



O SISTEMA DE DRENAGEM COMO EIXO ESTRUTURANTE DO
PLANEJAMENTO URBANO: CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
ACARI

Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Rio de Janeiro

Junho de 2018

O SISTEMA DE DRENAGEM COMO EIXO ESTRUTURANTE DO
PLANEJAMENTO URBANO: CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
ACARI

Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc.

Prof. Paulo Canedo de Magalhães, PhD.

Prof. Raquel Hemerly Tardin Coelho, D.Sc.

Prof. Paulo Luiz da Fonseca, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JUNHO DE 2018

Oliveira, Antonio Krishnamurti Beleño de

O Sistema de Drenagem como Eixo Estruturante do Planejamento Urbano: Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Acari / Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XX, 190p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2018.

Referências Bibliográficas: p.179-190.

1. Drenagem Estruturante do Planejamento. 2. Sistema de Espaços Livres. 3. Planejamento Urbano. I. Miguez, Marcelo Gomes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

“Para a maioria de nós a vida se baseia no esforço, em algum tipo de vontade. Não é possível imaginar uma ação sem vontade, sem esforço. A vida social, a economia e a que chamam de espiritual são uma série de esforços que sempre produzem um certo resultado. E, assim, pensamos que o esforço é necessário, imprescindível.

Por que fazemos esforço? Falando simplesmente, não é porque queremos alcançar um resultado, uma meta, nos tornamos alguma coisa? Se não fazemos esforço, achamos que estamos estagnando.

Formamos uma ideia a respeito do objetivo pelo qual estamos constantemente lutando, e essa luta torna-se parte de nossa vida. Se queremos nos modificar, efetuar uma mudança radical em nós mesmos, fazemos um tremendo esforço para eliminar antigos hábitos, para resistir às habituais influências do meio, e assim por diante. Então, estamos acostumados a essa série de esforços para encontrarmos ou realizarmos alguma coisa, enfim, para viver.

Todo esse esforço não é uma atividade do eu? Não é uma atividade egocêntrica? Se fizermos um esforço a partir do eu, isso inevitavelmente produzirá mais conflito, mais confusão, mais infortúnio. No entanto, continuamos a fazer esforço após esforço. Poucos de nós compreendem que a atividade egocêntrica do esforço não soluciona nenhum de nossos problemas. Ao contrário, ela aumenta a nossa confusão e infelicidade. Sabemos disso, mas continuamos a achar que podemos progredir por meio dessa atividade egocêntrica do eu, dessa ação da vontade. ”

Jiddu Krishnamurti (1895 - 1986)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir a bênção de viver e ter saúde para alcançar meus objetivos.

Agradeço à minha mãe Cora Maria por sempre estar do meu lado, nos piores e melhores momentos.

Agradeço a meu pai e melhor amigo Antonio pela minha educação. Sei que mesmo distante torce muito por mim.

Agradeço a meu irmão João por sempre perseverar em nossa amizade, ao meu irmão José Luís por ser um grande amigo e a minha irmã e afilhada Cora, você é minha razão de acordar sorrindo.

Agradeço a minha amiga e de companheira de todas as horas Samanta Bortoni. Obrigado pela força em todos os momentos e pelos bons exemplos de perseverança e dedicação. É uma bênção te ter em minha vida.

Um agradecimento especial ao meu orientador, professor e amigo Marcelo Miguez. Obrigado pelas frases de incentivo, puxões de orelha, votos de confiança e fim de tarde de Barony. Foram muito importantes para mim.

Agradecimento ao Professor Paulo Canedo pelas orientações e por ser uma inspiração pessoal e profissional.

Agradeço a minha amiga Ianic Bigate pelo apoio nas discussões intelectuais, por me ajudar a aumentar a interdisciplinaridade deste trabalho e por muitas vezes ser meus olhos na elaboração de mapas e gráficos.

Um agradecimento a Rodrigo Konrad, Cícero Arrais, Miguel Joffer e Alix Fournial pela ajuda nas discussões e levantamento das informações que ajudaram substanciar este trabalho. Vocês serão excelentes engenheiros.

Um agradecimento especial a Bruna Battemarco, amiga e companheira de trabalho.

Agradeço as orientações e palavras de amizade de Osvaldo Rezende. Obrigado sem briga. Está aqui meu trabalho de 200 páginas pois não tive tempo de fazer um de 100.

Agradeço a Mateus Sousa pelas orientações e momentos de alegria vividos no LHC.

Agradeço a Anna Beatriz pela sua amizade e auxílio em diversas questões técnicas.

Agradeço a Francis Miranda pela amizade e pelas suas fundamentais IP's.

Um agradecimento especial a toda a família/equipe LHC: Aline Veról, Caroline Pitzer, Caroline Sales, Dearley Brito, Fernanda Thomaz, Gabrielly, Isaac Balster, Laurent, Lilian Yamamoto Luísa Marques, Nelson Bernardo e Virgílio Noronha, que de alguma maneira colaboraram para a conclusão deste trabalho.

Um agradecimento especial ao meu amigo de longa data Luiz Henrique pelos momentos de descontração e futebol.

Agradeço aos meus amigos pesquisadores Oscar, Dennis, David Viejo Costa e George pelos momentos de descontração, fundamentais para terminar este trabalho.

Um agradecimento mais que especial aos meus amigos chingones Aline Copque, Ana Camacho, Erimar Pontes, Mariana Brandão, Maryelli Rodrigues, Priscila Chan e Clarice.

Agradeço a todos meus companheiros, amigos, professores e funcionários do Programa de Engenharia Civil.

Agradeço a fundação Rio-Águas e a todos os funcionários responsáveis pela obtenção do material técnico que serviu de subsidio para a elaboração deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, agradeço pelo financiamento através da bolsa de estudos oferecida para o desenvolvimento da pesquisa.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

O SISTEMA DE DRENAGEM COMO EIXO ESTRUTURANTE DO
PLANEJAMENTO URBANO: CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ACARI

Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira

Junho/2018

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Programa: Engenharia Civil

Nas últimas décadas, o Rio de Janeiro observou um forte vetor de crescimento urbano desordenado, associado a um planejamento muitas vezes inadequado. Diversas áreas com valor ambiental, em particular áreas inundáveis com potencial de amortecimento de cheias, foram ocupadas sem nenhum tipo de ordenamento. Estas ocupações, além de expostas ao perigo de inundações, acabam por aumentar escoamentos superficiais e picos de vazões devido à impermeabilização do solo e à supressão de espaços antes destinados para o espraiamento dos rios. Esta degradação do espaço acaba por afetar todos os sistemas que compõem a cidade. Pessoas e habitações são expostas a inundações; doenças de veiculação hídrica, pela mistura de águas pluviais com esgoto e lixo, proliferam; os eixos de transportes são paralisados temporariamente, causando transtornos aos usuários; e oportunidades econômicas são perdidas, seja pelo prejuízo causado diretamente pelas inundações ou pela falta de segurança em relação às enchentes, o que afasta os investimentos nestes locais. Desta forma, este trabalho incentiva que o planejamento do sistema de manejo de águas pluviais deva preceder a determinação de uso e ocupação do solo, sendo a drenagem o eixo estruturante do planejamento. Para isso, será realizada uma revisão bibliográfica em relação aos problemas trazidos pelas falhas do sistema de drenagem e serão realizadas simulações matemáticas para a bacia do Rio Acari, que quantifiquem os ganhos urbanísticos trazidos pela mitigação das inundações, em relação aos eixos de habitação, saneamento, transporte, equipamentos comunitários e economia. Além disso, o trabalho traz como principal solução para os problemas de inundações, onde o planejamento urbano não foi sensível às demandas naturais de passagem das inundações, o conceito de drenagem urbana sustentável e resiliente às inundações, com a alocação dos volumes de água provenientes de inundações utilizando um sistema de espaços livres urbanos de forma integrada e multifuncional.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

DRAINAGE SYSTEM AND FLOOD CONTROL AS A PRELIMINARY
STRUCTURING AXIS FOR URBAN PLANNING: CASE STUDY OF THE ACARI
RIVER BASIN, IN THE METROPOLITAN REGION OF RIO DE JANEIRO

Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira

June/2018

Advisor: Marcelo Gomes Miguez

Department: Civil Engineering

In the last decades, the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil, like most other urban centers in underdeveloped countries, observed a strong vector of disordered urban growth, often associated with inadequate planning. Several areas of environmental value, especially flood plains, were occupied informally and irregularly. In addition to the fact of being exposed to flood hazards, these occupations contribute significantly to amplify the flood itself, due to increased runoff generation and higher flood peaks. Soil waterproofing and the suppression of natural spaces previously used by rivers are the main drivers of this process. Floods may cause: people to be exposed to sewage and garbage, exposing them to waterborne diseases, losses to buildings and their contents; traffic blockage; and economic losses and incapacity of recovering from these losses (in successive events); and environment and urban degradation. Thus, this work discusses the role of urban drainage and flood control as a preceding driver in urban planning, taking water as a structuring axis for city development. Therefore, seeking to support this perception, a bibliographic review was made to find historic elements that put in evidence the significance of this proposition. In addition, a critical urban watershed in the Metropolitan area of Rio de Janeiro was modelled, and hydrodynamic simulations were performed to estimate urban gains due to flood mitigation, in relation to habitation, sanitation, transportation, urban facilities and economy. The mitigation strategies, where urban planning was not sensible to the presence of water, were based on sustainable urban drainage concepts integrated with the use of the urban open spaces system, improving resilience to floods and allocating water volumes in adequate multifunctional spaces for re-organizing flood flows.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos.....	4
1.1.1	Geral	4
1.1.2	Específicos.....	4
1.2	Motivação	5
1.3	Metodologia Geral	6
1.4	Organização da dissertação.....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1	Histórico da drenagem urbana	10
2.2	Medidas de controle de inundações convencionais	16
2.3	Sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS – <i>Sustainable Urban Drainage Systems</i>)	18
2.4	O Sistema de Espaços Livres (SEL), o Território e a Drenagem	19
2.5	Perigo e Risco de inundações	27
2.6	O Paradoxo do Controle de Inundações e o Risco Residual.....	28
2.7	Falhas do Sistema de Drenagem e seus prejuízos sobre a cidade.....	30
2.7.1	Inundações e Atividades econômicas	37
2.7.2	A Drenagem e o Patrimônio Cultural	45
2.7.3	A Drenagem e a Mobilidade.....	47
2.7.4	A Drenagem e a Habitação.....	53
2.7.5	Drenagem e Equipamentos sociais	56
2.7.6	A Drenagem e o Saneamento	58
3	O SETOR DE DRENAGEM COMO UM EIXO ESTRUTURANTE DO PLANEJAMENTO URBANO.....	61
4	METODOLOGIA	65
5	BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ACARI	75

6	MODELAGEM MATEMÁTICA.....	83
6.1	Hipóteses do Modelo de Células para Cheias Urbanas	83
6.2	Modelação da Bacia Urbana do Rio Acari com MODCEL.....	84
6.2.1	Levantamento de Dados	86
6.2.2	Modelação Topográfica e Topológica.....	89
6.2.3	Condições de Contorno	91
6.2.4	Estudos Hidrológicos.....	95
6.3	Calibração do modelo	103
7	DIAGNÓSTICO DA BACIA DO RIO ACARI	119
7.1	Diagnóstico do Setor de Manejo de Águas Pluviais.....	119
7.2	Diagnóstico dos Espaços Livres	121
7.3	Identificação dos principais elementos de interesse dos eixos de planejamento urbano da bacia do Rio Acari.....	125
7.4	Interação do setor de manejo de águas pluviais com outros eixos estruturantes na Situação Atual	133
7.4.1	Drenagem e Habitação – Situação Atual.....	135
7.4.2	Drenagem e Esgotamento sanitário – Situação Atual	136
7.4.3	Drenagem e os Equipamentos Sociais – Situação Atual.....	137
7.4.4	Drenagem e Mobilidade – Situação Atual.....	139
7.4.5	Drenagem e Economia – Situação Atual.....	141
7.4.6	Drenagem e Patrimônio Cultural – Situação Atual	142
8	CONSTRUÇÃO DO PROJETO PARA MITIGAÇÃO DAS INUNDAÇÕES APOIADO EM UM SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES.....	143

