos foram considerados do início da precipitação até o momento em que a chuva cessa por mais 11,5 horas ( $T_c$  em C0). Todas precipitações foram aplicadas nos quatro cenários, com o objetivo de compreender o

comportamento de um evento de mesma magnitude e duração em diferentes situações. Com isso foi possível gerar os hietogramas de precipitação efetiva pelo método NRCS-CN.

- **Descrição resumida da modelagem hidrológica**

Em síntese, foram determinadas duas chuvas teóricas, com tempos de retorno de 10 e 25 anos, uniformemente distribuídas e duas chuvas medidas, em dois eventos (em abril e maio de 2021) distribuídos por sub-bacia, segundo o método de Thiessen. Para cada cenário estabelecido, o  $T_c$  foi calculado segundo a equação de Desbordes. O valor de CN foi baseado na a condição de umidade II para as chuvas teóricas e, para as chuvas medidas, condição I para as SB1 e SB5 em abril e III para a SB1, SB2 e SB3 em maio.

A condição de umidade foi escolhida a partir do total precipitado nos últimos 5 dias por sub-bacia, sendo condição I (solos secos) para  $P_{5\text{dias}} < 15\text{mm}$  e condição III (solo úmido) para  $P_{5\text{dias}} > 40\text{mm}$  (TUCCI *et al.*, 1995). Dessa maneira, após a verificação do CN na condição de umidade II (tabelas e ANA), os valores de CN nas demais condições foram encontrados por interpolação, segundo a tabela do anexo B.

Com isso, no HEC-HMS, os dados de entrada do método de perdas foram CN e o percentual impermeável por sub-bacia. A propagação da vazão no rio foi escolhida como 0,6 do TC, que é o tempo de ascensão ( $T_a$ ) do HU, também chamada de Lag. A tabela 8 resume os dados de entrada utilizados no modelo hidrológico.

Tabela 8 - Dados de entrada do modelo HEC-HMS.

<b>CENÁRIO 0 - Situação atual</b>								
Sub-Bacia	Ta(min) LagTime	%Aimp	TR10/TR25		Abril		Maio	
			Cond. Umidade	CN	Cond. Umidade	CN	Cond. Umidade	CN
SB1	118,65	8,14	II	75	I	57	III	91
SB2	76,87	39,18		77	II	77		92
SB3	56,99	26,26		76		76		92
SB4	53,19	44,66		81	I	81	II	81
SB5	59,85	63,38		87		74		87
SB6	30,78	94,15		90	II	90		90
SB7	18,19	95,00		93		93		93
<b>CENÁRIO 1 – Pré-Urbanização (1985)</b>								
Sub-Bacia	Ta(min) LagTime	%Aimp	TR10/TR25		Abril		Maio	
			Cond. Umidade	CN	Cond. Umidade	CN	Cond. Umidade	CN
SB1	150,67	4,80	II	71	I	52	III	88
SB2	115,05	16,06		79	II	79		93
SB3	71,72	15,80		71		71		88
SB4	72,24	22,69		79	I	79	II	79
SB5	69,00	46,28		85		70		85
SB6	32,94	81,03		88	II	88		88
SB7	18,28	93,99		90		90		90
<b>CENÁRIO 2 - Desenvolvimento sustentável (-15% Aimp)</b>								
Sub-Bacia	Ta(min) LagTime	%Aimp	TR10/TR25		Abril		Maio	
			Cond. Umidade	CN	Cond. Umidade	CN	Cond. Umidade	CN
SB1	127,70	6,92	II	73	I	55	III	90
SB2	82,75	33,28		82	II	82		95
SB3	61,34	22,32		81		81		94
SB4	57,25	37,96		81	I	81	II	81
SB5	65,08	52,66		84		68		84
SB6	33,12	80,02		87	II	87		87
SB7	19,58	80,75		88		88		88
<b>CENÁRIO 3 - Áreas Verdes</b>								
Sub-Bacia	Ta(min) LagTime	%Aimp	TR10/TR25		Abril		Maio	
			Cond. Umidade	CN	Cond. Umidade	CN	Cond. Umidade	CN
SB1	121,18	7,77	II	72	I	54	III	89
SB2	80,00	35,87		80	II	80		94
SB3	62,05	21,76		79		79		94
SB4	54,77	41,86		80	I	80	II	80
SB5	62,81	56,96		82		66		82
SB6	32,40	84,03		87	II	87		87
SB7	20,80	70,68		87		87		87

Fonte: A Autora (2022).

### 5.2.4 Modelagem hidrodinâmica

Para o presente estudo, optou-se pela utilização da modelagem hidrodinâmica em 2D (2 dimensões), por apresentar maior precisão e representatividade física do modelo, sendo capaz de simular a difusão lateral da onda de inundação. Com isso, foi possível simular modificações nos dados de entrada, estabelecidas em cada cenário de análise.

A formulação matemática dos modelos hidrodinâmicos completos baseia-se na equação da continuidade (princípio da conservação da massa) e equação dinâmica (princípio da conservação da quantidade de movimento), aplicadas a um volume de controle (trecho do rio), requerendo soluções numéricas mais sofisticadas para as equações diferenciais (FONSECA NETO, 2018).

A equação da continuidade pode ser escrita como (Tucci, 1998):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_L \quad (9)$$

Onde,  $Q$  ( $m^3/s$ ) é a vazão;  $A$  ( $m^2$ ) é a área molhada da seção transversal;  $t$  (s) é a variável independente relativa ao tempo;  $x$  (m) é a variável independente relativa à direção do escoamento e  $q_L$  ( $m^3/s/m$ ) é a vazão lateral por unidade de comprimento, que entra ou sai do trecho considerado, no intervalo de tempo.

Segundo o princípio da conservação da massa, a diferença entre o volume de água afluente à seção de montante e o volume de saída no trecho, num dado intervalo de tempo, é igual a variação do volume de água dentro desse trecho, durante o mesmo intervalo de tempo.

Considerando que as forças externas atuantes sobre esse volume de controle sejam as forças de contato (Pressão e Atrito) e a força de campo (Gravidade), a formulação matemática que descreve o princípio da conservação da quantidade de movimento é a equação dinâmica, dada por:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial y} = g (S_0 - S_f) \quad (10)$$

Em que,  $v$  (m/s) é a velocidade média do escoamento (m/s);  $h$  (m) é a profundidade do escoamento;  $g$  ( $m/s^2$ ) é a aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );  $t$  (s) é a variável independente relativa ao tempo;  $x$  (m) e  $y$  (m) são as variáveis independentes relativas à direção do escoamento;  $S_0$  (m/m) é a declividade média da calha fluvial ou do fundo do canal e  $S_f$  (m/m) declividade da linha de energia.

Nessa equação, a variação da quantidade de movimento do volume de controle, por unidade de tempo, é igual ao somatório de todas as forças externas que atuam nesse volume.

Para o modelo 2D, os dados de entrada são: o modelo digital do terreno, delimitação da área da modelagem (malha), os coeficientes de Manning em cada área e duas condições de contorno (hidrograma de vazão ou hidrograma de nível ou profundidas ou curva-chave ou declividade do trecho) de montante e de jusante.

Em geral, a condição de contorno de montante é determinada pela vazão de entrada e a de jusante, são informações de altura do nível d'água ou inclinação da curva de energia, que na maioria dos casos pode ser considerada a declividade da linha d'água (FONSECA NETO, 2018).

- **Áreas de aplicação do modelo hidrodinâmico**

Sabendo da existência de duas áreas de inundação críticas na região, a modelagem hidrodinâmica foi realizada para dois trechos distintos, àqueles próximos da Comunidade Sapo Nú, que fica na cabeceira da sub-bacia 6, e do bairro de Coqueiral, correspondente à sub-bacia 7. Formando-se, portanto, dois domínios numéricos diferentes de simulação. O Modelo Digital do Terreno (MDT), Figura 26, foi proveniente do sensor *Lidar*<sup>7</sup>, com resolução de 1m, disponibilizadas pelo projeto “Pernambuco Tridimensional” - PE3D.

- **Escolha dos cenários de simulação**

Simulou-se o cenário C0 para compreender o panorama atual das áreas. No sentido de verificar a melhor alternativa hidrológica de revitalização, analisou-se o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) entres as vazões de entrada nas sub-bacias SB6 e SB7 no cenário de pré-urbanização (C1-1985) e nos cenários de melhoria (C2 e C3). Com

---

<sup>7</sup> São pulsos de laser transmitidos por meio de um conjunto de ótica e scanner a partir de uma aeronave. O pulso de laser é enviado à um receptor e registrado como uma função do tempo, e o seu posicionamento é calculado usando o posicionamento e atitude da aeronave, ângulo de varredura e tempo do pulso transmitido (PE'ERI & LONG, 2011).

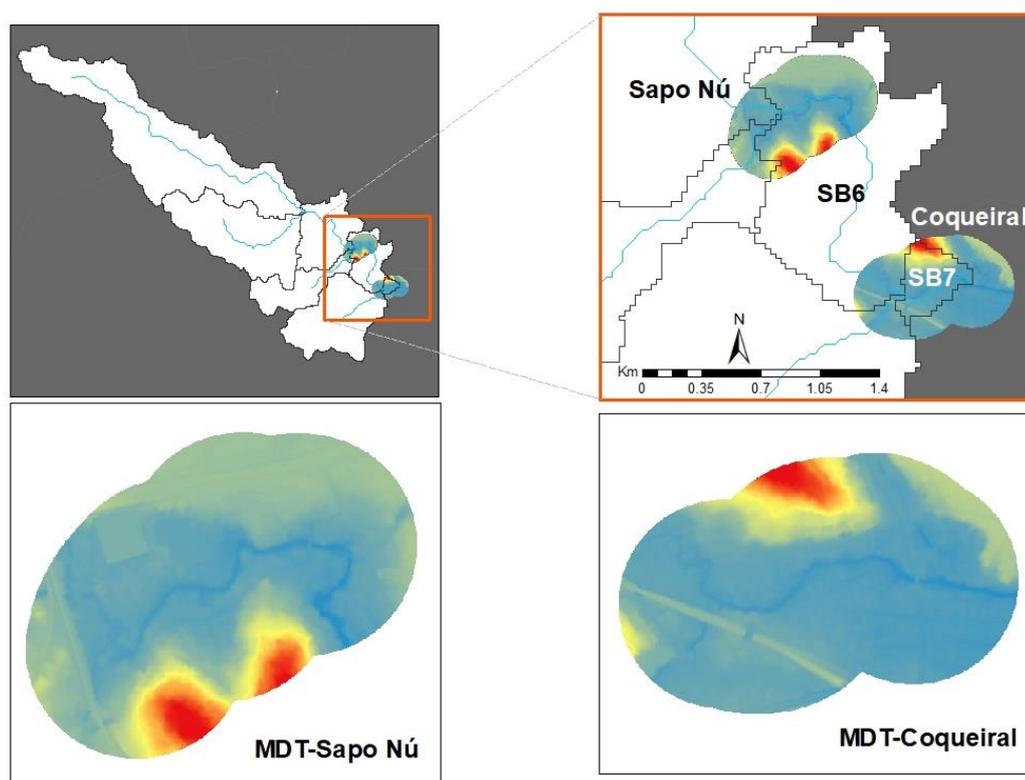
isso, o C2 apresentou melhores valores de  $R^2$ , assemelhando-se ao cenário de C1 e foi selecionado para que o comportamento da mancha de inundação fosse analisado.

Tabela 9 - Valores de  $R^2$  para C2 e C3 (cenários de revitalização) em comparação com o C1, por sub-bacia, para cada evento.

Eventos	C2		C3	
	SB6	SB7	SB6	SB7
TR10	0.91	0.94	0.88	0.91
TR25	0.92	0.94	0.89	0.92
Abril	0.94	0.97	0.91	0.95
Maio	0.97	0.98	0.96	0.97

Fonte: A Autora (2022).

Figura 26 - Localização das áreas inundáveis e recorte dos MDTs usados.



Fonte: A Autora (2022).

- **Condições de contorno**

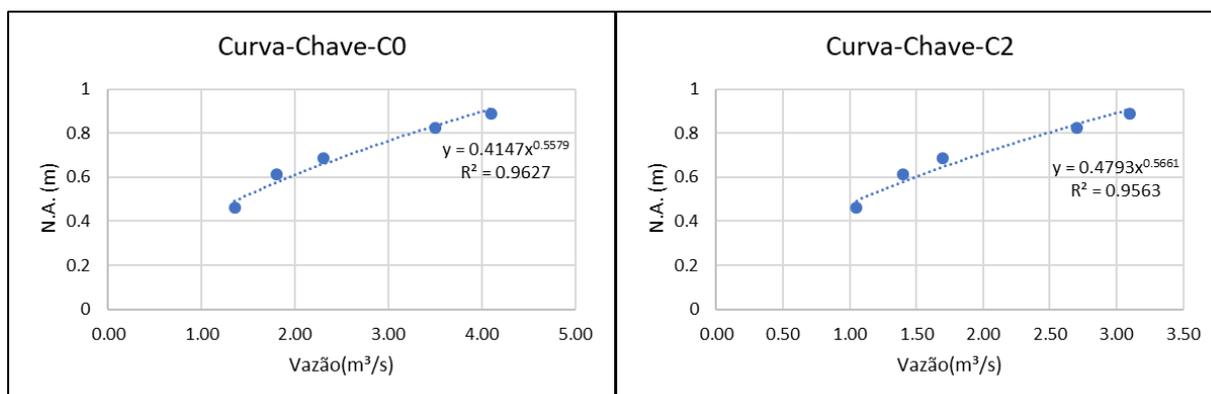
A condição de contorno para montante foi o hidrograma de entrada de cada trecho. Na sub-bacia 6, utilizou-se as contribuições provenientes das sub-bacias à

montante dela, SB3 e SB5. Para a sub-bacia 7, contribuíram as SB6 e SB4. Na condição de contorno de jusante, para ambos os domínios numéricos, foi utilizado a declividade média do trecho analisado.

Devido à ausência de medidores de nível nos trechos de estudo, para a determinação do nível inicial da água foram feitas simulações em escoamento permanente nas vazões iniciais. As condições de contorno adotadas foram a profundidade crítica, a montante, e a declividade do trecho, a jusante. Com isso foi possível estimar as curvas-chave dos trechos.

Para Coqueiral (SB7), as curvas chaves nos cenários de estudo, em todos os eventos foram descritas segundo a Figura 27 e o nível inicial adotado foi de 0,46m.

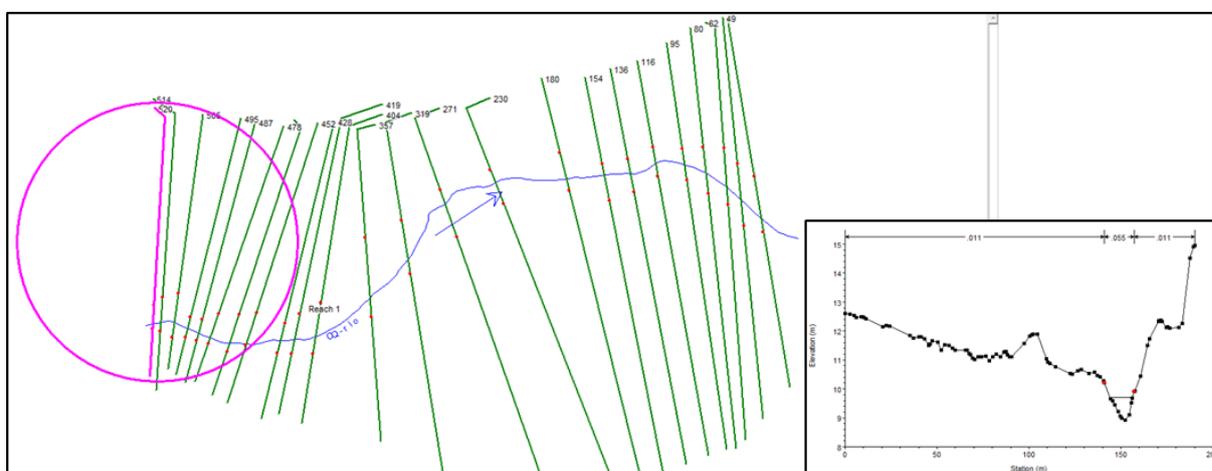
Figura 27 - Curvas-chave Coqueiral.



Fonte: A Autora (2022).

A geometria e a seção de entrada podem ser vistas na Figura 28.

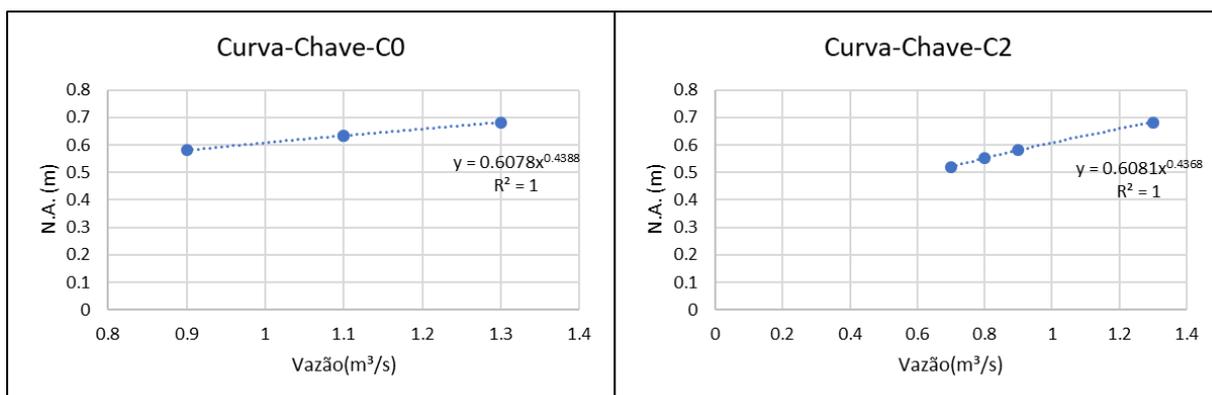
Figura 28 - Geometria do trecho em Coqueiral, com destaque para a seção de entrada.



Fonte: A Autora (2022).