9	PROGNÓSTICO DA BACIA DO RIO ACARI	158
9.1	Interação do setor de manejo de águas pluviais com outros eixos estruturantes na Situação de Projeto.....	158
9.1.1	Drenagem e Habitação – Situação de Projeto	159
9.1.2	Drenagem e Esgotamento sanitário – Situação de Projeto.....	160
9.1.3	Drenagem e os Equipamentos Sociais – Situação de Projeto.....	161
9.1.4	Drenagem e Mobilidade – Situação de Projeto	163
9.1.5	Drenagem e Economia – Situação de Projeto	165
9.1.6	Drenagem e Patrimônio Cultural – Situação de Projeto.....	166
10	ANALISE DOS RESULTADOS.....	167
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS	173
12	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Foto de satélite noturna com foco no rio Nilo (retirada de http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/Earth).....	8
Figura 2.2 – Figura esquemática do paradoxo de controle de inundações.....	29
Figura 2.3 – Ações para o desenvolvimento urbano sustentável (Adaptado de Roberts e Pelling, 2018)	30
Figura 2.4 – Nomenclatura base para as falhas no sistema de drenagem urbana. Fonte: Autor.....	32
Figura 2.5 – Percentual dos desastres naturais ocorridos entre 1995 e 2015 (CRED, 2015).	34
Figura 2.6 - Registro de Desastres Naturais no Brasil, 1991-2010 (CEPED UFSC, 2012a).	35
Figura 2.7 – Percentual dos principais desastres no período de 1991 e 2010 no Estado do Rio de Janeiro. (CEPED UFSC, 2012b).....	36
Figura 2.8 – Somatório dos danos no período de 1980 a 2017 dos desastres naturais que causaram mais de um bilhão de dólares em danos. Obs.: Os dados não levam em consideração os furacões Irma, Harvey e Maria (2017), uma vez que até a data do levantamento das informações ainda não tinham sido quantificados os danos trazidos por eles.....	41
Figura 2.9 – Danos causados pela inundação de 1966 em Florença, Itália. Fonte: Ribeiro (2016).	45
Figura 2.10 – Percentual de edificações de habitação destruídas e danificadas pelos desastres hidrológicos no Estado do Rio de Janeiro, no período de 1991 a 2012. (BRASIL, 2013).....	55
Figura 2.11 – Percentual de prejuízos por setor levando em consideração os eventos os eventos de Santa Catarina 2008, em Alagoas e em Pernambuco 2010 e as inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).	60
Figura 3.1 – Ciclo de degradação da cidade ocasionado pelas falhas no sistema de drenagem urbana. Fonte: Autor.....	62
Figura 4.1 - Fluxograma de etapas do processo metodológico proposto	74
Figura 5.1 – Localização do município do Rio de Janeiro e principais bacia hidrográficas.	76

Figura 5.2 – Principal hidrografia da bacia do Rio Acari.....	77
Figura 5.3 – Principais bairros pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Acari	79
Figura 5.4 – Principais vias da bacia hidrográfica do Rio Acari (Google Earth).....	81
Figura 5.5 - Inundação na Rodovia Presidente Dutra (esquerda) e na Avenida Brasil (Direita) na bacia do Rio Acari no evento de chuva extrema de 2013. Fonte: Reprodução / TV Globo.....	82
Figura 6.1 - Área de interesse com a discretização em células de escoamento. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.....	85
Figura 6.2 - Modelo digital de Terreno com precisão de 5 metros x 5 metros. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.....	88
Figura 6.3 - Divisão da área em análise em células de escoamento. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	90
Figura 6.4 – Vazões específicas nas diferentes unidades hidrográficas de Brasil. Fonte: “Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil” (ANA)	91
Figura 6.5 - Condições de Contorno de Vazões de Base dos Rios aplicadas às células do tipo canal no Modelo de Células de Escoamento. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	93
Figura 6.6 – Condição de Contorno do tipo Maré utilizada na simulação do modelo matemático e calibrada com os registros do evento de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	94
Figura 6.7 – Localização dos postos pluviométricos utilizados no processo de calibração para o evento de 11 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.....	97
Figura 6.8 – Hietograma do Posto pluviométrico na Base dos Fuzileiros Navais, medido a partir das 12:00h do dia 10 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	97
Figura 6.9 - Hietograma do Posto pluviométrico nas proximidades do Ponto Frio, medido a partir das 12:00h do dia 10 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	98
Figura 6.10 - Hietograma do Posto pluviométrico nas proximidades do Parque das Vizinhanças, medido a partir das 12:00h do dia 10 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	98
Figura 6.11 - Hietograma do Posto pluviométrico nas proximidades da Universidade Castelo Branco (UCB), medido a partir das 12:00h do dia 10 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	98

Figura 6.12 - Distribuição das chuvas de projeto na área de modelagem. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	100
Figura 6.13 - Curvas de redução ponto-área utilizadas. Fonte: SERLA, 1991.	101
Figura 6.14 – Chuva de Projeto obtida para a área de influência do Posto de Irajá. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	102
Figura 6.15 - Chuva de Projeto obtida para a área de influência do Posto de Realengo. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	102
Figura 6.16 - Chuva de Projeto obtida para a área de influência do Posto de Bangu. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	102
Figura 6.17 – Localização dos Postos Fluviométricos na Bacia do Rio Acari. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	103
Figura 6.18 - Mancha de inundação elaborada pela Fundação Rio-Águas para o evento de 11 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	104
Figura 6.19 – Registros de inundação no Bairro Parque Columbia, com lâmina estimada em 1,6m. Fonte: Portal UOL Notícias.	105
Figura 6.20 – Registro de Inundação localizado no Bairro Parque Columbia com lâmina estimada de 1,4m. Fonte: Portal Veja.	106
Figura 6.21 – Registro de Inundação localizado no Bairro Parque Columbia nas proximidades do Rio Acari com lâmina estimada de 1,6m. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	106
Figura 6.22 – Registros de inundação localizados na Rua Marechal Antônio Sousa (a), com lâmina estimada de 0,5m, e no Bairro Acari (b), com lâmina estimada de 1,0m. Fonte: Notícias UOL.	107
Figura 6.23 – Registro de Inundação ao longo da Rua Guaiúba Bairro Acari, com lâmina estimada variando de 0,4m até 1,0m. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	108
Figura 6.24 – Registro de Inundação localizado na Rua Ouseley com lâmina estimada pelos moradores de 1,8m. Fonte: Portal G1.	108
Figura 6.25 – Registro de Inundação localizado na Fazenda botafogo, com lâmina estimada em 1,0m. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	109
Figura 6.26 – Registro de Inundação localizado na Rua Ipuera com lâmina estimada de 0,5m. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	109
Figura 6.27 – Registro de inundação localizado no Hospital Municipal Ronaldo Gazolla, com lâmina estimada em 0,3m. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	110

Figura 6.28 – Registro de Inundação localizado no Viaduto da Pavuna com lâmina estimada de 0,6m. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	110
Figura 6.29 – Registro de inundação localizado na Feirinha da Pavuna, abaixo do Viaduto da Pavuna, com lâmina estimada em 0,6m. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	111
Figura 6.30 – Registro de Inundação localizado no cruzamento entre Rua Mercúrio e a Rua Sargento Basileu da Costa lâmina estimada de 0,6m Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	111
Figura 6.31 – Registro de inundação localizado Rua Maria Joaquina, com lâmina estimada em 0,6m. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	112
Figura 6.32 – Registro de Inundação localizada Praça Nossa Senhora das Dores, na Pavuna, com lâmina estimada de 0,7m Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	112
Figura 6.33 – Registro de inundação localizada na Avenida Nossa Sra. Das Graças, ao Lado da Estação Pavuna/São João de Meriti, com lâmina estimada em 1,7m. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	113
Figura 6.34 – Registro de inundação localizada nos trilhos da Estação Pavuna/São João de Meriti. Fonte: Página eletrônica <i>YouTube</i>	113
Figura 6.35 – Especialização dos registros de inundação obtidos através de canais de informação no âmbito do evento do dia 11/12/2013 e lâminas de inundação estimadas. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	114
Figura 6.36 – Comparação dos níveis medidos com os simulados no posto fluviométrico Fuzileiros Navais. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	115
Figura 6.37 – Comparação dos níveis medidos com os simulados no posto fluviométrico Ponto Frio. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	115
Figura 6.38 – Comparação dos níveis medidos com os simulados no posto fluviométrico Parque das Vizinhanças. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	116
Figura 6.39 – Comparação dos níveis medidos com os simulados no posto fluviométrico UCB. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	116
Figura 6.40 – Calibração do modelo matemático perante a comparação de manchas de inundação e registros de alagamento. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	118
Figura 7.1 – Resultados do Cenário da Situação Atual (TR 25) utilizando o software MODCEL como ferramenta de modelagem. Fonte: Autor	120
Figura 7.2 – Imagem de satélite da bacia hidrográfica do Rio Acari.	121
Figura 7.3 – Mapa de tipo de cobertura do solo dos espaços livres remanescentes da bacia.	122

Figura 7.4 - Mapa de uso geral dado aos espaços livres remanescentes da bacia.	123
Figura 7.5 - Mapa de condições de drenagem dos espaços livres remanescentes da bacia para um evento de inundação de tempo de recorrência de 25 anos.....	124
Figura 7.6 – Grade Estatística (IBGE, 2016) mostrando a quantidade de domicílios ocupados na bacia hidrográfica do Rio Acari. Os intervalos das classes levaram em consideração a distribuição natural dos dados (desvio padrão e Otimização de Jenks).	125
Figura 7.7 - Favelas e loteamentos irregulares da bacia do Rio Acari (IPP).....	126
Figura 7.8 - Diferença entre o padrão construtivo de favelas e ocupações irregulares (imagem esquerda) e ocupações regulares (imagem direita). Fonte: oglobo.globo.com e www.aguiarimobiliaria.net.	127
Figura 7.9 – Equipamentos sociais com importância no setor da saúde para a bacia do R. Acari.	128
Figura 7.10 - Equipamentos sociais com importância no setor educacional na bacia do R. Acari.	128
Figura 7.11 – Vias da bacia do Rio Acari e suas respectivas hierarquias.	130
Figura 7.12 – Estações da rede de transporte urbano na bacia do Rio Acari.	130
Figura 7.13 – Principais pontos de interesse do eixo estruturante de economia para a bacia hidrográfica do Rio Acari.	131
Figura 7.14 – Principais pontos de interesse do eixo estruturante do Patrimônio Cultural.	132
Figura 7.15 – Esquema metodológico para obtenção dos indicadores relativos aos impactos das falhas do sistema de drenagem.	134
Figura 7.16 – Interação entre os eixos de habitação e drenagem apresentando a mancha de inundação dentre dos domicílios para a situação atual para um TR de 25 anos.....	135
Figura 7.17 - Interação entre o setor de esgotamento sanitário e o eixo de drenagem apresentando a as possíveis áreas contaminadas para a situação atual para um TR de 25 anos.....	136
Figura 7.18 - Interação entre os centros de saúde e o eixo de drenagem na situação atual – TR25.	138
Figura 7.19 - Interação entre os centros educacionais e o eixo de drenagem na situação atual.	138
Figura 7.20 - Interação entre logradouros e o eixo de drenagem para a situação atual – TR 25.	140

Figura 7.21 - Interação entre estações de transporte e o eixo de drenagem na situação atual.	140
Figura 7.22 - Interação entre os centros comerciais do eixo da economia e o eixo de drenagem na situação atual para um TR de 25 anos.....	141
Figura 7.23 - Interação entre os principais patrimônios culturais e o eixo de drenagem para a situação atual para um TR de 25 anos.	142
Figura 8.1 – Reservatórios propostos no âmbito do PDMAP, 2014.	144
Figura 8.2 – Perfil de Níveis de Água máximos do Rio Acari para os cenário Atual e para o cenário até a inclusão dos reservatórios do PDMAP com um TR 25.	146
Figura 8.3 – Diretrizes para o Sistema de Espaços Livres da bacia do Rio Acari.	148
Figura 8.4 – Espaços Livres com função de amortecimento de cheias.	149
Figura 8.5 – Perfil de Níveis de Água máximos do Rio Acari para os cenário Atual e para o cenário até a incorporação do SEL.....	150
Figura 8.6 – Corte esquemático dos parques fluviais propostos, adaptado do Programa Acari Projeto Rio Vivo de 2007.	151
Figura 8.7 – Áreas identificadas para implementação de Parques Fluviais.	152
Figura 8.8– Perfil de Níveis de Água máximos do Rio Acari para os cenário Atual e para o cenário até a incorporação dos parques fluviais – TR25.....	153
Figura 8.9 – Comparação entre as manchas de inundação da situação atual e a situação do projeto final para controle de inundações apoiado no SEL ambos considerando o evento crítico de cheias de TR25.	154
Figura 8.10 - Sistema de Espaços Livres proposto para a bacia do Rio Acari com foco no controle de inundações.	156
Figura 8.11 – Possível local para realocação dos domicílios desapropriados.	157
Figura 9.1 – Camada do eixo de drenagem urbana para a situação de prognóstico – TR25	158
Figura 9.2 – Interação entre os eixos de habitação e drenagem apresentando a mancha de inundação dentro dos domicílios para a situação de projeto considerando um TR25...159	159
Figura 9.3 – Interação entre o sistema de esgotamento sanitário e o eixo de drenagem apresentando as áreas contaminadas pela de inundação dentro dos domicílios para a situação de projeto considerando um TR25.	160
Figura 9.4 – Interação entre os centros de saúde do eixo estruturante de equipamentos sociais com a camada que representa o eixo da drenagem urbana apara a situação de projeto considerando um TR25.	161