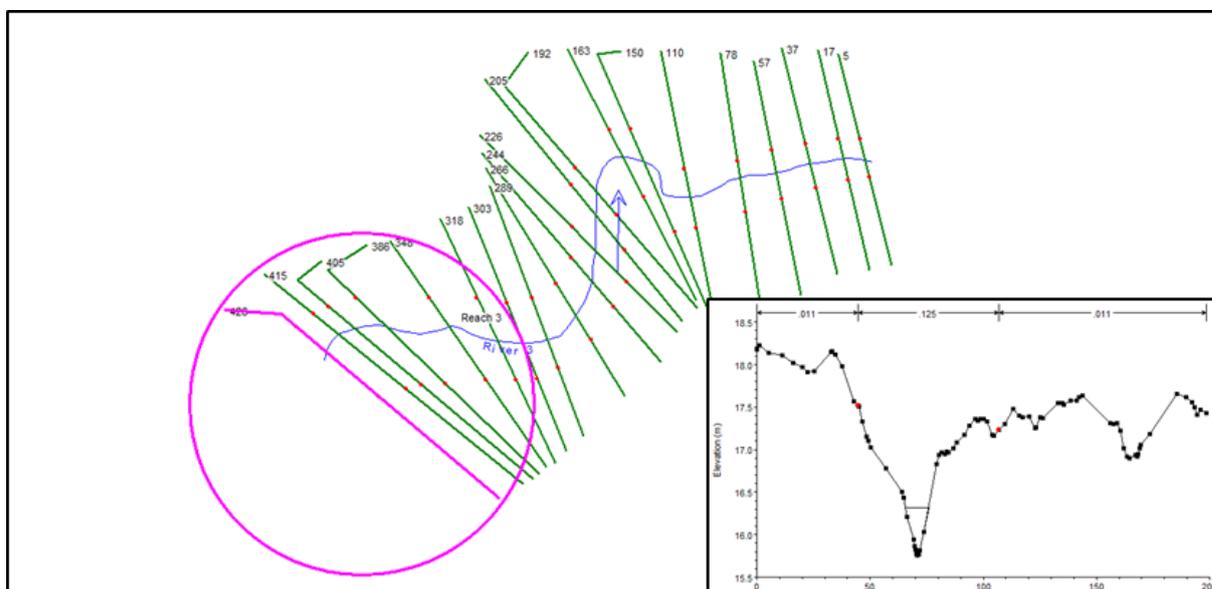
Para Sapo Nú (SB6), as curvas-chave foram descritas segundo a Figura 29 e o nível inicial da água adotado foi de 0,58m. A geometria adotada e a seção de entrada podem ser vistos na Figura 30.

Figura 29 - Curvas-chave Sapo Nú.



Fonte: A Autora (2022).

Figura 30 - Geometria do trecho em Sapo Nú, com destaque para a seção de entrada



Fonte: A Autora (2022).

- **Resumo dos dados de entrada**

Escolhidos os cenários C0 e C2, foi realizada a modelagem hidrodinâmica para os 4 eventos com os dados de entrada descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Dados de entrada para C0 e C2.

Local	Condições de contorno			Malha (m)	
	Montante	Jusante	Nível água inicial	Superfície	Rio e margens
<b>Sapo Nú</b>	Hidrograma de entrada na SB6	Declividade do Trecho	Curva-chave 1D	10x10	6x6
<b>Coqueiral</b>	Hidrograma de entrada na SB7				5.5x5.5

Fonte: A Autora (2022).

A malha computacional escolhida para a região de superfície foi definida em 10x10m e refinada para margens e rios segundo a tabela 10, com o objetivo de retratar com melhor detalhamento essas áreas. Todas as malhas foram superiores à resolução Lidar devido ao custo computacional de sua utilização.

### • Calibração e Validação

Após o evento ocorrido entre os dias 10 e 12 de abril de 2021, foram realizadas as primeiras coletas de dados de altura máxima de inundação para calibração manual do modelo. Para isso, utilizou-se o aplicativo “Hidromapp” (Figura 31), uma ferramenta de geocolaboração utilizada para mapear áreas de risco hidrológico, desenvolvida por Oliveira *et al.* (2018).

Figura 31 - Interface de instalação do aplicativo Hidromapp.



Fonte: Hidromapp (2022).

Com o objetivo de ensinar o manuseio do aplicativo e coletar informações representativas à bacia de estudo, realizou-se o treinamento de alguns membros do Instituto Solidare (Figura 32. A) no dia 16 de abril de 2021. Cada participante recebeu uma fita métrica, uma caneta e um bloco de anotações, para que também pudessem coletar dados quando não houvesse acesso à internet. A apresentação do treinamento encontra-se no apêndice F. As colaborações foram computadas até dia 15 de maio de 2021.

Figura 32 - (A) Treinamento no Instituto Solidare abril/2021; (B) Medições maio/2021.



Fonte: A Autora (2021).

Não foram identificadas colaborações ao aplicativo no intervalo indicado, por isso, as marcas utilizadas para calibração foram aquelas coletadas pela pesquisadora no dia do treinamento em abril (referentes à região de Coqueiral). As marcas medidas em maio foram feitas na mesma região de abril sem o auxílio do aplicativo, por se tratarem de poucos pontos.

Não foi possível calibrar o modelo para Sapo Nú, por haver poucas marcas e apenas para o evento de maio/2021, sendo o resultado das manchas de inundação representativo.

A validação do modelo utilizou esses dados coletados em maio, referentes ao evento ocorrido entre os dias 12 e 14 de maio de 2021, no dia 24 de maio 2021 (Figura 32. B). Para a avaliação do desempenho utilizou-se o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe entre as marcas medidas e calculadas. Para verificar se o modelo superestimou ou subestimou os valores calculados, utilizou-se o coeficiente de determinação  $R^2$  linear.

O coeficiente de Nash-Sutcliffe é dado pela seguinte equação:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (E_{obs} - E_{cal})^2}{\sum_{t=1}^n (E_{obs} - E_m)^2} \quad (11)$$

Onde:  $E_{obs}$  é o valor observado,  $E_{cal}$  é o valor calculado e  $E_m$  é a média da série de valores observados no período. O NSE varia de infinito negativo até o valor máximo de 1.

A avaliação de desempenho é descrita pelos critérios apresentados na Tabela 11. Os valores de Manning adotados estão descritos no fluxograma a seguir (Figura 33).

Tabela 11 - Classificação da avaliação de desempenho da modelagem hidrodinâmica.

Avaliação do desempenho	Coefficiente de Nash-Sutcliffe
Muito bom	$0.75 < NSE < 1.00$
Bom	$0.65 < NSE \leq 0.75$
Satisfatório	$0.5 < NSE \leq 0.65$
Insatisfatório	$NSE < 0.5$

Fonte: Adaptado de Moriasi *et al.* (2007).

Figura 33 - Fluxograma de valores utilizados na modelagem.

Cenário	Coeficiente de rugosidade de Manning ( $\eta$ )		
	Superfícies alisadas	Rio	Áreas Permeáveis
C0 - Sapo Nú	0.011	0.05	-
C2 - Sapo Nú	0.011	0.05	0.125
C0 - Coqueiral	0.011	0.125	-
C2 - Coqueiral	0.011	0.125	0.41

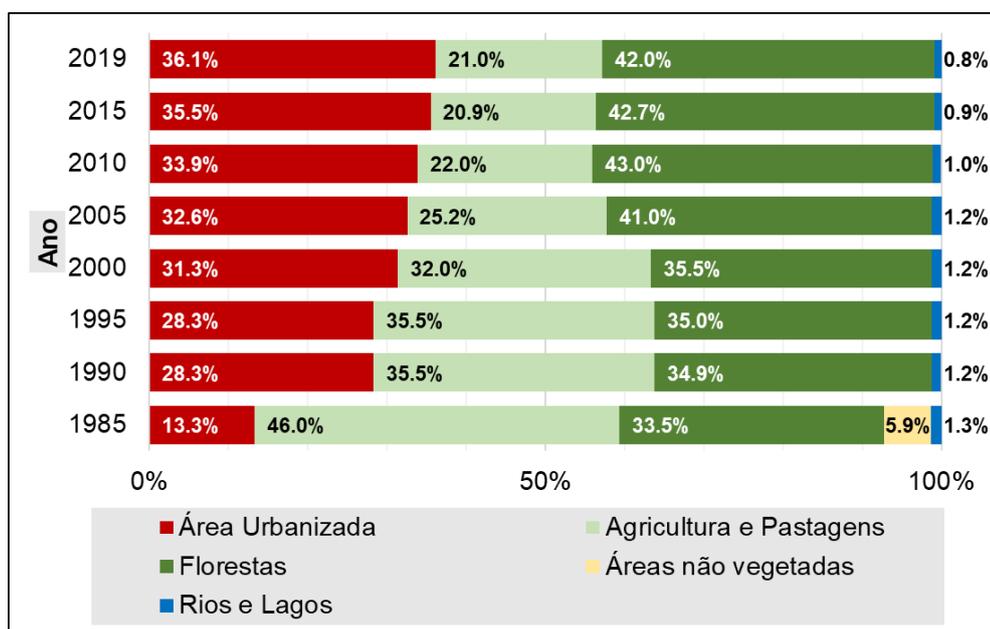
Fonte: A Autora (2022).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise do uso do solo

A figura 34 mostra as informações em termos percentuais do uso do solo e a Figura 35 as distribuição espacial dessas alterações. O apêndice A apresenta os valores absolutos e variações percentuais dessas modificações.

Figura 34 - Variações percentuais dos usos do solo ao longo dos anos na bacia do rio Tejipió.

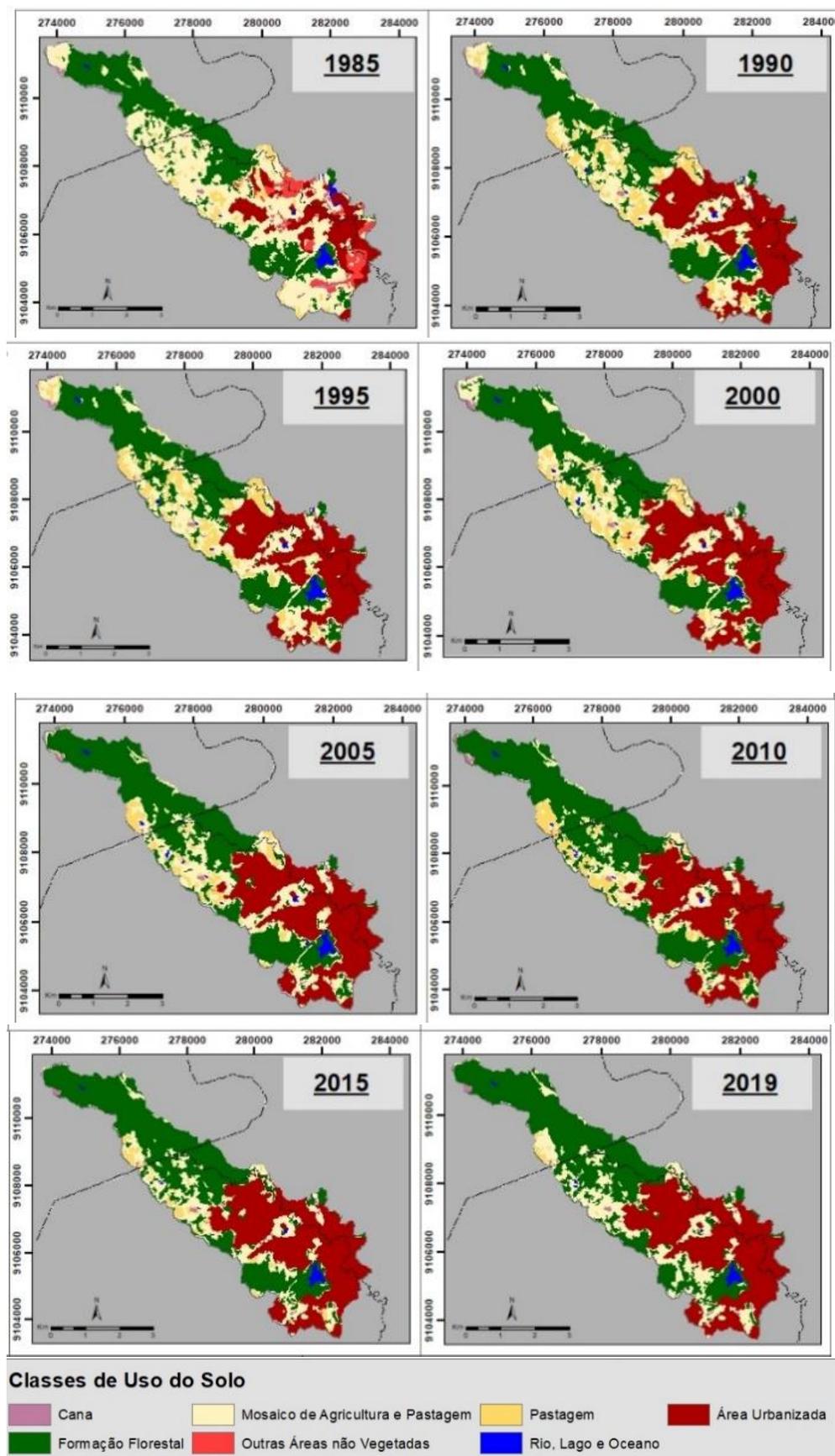


Fonte: A Autora (2022).

Numa análise temporal do uso do solo, verificou-se que em 1985 a bacia de estudo possuía 13,3% de sua área urbanizada e 5,9% de áreas não vegetadas. Nesse ano, a malha urbana já contava com a BR-232, o Distrito Industrial do Curado e os conjuntos habitacionais do Curado (I a V), que foram construídos entre as décadas de 1960 e 1970.

As demais áreas totalizavam 46% de agricultura e pastagem, 33,5% de florestas e 1,3% de rios e lagos. A partir de 1987 foram instituídas as Unidades de conservação Mata de Jangadinha, Mata de São João e Mata de Mussaíba. O possível impacto dessa medida pôde ser visto em 1990, com um aumento da área florestal em 1,5%. Por outro lado, nesse mesmo ano, as áreas urbanas foram acrescidas em 15% (média de 3% ao ano) e as pastagens em 6,7%, reduzindo-se as áreas não vegetadas, de agricultura e massas de água em 5,9%, 17,3% e 0,1%, respectivamente.

Figura 35 - Evolução do solo da bacia de estudo entre os anos de 1985 a 2019.



Fonte: A Autora (2022).

Entre 1990 e 1995 não foram verificadas alterações no uso solo. Com isso, na década de 1990 a 2000, ocorreram poucas modificações, com destaque para um aumento de 3,02%, cerca de 0,3% ao ano, na área urbanizada. De 2005 a 2019 a urbanização segue de maneira reduzida sobre a bacia, uma média de 0,34% ao ano, somando um crescimento de 4,8%. Entretanto, o modo de ocupação tornou-se mais adensado, expandiu-se sobre a planície em direção ao rio, sendo também verticalizado e impermeabilizado. Atualmente a bacia possui 36,1% de sua área urbanizada.

Apesar do crescimento urbano em todo o período, entre 1985 e 2010 as áreas de florestas apresentaram um aumento de 9,53%, porém na última década houve um decréscimo de 1% (cerca de 24ha). Destaca-se ainda uma redução de 12ha nas áreas correspondentes aos rios e lagos de 1985 a 2019.

A redução ou aumento das áreas de massas de água pode ser proveniente do período de análise (seco ou chuvoso) em que as imagens foram classificadas. Todavia, devido à redução gradual dessas áreas e ao avanço da malha urbana em direção aos rios e lagos, pode-se inferir que essas modificações são provenientes das alterações do uso solo, que afetaram a disponibilidade hídrica por meio da retirada de mata ciliar, bem como aterros, recobrimento e canalização de rios e riachos.

## **6.2 Tempo de concentração**

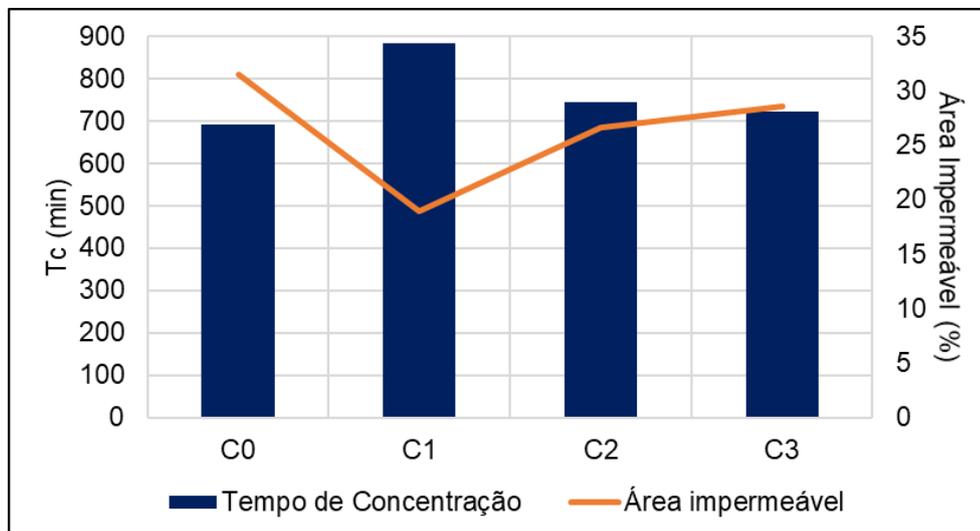
O tempo de concentração variou em função do uso do solo em cada cenário, pois o TC de Desbordes considera em seu cálculo a fração impermeável da bacia. Isso evidencia que os resultados do tempo de concentração são dependentes do método utilizado para sua obtenção.

No cenário C0-Atual, com 31% da área impermeabilizada, o Tc foi de 11h 31min. Para o C1-Pré-Urbanização (1985), 19% da área era impermeável e o Tc foi de 14h43min. Essa redução de 22% no tempo de concentração reflete a rapidez com que a bacia passou a responder aos totais precipitados sobre ela.

Nos cenários de revitalização, C2-Desenvolvimento Sustentável e C3-Valorização de Áreas Verdes, os Tcs foram reduzidos comparados ao C0, porém nenhum deles conseguiu alcançar o Tc do C1. As áreas impermeáveis em C2 e C3 foram de 27% e 29%, respectivamente, o que refletiu em Tcs de 12h25min e 12h03min. Com isso, C2 e C3 aumentaram o Tc da bacia em 8% e 5%.

A Figura 36 demonstra o a variação do tempo de concentração em função das modificações nos percentuais impermeáveis de cada cenário para a bacia de estudo.

Figura 36 - Gráfico da variação do Tc em função das alterações na área urbanizada.



Fonte: A Autora (2022).

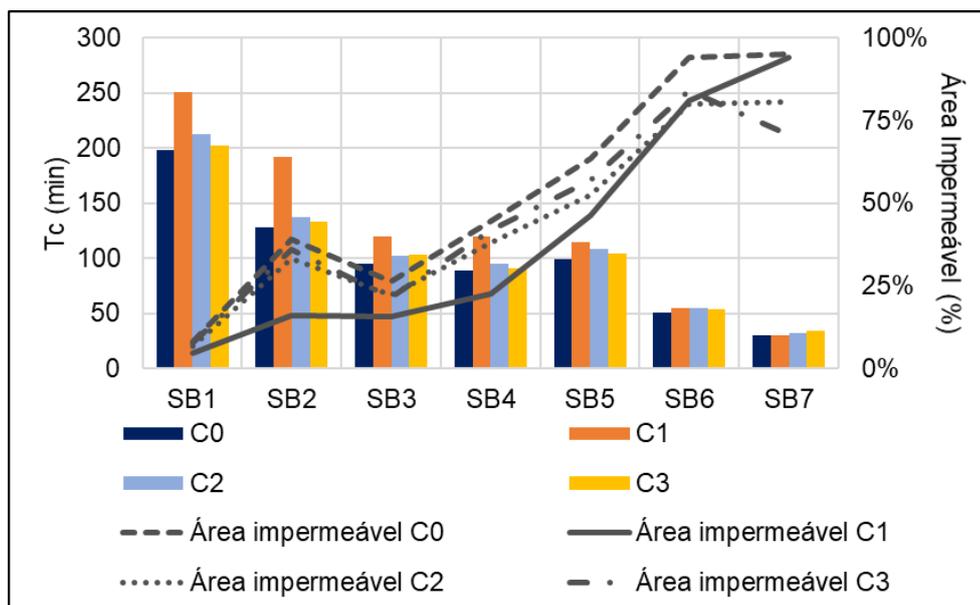
Ressalta-se que, na análise por sub-bacia, as SB6 e SB7 apresentaram diminuições mínimas no Tc entre C1 e C0. Na SB6 o Tc do cenário C1 foi 4min menor que em C0 e na SB7,15 segundos. Isso aconteceu porque já eram bastante urbanizadas. Por outro lado, apesar dos aumentos percentuais nos Tcs dos C2 e C3 parecerem pequenos frente à redução de 22% entre de C1 e C0, os ganhos nessas sub-bacias foram bastante expressivos.

O Tc aumentou em 8% no Tc para as SB6 e SB7 no cenário C2, em relação ao C0. Analisando essas sub-bacias, tendo esse mesmo cenário de referência, C3 apresentou um aumento de Tc em 5,3% e 14,3%, para SB6 e SB7, nessa ordem. Esses resultados foram possíveis porque em C2 as áreas impermeáveis foram reduzidas em 15% e em C3 a valorização das APPs promoveu uma redução dessas sub-bacias em 11% (SB6) e 26% nas (SB7).

Diante disso, afirma-se que, em termos de Tc, as condições do C2 foram mais favoráveis à SB6 e as do C3 à SB7, sendo o primeiro ponto de análise para subsidiar a escolha da abordagem de revitalização a utilizar.

A Figura 37 apresenta os tempos de concentração, em minutos, e os percentuais impermeáveis obtidos por sub-bacia em cada cenário de estudo, complementado em termos absolutos pela Tabela 12.

Figura 37 - Gráfico da variação do Tc, por sub-bacia, em função das alterações na área urbanizada.



Fonte: A Autora (2022).

Tabela 12 - Tempos de concentração dos cenários de análise, por sub-bacia e total, em minutos.

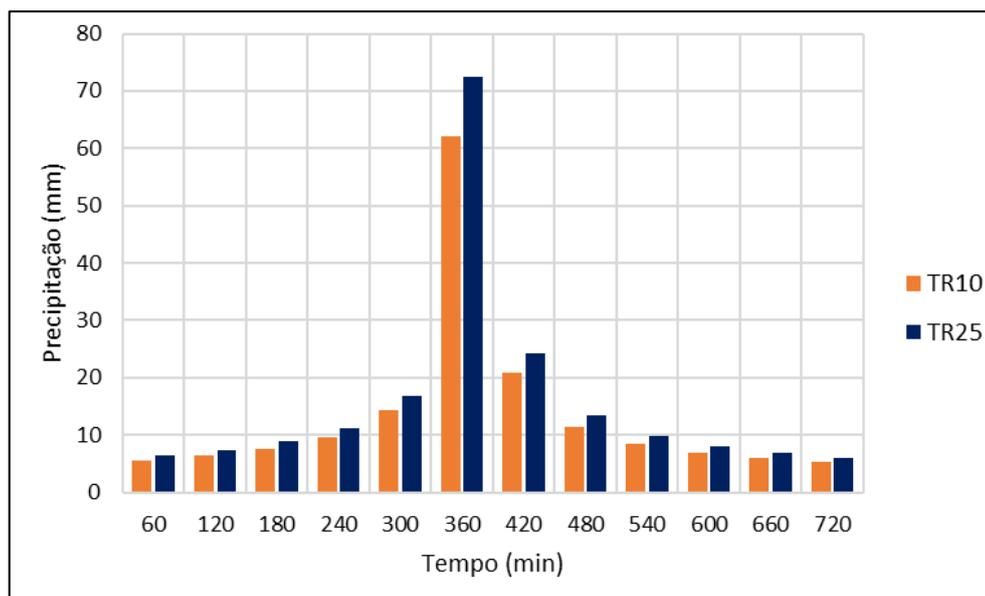
Cenários	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	TOTAL
<b>C0</b>	197,74	128,11	94,99	88,65	99,76	51,29	30,32	690,86
<b>C1</b>	251,12	191,74	119,53	120,41	115,00	54,89	30,47	883,16
<b>C2</b>	212,83	137,92	102,24	95,41	108,47	55,20	32,63	744,70
<b>C3</b>	201,97	133,33	103,42	91,29	104,69	54,00	34,66	723,34

Fonte: A Autora (2022).

### 6.3 Precipitações

A precipitação de projeto teve duração total de 720min ( $D_{cr} > T_c$  no C0), ou 12h, discretizada a cada 60min, com um acumulado de 164mm para TR10 e 191,6mm para TR25. Essas precipitações foram ordenadas pelo método dos blocos alternados (Figura 38) e demonstraram intensidades máximas de 62,1mm/h e 72,3mm/h após 6h do início do evento, para TR10 e TR25, respectivamente. Distribuídas na bacia, ao final do evento, as precipitações teóricas tiveram um volume de 1151mm para TR10 e 1341mm para TR25.

Figura 38 - Hietograma de projeto TR-10 e TR-25.



Fonte: A Autora (2022).

Os hietogramas dos eventos de abril e maio de 2021, por sub-bacia, podem ser vistos nos apêndice D e F. Em abril ocorrem duas chuvas próximas com um intervalo médio de 5 horas, logo, inferior ao  $T_c$ . Por isso elas foram analisadas como um evento único, tendo em vista a influência do primeiro evento sobre o segundo. Isto posto, destaca-se que a SB7 teve as maiores intensidades máximas de precipitação, sendo o primeiro pico de 29,8mm/h e o segundo de 40,6mm/h.

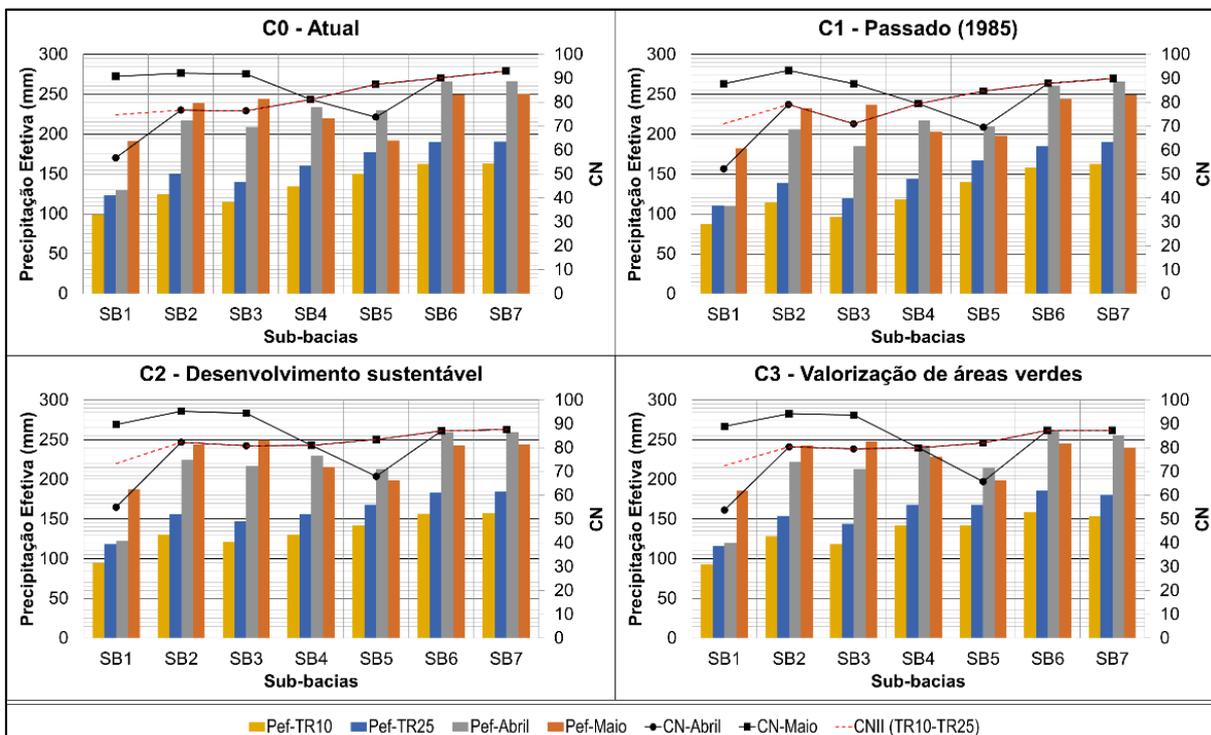
Portanto, mesmo os eventos reais com intensidades máximas inferiores às precipitações teóricas, devido às suas durações muito superiores, os volumes totais precipitados nos eventos reais superaram os teóricos, gerando respostas hidrológicas mais impactantes sobre a precipitação efetiva ( $P_{ef}$ ) de acordo com os cenários de análise.

Os valores de CN variaram de acordo com as características do uso do solo em cada cenário e da condição de umidade em cada evento. Os efeitos dessas variações sobre a  $P_{ef}$  podem ser vistos, por sub-bacias, na Figura 39.

A condição de umidade I nas SB1 e SB5 para o evento de abril diminuiu os valores de CN de tal maneira que provocaram precipitações efetivas semelhantes à  $P_{ef-TR25}$  na SB1, em todos os cenários. Já na SB5 os valores de CN não tiveram a mesma influência, sendo a  $P_{ef}$  da SB5 superior às demais, em todos os cenários. Isso aconteceu porque a condição de umidade teve mais influência sobre o escoamento da SB1, que é uma bacia com mais 90% de áreas florestadas e já possuía um baixo

valor de CN, em relação a SB5. Além disso, nesse evento a SB5 teve os maiores volumes precipitados, 262,8 mm ( $6 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ ).

Figura 39 - Precipitações efetivas e valores de CN, por sub-bacias, nos cenários de análise.



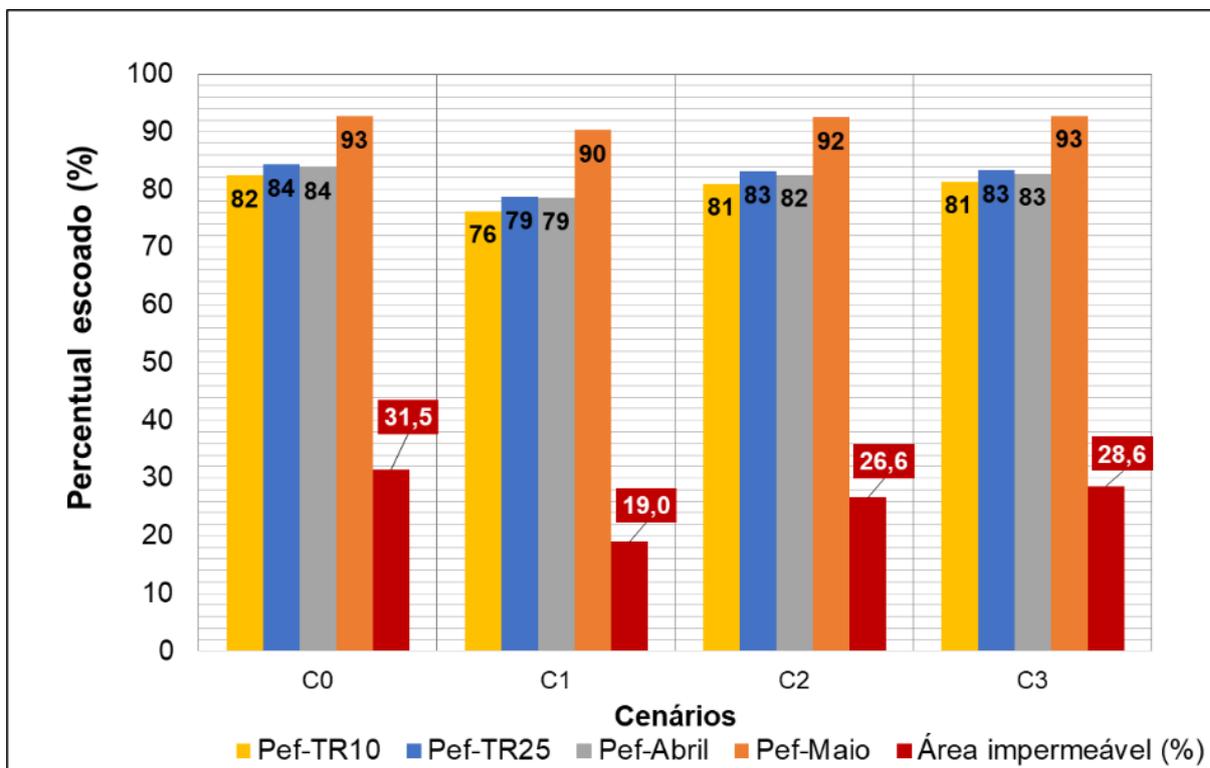
Fonte: A Autora (2022).

A condição de umidade III aplicada às SB1, SB2 e SB3 proporcionou as maiores precipitações efetivas dentre os eventos, pois apesar dos totais precipitados de abril terem sido superiores a maio, o solo encontrava-se úmido, impedindo as perdas iniciais.

As SB6 e SB7 tiveram variações mínimas no CN por serem muito urbanizadas, com valores sempre próximos a 90, sendo visualmente semelhantes (Figura 39) em todas as condições de umidade e cenários.

Os efeitos da urbanização sobre a precipitação efetiva, em cada cenário, podem ser vistos na Figura 40.

Figura 40 - Variação na área urbanizada da bacia em cada cenário *versus* a Pef escoada.



Fonte: A Autora (2022).

No tocante à revitalização, nota-se que o C2 apresentou maior redução na área impermeável (cerca de 5%) em relação a C0, mesmo assim os a precipitação efetiva foi reduzida em apenas 1% (Pef-TR10, TR25 e Maio) e 2% (Pef-Abril). Isso ocorreu porque as sub-bacias mais urbanizadas e responsáveis pela maior parte da precipitação efetiva continuaram com uma extensa área impermeável.

#### 6.4 Hidrogramas resultantes

Por meio do HEC-HMS foram gerados 16 hidrogramas principais para a bacia de estudo, provenientes das 4 precipitações aplicadas aos 4 cenários de revitalização. Foi possível também avaliar os hidrogramas intermediários ao longo das sub-bacias (nos trechos e junções). Dessa maneira, realizou-se uma análise capaz de refletir os impactos causados pelas modificações no uso do solo frente aos cenários de revitalização propostos, refletidos na variação dos valores de CN.

Os 4 eventos chuvosos possibilitaram a compreensão do comportamento do escoamento na região, pois tratavam-se de dois com mesma duração e magnitudes

diferentes e dois medidos, com durações e magnitudes diferentes. Verificou-se, então, o cenário com melhor resposta hidrológica, para que o seu comportamento hidrodinâmico fosse modelado. Com isso, foi possível avaliar se essas melhoras hidrológicas foram suficientes à mitigação das inundações na região e à promoção da revitalização do rio e da bacia.

Os hidrogramas foram simulados para os seguintes intervalos de simulação:

- TR-10 e TR-25 – 01/01/00 as 00h até 02/01/00 as 00h;
- Abril/2021 – 09/04 as 17h até as 13/04 as 10h;
- Maio/2021 – 12/05/21 as 20h até 15/05 as 23h.

A Tabela 13 descreve as principais características dos hidrogramas resultantes (vazão de pico –  $Q_p$ , tempo de pico –  $t_p$ , tempo de base –  $t_b$  e volume total escoado na  $Q_p$ ).

Tabela 13 - Características principais do hidrograma resultante

Cenários	TR 10				TR 25			
	$Q_p$ ( $m^3/s$ )	$T_p$ (h)	$T_b$ (h)	Volume ( $10^3m^3$ )	$Q_p$ ( $m^3/s$ )	$T_p$ (h)	$T_b$ (h)	Volume ( $10^3m^3$ )
<b>C0</b>	114.9	10	23	413.64	140.3	08	23	505.08
<b>C1</b>	90.3	11	24	325.08	111.8	09	24	402.48
<b>C2</b>	109.7	10	24	394.92	133.9	08	24	482.04
<b>C3</b>	111.9	10	23	402.84	136.8	08	23	492.48
	<b>Abril/2021</b>				<b>Mairo/2021</b>			
<b>C0</b>	79.8	54	66	287.28	89.9	18	71	323.64
<b>C1</b>	66.6	35	68	239.76	77.7	18	72	279.72
<b>C2</b>	75	54	66	270	87.3	18	71	314.28
<b>C3</b>	76.9	54	66	276.84	88.8	18	71	319.68

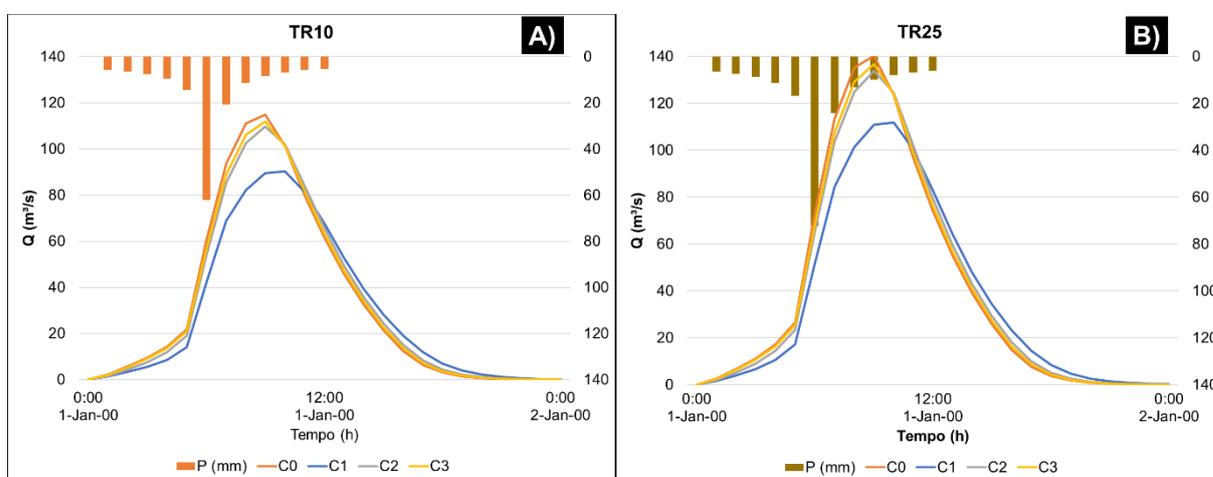
Fonte: A Autora (2022).