Figura 9.5 – Interação entre os centros educacionais do eixo estruturante de equipamentos sociais com a camada que representa o eixo da drenagem urbana para a situação de projeto considerando um TR25.	162
Figura 9.6 - Interação entre logradouros e o eixo de drenagem para a situação de projeto - TR25.....	164
Figura 9.7 - Interação entre as estações e o eixo de drenagem para a situação de projeto - TR25.	164
Figura 9.8 - Interação entre os centros comerciais e o eixo de drenagem para a situação de projeto considerando um TR 25.	165
Figura 9.9 - Interação entre os principais patrimônios culturais e o eixo de drenagem para a situação de projeto considerando um TR 25.....	166
Figura 10.1 – Corredores Fluviais como meio de conexão dos fragmentos dos espaços livres naturais para melhoria ambiental da bacia hidrográfica do Rio Acari	169
Figura 10.2 – Ganhos trazidos ao bairro de Marechal Hermes.	171
Figura 10.3 – Ganhos trazidos ao bairro de Marechal Hermes.	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tabela adaptada de TUCCI (2005).....	12
Tabela 2.2 – Medidas estruturais (Simons et al. 1977)	17
Tabela 2.3 – Danos decorrentes de inundações em áreas urbanas (MACHADO, 2005) 33	
Tabela 2.4 - 10 maiores registros de danos, avaliados em mais de um bilhão de dólares, ocasionados por inundações nos EUA (SMITH, 2015)	40
Tabela 2.5 - Perdas e danos no setor agropecuário, quantificados pelo Banco Mundial com base nas informações oficiais.	42
Tabela 2.6 – Inundações bruscas de Pernambuco em 2010: sumário de perdas e danos para os setores produtivos. (BANCO MUNDIAL, 2012c)	43
Tabela 2.7 Inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011 (BANCO MUNDIAL 2012d).....	44
Tabela 2.8 – Perdas e danos no setor de mobilidade para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).....	48
Tabela 2.9 - Eventos extremos de chuva e transtornos ligados a inundações e alagamentos no município do Rio de Janeiro noticiados no jornal “O Extra” entre 2006 e 2010 (ARMOND E NETO, 2012).....	48
Tabela 2.10 - Perdas e danos no setor de habitação para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).....	54
Tabela 2.11 - Perdas e danos no setor de saúde para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).....	57
Tabela 2.12 - Perdas e danos no setor de educação para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).....	57
Tabela 2.13 - Perdas e danos no setor de saneamento para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).....	59
Tabela 4.1 - Resumo dos indicadores propostos para quantificação dos ganhos de um projeto de drenagem.	72
Tabela 5.1 – Principais locais de inundação (CONSORCIO HIDROSTUDIO, 2014)...	78
Tabela 5.2 - Índice de Desenvolvimento Social por bairros - Município do Rio de Janeiro (CAVALLIERI e LOPES, 2008).	80
Tabela 6.1 – Arquivos utilizados para levantamento de dados	86
Tabela 6.2 . Condições de Contorno de Vazões de Base dos Rios. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.	91

Tabela 6.3 - Síntese dos cálculos de tempos de concentração e de viagem. Adaptado de COPPETEC (2006)	95
Tabela 8.1 – Características finais dos reservatórios utilizados para simulação do amortecimento de cheia no presente trabalho para um TR 25. Adaptado de PDMAP (2014).	145
Tabela 8.2 – Diretrizes propostas para a identificação de Espaços Livres relacionados com a dinâmica da água.	147
Tabela 10.1 – Principais ganhos trazidos pelo projeto de controle de inundações sobre os demais eixos estruturantes da cidade.....	168

1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos dois últimos séculos, foi observada elevada migração da população rural para as cidades, motivada pela Revolução Industrial. Em geral, essa migração foi acompanhada por pouco ou quase nenhum planejamento urbano, o que viria a acarretar sérias consequências, no futuro, para diversos setores da cidade. As cidades nascem e crescem de forma muitas vezes desordenada e rápida. Na realidade, os organismos oficiais, responsáveis por urbanizar e planejar são lentos nas previsões e ainda mais nas realizações, não acompanhando a voluta dinâmica de crescimento das cidades (GOITIA, 1989).

O crescimento urbano desordenado acaba gerando ocupações *periurbanas*, muitas vezes em áreas de risco, traçados de vias com capacidade reduzida em relação à necessidade atual e futura, falta de equipamentos urbanos e comunitários necessários em todas as regiões, ou seja, gera uma organização urbana ineficiente como um todo.

Quando analisamos os efeitos do crescimento desordenado sobre o setor de drenagem urbana, diversos são os impactos negativos. A remoção da vegetação e a impermeabilização que segue esse processo, para implantação da urbanização, a regularização de superfícies e a introdução de sistemas artificiais de drenagem modificam significativamente o padrão de escoamentos, produzindo maiores e mais rápidas respostas dos escoamentos superficiais e menores oportunidades de infiltração, o que resulta em incremento de vazões de pico, redução de vazões de base, redução do tempo de concentração da bacia e perda de ecossistemas fluviais (MIGUEZ et al., 2015).

Esses problemas são agravados quando as áreas mais “seguras” da cidade (áreas naturalmente seguras frente a inundações ou que através de obras civis foram assim tornadas) já estão completamente ocupadas, fazendo com que os novos cidadãos, sem muitas opções, passem a habitar as margens de rios, mangues e várzeas, aumentando ainda mais os riscos de inundações e reduzindo as áreas de amortecimento natural das cheias (MAGALHÃES et al., 2017).

Sendo assim, o déficit de capacidade de condução das águas pluviais pelas tradicionais redes de drenagem, cujo resultado reverte em um volume de alagamentos espalhados pela cidade, tem um grande potencial de solução quando passamos a observar os espaços livres

como sendo parte do estoque da rede de manejo de águas pluviais, capazes de atuar como paisagens multifuncionais, oferecendo um volume de armazenamento para o sistema de drenagem (OLIVEIRA et al., 2017).

As inundações urbanas geram danos a edificações e a equipamentos urbanos, degradam e empobrecem áreas sujeitas à inundações, geram perdas associadas à paralisação de negócios e serviços, interrompem a circulação de pedestres e de sistemas de transportes, são potenciais veículos de difusão de doenças, afetam e são afetadas pela coleta e disposição de esgotos e resíduos sólidos urbanos (MIGUEZ et al., 2018).

O sistema se fragiliza, os riscos e os prejuízos crescem e forma-se um ciclo: o rio, que tem sua bacia modificada, se degrada e sofre inundações, que, por sua vez, agridem de volta a cidade, causando a ruptura de vários serviços urbanos e diversas perdas econômicas, degradando a própria cidade, como resposta (MIGUEZ et al., 2015).

Há uma relação direta entre o planejamento da cidade, falho no que diz respeito ao tratamento das águas urbanas, e a sua conseqüente degradação. Segundo Choay (1992) o urbanismo trata tanto de trabalhos de natureza civil como também dos planos de cidades, o termo ainda caracteriza formas urbanas de cada período da cidade em questão. Para Abiko et al., (1995) o termo urbanismo é, muitas vezes, associado a situações em que se irá projetar uma nova cidade, ou a expansão de uma cidade, utilizando um espaço vazio e desocupado como plano de fundo. Essa lógica é muito diferente da realidade encontrada não somente em países subdesenvolvidos, como no mundo todo. O planejamento urbano acaba sendo muito mais desafiador, realizado sobre a ocupação existente e em constante modificação, com recursos limitados, áreas livres escassas, e com condicionantes de natureza social e política. Há assim poder reduzido do real (CHOAY, 1992) podendo encontrar dificuldades devido a condições econômicas desfavoráveis e condições administrativas inadequadas herdadas de outros períodos predecessores, sendo o urbanismo um movimento muitas vezes utópico.

Outro problema também encontrado no planejamento urbano diz respeito à dificuldade da incorporação de um espírito progressista, determinado a partir de um horizonte de planificação, e a consideração da tradição culturista específica local no planejamento. Para Choay (1992) este tipo de prática encontra muita resistência de incorporação devido principalmente a urgências de ação. É clara a necessidade de remediar de imediato

diversas falências da cidade, dificultando um planejamento global e bem realizado que leve em consideração a interação entre as diversas áreas de planejamento da cidade e a capacidade de resposta do ambiente natural frente às modificações trazidas pelo processo de construção da cidade.

O ato do planejamento urbano, tanto na orientação da ocupação de novos espaços, como na transformação do território e correção de problemas existentes, principalmente no que diz respeito entre a relação água e cidade, será abordado no presente trabalho, considerando o sistema de drenagem e manejo de águas pluviais como estruturador do espaço da cidade, visto o potencial de degradação que as inundações induzem na cidade como um todo.

Essa posição de estruturação do espaço, que a drenagem urbana deve ocupar, é uma referência à precedência deste sistema em relação aos demais, uma vez que a drenagem desempenha a função de conciliar demandas naturais, provenientes do funcionamento do ciclo hidrológico, e as demandas urbanas, que precisam de áreas seguras para o desenvolvimento regular de suas funções.

O trabalho também apresentará a importância da utilização dos espaços livres (livres de edificações e infraestrutura urbana) como peças fundamentais de mitigação dos problemas de inundações urbanas alocando os volumes de cheias que em situações extremas inundam áreas urbanas não preparadas para estas falências. Por sua vez, os espaços livres utilizados para a drenagem devem contribuir para a construção de um Sistema de Espaços Livres (SEL) com foco na dinâmica da água e que possua caráter multifuncional, de forma a ofertar funções para a cidade não somente no período de cheias e consolide estes espaços como áreas a não serem ocupadas. Também será considerada uma abordagem ecossistêmica para o tratamento de rios em áreas urbanas, com o objetivo de ampliar o conceito de *Waterfront Design* (WU, 2016.), no qual se procura valorizar a linha de contato entre o urbano e os corpos d'água, reintroduzindo estes na paisagem da cidade, para uma possibilidade mais ampla, usando a presença da água como um valor urbano e como um valor ecológico, como um elemento de conexão da cidade com a natureza.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O objetivo Geral deste trabalho é:

- 💧 Discutir o sistema de manejo de águas pluviais como estruturador do espaço para desenvolver cidades mais sustentáveis e resilientes através da proposição de alternativas para mitigação das inundações, conciliando demandas naturais e urbanas.

1.1.2 Específicos

- 💧 Discutir a importância da preservação de espaços para as inundações no processo de planejamento, permitindo um melhor convívio da cidade com as inundações naturais, minimizando riscos e impactos;
- 💧 Utilizar o conceito de drenagem urbana sustentável como premissa para mitigação dos problemas de inundações, quando falhas do planejamento propiciam a materialização dos riscos de inundação;
- 💧 Simular matematicamente diversos cenários de intervenção e construir um projeto para mitigar os graves problemas de macrodrenagem já instalados na Bacia do Rio Acari, com obras multifuncionais, propiciando condições favoráveis de desenvolvimento de outros setores de planejamento urbano;
- 💧 Auxiliar a construção de um Sistema de Espaços Livres (SEL) que dê suporte a prevenção e mitigação do risco de inundação, assim como a preservação do ambiente natural e a possibilidade de ofertas de serviços multifuncionais para a cidade;

1.2 Motivação

O Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI) foi uma iniciativa do Governo do Estado, por meio da Câmara Metropolitana. O Plano elaborou um conjunto de cenários, estratégias e instrumentos para auxiliar decisões governamentais nos anos futuros. Os conceitos propostos neste plano convergem para aqueles propostos nesta dissertação

O PDUI contou com uma equipe de especialistas que trabalha a partir de seis eixos estruturantes da metrópole: expansão econômica; patrimônio natural e cultural; mobilidade; habitação e equipamentos sociais; saneamento e resiliência ambiental; e reconfiguração espacial.

O eixo de saneamento se subdivide nos setores de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais. Segundo o diagnóstico apresentado pelo PDUI, o setor de manejo de águas pluviais, do eixo de saneamento, apresenta-se como grande limitador ao desenvolvimento da metrópole ocasionando prejuízos e inseguranças devido ao risco de inundações ao qual estão associadas suas falhas. A UFRJ teve a oportunidade de participar da discussão e propostas de ação para o setor de manejo de águas pluviais e, em particular, o autor dessa dissertação esteve no grupo técnico que desenvolveu a parte de saneamento e resiliência ambiental.

O presente trabalho foi elaborado em paralelo com a confecção do PDUI e diversas discussões cruzadas foram realizadas no desenvolvimento de ambos. Discussões estas, em especial, relacionadas com a consideração da drenagem como eixo estruturante do planejamento, seja pelos seus impactos sobre os outros sistemas, seja pela sua capacidade de, com um correto funcionamento, abrir possibilidades para desenvolvimento dos demais eixos estruturantes de planejamento, evitando a instalação de vetores de degradação urbana.

1.3 Metodologia Geral

Para a realização deste trabalho foi adotado um procedimento metodológico geral, baseado nas seguintes etapas:

1. Revisão bibliográfica, buscando uma sustentação teórica para o trabalho.
2. Definição do eixo de Manejo de Águas Pluviais como eixo estruturante do planejamento urbano da metrópole.
3. Definição da bacia hidrográfica do Rio Acari, como Estudo de Caso.
4. Diagnóstico do setor de manejo de águas pluviais e da sua interação com outros eixos estruturantes a partir da sobreposição de camadas de planejamento.
5. Simulação de diversos cenários para mitigação das inundações com foco na adoção de medidas sustentáveis e resilientes e utilizando espaços livres como plano de fundo para organizar os escoamentos e suprir o déficit de volume de armazenamento das águas pluviais.
6. Levantamento dos principais eixos de drenagem e de conservação ambiental para que, junto às propostas apresentadas, componham corredores de integração que consolidem as alternativas e melhorem a relação entre o ambiente natural e o construído.
7. Após a simulação dos cenários, realiza-se novamente a sobreposição das camadas de planejamento e verificam-se os ganhos trazidos aos outros eixos a partir do projeto de controle de inundações.
8. Discussão dos resultados frente às alternativas e seus possíveis benefícios.

1.4 Organização da dissertação

Os itens seguintes que compõem a presente dissertação se iniciam com uma revisão bibliográfica no capítulo 2, na qual diversos conceitos relevantes à temática são apresentados, dentre eles se destacam o histórico da drenagem urbana, medidas de controle de inundações convencionais, sistemas de drenagem urbana sustentável, perigo e risco de inundações, o paradoxo do controle de inundações e o risco residual e as falhas do sistema de drenagem e seus prejuízos sobre a cidade.