Os tempos de base e de pico ocorreram em momentos semelhantes, apesar dos diferentes cenários, porque são diretamente relacionados com o tempo de concentração. Esses por sua vez apresentaram poucas variações (C0-11h31min; C1-14h43min; C2-12h25min; C3-12h03min), devido à metodologia escolhida para o cálculo do  $T_c$ .

➤ **TR-10** - A Figura 41-A apresenta os hidrogramas de escoamento superficial gerados para os 4 cenários, no tempo de retorno TR-10. Os tempos de pico ocorreram em 10h (C0, C2 e C3) e 11h (C1), 3 horas depois do pico do hidrograma para C0, C2 e C3 e 4 horas para C1. Comparando-se as vazões de pico de C0 e C1, houve um aumento de 27%. Em contrapartida, os C2 e C3 reduziram a  $Q_p$  em 4,5% e 2,6%, respectivamente.

➤ **TR-25** - A Figura 41-B resume as características do hidrograma de escoamento superficial do TR-25. Nesses cenários há maiores valores de precipitação efetiva em relação a TR-10 e, por isso, maiores vazões de escoamento superficial, por se tratar de um evento que ocorre com menos recorrência que o anterior. Por outro lado, os tempos de pico e de base do hidrograma TR-25 foram iguais aos TR-10. Na comparação entre C1(pré-urbanização) e C0(atual),  $Q_p$  teve um aumento de 25% no C0 e os C2 e C3 reduziram a  $Q_p$  em 4,6% e 2,5.

Figura 41 - Hidrogramas resultantes: A) TR-10 e B) TR-25.



Fonte: A Autora (2022).

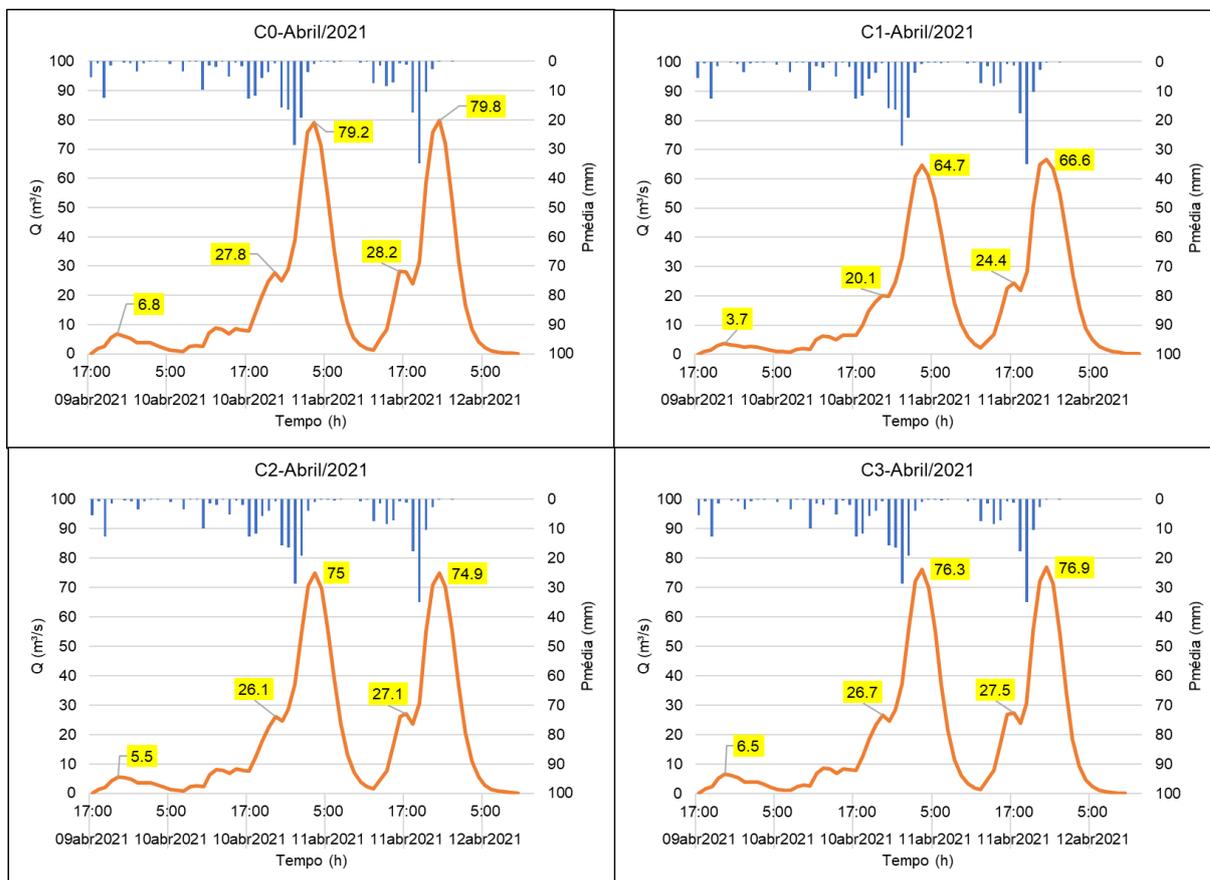
Os eventos medidos possuem características específicas e comportamentos diferentes dos anteriormente apresentados, por isso, foram comparados entre si.

➤ **Abril/2021**- O hidrograma desse evento possui dois picos máximos, o primeiro após 35 horas do início do evento (dia 11/04 às 3h) e o segundo em 54 horas (dia 11/04 às 22h), ambos coincidentes para todos os cenários. Esse comportamento foi reflexo do intervalo de aproximadamente 8h com precipitações inferiores a 1mm/h no hidrograma medido, mas que continuou influenciando as vazões escoadas. Esses picos ocorreram 2h após os picos de precipitação (primeiro 29mm e segundo de 35mm) e podem ser vistos na Figura 42.

Mesmo com um aparente tempo de base longo para todo o evento (66h para C0, C2 e C3, e 68h para C1), quando o hidrograma é particionado em dois, inicia sua primeira resposta superior a 10m<sup>3</sup>/s, em direção ao pico, no dia 10/04 as 18h, chegando ao pico 9h depois (dia 11/04 as 3h) e após 20h (11/04 as 12h) decai para

vazões inferiores a  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na sequência, dia 11/04 as 13h volta a subir, chegando ao pico 10h depois e cessando em 22h ( $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Figura 42 - Hidrogramas resultantes: Abril/2021.

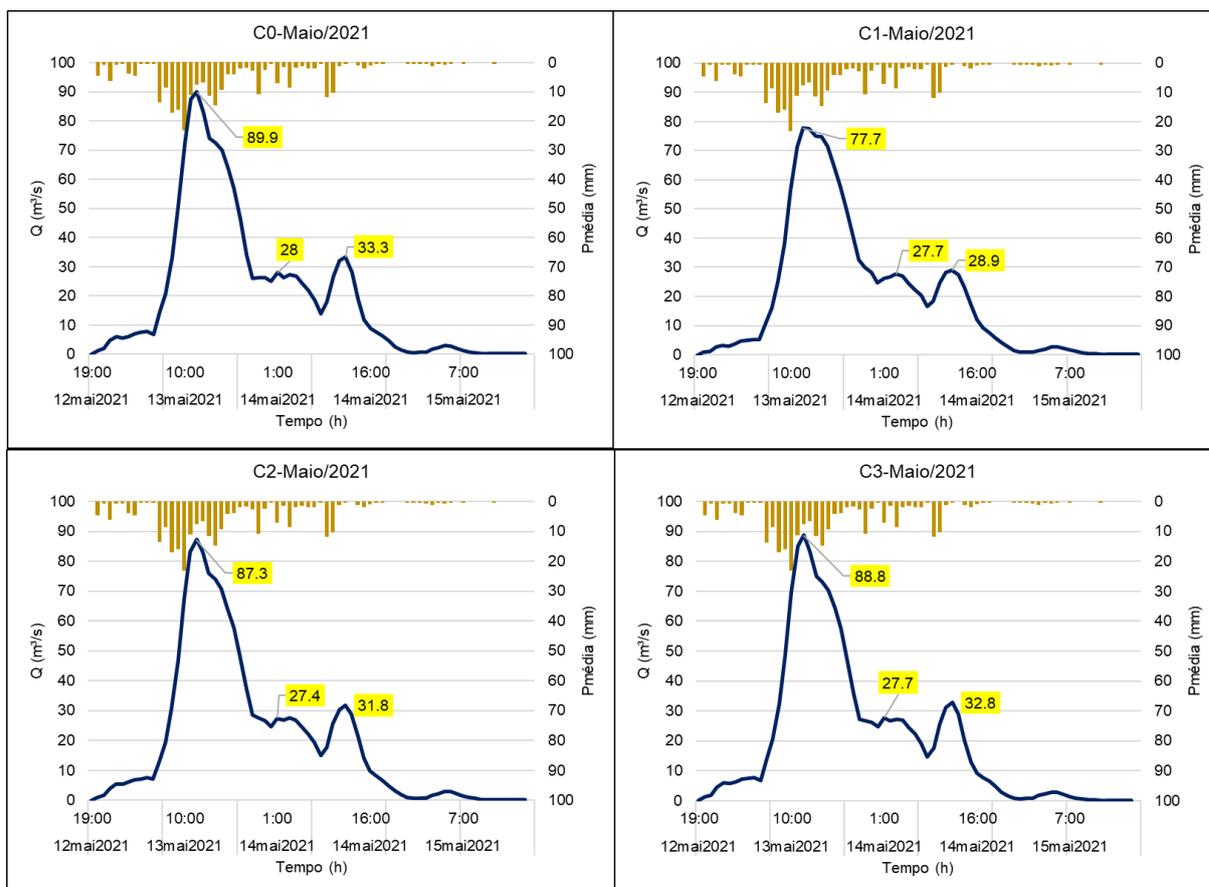


Fonte: A Autora (2022).

➤ **Mai/2021** – O hidrograma desse evento tem o pico máximo único e muito próximo ao seu início, diferentemente daqueles vistos em abril. Foi um evento mais longo (60h de precipitação), mas com intensidade máxima média de  $23 \text{ mm/h}$ , inferior aos de abril, mas vazões superiores, cerca de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  a mais em todos os cenários. Esse comportamento se deu por causa da condição de umidade inicial (III) das SB1, SB2 e SB3, que considera a diminuição da sua capacidade infiltração devido à quantidade de água no solo. Isso fez com que essas áreas mais vegetadas passassem a escoar uma maior vazão ao exutório, juntamente com aquelas impermeabilizadas.

A Figura 43 apresenta os valores das vazões nos principais picos de precipitação do evento, demonstrando seu tempo de recessão mais alongado.

Figura 43. Hidrogramas Resultantes: Maio/2021



Fonte: A Autora (2022).

#### 6.4.1 Características dos hidrogramas

Nesse item são descritas análises comparativas das características dos hidrogramas dentre os cenários. Dessa maneira, avaliou-se as reduções percentuais das vazões (Tabela 14) e dos totais escoados em relação a C0, como também dos coeficientes de correlação entre C1 e C2 e C1 e C3.

Tabela 14 - Reduções percentuais das vazões de pico ( $Q_p$ ) em relação ao cenário atual (C0).

Evento	$\Delta\%Q_p$		
	C1	C2	C3
<b>TR10</b>	-21.41	-4.53	-2.61
<b>TR25</b>	-20.31	-4.56	-2.49
<b>Abril/2021</b>	-16.54	-6.02	-3.63
<b>Mai/2021</b>	-13.57	-2.89	-1.22

Fonte: A Autora (2022).

Nota-se que as reduções nas Qps foram muito pequenas para atingir o cenário de pré-urbanização (C1), semelhantes as Qps de C0, pois a concepção desses cenários visou uma intervenção mínima e estava ligada apenas às modificações dos valores de CN por meio de modificações no uso do solo.

Os volumes totais escoados (Tabela 15) também foram semelhantes aos de C0, diminuindo em poucos pontos percentuais os volumes escoados. O principal motivo desse comportamento foi o baixo impacto da concepção dos cenários sobre as SBs mais urbanizadas (SB6 e SB7), que mantiveram mais de 75% da sua área impermeável nos cenários de revitalização.

Tabela 15 - Volumes escoados nos eventos (valores absolutos e percentuais do total da precipitação).

Cenário	TR10		TR25		Abril/2021		Maio/2021	
	volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	%	volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	%	volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	%	volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	%
<b>C0</b>	2884	72.4	3495	75.3	4513	70.9	5158	90.2
<b>C1</b>	2598	65.2	3190	68.7	4101	64.5	4960	86.7
<b>C2</b>	2841	71.3	3450	74.3	4430	69.6	5151	90.1
<b>C3</b>	2853	71.6	3461	74.5	4438	69.7	5166	90.3

Fonte: A Autora (2022).

Ressalta-se que as características fisiográficas dessas bacias indicam baixa propensão a enchentes, pois o coeficiente de compacidade de ambas é superior a 1,5 e o fator de forma inferior a 0,5. Ainda nesse sentido, verificou-se que a SB6 possui uma boa densidade de drenagem ( $DD \geq 1,5 \text{ km/km}^2$ ), o que indica uma capacidade de escoamento rápido ao curso d'água principal, fazendo com que as enchentes fossem incrementadas, conjuntamente à impermeabilização e a alta sinuosidade (56%) do rio da SB6 (MANSIKKANIEMI, 1970) aumentando o escoamento superficial e o retém no interior da sub-bacia, pois os meandros diminuem sua velocidade.

A SB7 possui um rio reto (sinuosidade de 25%), tendo maior velocidade de escoamento para jusante, e é uma sub-bacia excepcionalmente bem drenada ( $DD \geq 3,5 \text{ km/km}^2$ ), ou seja, a velocidade com que a água atinge o rio principal é muito maior, incrementando as vazões para jusante (VILLELA e MATOS, 1975), mas também ao longo do seu curso devido as baixas cotas em sua planície de inundação. Dessa maneira, pode-se dizer que a SB7 é uma bacia de resposta rápida.

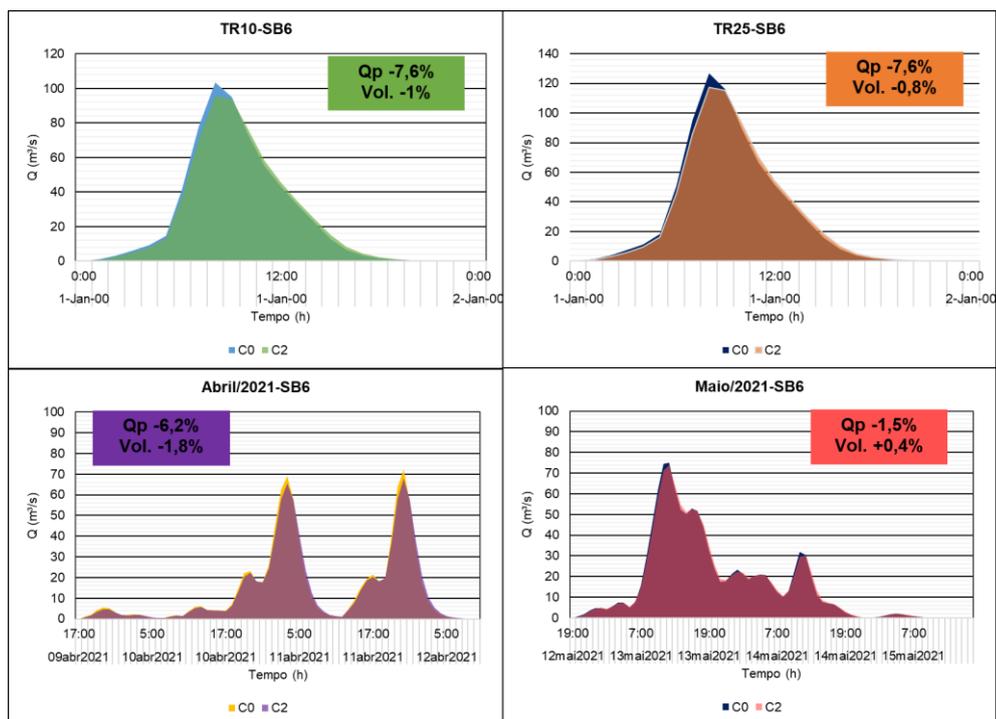
Portanto, a influência das intervenções antrópicas nessas regiões se sobrepõe às características naturais do escoamento superficial, fazendo com que, na prática, a região sofra inundações. Do ponto de vista demográfico, essas são áreas são muito povoadas, logo, têm uma grande população exposta aos efeitos das inundações. As SB6 e SB7 possuem, no cenário C0, uma densidade demográfica média de 758hab/ha e 774hab/ha, respectivamente.

Diante desse panorama, verificou-se que o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) das vazões de C2 em relação a C1, nas entradas das SB6 e SB7, tinha melhores resultados em todos os eventos (Tabela 9). As figuras 39 e 40 apresentam as reduções percentuais das vazões de pico e volume entre o C0 e C2 nas SB6 e SB7.

Mesmo com o aumento das áreas permeáveis pela substituição de 15% das áreas impermeáveis (vias, estacionamentos e passeios), as vazões de pico foram reduzidas em poucos percentuais (à semelhança da bacia de estudo), nem os tempos de base aumentados. As maiores reduções da vazão de pico ocorreram com valores iguais, para os eventos de precipitação teóricos (TR-10 e TR-25), -7,6% na SB6 e -7,3% na SB7. A maior redução no volume ocorreu no evento de abril -1,8% para as duas SBs.

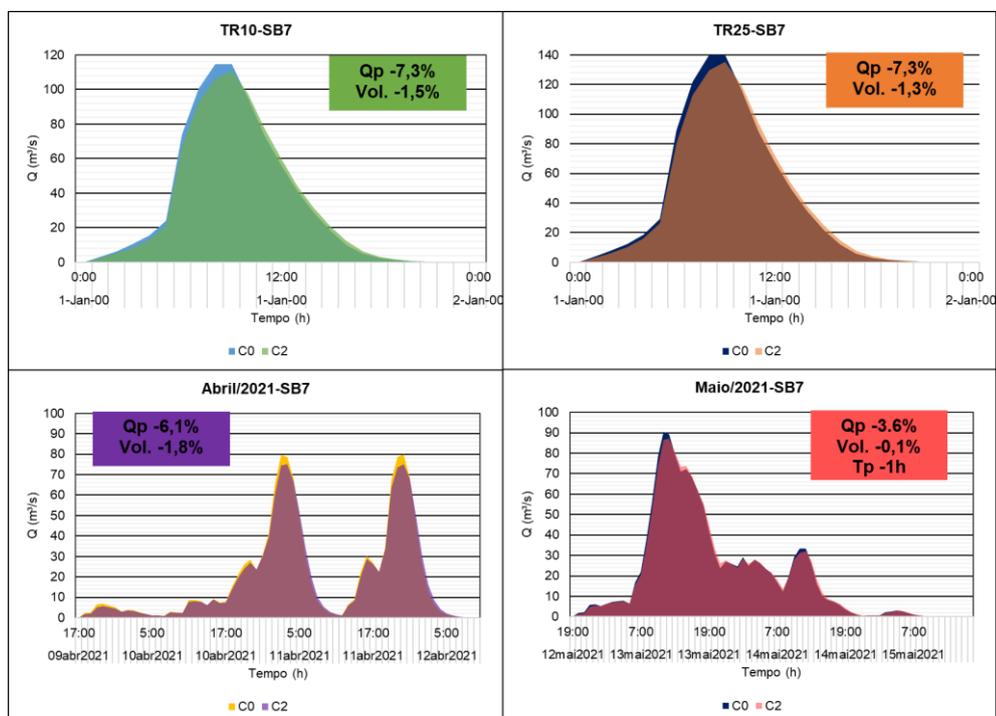
O baixo desempenho dos resultados, cerca de 15% menor do que o esperado (reduções de  $Q_p$  semelhantes a C1) é reflexo da dificuldade de incorporação da concepção de GBIs e das técnicas LID em locais com densa urbanização, baixa permeabilidade do solo e pouca inclinação do terreno (FLAGSTAFF, 2009). Tal afirmativa pode ser corroborada nos resultados do estudo de Tavanti & Barbassa (2012), em que os autores consideraram a criação de 25% de área de cobertura vegetal e o aumento de áreas permeáveis em 17%, na sub-bacia do Rio do Monjolinho, no município de São Carlos-SP. Houve uma redução de 21% da vazão de pico, e 26,9% do volume na comparação entre um cenário de desenvolvimento convencional e outro com o uso de técnicas de LID.

Figura 44 - Hidrogramas de entrada na SB6 comparando as variações de Qp e vol em C0 e C2.



Fonte: A Autora (2022).

Figura 45 - Hidrogramas de entrada na SB7 comparando as variações de Qp e vol em C0 e C2.



Fonte: A Autora (2022).

## 6.5 Simulação da inundação

A simulação buscou reproduzir o possível comportamento das cheias provocadas pelas precipitações anteriormente estudadas, no cenário atual (C0) e no cenário de revitalização (C2-Desenvolvimento Sustentável). Os trechos de interesse foram as entradas das sub-bacias SB6 e SB7, nas regiões de Sapo Nú e Coqueiral, apresentados na metodologia.

A simulação não permanente 2D foi satisfatória, pois buscava-se avaliar as modificações no uso solo (por meio da variação de Manning) na planície de inundação e retratar bacias de resposta rápida (USACE, 1993). Porém, nesse trabalho, são apresentados os valores de cheias máximas, tornando-as o foco principal de mitigação, tendo em vista que, reduzindo-se as consequências da vazão de pico, as vazões inferiores a ela podem ser resolvidas.

### 6.5.1 Manchas de inundação

As vazões simuladas, juntamente com as condições de contorno descritas na metodologia proporcionaram a comparação das manchas de inundação em cada cenário.

- **Calibração e Validação**

Foi possível calibrar e validar a cheia máxima para o cenário C0-Atual em Coqueiral a partir dos dados levantados pela autora e listados na Tabela 16. Tal tabela também apresenta as profundidades calculadas pelo modelo.

Na calibração das marcas os as métricas de desempenho apresentaram uma boa performance e na validação satisfatória, segundo o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (Tabela 17). Os valores de  $R^2$  também apresentaram bons resultados, tendo sido usado, principalmente, para verificar se o modelo subestimava ou superestimava os valores de profundidade.

Tabela 16 - Profundidades calculadas e medidas em Coqueiral.

Profundidades (m)			
Calibração (Abril/2021)		Validação (Maio/2021)	
Medida	Calculada	Medida	Calculada
0.87	1	0.3	0.21
1.58	1.29	1.3	0.92
0.95	1.03	1.5	1.05
1.21	1.04	1.36	1.03
1.1	1.1	0.65	0.87
1.06	1.16	1.1	0.93
0.78	0.77	1.4	1.36
0.52	0.76	1.34	1.24
-	-	1.1	0.87
-	-	1.4	1.1

Fonte: A Autora (2022).

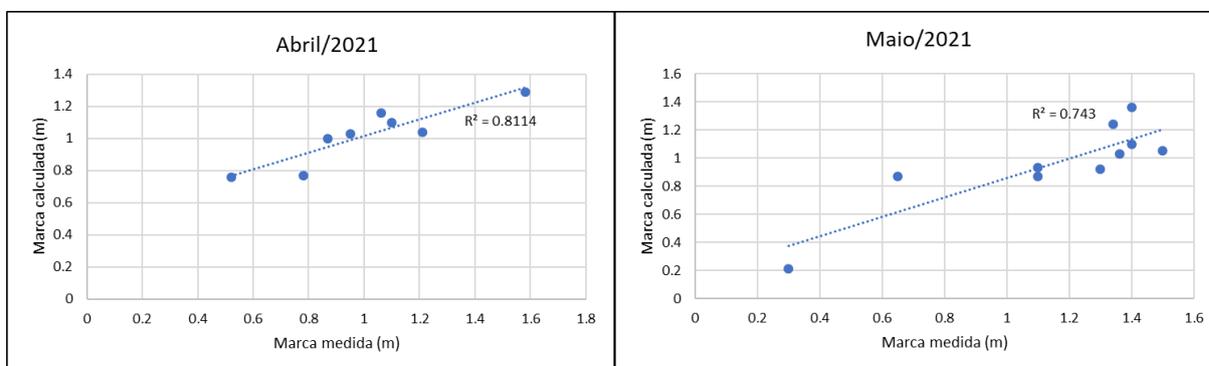
Tabela 17 - Resultado das métricas de desempenho para as marcas de cheia em Coqueiral no C0.

Evento	Avaliação do desempenho	Coefficiente de Nash-Sutcliffe	R <sup>2</sup>
<b>Abril/2021</b>	Bom	0.71	0.81
<b>Maio/2021</b>	Satisfatório	0.50	0.74

Fonte: A Autora (2022).

Nos eventos de abril/2021 o R<sup>2</sup> foi mais próximo de 1 que em maio/2021, com a maior parte dos valores calculados acima dos medidos. Já na simulação de maio, o modelo subestimou as marcas, mas ainda teve bons resultados. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 46 , a seguir.

Figura 46 - Valores medidos e observados nos eventos de Abril e Maio/2021 em Coqueiral.



Fonte: A Autora (2022).

De maneira semelhante Lima Neto *et al.* (2020) avaliaram o desempenho da modelagem hidrodinâmica 2D do HEC-RAS com dados sub-diários de eventos extremos de cheia na bacia hidrográfica do rio Una. Durante o estudo os autores descrevem que houve uma boa concordância entre os mapas de inundação medidos e simulados, exceto em uma área onde a inundação superestimou os limites levantados em campo.

- **Áreas afetadas**

Os resultados obtidos demonstraram-se representativos, auxiliando na redução percentual de áreas inundadas frente à aplicação das técnicas de revitalização. Na Tabela 18 são comparados os cenários C0 e C2 em Coqueiral. As áreas atingidas pelas inundações tiveram reduções inferiores a 2%, com exceção do evento de abril com uma redução de aproximadamente 4%. As profundidades também foram reduzidas.

Por outro lado, em Sapo Nú as variações foram positivas, sendo acrescidas as áreas afetadas e as profundidades. Esse comportamento pode ser em virtude de sua sinuosidade, que na simulação levou em consideração o aumento áreas permeáveis, aumentando o tempo de detenção na bacia.

Tabela 18 - Variações percentuais entre C0 e C2 quanto às áreas atingidas e profundidades máximas.

<b>Coqueiral</b>				
	TR-10	TR-25	Abril/2021	Maio/2021
<b>Δ% Áreas atingidas</b>	-1.6	-1.8	-3.9	-1.1
<b>Δ% Profundidade Máxima</b>	-1.4	-1.5	-1.9	-1.2
<b>Sapo Nú</b>				
	TR-10	TR-25	Abril/2021	Maio/2021
<b>Δ% Áreas atingidas</b>	15.09	17.31	20.71	20.94
<b>Δ% Profundidade Máxima</b>	8.18	11.92	5.65	7.53

Fonte: A Autora (2022).

Ao mapearem as áreas de inundação na bacia hidrográfica do Rio Granjeiro, no Crato, frente a uma chuva de projeto de TR de 100 anos, Cabral *et al.* (2016) identificaram que cerca de 19% da área urbana seria afetada. Os autores destacam que os bairros mais afetados seriam aqueles que possuem uso desordenado do solo

por conta de desmatamentos, queimadas, ocupações ilegais nas margens e leito fluvial, poluição hídrica, canalização artificial do rio, entre outros. Isso demonstra que o processo de revitalização é fundamental à redução da vulnerabilidade dessas regiões.

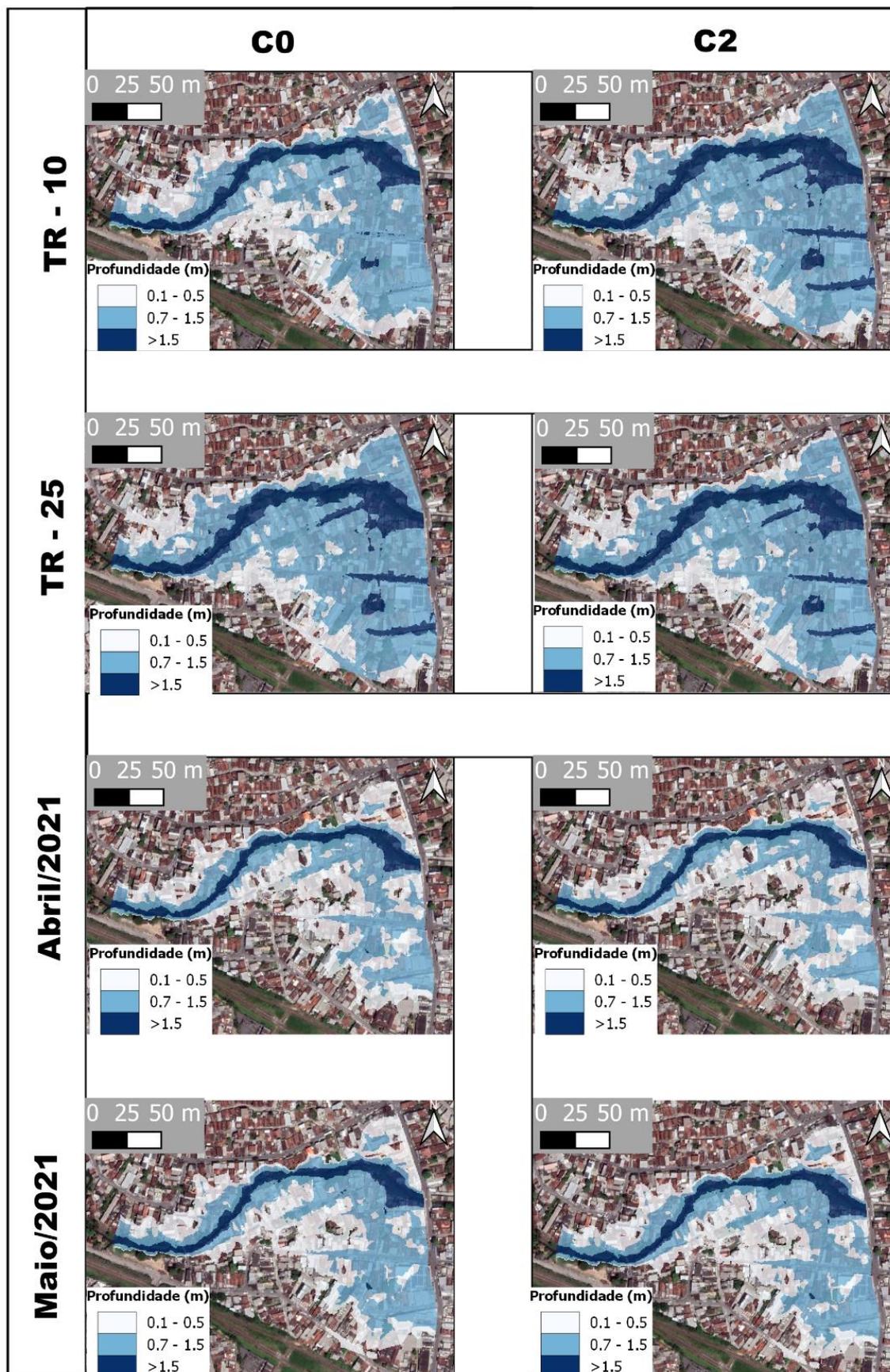
Para compreender melhor as dimensões e impactos desses eventos, as manchas de inundação foram categorizadas de acordo com as profundidades, em cinco níveis, segundo a classificação desenvolvida por Zonensein (2007), descrita na Tabela 19. As figuras 47 e 48 ilustram graficamente a distribuição das cotas dos cenários em cada evento.

Tabela 19 - Faixas de normalização da cota de inundação.

<b>Profundidade (m)</b>	<b>Efeitos</b>
<b><math>C \leq 0.1</math></b>	Água nas ruas (menor que meio-fio: 0,15m)
<b><math>0.1 &lt; C \leq 0.5</math></b>	Ruas, parques, passeios, canteiros, quintais e estacionamentos. Interrupção no tráfego de veículos e pessoas. Água invade casas com soleiras próximas ao nível das calçadas.
<b><math>0.5 &lt; C \leq 0.7</math></b>	Invasão do interior de casas, causando danos a sua estrutura e interior.
<b><math>0.7 &lt; C &lt; 1.5</math></b>	Água atinge praticamente todos os bens no interior das casas.
<b><math>C \geq 1.50</math></b>	Perda de bens e afogamentos.

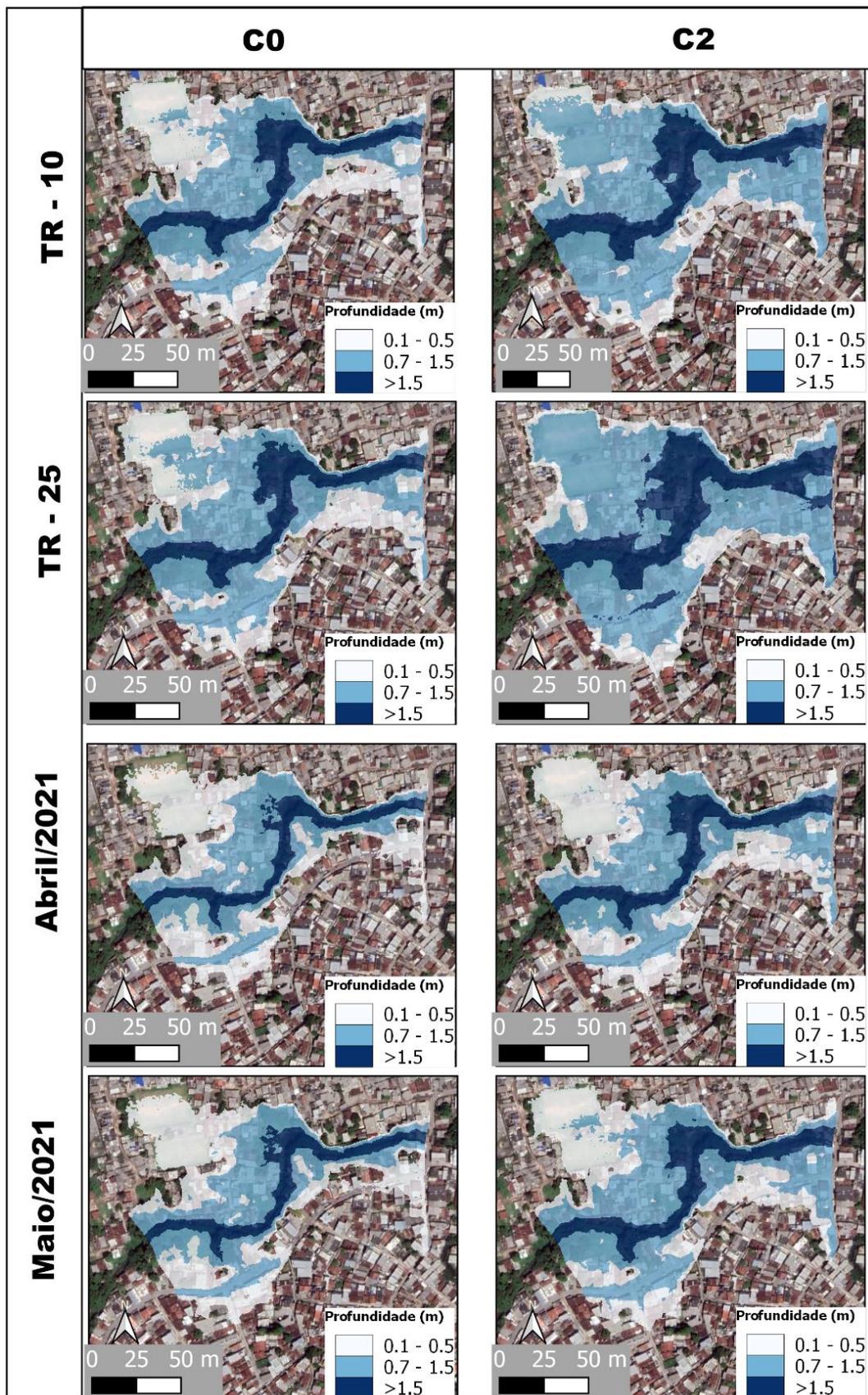
Fonte: Adaptado de Zonensein (2007).

Figura 47 - Mapas de profundidade por cenários e eventos em Coqueiral.



Fonte: A Autora (2022).

Figura 48 - Mapas de profundidade por cenários e eventos em Sapo Nú.



Fonte: A Autora (2022).

Em Coqueiral, todos os cenários apresentaram a maior parte das áreas com pixels acima de 0,7m e abaixo de 1,5m de profundidade. As regiões de maior profundidade são referentes ao curso do rio e suas margens (que estão ocupadas), em média, 13,5% da área inundada em C0 e 13,1% em C2. Destaca-se ainda, na parte final do trecho, a elevação das profundidades na margem direita (Figura 47), onde existe um tributário (Figura 18.4A) que se encontra canalizado, assoreado e estrangulado.

Em Sapo Nú a maior parte das áreas encontram-se no mesmo limiar que Coqueiral, porém, em C0 15,9% das áreas inundadas tinham, em média, o limiar maior que 1,5m, tendo sido elevado em C2 para 20%. As áreas com menor limiar foram reduzidas, enquanto as de limiar intermediário também foram acrescidas. Na Tabela 20 é possível ver os percentuais por limiar, de maneira detalhada.