O capítulo 3 visa apresentar as principais justificativas para tomada do setor de drenagem como um eixo estruturante do planejamento urbano, utilizando, como base, a revisão realizada. O capítulo 4 apresenta de forma detalhada a metodologia a ser empregada para justificar e comprovar a drenagem como eixo estruturante.

O capítulo 5 apresenta o caso de estudo no qual será aplicada a metodologia, a Bacia do Rio Acari. Esta bacia é um símbolo emblemático dos problemas de inundação na cidade do Rio de Janeiro e apresenta diversos danos e perdas devido às inundações, com consequências sociais importantes. O capítulo 6 mostra os passos para aplicação da modelagem matemática, partindo das hipóteses do modelo hidrodinâmico a ser utilizado e indo até a sua calibração que permite a sua utilização para o diagnóstico e para os prognósticos necessários. No capítulo 7 é realizado o diagnóstico da bacia do Rio Acari. Neste item serão realizados os diagnósticos da drenagem e dos espaços livres da bacia e a interação do setor de manejo de águas pluviais com outros eixos estruturantes de planejamento urbano na situação atual. O capítulo 8 apresenta o projeto escolhido para controle das inundações apoiado no uso de espaços livres para mitigação das inundações que servirão de subsídio para a composição de um Sistema. No capítulo 9 é apresentado o prognóstico da bacia do Rio Acari com a aplicação do projeto do capítulo 8. Neste capítulo serão avaliadas as interações do setor de manejo de águas pluviais com os demais setores da cidade.

O capítulo 10 realiza a análise dos resultados e, por fim, o capítulo 11 apresenta as conclusões e recomendações a respeito do trabalho desenvolvido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde os primórdios a interação rio e cidade é fundamental para o desenvolvimento citadino. O nascimento das primeiras grandes civilizações dependeu, na maioria das vezes, da presença de um corpo hídrico. Na Figura 2.1 é apresentada uma foto de satélite noturna das cidades que beiram o rio Nilo, mostrando que o desenvolvimento urbano se deu graças a ele.



Figura 2.1 – Foto de satélite noturna com foco no rio Nilo (retirada de <http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/Earth>)

Esta dependência se dava não só pela disponibilidade de água para consumo e agricultura, mas também pela facilidade de transporte através da navegação e pela facilidade de descarga de resíduos.

Porém, o mesmo rio que alimenta a urbanização é impactado por ela. Esses impactos geram, entre outras consequências, o extravasamento do rio e a consequente inundação das cidades. Leopold (1968) evidencia que a urbanização pode aumentar as vazões máximas em até 6 vezes as vazões naturais, pré-urbanização. Miguez, Veról e Rezende (2015) citam alguns dos principais agravantes dos eventos de inundação a partir da urbanização e suas consequências.

💧 Retirada da cobertura vegetal

Potencialização dos processos erosivos, assoreamento dos rios, diminuição da calha fluvial, diminuição da capacidade de vazão do canal; diminuição da capacidade de amortecimento das cheias; diminuição do processo de evapotranspiração; aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial.

💧 Impermeabilização do solo

Diminuição do processo de evapotranspiração; redução do potencial de infiltração e da recarga dos aquíferos; aumento e aceleração do escoamento superficial.

💧 Canalização

Aumento da calha principal (reduz a probabilidade de inundação local), aceleração do escoamento a jusante.

💧 Ocupação de áreas potencialmente alagáveis

Redução da capacidade de condução de vazão do canal, quando as margens e o leito secundário são ocupados; aumento da quantidade de resíduos na calha dos rios e exposição das pessoas às inundações.

💧 Favelização

Retirada da cobertura vegetal; diminuição da capacidade de vazão do canal; aumento da quantidade de resíduos sólidos e carga orgânica no sistema de drenagem, exposição crítica dessas comunidades ao risco de inundação e acidentes maiores.

💧 Resíduos Sólidos

Acúmulo de partículas em pontos de estrangulamento do escoamento, redução da capacidade de condução de vazão do trecho, aumento nos níveis d'água na calha do rio e aumento na frequência de inundações nos trechos acima deste ponto.

💧 Intervenções urbanas físicas nos cursos d'água

Diminuição da capacidade de condução de vazão, aumento do efeito de remanso para montante.

2.1 Histórico da drenagem urbana

Ao longo dos anos, a interação dos seres humanos e a Terra ocasionou diversos impactos ao meio ambiente. A alteração da superfície do solo provocou modificações profundas no processo hidrológico, impulsionando o desenvolvimento de sistemas de drenagem urbana.

Evidências arqueológicas revelam que mesmo as civilizações mais antigas já possuíam artifícios de drenagem urbana em suas edificações (BUTLER & DAVIES, 2004). De acordo com Burian & Edwards (2002), os sistemas de drenagem daquela época tinham como objetivo a coleta de água pluvial, prevenção contra inundações e transporte de resíduos. Apesar das limitações observadas no planejamento/execução das estruturas de drenagem e utilização do método de tentativa e erro, inúmeros sistemas antigos obtiveram sucesso.

As Ruínas de Harappa e Mohenjo-Daro, duas cidades Hindus separadas por 560 quilômetros, sugeriram que a construção das cidades foi planejada e que o sistema de drenagem acompanhou o traçado entre ambas. Segundo Niemczynowicz (1997) a civilização Persa considerava o controle do escoamento urbano como uma lei sagrada para proteção contra a poluição, que era vista por eles como pecado. As águas pluviais e o escoamento urbano eram coletados em cisternas para usos potáveis e poços profundos permitiam a injeção do escoamento do aquífero (BURIAN & EDWARDS, 2002). Já as ruínas mesopotâmicas mostraram que estas cidades possuíam sistemas bem construídos de drenagem de água pluviais e de esgoto. Os sistemas continham calhas e drenos especificamente para o escoamento superficial, os quais eram feitos de tijolo cozido com selante asfáltico. Além disso, as águas pluviais eram coletadas para irrigação ou usos domésticos (MANER, 1966).

Durante e logo após o Império Romano, surgiram significativos avanços tecnológicos relativos à drenagem urbana. Dentre as práticas notáveis da época destacam-se o desenvolvimento de vias com sistema de drenagem e a construção de grandes condutos subterrâneos formando as redes de esgoto interligadas. A civilização romana ficou conhecida por seus grandes aquedutos, responsáveis por levar água à cidade, e pela construção de drenos artificiais, alguns usados até hoje, como é o caso da cloaca máxima, no Fórum Romano. De modo geral, pode-se dizer que a perspectiva romana da drenagem

urbana estava ligada à mitigação de cheias, drenagem de terras baixas, além da coleta de água pluvial para uso doméstico e público (BUTLER & DAVIES, 2004).

As práticas modernas de drenagem urbana tiveram início nas cidades europeias durante o século XIX com a melhoria/construção de sistemas sistema de esgotamento sanitário. Nos Estados Unidos, os desenvolvimentos primários na drenagem urbana durante o século XIX e XX foram agrupados em nove categorias segundo Burian et al. (1999):

1. Melhorias dos materiais das tubulações, métodos de construção e práticas de manutenção;
2. Decisão do uso do sistema de transporte de água para remoção de resíduos (*Water-Carriage System Waste Removal*);
3. Projetos abrangentes de sistema de esgoto;
4. Sistema de esgotamento unificado x separador;
5. Identificação de doenças transmitidas pela água;
6. Introdução do tratamento de águas residuais;
7. Avanços na hidrologia urbana;
8. Avanços computacionais;
9. Consciência ambiental.

Tucci (2005) engloba as águas urbanas como sendo os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas (foco deste projeto) e a gestão dos sólidos totais, tendo como metas a saúde e conservação ambiental. Tucci mostra também a evolução da abordagem aos problemas das águas urbanas, indo desde antes do século XX, quando o desafio das cidades era apenas evitar a proliferação de doenças, até os dias atuais, nos quais o principal foco é o desenvolvimento sustentável integrado, optando por manter os cursos d'água naturais e privilegiando a infiltração.

A Tabela 2.1 apresenta as 4 fases nas quais Tucci divide o desenvolvimento histórico das águas urbanas na idade moderna, século XX.

Tabela 2.1 – Tabela adaptada de TUCCI (2005)

FASE	CARACTERÍSTICA	CONSEQUÊNCIA
Pré-Higienista: Até início do séc. XX	Esgoto em fossas ou diretamente nas ruas, sem coleta ou tratamento	Epidemias e doenças com alta taxa de mortalidade
Higienista: Até os anos 1970	Tout à l'égout – Transporte do esgoto junto às águas pluviais, por canalização dos escoamentos.	Redução das doenças e da mortalidade, degradação dos corpos d'água, contaminação dos mananciais.
Corretiva: Entre 1970 e 1990	Sistema separador absoluto, tratamento dos esgotos, amortecimento dos escoamentos pluviais.	Melhoria da qualidade da água dos rios, poluição difusa, obras de grande impacto.
Desenvolvimento Sustentável: Após 1990	Tratamento do escoamento pluvial, preservação do sistema natural, integração institucional.	Conservação ambiental, melhoria da qualidade de vida, controle das inundações.

Em relação às experiências internacionais, Tunstall (2014) trata a respeito de como a política do Reino Unido, em matéria de gestão de riscos de inundação, mudou nos últimos 50 anos. É citado que o processo de mudanças resultou de dois processos importantes: mudanças graduais e mudanças catalisadas. A evolução gradual da política foi pontuada por eventos que ofereceram uma "janela de oportunidade" para saltos na forma de tratar o problema de inundações, a partir de mudanças catalisadas por respostas a eventos extremos. Assim, teríamos mudanças graduais, partindo da drenagem das áreas rurais até a década de 80, onde o foco passaria a ser a defesa contra inundações, para que nos anos 90 enfim chegassem ao entendimento que o controle de inundações está associado fortemente à gestão de risco. Em relação às mudanças catalisadas podemos citar:

- 💧 Evento de 1947 - A drenagem que era principalmente focada na proteção de terras agrícolas passou a ter prioridade na defesa urbana.
- 💧 Evento de 1953 - Reconhecimento da necessidade de implementar um sistema de alerta de inundações a longo prazo e de longa duração.
- 💧 Evento de 1998 - Impulso adicional à transição para uma abordagem de gerenciamento de risco para inundações.
- 💧 Evento de 2000 – Reconhecimento de adequado uso do solo como ferramenta para mitigação de enchentes.

A evolução da abordagem a questão de gestão de riscos de inundação no Reino Unido mostra que a realidade brasileira está muito distante de um cenário ideal e atrasada algumas décadas em relação à abordagem já realizada internacionalmente.

Em relação à abordagem dada aos sistemas de drenagem e saneamento na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, os trabalhos de Projeto Iguaçu (COPPE, 1996), Souza (2006), Carneiro (2008) e Sousa (2010) apresentam um breve histórico de intervenções em relação aos dois últimos séculos na região da Baixada Fluminense. A seguir é apresentado o histórico adaptado que mostra a abordagem dada aos sistemas de drenagem e saneamento na Baixada Fluminense:

- 💧 1844 – Primeiras obras de drenagem e dragagem dos rios da baixada.
- 💧 1854 – Construção do eixo ferroviário (decadência dos portos) – Impactou nos corpos hídricos e na qualidade do ambiente urbano da região, pois seccionaram rios, como o Rio Botas, e houve construções demasiadas de pontilhões e bueiros, além de seções insuficientes para vazão das águas.
- 💧 1888 – Estabelecido um contrato entre o governo, o Engenheiro João Teixeira Soares e o Dr. Joaquim Pereira dos Santos, através da Lei 3.060 de 17 de dezembro, a fim de que ocorressem a drenagem de terras, dragagem de rios, retificação, escavação e preparação dos leitos dos rios principais e afluentes com vista à franca navegação.
- 💧 1894 – O Decreto 128, de 10 de outubro, cria a Comissão de Estudo e Saneamento da Baixada Fluminense, chefiada pelo engenheiro Teixeira Soares.
- 💧 1897 – Houve algumas iniciativas de limpeza dos rios por parte do governo.
- 💧 1902 – Extinção da Comissão de Estudo e Saneamento da Baixada Fluminense.
- 💧 1909 – Criação da Comissão Federal de Saneamento da Baixada Fluminense, através do Decreto 2.221, sob chefia do Engenheiro Marcelino Ramos da Silva.
- 💧 1916 – Extinção da Comissão Federal de Saneamento da Baixada Fluminense e destinação de todo acervo à Inspetoria Federal de Portos e Canais.
- 💧 Março de 1920 – Construção de uma nova Comissão para realização de estudo de saneamento da Baixada entre Manguinhos e Raiz da Serra.
- 💧 Dezembro de 1920 – Extinção da comissão
- 💧 Dezembro de 1920 – Autorização, pelo governo federal, para o Engenheiro Jeronymo Teixeira de Alencar Lima e para o Banco Português do Brasil, a concessão de serviços e prosseguimento das obras de saneamento da região ocidental da Baía de Guanabara.
- 💧 1933 – Criação da Comissão de Saneamento da Baixada Fluminense, criada pelo governo federal – intervinham de forma a drenar as áreas alagadas, retificar e

dragar os rios e canais, com objetivo de melhorar a ligação fluvial entre região e litoral.

- 💧 1935 – Eletrificação do eixo ferroviário.
- 💧 1936 – Transformação da Comissão de Saneamento da Baixada Fluminense em Departamento de Obras de Saneamento, em função do bom desenvolvimento de seus trabalhos.
- 💧 1983 - 1986 – Elaboração do Plano Global de Saneamento da Baixada Fluminense (PEB).
- 💧 Fevereiro de 1988 - Uma cheia excepcional deixou um rastro de destruição, mortes e doenças na Baixada Fluminense.
- 💧 1988 – Negociação emergencial com o Banco Mundial para o Projeto Reconstrução Rio – Previa a construção da barragem Gericinó, para redução de vazões do rio Sarapuí nos períodos de chuva; a dragagem dos rios Sarapuí, Pavuna-Meriti, Botas e Iguaçu; e pequenas intervenções em outros rios.
- 💧 1994 – É montada uma equipe técnica na COPPE-UFRJ, com apoio do BIRD e do PNUD, para elaborar o Plano Diretor Integrado de Controle de Inundações da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí, conhecido como Projeto Iguaçu.
- 💧 1996 – Finalização da obra de reconstrução do rio Botas. Finalização do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu – Sarapuí.
- 💧 2008 – Início da revisão do Projeto Iguaçu sob o título “Projeto de Controle de Inundações e Recuperação Ambiental das Bacias dos rios Iguaçu/Botas e Sarapuí”. Início das obras de saneamento e drenagem do Programa de Aceleração do Crescimento na Baixada Fluminense. Começa a se pensar na necessidade do planejamento integrado no âmbito metropolitano.
- 💧 2018 – Entrega do Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O Plano se destaca por levar em consideração a bacia hidrográfica como unidade de planejamento para os setores do saneamento e eleva a drenagem urbana a um patamar de estruturação do espaço urbano.

2.2 Medidas de controle de inundações convencionais

As medidas de controle de inundações podem ser divididas na escala de macrodrenagem e de microdrenagem.

A macrodrenagem é composta por rios, córregos, canais e grandes galerias.

A microdrenagem nasce pós urbanização, é formada pelos loteamentos e áreas públicas que transportam suas águas escoadas em direção à uma rede principal de macrodrenagem. Fazem parte dela as ruas, sarjetas e galerias, por exemplo.

Tendo em vista este conceito de escala de interesse, podemos partir ao necessário para o desenvolvimento de um projeto de controle de cheias tradicional. Simons (1977) destaca que fazem parte do projeto de controle de inundações medidas estruturais e não-estruturais.

As medidas estruturais são alterações diretas nos elementos da drenagem urbana. A Tabela 2.2 mostra as principais medidas estruturais estabelecidas por ele, assim como suas principais vantagens, desvantagens e aplicações.

Tabela 2.2 – Medidas estruturais (Simons et al. 1977)

Medida	Vantagem	Desvantagem	Aplicação
<i>Medidas extensivas:</i>			
Cobertura Vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas Bacias
Controle de perda	Reduz assoreamento	Impraticável para grandes áreas	Pequenas Bacias
<i>Medidas intensivas:</i>			
Diques e pôlderes	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes Rios
<i>Melhoria do canal:</i>			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
<i>Reservatório:</i>			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
Reservatório com comportas	Mais eficientes com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com mínimos de perdas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
<i>Mudança de canal:</i>			
Caminho da cheia	Amortecimento de volumes	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Depende da topografia	Bacias médias e grandes

Já as medidas não-estruturais procuram harmonizar a relação entre a cidade e os eventos de inundação. Fazem parte delas a preservação da cobertura vegetal, a regulamentação do uso do solo e zoneamento das áreas de inundação, construções à prova de inundações, seguro-inundações, sistema de previsão e alerta de inundações e educação ambiental.

2.3 Sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS – *Sustainable Urban Drainage Systems*)

O conjunto de boas práticas utilizadas no manejo das águas urbanas pode ser chamado de Sistema de drenagem sustentável (SUDS), o qual é projetado de maneira a permitir a infiltração da água no solo ou sua retenção em dispositivos, na tentativa de reproduzir a disposição natural das águas superficiais. Dentre os objetivos dos SUDS destacam-se: o controle quantitativo do escoamento superficial; melhoria da qualidade da água do escoamento superficial; conservação das características naturais dos corpos d' água; e o balanço das variáveis hidrológicas na bacia hidrográfica (CHARLESWORTH et al., 2003; POLETO & TASSI, 2012). De modo geral, o sistema de drenagem urbana sustentável busca retomar as características e condições naturais do ciclo hidrológico antes da urbanização (OLIVEIRA et al., 2017).

Ademais, esses sistemas são construídos para gerir os riscos ambientais resultantes do escoamento superficial e contribuir, na medida do possível, com o aprimoramento ambiental. Segundo Woods et al. (2007) os objetivos dos SUDS abrangem a minimização dos impactos decorrentes da qualidade/quantidade do escoamento superficial e maximização da comodidade e biodiversidade.

A seguir são apresentados os elementos básicos de projetos de SUDS, publicados pela *Construction Industry Research and Information Association*, no ano de 2007:

- 💧 Faixas de filtração
- 💧 Valas de infiltração
- 💧 Bacias de infiltração
- 💧 Bacias de retenção
- 💧 Bacias de detenção
- 💧 Charcos artificiais
- 💧 Trincheiras de filtração
- 💧 Dispositivos de infiltração
- 💧 Pavimentos permeáveis
- 💧 Telhados verdes

O tratamento da drenagem urbana, a partir deste novo sistema, visa substituir as grandes estruturas dos projetos de controle de inundações convencionais, por pequenas medidas espalhadas por toda a bacia hidrográfica, atuando na fonte da geração do escoamento.

Deste modo, a prática de coleta e disposição das águas pluviais, o mais rápido possível, tem dado lugar a aplicação de tecnologias mais abrangentes, capazes de reduzir o pico de inundação, controlar a poluição e melhorar a comodidade (ARGUE & PEZZANITI, 1999).

Os SUDS focam em decisões que levam em consideração o efeito do projeto e manutenção do sistema de drenagem na qualidade no meio ambiente receptor, bem como na vida da população. Este conceito pode ser dividido em três amplos grupos, com os seguintes objetivos (CHARLESWORTH et al., 2003):

1. Reduzir a quantidade de escoamento do local (técnicas de controle de origem);
2. Diminuir a velocidade do escoamento, permitindo infiltração (sistemas de transporte permeáveis);
3. Promover um tratamento passivo para coletar a água superficial antes de sua descarga no solo ou curso d'água (fim dos sistemas de tubulação).

Os sistemas de drenagem sustentáveis oferecem benefícios que o sistema convencional não abrange, tais como: proteção e melhoria da qualidade da água e biodiversidade nos cursos d' água urbanos; proteção da população e de propriedades contra inundações; e minimização da utilização dos recursos naturais, permitindo que as operações a longo prazo sejam adaptáveis para requerimentos futuros (CHARLESWORTH et al., 2003).

2.4 O Sistema de Espaços Livres (SEL), o Território e a Drenagem

Segundo Macedo (1999) “a paisagem pode ser considerada como um produto e como um sistema. Como um produto porque resulta de um processo social de ocupação e de gestão de determinado território. Como um sistema, na medida em que a partir de qualquer ação sobre ela impressa, com certeza haverá reação correspondente, que equivale ao surgimento de uma alteração morfológica parcial ou total”.

Considerada em um ponto determinado no tempo, uma paisagem representa diferentes momentos do desenvolvimento da sociedade. Ela é resultado de uma acumulação de tempos. Assim como o espaço altera-se continuamente para poder acompanhar as

transformações da sociedade, a forma é alterada, renovada e suprimida, para dar lugar à outra forma que atenda às novas necessidades da estrutura social (SANTOS, 2004).

Para Santos (1985), a paisagem deve ser pensada paralelamente às condições políticas, econômicas e também culturais. Desvendar essa dinâmica social é fundamental, já que as paisagens nos restituem todo um cabedal histórico de técnicas, cuja era revela; mas ela não mostra todos os dados, que nem sempre são visíveis.

Sendo assim, a paisagem é cheia de complexidade e pode-se considerar que as alterações mais impactantes estão diretamente relacionadas ao processo de urbanização. Esta pode ser reconhecida como a modificação da paisagem natural para dotá-la com a infraestrutura necessária para a instalação do ser humano.

Segundo a lei complementar nº 111/2011, uma cidade apresenta três elementos básicos divididos em relação às suas funções. O primeiro elemento abrange as alterações do espaço para a construção de edificações, voltadas tanto para as atividades econômicas como para a habitação. O segundo elemento é formado pelas redes de infraestrutura, que representam o suporte de funcionamento da cidade. Fazem parte desse elemento a rede de mobilidade, o sistema de abastecimento de água, o sistema de esgotamento sanitário, o sistema de drenagem urbana, as redes de comunicação e de energia, entre outras que viabilizam o uso urbano do solo. O terceiro elemento é composto pelos espaços livres, que podem ser representados por áreas verdes, de lazer e ou de convívio social, dentro do perímetro urbano de uma cidade.

Assim, com a antropização, transformações significativas ocorrem na paisagem, gerando impactos diversos ao meio ambiente. Porém, o grau do impacto gerado está diretamente relacionado ao modelo de urbanização. Quando esse não é pautado em ideais sustentáveis, tanto o sistema natural quanto a população sofrem com consequências desastrosas.

Ian L. McHarg, que publicou o livro “*Projectar con la natureza*” (1969) tratando da avaliação e planejamento da paisagem, critica a forma como o homem tem modificado a natureza. Ele aponta a necessidade do tratamento da paisagem como sistema ecológico, sendo imperativo compatibilizar processos sociais e naturais ao planejamento, propondo um programa prático para uma nova e saudável relação entre natureza e ambiente construído. Isso deve ocorrer através da compreensão dos processos que configuram a paisagem, tentando utilizá-los como fundamento para um planejamento eficiente.

Porém, a cidade contemporânea é parte ativa das causas da crise ambiental. “Mas a cidade não é um ente ou ator social. Ela é um produto histórico, o palco de um modo de vida voltado para a produção e consumo como principal valor econômico e social” (BUENO, 2011, p.85). A urbanização decorrente da industrialização no século XIX baseou-se nas possibilidades trazidas ao homem pela mecanização da natureza. Acreditava-se, com uma visão antropocêntrica, que o meio natural poderia e deveria ser submetido às necessidades humanas e do capital; e que a natureza assimilaria, indefinidamente, os resíduos da nossa civilização, modo de produção e consumo. Assim, para que a civilização urbana prosperasse, era considerado não só aceitável, mas até necessário, que o meio natural fosse subjugado (SIEBERT, 2012).

Para viabilizar a expansão urbana, a especialização técnica difundiu obras de engenharia pesada para resolver problemas causados pela ocupação de áreas inadequadas, através da supressão de ecossistemas naturais e de vegetação arbórea, de aterros de áreas úmidas, de drenagem artificial e de retificação e canalização de rios e córregos. Em geral, as soluções têm sido pontuais, com prioridade para a circulação de veículos, sem focar repercussões em longo prazo (PELLEGRINO *et al.*, 2006).

Como resultado observa-se um modelo de urbanização que reflete o desrespeito e o não cumprimento das normas ambientais. Esse modelo suicida está sendo replicado continuamente no Brasil, gerando pressões cada vez mais fortes e o risco de inundação cada vez maior.

O indicador de Felicidade Interna Bruta (FIB), desenvolvido pelo Centro de Estudos do Butão, destaca que a resiliência ecológica tem forte ligação no bem-estar da população de uma determinada cidade. Segundo Arruda (2009) o impacto gerado pelas transformações do ambiente natural é sentido pela própria população, sendo a diretriz principal para alcançar o bem-estar urbano, o equilíbrio entre o meio ambiente e o padrão de vida obtido pelo desenvolvimento da cidade e da população.

Em relação ao setor de manejo de águas pluviais, o principal déficit diagnosticado na avaliação da estrutura do setor de drenagem urbana se refere às falhas de funcionamento do sistema que geram inundações. As inundações, por sua vez, podem ser vistas como um problema de alocação de espaço. Ao utilizar áreas que deveriam ser preservadas para inundação e fomentar um uso do solo que gera uma quantidade maior de escoamentos, o

processo de urbanização deveria prever novos e alternativos espaços para a armazenagem temporária dos escoamentos, de modo a permitir a continuidade do funcionamento do sistema de drenagem.

O sistema de drenagem é parte das redes de infraestrutura. Entretanto, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, conhecida como a Lei de Saneamento de 2007, veio, de certa forma, quebrar este paradigma rígido. Esta lei definiu a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas como peças indispensáveis do saneamento básico já que não se refere apenas a infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte e disposição final que compreendem as atividades tradicionais deste sistema, mas também prevê a detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias e o seu tratamento como elementos do sistema. Mais recentemente, alterando a Lei de Saneamento de 2007, a Lei nº 13.308, de 6 de julho de 2016, prevê a disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes.

Uma situação de drenagem urbana sustentável implica que sistemas de drenagem urbana devem ser planejados de forma integrada com o crescimento urbano, com a demanda de que soluções de drenagem sejam agregadas com a paisagem urbana (MIGUEZ *et al.*, 2007).

Para tanto, é necessária uma visão sistêmica e integrada. Tal abordagem deve avaliar a cidade de forma a associar questões ambientais e infraestrutura urbana, reavaliar políticas públicas no tocante ao uso e ocupação do solo e buscar a adoção de padrões urbanísticos adequados para a mitigação ou prevenção do risco de inundação.