Tabela 20 - Percentual de áreas por limiar de profundidades atingidas.

Evento	Cenário	% Área		
		Limiar(m)		
		0.1<C≤0.5	0.7<C<1.5	C≥1.50
<b>Coqueiral</b>				
TR10	C0	32.9	54.3	12.8
	C2	35.1	52.5	12.4
TR25	C0	23.6	57.8	18.6
	C2	25.2	57.8	17.0
Abril/2021	C0	46.7	42.0	11.3
	C2	49.2	39.3	11.5
Maio/2021	C0	42.6	46.1	11.3
	C2	43.8	44.9	11.3
<b>Sapo Nú</b>				
TR10	C0	40.9	42.6	16.5
	C2	20.7	58.7	20.6
TR25	C0	34.2	47.7	18.1
	C2	15.0	58.1	26.9
Abril/2021	C0	47.9	37.7	14.4
	C2	42.9	41.2	15.9
Maio/2021	C0	47.7	37.5	14.8
	C2	37.4	45.8	16.8

Fonte: A Autora (2022).

A variação percentual das profundidades entre o cenário C0 e o C2 pode ser vista na Tabela 21. Em Coqueiral, houve um acréscimo ao limiar mínimo e redução

dos demais limiares em todos os eventos, exceto no limiar médio no TR25 e no limiar máximo em maio/2021, que não apresentaram variação.

Para Sapo Nú o sentido foi contrário, como já verificado anteriormente. O limiar inferior teve reduções superiores a 4,9%, chegando a mais de 20%, no TR10. Os demais limiares apresentaram acréscimo. Esse comportamento demonstrou que em Sapo Nú deve-se buscar alternativas a montante do trecho e que alternativas de aumento do tempo de concentração da bacia por meio de modificações no valor de Manning podem provocar cheias ainda maiores em bacias sinuosas.

Tabela 21 - Variação % das profundidades entre C0 e C2, por limiar e por evento.

<b>Coqueiral</b>				
<b>Cota(m)</b>	<b>Δ% C0-C2</b>			
	TR10	TR25	Abril/2021	Maior/2021
<b>0.1&lt;C≤0.5</b>	2.1	1.6	2.5	1.2
<b>0.7&lt;C&lt;1.5</b>	-1.7	0.0	-2.7	-1.2
<b>C≥1.50</b>	-0.4	-1.6	0.1	0.0

<b>Sapo Nú</b>				
<b>Cota(m)</b>	TR10	TR25	Abril/2021	Maior/2021
<b>0.1&lt;C≤0.5</b>	-20.2	-19.3	-4.9	-10.3
<b>0.7&lt;C&lt;1.5</b>	16.1	10.4	3.4	8.4
<b>C≥1.50</b>	4.1	8.8	1.5	2.0

Fonte: A Autora (2022).

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A bacia de estudo demonstrou pouca diversidade de uso do solo no cenário atual, sendo prioritariamente coberta por florestas – que estão concentradas em sua parte alta –, seguida de áreas urbanizadas, agricultura e pastagem. A análise temporal demonstrou que a cobertura florestal foi acrescida em cerca de 10% nos últimos 35 anos (1985-2019) de maneira difusa na bacia, porém não influenciou a redução dos tempos de concentração ou escoamento superficial. Isso ocorreu porque esse aumento não foi suficiente para diminuir os valores de CN nas sub-bacias na mesma proporção que a expansão das áreas urbanas, que cresceram aproximadamente 23% e de maneira localizada, principalmente nas sub-bacias 5, 6 e 7, aumentando os valores de CN.

Os cenários de revitalização foram baseados na metodologia de abordagem intervencionista a nível de bacia hidrográfica e socioambiental com intervenções mínimas, por meio de alterações no uso do solo (modificando CN e Manning), porque a pesquisa deparou-se com os seguintes fatores limitantes:

- Os solos identificados na bacia (grupo hidrológico C) têm taxa de infiltração entre 4mm/h e 1,5mm/h, que é inferior ao mínimo (7,6mm/h) para a implantação de técnicas LID de infiltração e percolação. Além disso, o nível do lençol freático requerido é de pelo menos 1,2m e este não foi identificado nessa pesquisa;
- O padrão construtivo da maior parte das residências não permitiria o uso de outras técnicas de controle na fonte como a desconexão de telhados ou implementação de micro reservatórios de lote, por não possuírem espaço para isso. Portanto, os cenários de revitalização buscaram aplicar os conceitos de Infraestrutura Verde-Azul (GBI) e buscou verificar se a concepção adotada seria suficiente à mitigação das áreas inundadas.

As precipitações medidas distribuídas por sub-bacia tornaram o evento mais representativo, possibilitando a identificação das condições de umidade seca e úmida, para os eventos de abril e maio, respectivamente. Com isso, o comportamento da resposta hidrológica em C0 foi mais próxima da realidade (quando calibradas as marcas de cheia).

As respostas hidrológicas (vazão de pico, tempo de base e volumes escoados) para a bacia de estudo nos cenários C3 e C2 não apresentaram reduções percentuais

semelhantes a C1, em relação a C0. Entretanto, as vazões das sub-bacias referentes a Sapo Nú (SB6) e Coqueiral (SB7) tiveram valores de  $R^2$  muito semelhantes. Isso ocorreu porque em 1985 já eram áreas muito urbanizadas. Logo, bacias muito urbanizadas e pequenas apresentam respostas hidrológicas pouco significativas frente a modificações de uso do solo, apenas.

Considerando a revitalização proposta pelo cenário C2, ao comparar os seus volumes escoados nas vazões de pico com C0, o evento de abril teve as maiores reduções e fez com que deixasse de afluir, em termos absolutos, 81,6 mil  $m^3$  à região de Coqueiral e 58,4 mil  $m^3$  em Sapo Nú.

O estudo hidrodinâmico proporcionou a visualização das manchas de inundação e as faixas de profundidade predominantes. Muitas residências localizadas nas margens dos rios foram identificadas no limiar acima de 1,5m de profundidade em Coqueiral, à semelhança das marcas medidas. Dessa forma, o modelo para a SB7 teve bons resultados devido a calibração e validação das marcas de cheia, além de uma boa representatividade do coeficiente de Manning.

Por outro lado, cabe ressaltar que existência de medidores de vazão e de nível no curso do rio, associados à mais marcas de cheias tornariam o modelo mais representativo, devido as melhores condições de calibração e validação.

Diante do cenário de revitalização C2, com redução de 15% das áreas impermeáveis, a convivência com as cheias é uma alternativa. Isso porque em pelo menos 25,2% da área de Coqueiral e 15% de Sapo Nú o limiar seria inferior a 0,5m de profundidade, sendo possível a utilização de comportas, por exemplo.

Em Sapo Nú (SB6), frente as modificações no coeficiente de rugosidade do cenário C2 houve retenção das vazões, provocando um aumento de áreas inundadas e profundidades. Isso pode ter acontecido por se tratar de uma bacia sinuosa, com maiores propensões a cheias, recebendo vazões de sub-bacias retas e divagantes, ou seja, com escoamento mais rápidos.

Os resultados dessa pesquisa retrataram a realidade de uma típica borda urbana, ou seja, uma região pouco estudada, com pouco planejamento, ordenamento e infraestrutura urbanos. Isso se reflete no padrão construtivo da região e nas áreas ocupadas, que impactam o escoamento superficial e não possuem resiliência aos eventos de inundação sofridos.

Intervenções de conscientização ambiental da população local são urgentes. Há uma grande necessidade de ação do poder público e dos cidadãos nesse sentido,

pois os resíduos sólidos descartados irregularmente e os efluentes domésticos lançados no rio são fatores relevantes aos impactos das chuvas na região, pois represam as águas e acrescentam vazão ao rio, respectivamente. Além disso, estão presentes inúmeras perdas de serviços ecossistêmicos e estéticos do rio.

Essa pesquisa também foi capaz de subsidiar estudo de futuras obras hidráulicas e intervenções que requalifiquem o espaço e revitalizem o rio. Pode-se afirmar também, que intervenções mais impactantes, por parte do poder público, poderiam ser mais efetivas, como desapropriação das margens, reduzindo a população exposta ao evento e dando espaço para o rio, facilitando sua manutenção.

Destaca-se ainda a necessidade de instrução e consciência da população quanto ao estabelecimento de moradias em locais de risco.

## **RECOMENDAÇÕES**

Buscando uma melhor representatividade do modelo e melhores respostas de revitalização, a lista a seguir apresenta recomendações aos trabalhos futuros na região.

- Uso e ocupação do solo: Classificar o uso do solo para imagens anteriores a 1985, tendo mais representatividade na construção do cenário de pré-urbanização;
- Cenários de revitalização: Realizar estudo da capacidade de infiltração, nível do lençol para verificar se, de fato, não é possível utilizar as alternativas LID de infiltração. Além disso, deve-se considerar a adoção de outras técnicas compensatórias como telhados verdes e micro reservatórios de lote (nas residências em que for possível).
- Modelagem hidrológica e hidrodinâmica: Considerar a desapropriação das margens, o impacto do açude Jangadinha nas vazões afluentes ao rio Tejipió, as pontes e as melhorias topográficas no fundo do rio (considerando seu desassoreamento).

## REFERÊNCIAS

- AFONSO, J. A. C. **Renaturalização e revitalização de rios urbanos: uma abordagem sistêmica**. 135f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade) – Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana/PUC. Paraná, Brasil, 2011.
- AKTER, A., TANIM, A. H., ISLAM, M. K. Possibilities of urban flood reduction through distributed-scale rainwater harvesting. **Water Science and Engineering**. V.13, Ed. 2, p. 95-105. 2020.
- ALMEIDA, L. Q., CORRÊA, A. C. B. Dimensões da Negação dos Rios Urbanos nas Metrópoles Brasileiras: o caso da ocupação da rede de drenagem da planície do Recife, Brasil. **Geo UERJ**, v.1, n. 23, pp. 114-135. 2012.
- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANA. **Nota Técnica nº 46/2018/SPR**. Agência Nacional de Águas. 2018. 13p. Disponível em: [https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67/attachments/NOTA\\_TECNICA\\_46\\_2018\\_SPR.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67/attachments/NOTA_TECNICA_46_2018_SPR.pdf). Acesso em: 14out2021.
- ANGELONE, S., FÄH, R., PETER, A., SCHEIDEGGER, C., SCHLEISS, A. **Rivitalizzazioni dei corsi d'acqua: panoramica. In: Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua**. P.1-8. Ed. UFAM, Berna – Suíça. 2012.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S.. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2ª. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011.
- BEDIENT, P. B.; HUBER, W. C.; VIEUX, B. E. **Hydrology and Floodplain Analysis**. 5th. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc., 2013.
- BENEDICT, M. A., MCMAHON, E. T. **Green infrastructure: smart conservation for the 21st century**. Washington, D.c.: Sprawl Watch Clearinghouse Monograph Series, 2002. Disponível em: <http://sprawlwatch.org/greeninfrastructure.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2022.
- BENEZ, M.; KAUFFER-MICHEL, E. Y ÁLVAREZ-GORDILLO, G. Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. **Frontera Norte**. v.22, n.43, pp. 129-158. 2010.
- BINDER, W. **Rios e Córregos, Preservar – Conservar – Renaturalizar. A Recuperação de Rios, Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: SEMADS, 1998.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Manual de Drenagem Urbana Sustentável**, Brasília, DF. 2004.

BROWN, R., CLARKE, J. Transition to water sensitive urban design; the story of Melbourne, Australia. Melbourne: Facility for Advancing Water Biofiltration, and National. **Novatech**. 2007.

BYEON, S. J.; CHOI, H. J.; CHOI, G. W.; KIM, D. Hydraulic Experiments of Urban River Meandering Method and Fish Habitat Revitalization. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 20(7), pp. 2991-2998. 2016.

CABRAL, J. J. da S. P., PREUSS, S. L. da C., FONSECA NETO, G. C. **Capibaribe e seus afluentes na planície de Recife: visão multidisciplinar de um rio urbano e sua importância para o sistema de drenagem das águas pluviais**. Anais do Simpósio De Recursos Hídricos Do Nordeste, XII, Natal: ABRH, 2014.

CABRAL, J. J. S. P.; ALENCAR, A. V. **Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas. Recife e a convivência com as águas**. Cooperação Brasil – Itália em saneamento ambiental, ed. Gráfica Brasil. Brasília - DF, pp. 111 – 130. 2005.

CABRAL, J. J. S. P.; BRAGA, R. A. P.; FONSECA NETO, G. C.; CABRAL, P. L.; SANTOS, S. N. **Abordagem multidisciplinar no processo de início de revitalização de três riachos da Bacia do rio Capibaribe**. Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz do Iguaçu - PR. 2019.

CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, T. C.; NOBREGA, T. M. Q.; MELO, F.; PIRES, N.; GUIMARÃES, A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. **A problemática da drenagem urbana em áreas planas costeiras no nordeste brasileiro**. Anais do V Seminário Nacional de Drenagem Urbana e I Seminário de Drenagem Urbana do MERCOSUL, Porto Alegre, 2004, 1, pp. 18-34. 2001.

CABRAL, J. J. S. P., FONSECA NETO, G. C., CABRAL, P. L., MARTINIANO, R. A. L., MONTEIRO, P. B. C. L., BRAGA, R. A. P. **Avanços e desafios para a revitalização de rios urbanos Em Recife: o caso do riacho Parnamirim**. Anais do XX SBRH/Florianópolis-SC. 2017.

CABRAL, J. J. S. P., FONSECA NETO, G. C., SILVA JÚNIOR, M. A. B., RODRIGUES, A. B., MOURA, L. S. **Resiliência de engenharia como subsídio ao processo de revitalização de três riachos urbanos em Recife-PE**. Anais do III SRRU/IPH-UFRGS. 2020.

CABRAL, S. L., CAMPOS, J. N. B.; SILVEIRA C. S., TEIXEIRA F. A. A. Integração do SIG, HEC/HMS e HEC/RAS no mapeamento de área de inundação urbana: Aplicação à Bacia do Rio Granjeiro-CE. **Geociências**, v. 35, n. 1, p.90-101. 2016.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 384p. 2014.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 1ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2005.

CARNEIRO, P. R. F. e MIGUEZ, M. G. **Controle de inundações em bacias hidrográficas metropolitanas**. São Paulo: Annablume, 302p. 2011.

CARVALHO, M. E., CABRAL, J., ALENCAR, J. **A cultura como forma de fortalecer os processos de revitalização de rios urbanos: análise das diferentes abordagens adotadas nas intervenções brasileiras**. Anais do III Simpósio De Revitalização De Rios Urbanos - IPH/UFRGS. 2020.

CENGIZ, B. Urban River Landscapes. In: **Advances in Landscape Architecture**. M. Ozyayuz, Ed. 2013. Rijeka: InTech. pp.551-586. 2013. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/45417>. Acesso em: 16 fev. 2022.

CHIN, A., GREGORY, K. J. Managing urban river channel adjustments. **Geomorphology**. v.69, 28-45. 2005.

COLLISCHONN, W. E DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2ª Edição revisada e ampliada. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 336p. Porto Alegre/RS, 2015.

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; CONCEIÇÃO, T. M. **Caminhos para a revitalização do riacho do cavouco, Recife-PE**. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz do Iguaçu-PR. 2019.

CRED. Centre for research on the epidemiology of disasters. **EM-Dat – The International Disaster Database**. Université Catholique de Louvain Brussels – Belgium. Disponível em: <https://www.emdat.be/>. Acesso em: 03 ago. 2022.

DIXON, S. J.; SEAR, D. A.; ODoni, N. A.; SYKES, T.; LANE, S. N. The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. **Earth Surface Processes and Landforms**, 41, pp. 997–1008. 2016.

EMLURB. **Apresentação para o conselho da cidade. PLANO DIRETOR DE DRENAGEM DO RECIFE – PDDR**. 2017. Disponível em: <https://conselhodacidade.recife.pe.gov.br/sites/default/files/2020-12/PDDR%20apresenta%C3%A7%C3%A3o%20para%20o%20Conselho%20da%20Cidade%2014032017.pdf> Acesso em: 14 mai. 2021.

EMLURB. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Urbanas do Recife: Relatório do diagnóstico do sistema de drenagem existente**. Recife-PE, 333p. 2016.

EMLURB. **Elaboração de intervenção urbano-ambiental para as margens de rios e riachos da Cidade do Recife**. p.80 – 94. 2013a.

EMLURB. **Projeto Básico de Dragagem do Rio Tejipió**. Tomo I. (p. 13-17). 285p. 2013b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 5ªed. 356p. 2018.

FERNANDES; R. O.; COSTA, C. T. F.; STUDART, T. M. C. Análise de sensibilidade em hidrogramas de cheias máximas obtidos pelo método do SCS em uma bacia urbana. **Revista Águas Subterrâneas**. 31(3): 243-254. 2017.

FINDLAY S. J., TAYLOR, M. P. Why rehabilitate urban river systems?. **Area Journal**, Vol. 38, No. 3, pp. 312-325. 2006.

FLAGSTAFF. **Low Impact Development: Guidance Manual for Site Design and Implementation**. Flagstaff, Arizona: City Of Flagstaff Utilities Division Stormwater Management Section, 151 p, 2009.

FLETCHER, T. D., SHUSTER, W., HUNT, W. F., ASHLEY, R., BUTLER, D., ARTHUR, S., TROWSDALE, S., BARRAUD, S., SEMADENI-DAVIES, A., BERTRAND-KRAJEWSKI, J., MIKKELSEN, P. S., RIVARD, G., UHL, M., DAGENAIS, D. e VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**. v. 12, n.7, p. 525–542, 2014.

FONSCECA NETO, G. C. **Vulnerabilidade da macrodrenagem do riacho Cavouco em Recife em resposta às mudanças climáticas e à abertura das comportas da barragem de Carpina**. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – PPGEC/UFPE. Recife, Brasil, 2018.

FREITAS FILHO, J. **Análise de problemas de drenagem da bacia do rio Tejió com o uso de modelos computacionais**. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – PPGEC/UFPE. Recife, Brasil, 2011.

GUIMARÃES, L. F., OLIVEIRA, A. K. B., VERÍSSIMO, L. F., MERLO, M. L., VERÓL, A. P. O uso de infraestruturas verde e azul na revitalização urbana e na melhoria do manejo das águas pluviais: o caso da sub-bacia do rio comprido. **Paisagem e Ambiente: Ensaios**. São Paulo, n. 42, p. 75-96, jul./dez., 2018.

Hidromapp. **Mapeando inundações de forma colaborativa**. Disponível em: <https://www.ufpe.br/web/grh/hidromapp?Inicio>. Acesso em: 07 ago. 2022.

HORA, S B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundações do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 57-75, ago. 2009.

IBGE. **Aglomerados Subnormais – O que é**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15788-aglomerados-subnormais.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 10 jan. 2022.