Uma das questões principais está em como assegurar que áreas de interesse ambiental permaneçam preservadas. Possibilitar um sistema de espaços livres, através do ordenamento do solo, que podem assumir funções multifuncionais - ambiental, de infraestrutura e de lazer - pode ser a resposta para tal questão. As cidades podem ser mais compactas e proporcionar alta qualidade de vida, com espaços verdes públicos multifuncionais, bem planejados e de fácil acesso (AHERN, 2009; OWEN, 2009) sejam eles em escala de parques ou grandes áreas de preservação ambiental.

O termo espaço livre é impregnado de múltiplos significados sendo geralmente associados ao meio urbano onde se definem pelo perfil de propriedade, acessibilidade ou

uso, como públicos ou privados, minerais ou vegetados, associados às funções múltiplas de preservação, recreação, convívio, circulação (MERLIN e CHOAY, 1988; RONCAYOLO, 2002). Entre seus múltiplos papéis, por vezes sobrepostos, estão a circulação e a drenagem urbanas, atividades de lazer, conforto, preservação, conservação, requalificação ambiental e convívio social (SCHLEE *et al.*, 2009:45).

Os espaços livres e o entendimento de seu papel na cidade têm grandes probabilidades de transformação no processo de construção ou reconstrução da paisagem. Podem ser os espaços mais promissores do meio urbano, uma vez que podem assumir importantes funções, como: ambientais, de lazer e recreação, lugar de percepção da paisagem, entre outros (SILVEIRA *et al.*, 2016). Ao mesmo tempo, podem ser os lugares mais frágeis, pois estão mais sujeitos a ocupação indevida e desordenada, quando não reconhecido sua importância fundamental (MACHARG, 1969). Contudo, um sistema não é apenas um conjunto, para funcionar como tal é necessário que os elementos desse conjunto interajam entre si, estabelecendo relações.

Segundo Tardin (2008), de modo geral, ordenar o território de forma segmentada, sem a devida preocupação com seus recursos, em especial pelos espaços livres, é um dos fatores que caracterizam a dissipação urbana das metrópoles atuais, cuja urbanização se dissemina sem fronteiras e sem atenção às necessidades coletivas, ocasionando todo um desequilíbrio. De acordo com a autora, autores como Batle (2002), Font (2003), Sabaté (2003), Llop (2003), entre outros, defendem o sistema de espaços livres como diretriz do ordenamento do território, que permite pensar a construção da paisagem de “dentro para fora”. Este pensamento baseia-se na transformação desses espaços esquecidos pela cidade em espaços cheios de significado, capazes de serem reestruturadores do território, demonstrando que a infraestrutura e as pressões imobiliárias não são a única lógica possível de urbanização.

Dentro dessa perspectiva, busca-se a mitigação dos impactos ambientais gerados pelo intenso processo de urbanização e, por outro lado, busca-se o estabelecimento de um padrão de desenvolvimento urbano que reconhece a necessidade de coexistência, ou seja, o ambiente natural coexiste com o ambiente urbano, ao contrário do que é comumente visto, em que um sobrepõe-se ao outro. Essa coexistência é preponderante para a mudança no modelo de urbanização atual.

Todavia, com o crescimento das cidades, torna-se comum a escassez de áreas livres que possam atender as funções social, cultural, ambiental e de infraestrutura, por isso, há a preocupação de otimizar os espaços livres. Essa otimização pode ser alcançada através da concepção de espaços multifuncionais.

Um espaço multifuncional é uma intervenção urbanística que prevê mais de um uso para o mesmo local. Usos que visem aspectos de infraestrutura, como drenagem urbana, assim como aspectos de superação das carências sociais, como ausência de áreas de lazer. Isto garante o uso racional do solo urbano, propiciando a valorização imobiliária no entorno, aumentando a qualidade de vida da população e permitindo um ambiente urbano mais saudável.

Paisagens multifuncionais revelam a oportunidade de agregar a elementos de infraestrutura urbana a valoração paisagística, recreacional e estética. Este conceito baseia-se na compreensão de que as funções são multiplicadas e aumentadas significativamente quando novas possibilidades de uso para os espaços urbanos são previstos e gerenciados como um todo integrado. Uma rede gerenciada de espaços multifuncionais, que prestem benefícios ao meio urbano, ambiental e social, excede a soma das partes individuais.

Spirn (1995), em *O Jardim de Granito: a natureza no desenho da cidade*, critica projetos urbanos superficiais criados apenas para embelezar a natureza da cidade. Para a autora, são necessárias mudanças radicais que busquem reconhecer e apontar para uma série de danos decorrentes de intervenções sobre rios urbanos, que não respeitam a natureza e que têm sido adotadas mais como embelezamento superficial do que como parte de uma força essencial que permeia a cidade. Descreve mais opções para o tratamento de rios urbanos do que são usualmente consideradas pelos projetos de engenharia convencional: “A chave para se alcançar soluções eficientes, efetivas e econômicas é uma compreensão das várias maneiras como as águas se movem através da cidade” (SPIRN, 1995, p. 161).

Sendo assim, é possível reconhecer que a concepção de um sistema de espaços livres multifuncional é capaz de atenuar os problemas de drenagem urbana, como o déficit de capacidade de condução das águas pluviais pelas tradicionais redes de drenagem, cujo resultado reverte em um volume de alagamentos espalhados pela cidade.

O trabalho realizado por Brody (2017) examinou espaços livres em aproximadamente 2600 bacias hidrográficas ao longo do Golfo do México para incorporação na solução dos problemas de inundações. Através de modelos estatísticos comprovou a relação direta entre espaços livres naturais e a mitigação de inundações. Este estudo forneceu orientações quantitativas sobre quais tipos e características espaciais dos espaços livres são mais eficazes na redução dos impactos adversos das inundações.

Foi percebido que grandes espaços livres naturais podem reduzir de forma mais eficaz os danos gerados pelas inundações em comparação à espaços livres fragmentados e pequenos. Remendos naturais únicos e grandes podem fornecer caminhos para as águas pluviais e serem grandes o suficiente para funcionar como áreas de armazenamento do volume não captado pelos cursos d'água. Resultados que coincidem com as recomendações que permeiam a literatura sobre a manutenção da biodiversidade e função do ecossistema (Dramstad, Olson, & Forman, 1996; Peck & Sheila, 1998).

Os resultados do estudo indicam que espaços livres naturais quando desconectados ou dispersos não reduzem significativamente as inundações. Enquanto maior for o número de recortes de espaços livres naturais em uma bacia hidrográfica maior serão as perdas geradas por inundações. Os resultados sugerem que quando grandes manchas são fragmentadas perdem sua capacidade de reduzir as inundações. O que é agravado pelo fato de que a fragmentação está geralmente associada à urbanização, que envolve a substituição de áreas naturais por estruturas ou componentes do ambiente construído, expondo-os a inundações.

Brody (2013) ainda calcula o desempenho dos espaços livres dedicados para fins de mitigação de inundações. O cálculo hipotético realizado indica que se todas as comunidades englobadas pelo “Sistema de Classificação Comunitária do Programa Nacional de Seguro contra Inundações dos Estados Unidos da América” realizassem ações de preservação dos espaços livres para controle de inundações teriam uma economia de aproximadamente US\$ 946.800,00 por comunidade por ano. Indicando o valor econômico da proteção do espaço livre como ferramenta de planejamento para mitigação de inundações.

Há um grande potencial de solução quando passamos a observar os espaços livres como um sistema multifuncional capaz de tanto trabalhar para o manejo de águas pluviais,

oferecendo um volume de armazenamento para o sistema de drenagem, quanto como espaços de lazer e recreação. Assim, estes espaços livres podem ser utilizados também como reservatórios de amortecimento, diminuindo os picos de vazão nos eventos extremos, ou como reservatórios de retenção, com lagos permanentes, além de aumentar as oportunidades de infiltração retirando parte da água do sistema e devolvendo aos reservatórios do solo, além de oferecer a possibilidade de melhoria na qualidade da água.

Em paralelo aos espaços livres, o gerenciamento de águas superficiais nas áreas urbanas requer novas abordagens que integram o conhecimento sobre padrões e processos territoriais no desenvolvimento de práticas de gerenciamento e estruturas de controle projetadas para desempenho hidráulico e ecológico. Para o equilíbrio da cidade deve ser empregada uma lógica multisetorial na qual a sustentabilidade de determinado conglomerado urbano dependa da densidade de conexões dos espaços verdes (Vegetações) e azuis (Rios). Como sistemas integrados, a infraestrutura verde e azul pode reduzir o escoamento, aumentar a biodiversidade e oferecer benefícios culturais / de saúde através do acesso público a valiosos recursos naturais (VAN TIMMEREN, 2014), além de gerar as conexões necessárias para os espaços livres naturais fragmentados.

O crescimento das cidades e as inundações urbanas têm efeitos proporcionais. Assim, quando a cidade cresce junto ao rio, com uso do solo inadequado e padrões tradicionais de drenagem urbana, a tendência, devido às mudanças das dinâmicas naturais, é a produção de acréscimos no escoamento superficial, aumentando o risco de inundações.

Frente a isso, atualmente já é reconhecida a importância da tomada da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental e paisagístico. Os limites físicos das cidades deixam de ser a referência de unidade de planejamento, dando lugar a bacia hidrográfica, como o ponto de partida para a abordagem, o conhecimento, a aprendizagem, as discussões, as conclusões e, finalmente, a conscientização e tomada de decisões pró ativas em relação à constituição ou remodelação de uma paisagem.

Visto que a área de abrangência de uma bacia hidrográfica não é diretamente ligada aos limites físicos de um município, as ações urbanas devem estar pautadas em estudos e soluções sistêmicas para as bacias e não em limites municipais, uma vez que um sistema hídrico não reconhece questões geopolíticas.

2.5 Perigo e Risco de inundações

Um problema bastante relevante para o trabalho em questão é a identificação dos significados de perigo e risco de inundação. Para identificar e desambiguar os conceitos partiremos da identificação do risco.

O risco apresenta-se como função de duas variáveis, a probabilidade de ocorrência de um determinado evento e os danos potenciais causados por esse evento caso ocorra (ZONENSEIN, 2007; SAYERS et al, 2002).

O *US Department of Homeland Security* (DHS), através de um plano nacional de proteção da infraestrutura (NIPP - *National Infrastructure Protection Plan*), considera o risco como sendo uma função da ameaça, vulnerabilidade e consequência (CIRIA, 2010).

CETESB (2011) realiza a classificação de risco como: “Medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre frequência de ocorrência de um ou mais cenários acidentais e a magnitude dos efeitos físicos associados a esses cenários”.

Rezende (2018) após a análise de diversos significados de risco em diferentes setores de planejamento encontra uma definição do risco e perigo na temática do controle de inundações urbanas. Apresenta o risco de inundação em função de um perigo e uma consequência. O perigo por sua vez é associado à função da probabilidade de ocorrência da inundação e a consequência como sendo a magnitude da inundação gerada sobre a cidade. Sendo que o grau de gravidade das consequências trazidas pelas inundações depende da vulnerabilidade e exposição da população ou urbanização na região em questão (CIRIA, 2010).

No que diz respeito ao controle de inundações, o perigo está fortemente associado ao tempo de recorrência dos eventos de chuva extrema, sendo então a variável da equação do risco de inundações que não pode ser alterada. Torna-se então a consequência a única variável adaptável para mitigação do risco de inundações.

A redução do risco de inundações parte da diminuição da exposição e da vulnerabilidade da cidade ao perigo, através de sistemas estruturais de defesa, gerenciamento de risco (SAYERS et al, 2013; VERÓL, 2013) e políticas adequadas de uso e ocupação do solo.

2.6 O Paradoxo do Controle de Inundações e o Risco Residual

Analisando o trabalho de Cutter (2017) observamos a desarticulação dos EUA em abordar de forma correta a gestão dos riscos de inundações. Em muitos casos, o governo local estimula a ocupação de áreas afim de arrecadar imposto sobre o território urbano, sem levar em consideração os riscos relacionados a inundações. Caso venham a ocorrer eventos de inundação, o governo na escala estadual e federal se responsabiliza pelo resgate da população após um evento e pela implementação de obras para aumento da segurança em relação à novos desastres. Com a retomada da sensação de segurança após o evento crítico, o mesmo governo local volta a incentivar a ocupação dessas áreas, ainda com um risco residual.

As obras realizadas para controlar as inundações possuem limitação em sua resistência, assim, apresentam probabilidade de falha para eventos que superarem a capacidade dimensionada, expondo os bens existentes nas áreas protegidas a um risco residual (FABER, 2006).

O risco residual, porém, não é tão perceptível e a população nova situada em áreas agora “seguras” tende a aumentar sua sensação de segurança, não se preparando para um potencial evento de inundação, se expondo mais ao perigo do que na configuração inicial. Quando a população possui alta confiança na proteção estrutural de diques e represas contra inundações acaba diminuindo a percepção da probabilidade e magnitude do risco e, portanto, reduzindo a preparação para as possíveis falhas (BOTZEN, 2009; TERPSTRA, 2009).

Por mais que o trabalho de Cutter (2017) seja realizado com foco nos instrumentos públicos dos Estados Unidos da América, se aproxima muito à realidade brasileira e nos faz refletir sobre a atual conjuntura política. A Região Metropolitana do Rio de Janeiro apresenta diversos casos de falta de desarticulação entre os entes federativos (DE CASTRO & WOJCIECHOWSKI, 2010), com raras exceções. A independência destes entes faz com que vários usos sejam dados à mesma área de uma cidade. Duque de Caxias, por exemplo, possui um zoneamento municipal que está em desconformidade com documentos estaduais. A mesma área que o município considera como sendo de ocupação prioritária, é considerada como área relevante para o controle de cheias pelo zoneamento prévio de uma unidade de conservação estadual da região (BIGATE et al., 2017).

Assim, é gerado o paradoxo do controle de inundações no qual governo local, estadual e federal, desarticulados, aumentam os riscos de inundação da cidade. A Figura 2.2 apresenta de forma esquemática o paradoxo de controle de inundações citado.



Figura 2.2 – Figura esquemática do paradoxo de controle de inundações

Para abordar de forma correta os problemas de inundação na cidade, o presente trabalho levará em consideração a publicação de Roberts e Pelling (2018) na qual é considerado que o real desenvolvimento sustentável é conseguido através do controle e mitigação de perdas e danos e a preparação para perdas e danos residuais com atividades de resposta e reconstrução. Assim, há uma modificação nas ações a serem tomadas em relação ao controle de inundações, saindo de uma responsabilidade reativa para uma mais proativa. A Figura 2.3 apresenta de forma esquemática e adaptada as ideias apresentadas por Roberts e Pelling (2018).



Figura 2.3 – Ações para o desenvolvimento urbano sustentável (Adaptado de Roberts e Pelling, 2018)

2.7 Falhas do Sistema de Drenagem e seus prejuízos sobre a cidade

Tanto o sistema de macrodrenagem urbana como o sistema de microdrenagem são dimensionados para determinados tempos de recorrência, ou seja, desde sua concepção é esperado que para certos eventos de chuva as estruturas hidráulicas e os cursos d'água não sejam capazes de manter os fluxos de água dentro da sua capacidade e a vazão para a qual foram projetados seja excedida, falhando e inundando áreas da cidade não adaptadas para estas falências e atingindo, em geral, pessoas sem a percepção real do risco de inundação (ARMAS e AVRAM, 2009 ; BRILLY, 2005 ; BOTZEN, 2009).

A nomenclatura em relação às falhas do sistema de drenagem possui diversas interpretações e na maioria das vezes é confundida com diversos conceitos do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas. Dessa forma, o presente trabalho utilizará uma nomenclatura baseada nas interpretações dos conceitos de Costa (2001), Valente (2009), São Bernardo do Campo (2011) e Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), proposta em 2012 (BRASIL, 2012) sendo:

Enchente: Parte integrante do ciclo da água na natureza na qual os escoamentos superficiais das águas decorrentes de chuvas fortes aumentam a vazão de um determinado curso d'água.

Vazante: Parte integrante do ciclo da água na natureza na qual ocorre a recessão das vazões de enchente.

Cheia: Período que engloba a enchente e a vazante de um determinado rio. A cheia não necessariamente gera inundações.

Inundações: Volume de água da cheia que ultrapassa a capacidade hidráulica do curso d'água. “Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície” (BRASIL, 2012)

Alagamentos: Acúmulos de água pela cidade ocasionados por falhas na rede de microdrenagem. “Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas [...]” (BRASIL, 2012)

Enxurradas: Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), as também chamadas inundações bruscas passaram a ser denominadas enxurradas e são definidas como escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracteriza-se pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. (BRASIL, 2012).

A Figura 2.4 apresenta de forma esquemática e qualitativa a aplicação da nomenclatura adotada para um hidrograma padrão de determinada seção de um rio.

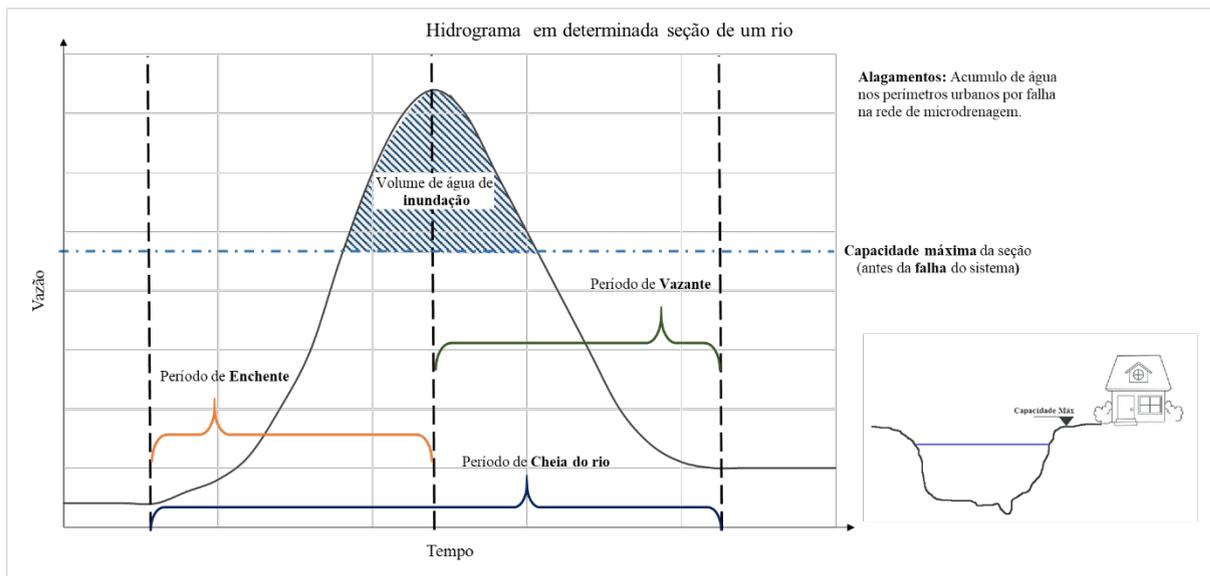


Figura 2.4 – Nomenclatura base para as falhas no sistema de drenagem urbana. Fonte: Autor.

As falhas no sistema de drenagem urbana, por sua vez, são potenciais geradoras de danos e perdas à cidade. Segundo World Bank (2013) e Hechtman (2014) a deterioração do patrimônio físico está relacionada aos danos ocasionados pelos desastres naturais, enquanto modificações no valor da prestação de serviços essenciais, despesas e rendas está associada às perdas trazidas pelos eventos de desastre.

Em outra linha de classificação dos impactos negativos trazidos pelas falhas da rede de drenagem, Handmer (1986) classifica os danos causados pelas inundações em tangíveis e intangíveis e em diretos e indiretos. A primeira classificação diz respeito à complexidade em quantificar financeiramente os danos causados pela inundação e a segunda classificação diz respeito ao deterioramento: direto - pela exposição dos bens em questão às águas pluviais; ou indireto - por qualquer perda não ocasionada pela exposição direta às águas pluviais. A Tabela 2.3 apresenta a classificação desenvolvida por Handmer e adaptada por Machado (2005).

Tabela 2.3 – Danos decorrentes de inundações em áreas urbanas (MACHADO, 2005)

Setor	Danos Tangíveis		Danos Intangíveis	
	Diretos	Indiretos	Diretos	Indiretos
Habitacional	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza, alojamento, medicamentos	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse e ansiedade; danos de longo prazo à saúde
Comércio e serviços	Danos físicos à construção, estrutura e a seu conteúdo Perdas ou danos a estoques	Custos de limpeza Lucros cessantes Desemprego Perda de base de dados	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde
Industrial	Danos físicos à construção, estrutura, e a seu conteúdo Perdas ou danos a estoques de matéria prima e produtos acabados	Custos de limpeza Lucros cessantes Desemprego Perda de base de dados	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde
Equipamentos públicos e serviços	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza e de interrupção de serviços Custo dos serviços de emergência	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde Inconvenientes de interrupção de serviços
Infra-estrutura	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços	Perdas de vidas humanas	Inconvenientes de interrupção de serviços
Patrimônio histórico e cultural	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços	Perdas de vidas humanas	Inconvenientes de interrupção de serviços

Dessa forma, em um caso hipotético no qual uma loja de vestuários de um pequeno empreendedor ribeirinho seja exposta a uma inundação ocasionada pelo extravasamento do principal curso d'água da região, teríamos:

Danos tangíveis:

Diretos: Perdas econômicas ocasionadas pela exposição do vestuário às águas pluviais; Perdas econômicas ocasionadas pela exposição da estrutura da loja à corrente de inundações.

Indiretos: Perdas econômicas do fornecedor de vestuários do pequeno empreendedor.

Danos intangíveis:

Diretos: Possíveis perdas de vidas humanas.

Indiretos: Possíveis transtornos físicos ou psicológicos causados ao pequeno empreendedor pelo evento.

A Organização das Nações Unidas (ONU) em seu relatório de desastres climáticos (CRED, 2015), apresenta as inundações como maior causadora de desastres naturais no mundo entre os anos de 1995 e 2015, correspondendo a 43% do total. Além, de estar no

topo da ocorrência dos desastres naturais, as inundações também apresentam o maior percentual de pessoas afetadas por desastres de origem climática, com 55,3% do total e está em terceiro lugar de pessoas mortas por desastres de origem climáticas, com 26%, ficando atrás de temperaturas extremas e tempestades, com 27% e 40% respectivamente.

Os desastres causados por inundações e eventos hidrológicos em geral estão fortemente associados a falhas no sistema de drenagem urbana e à falta de preparação da cidade frente a ocorrência de um evento extremo que colapse o sistema de drenagem.

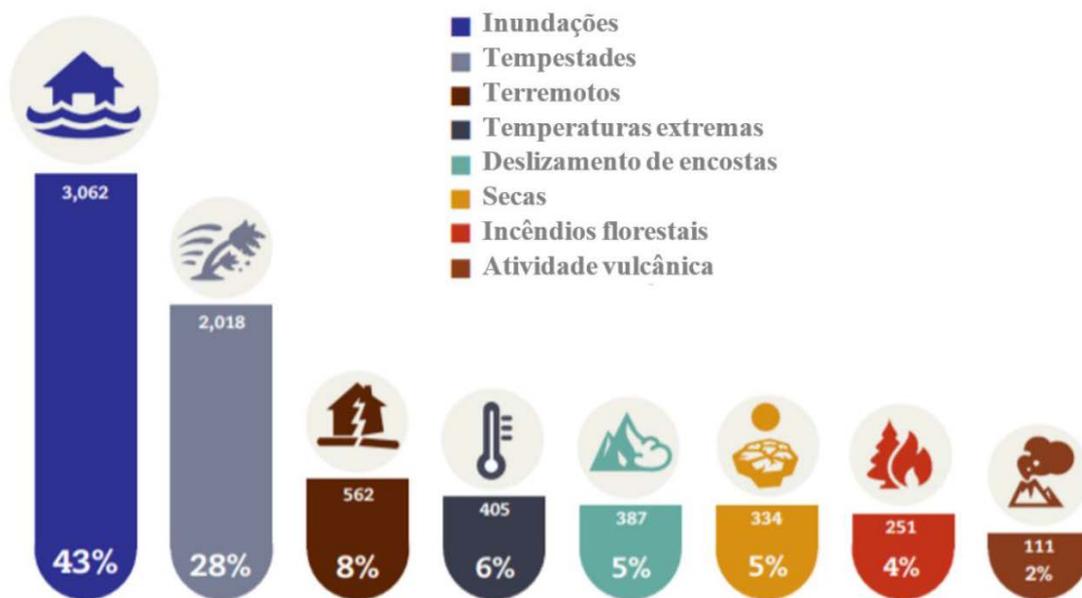


Figura 2.5 – Percentual dos desastres naturais ocorridos entre 1995 e 2015 (CRED, 2015).

Eventos icônicos de inundação podem ser observados ao longo de toda história da humanidade, mesmo antes do levantamento apresentado pela ONU, mas as inundações ocorridas no verão de 1993 no Rio Mississippi nos Estados Unidos da América destacam-se negativamente em relação aos numerosos impactos sobre os diversos setores das cidades. As inundações que atingiram o coração dos EUA durante o verão de 1993 mataram 48 pessoas e resultaram em danos diretos que totalizaram uma cerca de US\$ 20 bilhões. Um total de 525 municípios em nove estados, incluindo todos os 99 municípios de Iowa foram atingidos pelas inundações. Em Des Moines, capital do estado de Iowa, as inundações deixaram 300 mil habitantes sem água potável, centrais de energia elétrica foram inundadas, resultando em cortes de energia que afetaram 35 mil famílias e todo o distrito empresarial do centro da cidade. Des Moines foi a cidade mais atingida na zona de inundação devido à extensão e duração da inundação e ao grau em que os serviços essenciais a vida e as atividades comunitárias foram interrompidas (TIERNEY, 1995).

Em relação ao cenário de desastres naturais no Brasil, no período de 1991 a 2010, conforme pode ser visto na Figura 2.6, os eventos hidrológicos (Alagamentos, inundações e enxurradas) corresponderam a 64% da morbidade (enfermos e feridos leves e graves), 40% das pessoas afetadas, 68% das pessoas diretamente expostas (deslocados, desabrigados e desalojados), 46% da mortalidade e 33% dos eventos ocorridos no Brasil (CEPED UFSC, 2012a). Para classificação dos desastres naturais foram considerados os agrupamentos realizados por Freitas et al. (2014) no qual: Desastres Climatológicos correspondem a estiagem e seca, incêndios florestais, chuvas de granizo, geadas e ondas de frio e de calor; Desastres meteorológicos correspondem a raios, ciclones tropicais e extratropicais, tormenta, tornados e vendavais; e desastres geofísicos ou geológicos correspondem a terremoto, vulcão, movimento de massa.