IMA – Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina. **Instrução Normativa Nº 16 – Recuperação de Áreas Degradadas**. 2022. Disponível em: <https://in.ima.sc.gov.br/instrucaoNormativa/gerarPDF/71>. Acesso em: 19 abr. 2022.

IPH. **Plano diretor de drenagem urbana de Porto Alegre – Manual de drenagem urbana**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2005.

KAUFFMAN, J. B.; BESCHTA, R. L.; OTTING, N.; LYTJEN, D. **An ecological perspective of riparian and stream restoration in the western United States**. *Fisheries*, 22(5), pp. 12–24.1997.

KHAKBAZ, B.; IMAN, B.; HSU, K.; SOROOSHIAN, S. From lumped to distributed via semi-distributed: Calibration strategies for semi-distributed hydrologic models. **Journal of Hydrology**, v.418, p.61-77, 2012.

KOBIYAMA, M., MINELLA, J. P. G., FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, v.22, n. 210, p. 10-17. 2001.

LAFAYETTE, F. B.; SILVA, M. D.; MONTENEGRO; S. M. G. L.; SILVA, P. O.; GUSMÃO, R. D. **Plano de gestão da manutenção da rede de drenagem da cidade do Recife**. Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do NE, 14., Maceió: ABRH. pp. 1-10. 2018.

LIMA, J. P.; MARTINS, C. M. T.; MENDES, M. G. T.; ABREU, J. M.; ALMEIDA, J. P. L.; LIMA, I. P. **Hidrologia Urbana - Conceitos Básicos**. Série cursos técnicos. Universidade de Coimbra. Unesco. Programa Hidrológico internacional. Lisboa-PT. V.1. p. 1-4. 2010.

LIMA NETO, O. C.; RIBEIRO NETO, A.; ALVES, F. H. B.; CIRILO, J. A. Sub-daily hydrological-hydrodynamic simulation in flash flood basins: Una river (Pernambuco/Brazil). **Rev. Ambient. Água**. vol.15, n.5. 2020.

LIMEIRA, M. C. M., SILVA, T. C., CÂNDIDO, G. A. Gestão Adaptativa e Sustentável para a Restauração de Rios: Parte I Enfoques Teóricos sobre Capacitação Social. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos** V.15, n.1, p. 17-26. 2010.

LWA - LAND & WATER AUSTRÁLIA - **Assessing community capacity for riparian restoration**. Published by Land & Water Austrália, Canberra ACT 2601. July 2003.

MACEDO, D. R.; CALLISTO, M.; MAGALHÃES JR, A.P. Restauração de Cursos d'água em Áreas Urbanizadas: Perspectivas para a Realidade Brasileira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.16, n.3, pp.127-139. 2011.

MACWILLIAMS JR., M. L.; TOMPKINS, M. R.; STREET, R. L.; KONDOLF, G. M.; KITANIDIS, P. K. Assessment of the Effectiveness of a Constructed Compound Channel River Restoration Project on an Incised Stream. **J. Hydraul. Eng.**, 136(12), pp. 1042-1052. 2010.

MADRIGAL-SOLÍS, H., ECHEVERRÍA-SÁENZ, S., PIZARRO-MENDEZ, Y., ALFARO-CHINCHILLA, C., JIMÉNEZ-CAVALLINI, S., CENTENO-MORALES, J.,

LÓPEZ-ALFARO, N., & SUÁREZ-SERRANO, A. **What do we Think About Water? Public Perception of the Current Situation of Water Resources in Costa Rica: an Indicator of Water Understanding and Management.** UNICIENCIA, v.34, n.1, pp.159-188. 2020.

MANSIKKANIEMI, H. The sinuosity of rivers in northern Finland. **Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis**, v. 52, p. 16-32, 1970.

MapBiomias. **O Projeto.** 2022a. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 25 set. 2022.

MapBiomias. **Visão Geral da Metodologia.** 2022b. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>. Acesso em: 25 set. 2022.

MapBiomias. **Entenda cada etapa.** 2022c. Disponível em <https://mapbiomas.org/atbd---entenda-cada-etapa>. Acesso em: 25 set. 2022.

MELLER, A. **Simulação Hidrodinâmica Integrada ao Sistema de Drenagem em Santa Maria- RS.** 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MIGUEZ, M. G., VERÓL, A. P., REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade.** 1a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 366 p. 2016.

MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers.** v. 50, n. 3, p. 885-900. 2007.

MORANDI, B.; KAIL, J.; TOEDTER, A.; WOLTER, C.; PIÉGAY, H. Diverse Approaches to Implement and Monitor River Restoration: A Comparative Perspective in France and Germany. **Environmental Management**, 60, pp. 931–946. 2017.

MOURA, L. S.; MOURA, M. P.; RODRIGUES, A. B.; CABRAL, J. J. S. P. **Análise comparativa da percepção hidroambiental dos moradores de comunidade em Parnamirim/Recife-PE.** XV Simpósio De Recursos Hídricos do Nordeste. Online. 2020.

MUNIZ FILHO, P. T. **Sistemas Hidrográficos Complexos: Dimensões Sócio-Ambientais da Bacia Hidrográfica do rio Tejipió.** 128f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

NASCIMENTO, V. H. Metodologia para a implantação de sistemas de controle de vazão das águas pluviais numa bacia hidrográfica, em especial os com reservação e infiltração. **Meio ambiente, recursos hídricos e saneamento ambiental** 3. p. 81-90 Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

NRC. National Research Council. **New Strategies for America's Watersheds.** National Academy Press, Washington, DC. 1999.

OLIVEIRA, G. A., BRITO, P. L., SANTOS, S. M. Mapeamento de Riscos Hidrológicos Utilizando Informações Geográficas Voluntárias: Estudo de caso no município de Riachão do Jacuípe-Bahia. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.11, n.01, p.297-311. 2018.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos**. 2020. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods6/>. Acesso em: 27 jul. 2020.

PATAKI, B.; ZSUFFA, I.; HUNYADY, A. Vulnerability assessment for supporting the revitalisation of river floodplains. **Environmental, science & policy**. V.34, p. 69 – 78. 2013.

PE'ERI, S.; LONG, B. LIDAR technology applied in coastal studies and management. **Journal of Coastal Research**. V.62, p. 1-5. 2011.

PEDUZZI, S. **Riqualificazione fluviale in Svizzera: esempi dal Canton Ticino**. Università di Salerno e il CIRF - Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale. 2021. Disponível em: <https://www.cirf.org/wp-content/uploads/2021/04/Peduzzi-per-CIRF-Marzo-2021-vers-web.pdf>. Acesso em: 19 abr 2022.

PINTO, N. L. DE S., HOLTZ, A. C. T., MARTINS, J. A., GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgar Blucher, 1976. 278p.

POSTEL, S. L., THOMPSON JUNIOR, B. H. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. **Natural Resources Forum** v.29. p. 98-108. 2005.

PREUSS, S. L. C., NUNES, A. B. A., STUDART, T. M., SELVA, V. S. F., CABRAL, J. J. S. P. **Perspectivas de Revitalização de Riachos Urbanos Degradados e a Necessidade da Participação da Sociedade: O caso do Riacho Parnamirim (Recife/PE)**. Anais do XI Encontro Nacional de Águas Urbanas-Belo Horizonte. 2017.

PREUSS, S. L. C.; SILVA, A. A.; BRAGA, R. A. P.; CABRAL, J. J. S. P. **Adequação estrutural e ambiental para a drenagem urbana sustentável: o caso do Recife, Pernambuco**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió-AL. 2011.

RIGOTTI, J. A.; RODRIGUES, L. H. R. **Abordagens metodológicas para revitalização de rios**. Anais do XXIII SBRH/ABRH, Foz do Iguaçu – PR, pp. 01 -08. 2019.

RIOS-TOUMA, B.; PRESCOTT, C.; AXTELL, S.; KONDOLF, G. M. Habitat restoration in the context of watershed prioritization: the ecological performance of urban stream restoration projects in Portland, Oregon. **River Research and Applications**, 31, pp. 755–766. 2015.

ROCHA, H. L., SILVA, R. V., KOBAYAMA, M. **Propagação de o da de cheia em canais simplificados: estudo comparativo de modelo hidrodinâmico e muskingum-cuge**. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2009

ROLNIK, R.; KLINK, J. Crescimento econômico e desenvolvimento urbano: por que nossas cidades continuam tão precárias?”. **Novos Estudos CEBRAP**. Vol. 89, p. 89-109. 2011.

RONI P., BEECHIE, T. " Introduction to Restoration: Key Steps for Designing Effective Programs and Projects", *in Stream and Watershed Restoration A Guide to Restoring Riverine Processes and Habitats*. Org. por Roni, P e Beechie, T., ed. John Wiley & Sons, Ltd.,Oxford, pp. 1 – 10. 2013.

ROSA, D. W. B., SILVA, T. F. G., CHONG, J., GIURCO, D., NASCIMENTO, N. O. Hydrological response of implementing green and blue infrastructure - study of a Brazilian metropolis. **Urban Water Journal**, v. 2022, p. 1-13, 2022.

ROSA, D. W. B.; MOURA, P. M. ; MACEDO, G. D. ; NASCIMENTO, N. O. . Assessment of the hydrological response of an urban watershed to rainfall-runoff events in different land use scenarios - Belo Horizonte, MG, Brazil. **Water Science and Technology**, v. 81, p. 679-693, 2020.

ROSA, D. W. **Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana - bacia do córrego do leitão, Belo Horizonte, Minas Gerais**. 220f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos/UFMG. Belo Horizonte, Brasil, 2017.

SALGADO, L. D. **Rios urbanos: uma abordagem sistêmica considerando saneamento e revitalização**. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2014.

SCHUSTER, R. C. **Desenvolvimento de um modelo hidrológico de transformação chuva-vazão e propagação de vazão em reservatórios**. 53f. (Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ UFRGS. Porto Alegre/RS. 2014.

SILVA JÚNIOR, M. A. B., CABRAL, J. J. S. P., FONSECA NETO, G. C., SILVA, P. O., GUERRA, C. M. F., SILVA, S. R. Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 05. n. 03. p. 302-318. 2020.

SILVA-SÁNCHEZ, S. JACOB, P. Políticas de recuperação de rios urbanos na cidade de São Paulo: possibilidades e desafios. **R. B. Estudos urbanos e regionais**. V. 14. n. 2. P. 119-132. 2012.

SILVA, P. O. **Análise de técnicas compensatórias de drenagem urbana para atenuação de inundações em uma sub-bacia do rio Jiquiá no Recife**. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – PPGE/UFPE. Recife, Brasil, 2010.

SILVA, P. O. **Modelagem hidrológica do rio Tejiú por ocasião de chuvas intensas levando em conta o efeito de marés**. 2333f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – PPGE/UFPE. Recife, Brasil, 2019.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 10 n.4. p.05-18, 2005.

SCHARFFENBERG, W.; ELY, P.; DALY, S.; FLEMING, M.; PAK, J. **Hydrologic modeling system (HEC-HMS): physically-based simulation components**. 2nd Joint Federal Interagency Conference. Las Vegas, NV, Jun/Jul 2010.

SELLES, I. M.; VARGAS, A. V.; RIKER, F.; BAHIENSE, G.; PAES RIOS, J.; CUNHA, L.; CAMPAHNANI, S.; MATTA, V.; BINDER, W.; ARAÚJO, Z. **Revitalização de rios – orientação técnica**. Rio de Janeiro: SEMADS. 78p. 2001.

SER. Society for Ecological Restoration Science and Policy Working Group. **The SER Primer on Ecological Restoration**. 2002.

SILVA, B. de A. SILVA, M. D. da; SILVEIRA, J. A. R. da; Distensão Intraurbana: Os espaços periféricos limítrofes da cidade de João Pessoa. In: SILVA, J. A. R. da. SILVA, M. D. da; CASTRO, A. A. B. da C.(Organizadores). **Dinâmica da cidade e bordas urbanas**. João Pessoa, PB: F&A. p. 74-102. 2015.

SILVA, J. C. A., PORTO, M. F. A. Requalificação de rios urbanos no âmbito da renaturalização, da revitalização e da recuperação. **Labor & Eng.**, Campinas, SP, v.14, 1-19, 2020.

SILVA, L. G., BELISÁRIO, D. L.; SANTOS, L. P.; TARGA, M. S.; COCCO, M. D. A.; ALMEIDA, A. A. S. Hidrogramas de cheias para a bacia do ribeirão das antas com base em modificações no uso e ocupação do solo. **Repositório de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 1-8, dec. 2017.

SILVEIRA, J. A. R. (Dis)tensão intraurbana: Periferização e espaços de borda da cidade. **Revista AU – Arquitetura e Urbanismo**, v.06, p.01-05. 2014.

SOUDER, J. The Human Dimensions of Stream Restoration: Working with Diverse Partners to Develop and Implement Restoration, in **Stream and Watershed Restoration A Guide to Restoring Riverine Processes and Habitats**. Org. por Roni, P e Beechie, T., ed. John Wiley & Sons, Ltd.,Oxford, pp. 114 – 143. 2013.

STEINMETZ, A. A., BESKOW S., TERRA, F. S., NUNES M. C. M., VARGAS, M. M., HORN, J. F. C. Spatial discretization influence on flood modeling using unit hydrograph theory. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - Brazilian Journal of Water Resources**. P.1-12. 2019.

SVIZZERA. **Legge Federale Sulla Protezione Delle Acque (LPAc), N. 814.20, del 24 gennaio 1991.** 1991. Disponível em: [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860\\_1860\\_1860/it](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/it). Acesso em: 02 jun. 2021.

SWS. Society of Wetland Scientists position paper on the definitions of wetlands restoration. **Ecological Applications** .p.84–93. 2000.

TAVANTI, D. R., BARBASSA, A. P. Análise dos Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto e Convencional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. vol. 17, n.4. p. 17-28. 2012.

TRAMONTINA, L. T., CARNIATTO, I. Influências da Educação Ambiental, do grau de escolaridade e do ambiente de trabalho em práticas ambientais por trabalhadores na indústria. **Revista Brasileira De Educação Ambiental**. São Paulo, V. 14, No 1: 29-48, 2019.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 669p. 1998.

\_\_\_\_\_. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - ABRHidro**. V.2, n.2, p.5-12. 1997.

TUCCI, \_\_\_\_\_. Águas urbanas. **Estud. av.** vol.22, n.63, pp.97-112. 2008.

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Porto Alegre: Editora da UFRGS; vol. 5, 428 p., 1995.

TUCCI, C.E.M, BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

União Europeia. Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000 que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias (PT)**. P.327/1-327/72. 2000.

VERGUTZ, L. A. A., PEREIRA, C. E. SCHMIDT, M. A. R. Análise da implantação de reservatórios de retenção de forma que sejam minimizados os impactos causados por inundações. **Revista Eng. Sanitária e Ambiental**. v.24 n.6, p. 1267-1277. 2019.

VERÓL, A. P., BATTEMARCO, B. P., MIGUEZ, M. G., SOUSA, M. M. **Requalificação fluvial: compilação, análise e paralelos entre casos de estudo nacionais e internacionais**. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos- Brasília-DF.p.1-8. 2015.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mcgraw Hill. 250p. 1975.

VISWANATHAN, V. C.; SCHIRMER, M. Water quality deterioration as a driver for river restoration: a review of case studies from Asia, Europe and North America. **Environ Earth Sci.**, 74, pp. 3145–3158. 2015.

WALSH, C. J.; FLETCHER, T. D.; BOS, D. G.; IMBERGER, S. J. Restoring a stream through retention of urban stormwater runoff: a catchment-scale experiment in a social–ecological system. **Freshwater Science**, 34(3), pp. 1161-1168. 2015.

WEBSTER C. J. F. C., LASTE, P. P. A., LOPEZ, Y. R., MENDEZ, A. J. F. L. Modelo lluvia-escurrimiento para la cuenca del río Yanuncay en Cuenca, Ecuador. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental - RIHA** [online]. vol.42, n.3, pp.127-153. 2021.

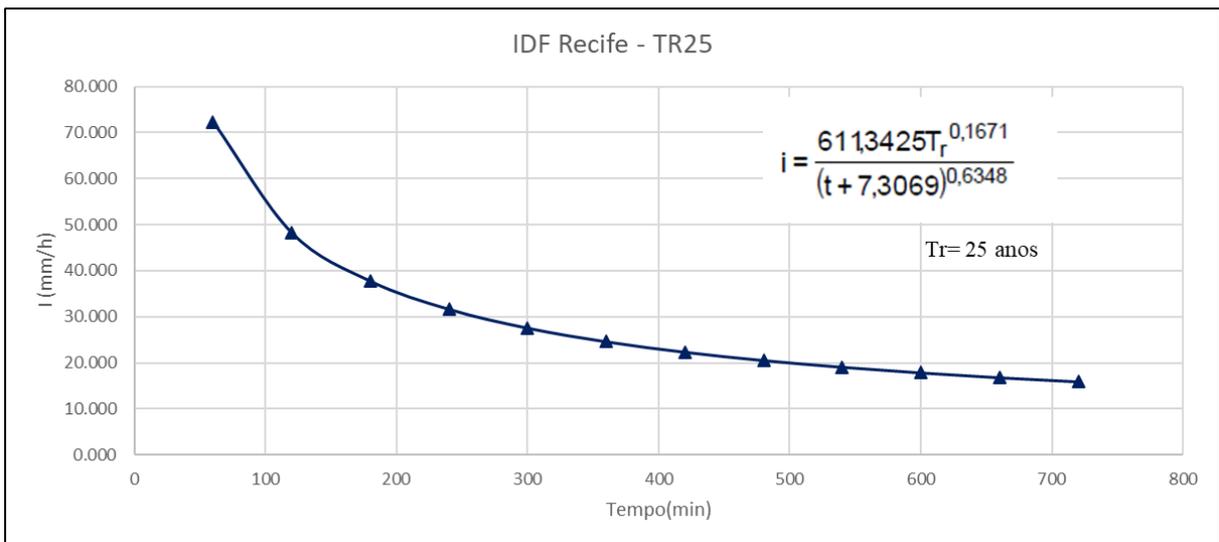
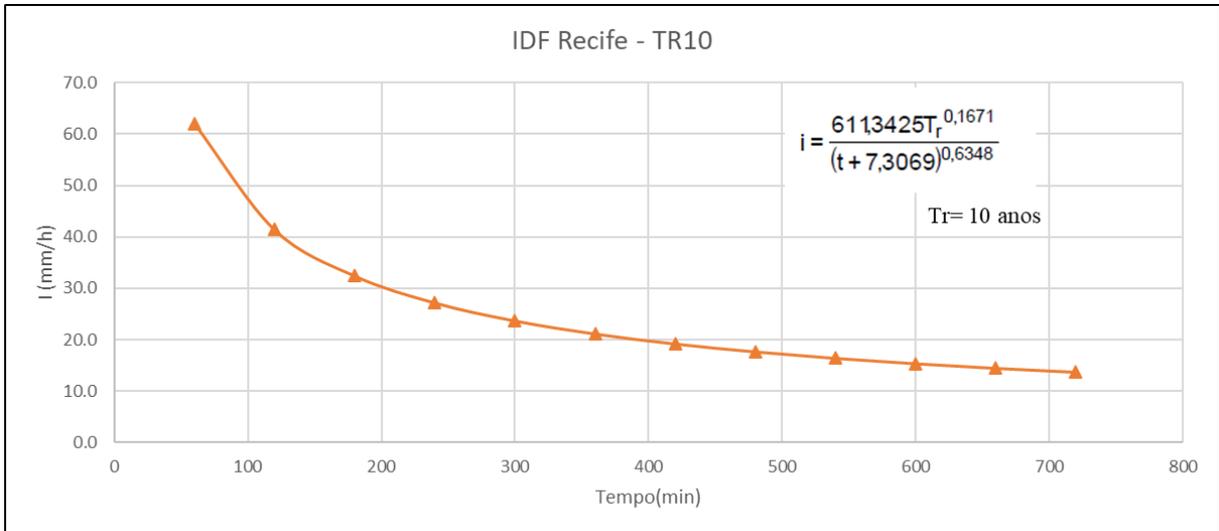
WESTRA L.. Ecosystem integrity and sustainability: The foundational value of the wild. In **Perspectives on Ecological Integrity**, Westra L, Lemons J (Eds). Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands; 12–33. 1995.

ZONENSEIN, J. **Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/ UFRJ. 105p. Rio de Janeiro, Brasil, 2007.

### APÊNDICE A – MODIFICAÇÕES NO USO DO SOLO

Classe de uso / Área (km <sup>2</sup> )	1985	1990 e 1995	Δ%	2000	Δ%	2005	Δ%	2010	Δ%	2015	Δ%	2019	Δ%	ΔÁrea total (km <sup>2</sup> )	Δ% total
	<b>Formação Florestal</b>	8.21	8.58	1.50	8.72	0.56	10.07	5.52	10.55	1.95	10.49	-0.26	10.31	-0.72	2.10
<b>Agricultura e Pastagem</b>	11.30	8.71	-10.53	7.85	-3.53	6.17	-6.82	5.41	-3.11	5.13	-1.16	5.16	0.15	-6.14	-25.01
<b>Área Urbanizada</b>	3.27	6.95	14.99	7.69	1.24	7.99	1.24	8.32	1.31	8.72	1.63	8.87	0.62	5.60	22.81
<b>Áreas não vegetadas</b>	1.44	0.01	-5.85	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.88
<b>Rio, Lago e Alagados</b>	0.32	0.29	-0.10	0.29	0.04	0.30	0.04	0.26	-0.17	0.21	-0.18	0.20	-0.05	-0.12	-0.48

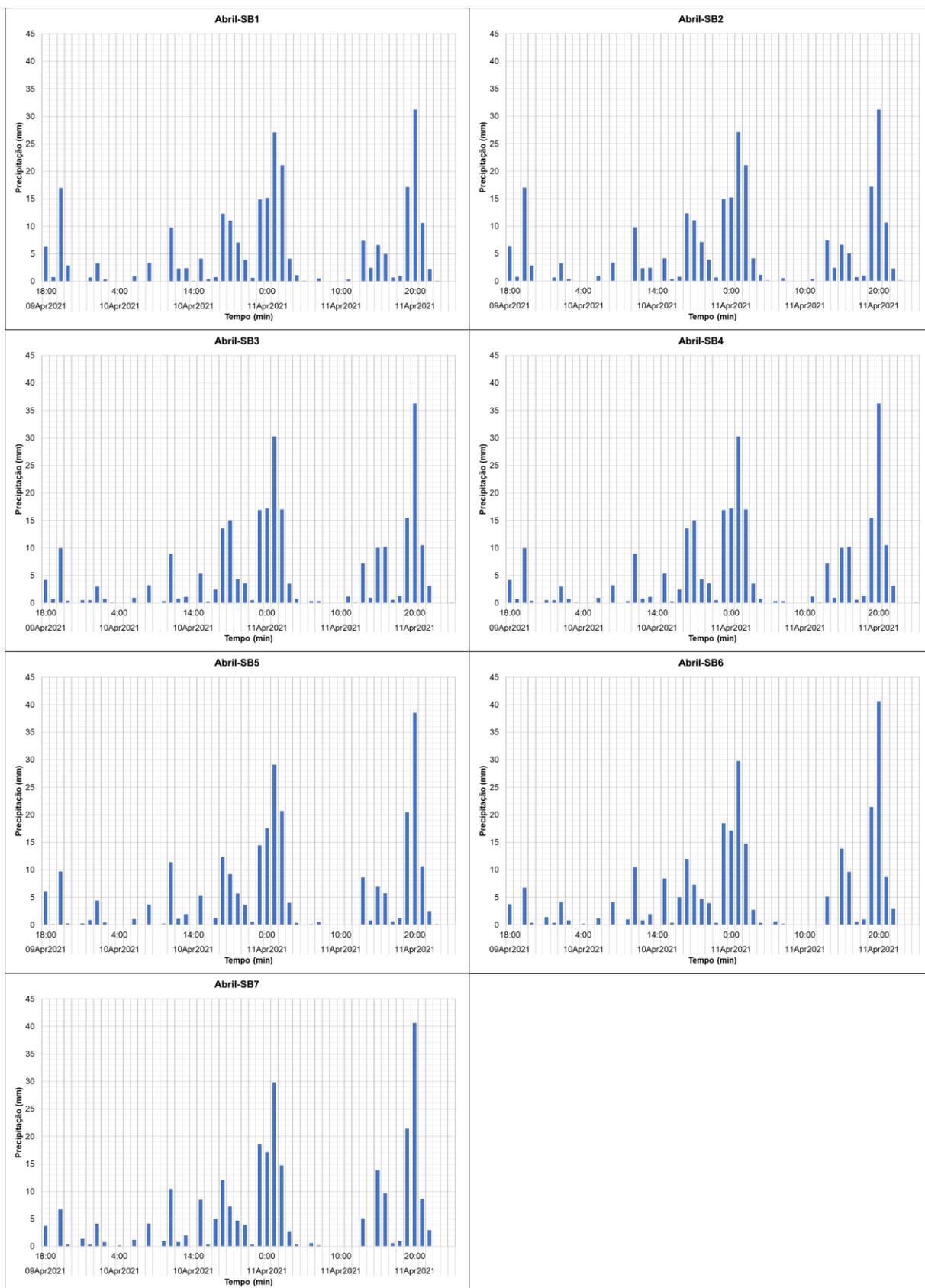
## APÊNDICE B – CURVAS IDF PARA TR10 E TR25



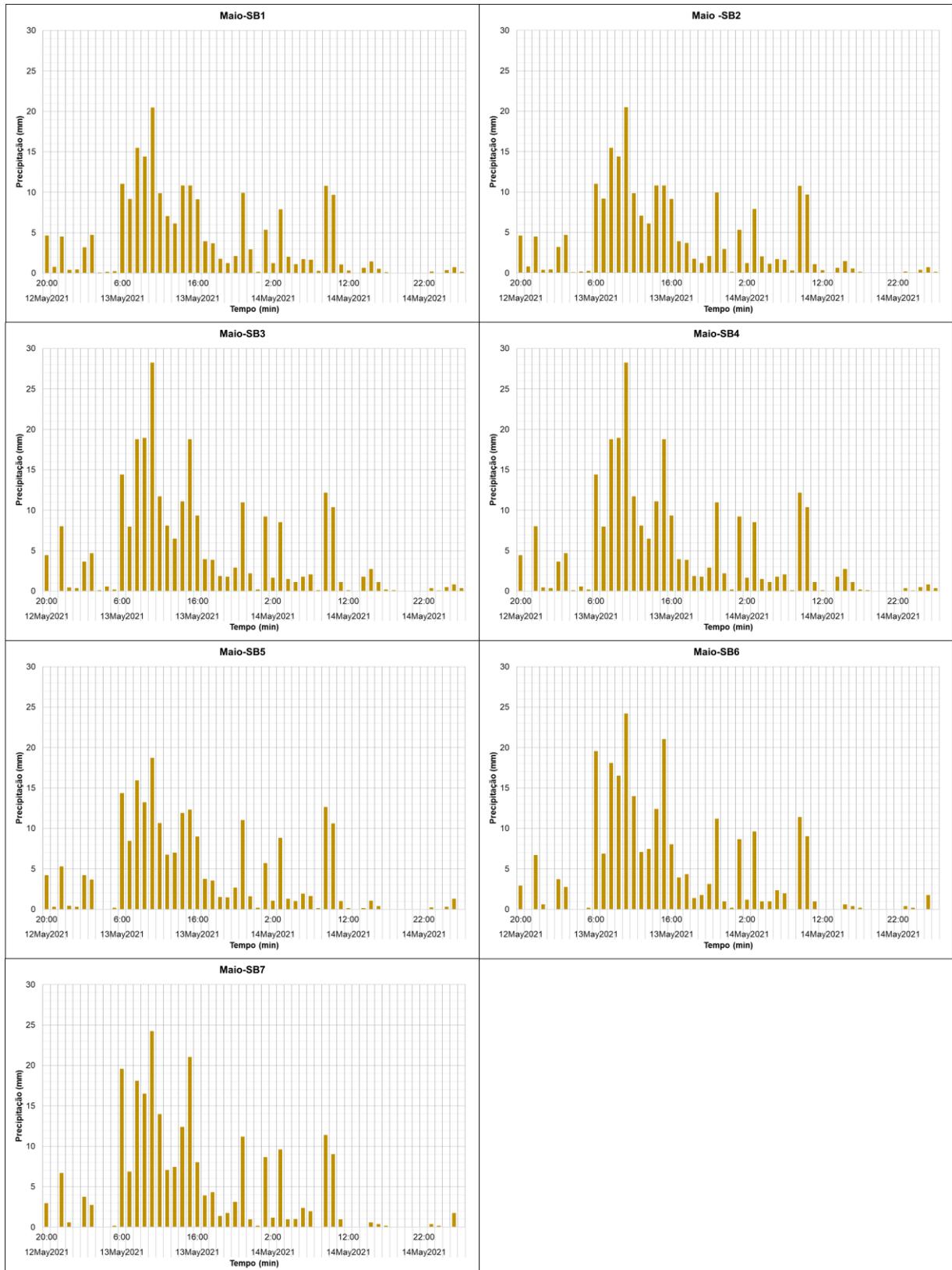
**APÊNDICE C – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E ÁREAS DE INFLUÊNCIA POR SUB-BACIA**

<b>Sub-bacia</b>	<b>Posto de influência</b>	<b>Área influenciada (%)</b>
<b>SB1</b>	Curado4	24.80
<b>SB1</b>	Cha_da_tabua	9.71
<b>SB1</b>	Curadoll	7.57
<b>SB2</b>	Curadoll	13.75
<b>SB2</b>	Curado4	6.79
<b>SB3</b>	Curadoll	4.40
<b>SB3</b>	Cavaleiro2	2.79
<b>SB3</b>	Curado4	0.22
<b>SB4</b>	Cavaleiro2	13.81
<b>SB4</b>	Curadoll	0.94
<b>SB5</b>	Curado4	7.43
<b>SB5</b>	Cavaleiro2	1.94
<b>SB5</b>	Curadoll	0.00
<b>SB6</b>	Cavaleiro2	5.33
<b>SB7</b>	Cavaleiro2	0.53

## APÊNDICE D – PRECIPITAÇÕES MEDIDAS POR SUB-BACIAS EM ABRIL/2021



## APÊNDICE E – PRECIPITAÇÕES MEDIDAS POR SUB-BACIA EM MAIO/2021



## APÊNDICE F – APRESENTAÇÃO DO TREINAMENTO REALIZADO NO INSTITUTO SOLIDARE

REALIZAÇÃO: 

APOIO: 



# MONITORANDO JUNTOS O RIO TEJIPIÓ

TREINAMENTO PARA USO DO APLICATIVO HIDROMAPP PARA MONITORAMENTO COLABORATIVO DAS INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO TEJIPIÓ

**POR LYSANNE MOURA**  
Eng<sup>a</sup> Ambiental e Mestranda em Recursos Hídricos - UFPE  
Linha de pesquisa: Revitalização de Riachos Urbanos

## NOSSOS PROBLEMAS

Alagamentos → Perdas financeiras  
Inundações → Perdas sociais  
Enchentes → Perdas ambientais




### O QUE ACONTECIA QUANDO CHOVIA MUITO?

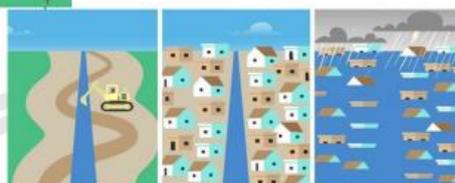


### O QUE ACONTECE QUANDO CHOVE MUITO?

Média: 113mm em Abril

11/04/2021: 151,8 mm

12/04/2021: 96,8 mm



Código	Posto	Mês/Ano	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	Acumulado
604	Jaboatão (Cidade da Coxa) - PCD	abr/2021	2,2	0,2	0,0	21,2	14,0	0,2	0,0	0,0	0,0	29,4	151,8	96,8	0,0	27,2	6,2	349,2

## COMO RESOLVER?



4

## COMO EU POSSO AJUDAR A RESOLVER O PROBLEMA?



5

## O APP



6

## O APP



1

## O APP



2

## O APP



Mediu com  
trena?  
SIM  
NÃO



Sempre tente colocar uma caneta quando fotografar a marca da inundação

10

## O APP



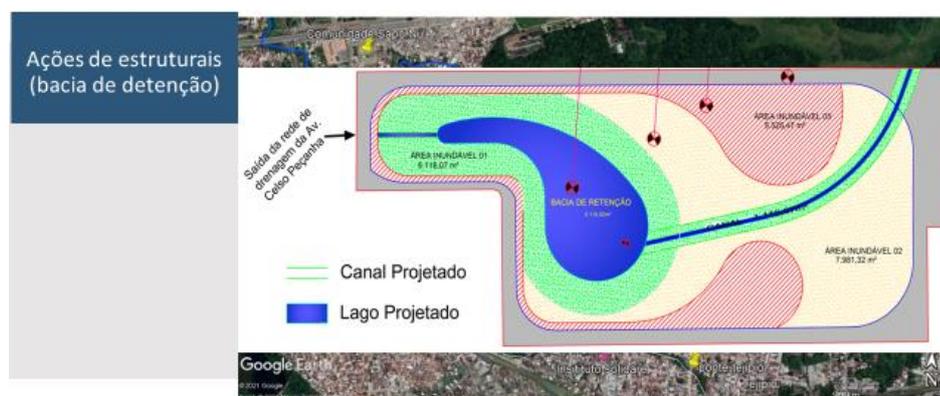
11

## PASSO A PASSO

COM INTERNET	SEM INTERNET
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicie o APP &gt; "Começar a colaborar"&gt; continuar</li> <li>2. Onde estou agora (lembre de deixar o GPS ligado)</li> <li>3. Local atingindo por inundação? <b>Sim</b></li> <li>4. Medir com a fita métrica a altura</li> <li>5. Informar a altura da marca arrastando o dedo na tela até indicar a altura medida</li> <li>6. Informar medição com a fita &gt; <b>Sim</b></li> <li>7. Fotografar, sempre que possível (lembra de colocar um ponto de referência, caneta) ou pular</li> <li>8. Informar data</li> <li>9. Escrever informações importantes</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Meça as marcas e anote</li> <li>2. Inicie o APP &gt; "Começar a colaborar"&gt; continuar</li> <li>3. Apontar no mapa (lembre de deixar o GPS ligado) &gt; mapa satélite</li> <li>4. Colocar o ponto no local (clicando no ponto)</li> <li>5. Verificar se é o local &gt; <b>Sim</b></li> <li>6. Informar a altura da marca arrastando o dedo na tela até indicar a altura medida</li> <li>7. Informar medição com a fita &gt; <b>Sim</b></li> <li>8. Fotografar, sempre que possível (lembra de colocar um ponto de referência, caneta) ou pular</li> <li>9. Informar data</li> <li>10. Escrever informações importantes</li> </ol>

12

## MAS O QUE ISSO FAZ NA PRÁTICA?



13



## UM SONHO (IM)POSSÍVEL?

RIO MARDEN, CALNE – UK  
REVITALIZADO EM 1999



ONTOSO

17



## OBRIGADA



LYSANNEMOURA@GMAIL.COM



RIACHOSURBANOS.BLOGSPOT.COM

### ANEXO A – AFLUENTES DO RIO TEJIPIÓ CADASTRADOS NO RECIFE

<b>Ordem</b>	<b>Nome</b>	<b>Extensão (m)</b>	<b>Ordem</b>	<b>Nome</b>	<b>Extensão (m)</b>
<b>1</b>	21 de Abril	1290,70	<b>20</b>	Iraque	1475,86
<b>2</b>	Riacho Curado	5191,96	<b>21</b>	Jardim Planalto	1715,34
<b>3</b>	Jardim São Paulo	535,84	<b>22</b>	CHESF	775,99
<b>4</b>	SANBRA	1061,59	<b>23</b>	Leandro Barreto	1055,90
<b>5</b>	Laranjeira	1041,03	<b>24</b>	São Pedro	487,80
<b>6</b>	Canal Lagoa do Araçá	312,01	<b>25</b>	Mangueira	838,28
<b>7</b>	São Leopoldo	2334,14	<b>26</b>	Setúbal	5214,38
<b>8</b>	Ibura	3270,40	<b>27</b>	Carlos de Brito	374,16
<b>9</b>	Vila Arq. Maria Lúcia	605,53	<b>28</b>	Cabeceira do Aeroporto	761,27
<b>10</b>	Zeppelin	480,03	<b>29</b>	Marinha	611,05
<b>11</b>	Torrões	1837,13	<b>30</b>	Gregório de Caldas	760,27
<b>12</b>	Guarulhos	1532,62	<b>31</b>	Jardim Uchôa	282,94
<b>13</b>	ITEP	1343,46	<b>32</b>	Av. Liberdade	1187,94
<b>14</b>	Roda de Fogo	1150,85	<b>33</b>	Jordão	7633,23
<b>15</b>	Malária	3364,45	<b>34</b>	Pacheco	1144,55
<b>16</b>	Vila Borborema	435,22	<b>35</b>	Queira Deus	2440,99
<b>17</b>	Carneiro de Mariz	1484,10	<b>36</b>	Jiquiá	7635,64
<b>18</b>	Areias	696,56	<b>37</b>	Moxotó	3713,77
<b>19</b>	Av. 30 de Outubro	662,38			

Fonte: PDDR (2016) *apud* Silva (2019).

**ANEXO B – CONDIÇÕES DE UMIDADE****Condições de umidade**

<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

Fonte: Tucci *et al.* (1995).