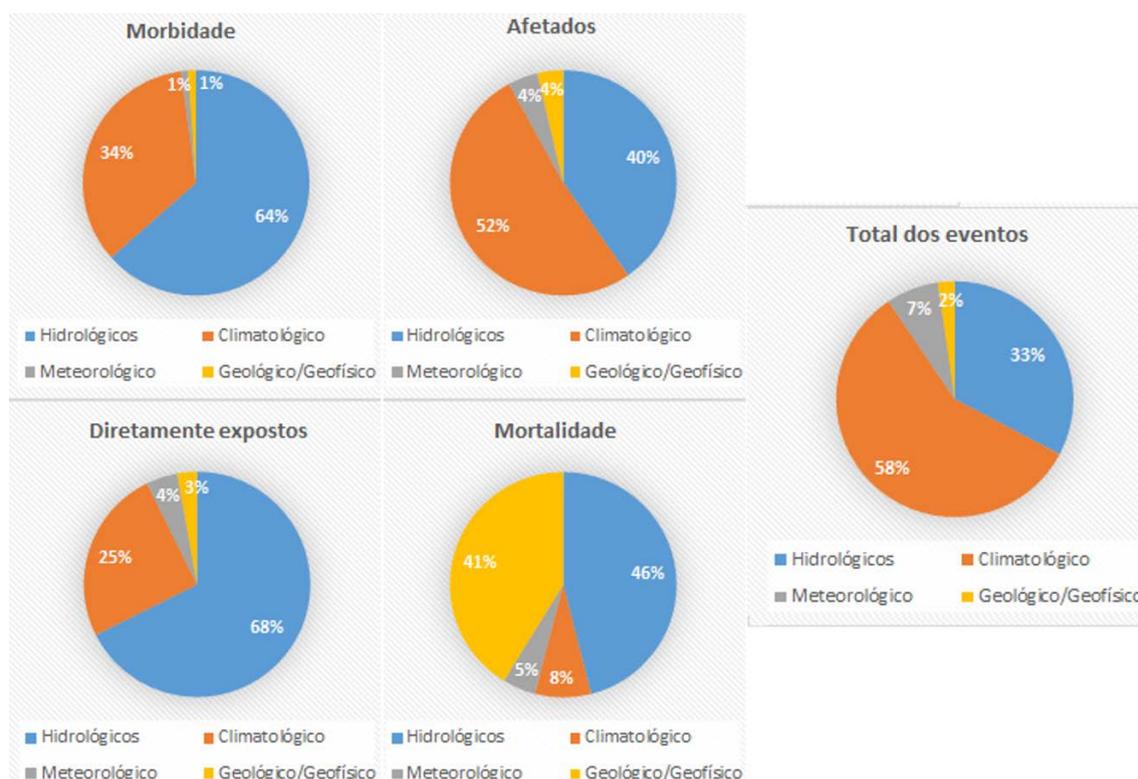


Figura 2.6 - Registro de Desastres Naturais no Brasil, 1991-2010 (CEPED UFSC, 2012a).

Percebemos que os desastres naturais de origem hidrológica merecem bastante atenção principalmente se considerarmos que correspondem a um terço dos eventos totais de desastres e estão na frente em relação à morbidade, pessoas diretamente expostas e mortalidade.

Em relação ao cenário do Estado do Rio de Janeiro a situação é muito mais crítica. Os desastres hidrológicos representam 75,04% do total de mortalidade, 89,97% da

morbidade, 70,64% da população afetada, 78,84% da população exposta, 99,97% dos desaparecidos e 68,7% do total de todos os desastres naturais no período de 1991 a 2010. As enxurradas correspondem a 35%, as inundações a 21% (conforme pode ser visto na Figura 2.7) e os alagamentos 7,7% do total de desastres do período (CEPED UFSC, 2012b).

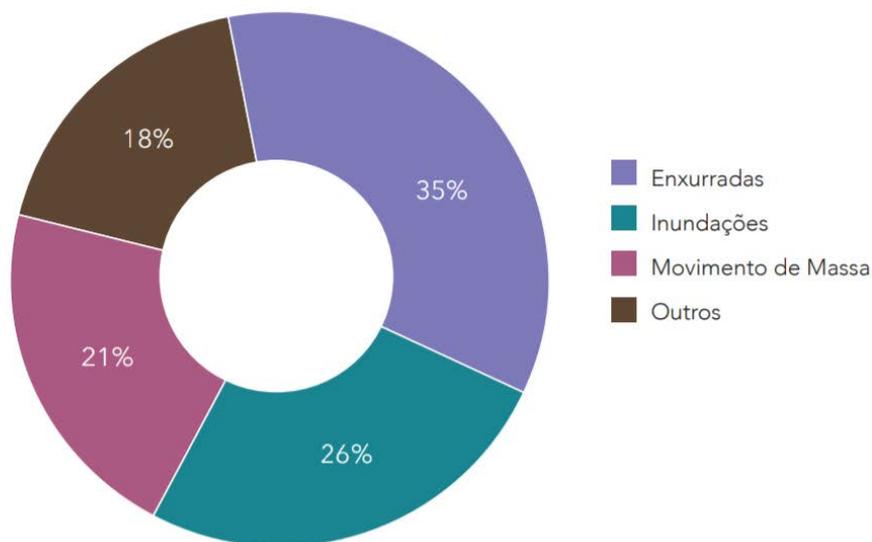


Figura 2.7 – Percentual dos principais desastres no período de 1991 e 2010 no Estado do Rio de Janeiro. (CEPED UFSC, 2012b)

Percebemos que os desastres hidrológicos têm um enorme potencial de gerar danos à cidade. A seguir serão analisados e tratados de forma separada os impactos das falhas do sistema de drenagem sobre os sistemas da cidade divididos por setores de planejamento, adaptados do Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (MAGALHÃES e MIGUEZ, 2018) elaborado entre os anos de 2016 e 2018. Assim, os seguintes itens abordarão o impacto da drenagem sobre seis eixos estruturantes: Economia; Patrimônio Natural e Cultural; Mobilidade; Habitação e Equipamentos Sociais; Saneamento; e Resiliência Ambiental.

2.7.1 Inundações e Atividades econômicas

A “Política Nacional de Saneamento Ambiental” (SNSA, 2003) além de apontar os princípios da política pública em relação ao saneamento, indica pela área econômica e de planejamento do governo soluções alternativas como a adoção de Parceria Público-Privada (PPP). No entanto, desde o ano de sua implementação até os dias atuais os investimentos tanto no eixo de saneamento, como especificamente no setor de drenagem urbana são em sua grande maioria públicos.

Destacam-se como principais entraves para o interesse de investidores no setor de manejo de águas pluviais o aporte financeiro elevado (tanto inicial como de operação), período de retorno do investimento financeiro tardio e de difícil quantificação e o fato das estruturas hidráulicas estarem na maioria do tempo ociosas, uma vez que os eventos de chuva extrema são eventuais (MACHADO, 2005). Além disso, a quantificação dos danos trazidos pela inundação e o ganho econômico por deixar de tê-las são complexos e carecem de sistemas de informação (SALGADO, 1995).

É necessário o desenvolvimento de pesquisas comprovando o retorno financeiro do investimento no setor de manejo de águas pluviais e de drenagem tanto para o setor público como para o privado, uma vez que é evidente o impacto das falhas do setor no eixo de economia (EMBRECHTS, 1997), havendo diversos registros comprobatórios no mundo inteiro.

Os Estados Unidos e sua economia são constantemente desafiados por desastres climáticos que conferem grandes custos sociais e econômicos (NCA, 2014). As inundações, tanto costeiras como fluviais nos Estados Unidos da América, por exemplo, são os mais dispendiosos dos desastres naturais (WRIGGINS, 2014). Isto é retratado quando analisamos o panorama de 2014, onde enormes subsídios a propriedades expostas ao risco de inundações levaram a uma dívida de US \$ 24 bilhões do Programa Nacional de Seguro contra Inundações dos Estados Unidos (*National Flood Insurance Program - NFIP*) para com o Departamento do Tesouro. Há diversas críticas ao NFIP em especial à metodologia solidária utilizada para pagar os prêmios do seguro contra inundações e à maneira como é realizado o levantamento de áreas com risco de inundação (MONTGOMERY, 2017), porém, fica evidente o impacto das falhas do sistema de manejo de águas pluviais sobre a economia do estado dos EUA.

Em relação às perdas econômicas do setor privado dos EUA podemos tomar como exemplo o evento de inundação 1993 ocasionado pela cheia do Rio Mississippi. Segundo Tierney (1995), Des Moines, a cidade mais atingida em relação ao dano físico direto, teve 15% das suas empresas impactadas pelas inundações. O mais frequente relato foi o dano ao interior da propriedade comercial (69% dos negócios), seguido pelo dano ao inventário ou estoque (63%), e por último o dano a mobília e a equipamento (58 e 63%, respectivamente). Um quarto dos negócios atingidos informou que a inundação causou danos estruturais aos seus edifícios, e em alguns outros casos o dano foi tão grave que os edifícios foram declarados estruturalmente inseguros. Embora relativamente poucas empresas tenham sido diretamente danificadas por inundações, as perdas foram muito elevadas para esses negócios. A perda média em dólares devido a inundações foi de US\$ 50.000, chegando à média de US\$ 288.500 de danos para as empresas de grande porte.

15 anos mais tarde, no evento de meados de 2008, com as inundações do mesmo Rio Mississippi, somente no estado de Iowa, os prejuízos no campo foram de US\$ 3 bilhões. As inundações destruíram plantações e fizeram os preços do milho e das carnes bovina e suína aumentarem drasticamente (TERRA, 2008).

De maneira a quantificar ainda mais os desastres trazidos pelas inundações no setor econômico, surge como principal referencia o trabalho de Smith (2015). Este trabalho contribui para a literatura, examinando novas abordagens para melhorar a compreensão da incerteza em torno das estimativas de custo de desastres naturais nos EUA, aplicando as simulações estatísticas de Monte Carlo (MOONEY, 1997) para quantificar os intervalos de confiança de 95%, 90% e 75%.

A base para esta pesquisa é o relatório do *U.S. Billion-dollar Weather and Climate Disaster* desenvolvido pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration's National Climatic Data Center* (NCDC, 2014). Esta análise quantifica a perda de inúmeros desastres climáticos, incluindo: ciclones tropicais, inundações, secas e ondas de calor, tempestades locais severas (tornado, granizo, vendaval), incêndios florestais, eventos de congelamento de colheitas e tempestades de inverno. Essa estimativa de perda reflete apenas os efeitos diretos do clima e eventos climáticos para danos avaliados em mais de um bilhão de dólares, e constitui perdas totais (bens segurados e sem seguro). Os componentes de perda direta segurados e não segurados incluem: danos físicos a residenciais, edifícios comerciais e governamentais, bens materiais dentro de um edifício,

perdas de elementos temporários (por exemplo, interrupção de negócios), veículos, embarcações, plataformas de energia *offshore*, infraestrutura pública (estradas, pontes, edifícios) e ativos agrícolas (culturas, pecuária, madeira).

Embora a metodologia quantifique de forma abrangente os danos gerados pelas inundações, não leva em consideração perdas dos ativos naturais, perdas relacionadas à saúde ou valores associados à perda da vida. A Tabela 2.4 apresenta os 10 maiores registros de danos ocasionados por inundações nos EUA segundo a metodologia de Smith (2015) apresentada.

Tabela 2.4 - 10 maiores registros de danos, avaliados em mais de um bilhão de dólares, ocasionados por inundações nos EUA (SMITH, 2015)

Evento	Descrição	Danos estimados (bilhões)	Mortes
Inundações do Centro-Oeste (1993)	Inundações severas e generalizadas nos EUA devido a fortes chuvas persistentes. Houve danos consideráveis para a agricultura, infraestrutura, lares e empresas em muitas áreas em vários estados. Este é o evento de inundação mais caro a os Estados Unidos em registro.	\$ 36.10	48
Inundações do Centro-Oeste (2008)	Fortes chuvas e inundações causaram danos significativos na agricultura e danos à propriedades em IA, IL, IN, MO, MN, NE e WI, sendo IA mais atingido com totais de chuva variando de 100 a mais de 400 mm.	\$ 11.60	24
Inundações em Louisiana (2016)	Inundação histórica que devastou uma grande área do sul da Louisiana resultando de 508 a 762 milímetros de chuva durante vários dias. Watson, Louisiana, recebeu espantosos 797 milímetros de chuva. Os totais de chuva de dois dias nas áreas mais atingidas têm uma probabilidade de ocorrência de 0,2% em qualquer ano: um evento de Tempo de Recorrência de 500 anos. Mais de 30 mil pessoas foram resgatadas das inundações que danificaram ou destruíram mais de 50 mil lares, 100 mil veículos e 20 mil empresas. Este é o evento de inundação dos EUA mais prejudicial, desde a Supertempestade Sandy que impactou o Nordeste em 2012.	\$ 10.40	13
Inundações nas Planícies do Norte (1997)	Inundações severas em Dakota do Norte, Dakota do Sul e Minnesota devido a forte queda da neve da primavera. Esta inundação causou danos generalizados à agricultura, infraestrutura, lares e empresas.	\$ 5.70	11
Inundações na Costa Oeste (1997)	As chuvas torrenciais (250-1016 mm em 2 semanas) e o derretimento da neve produziram inundações graves em CA, WA, OR, ID, NV e MT.	\$ 4.60	36
Inundações na Califórnia (1995)	As frequentes tempestades de inverno causaram chuvas de 508 a 1778 mm e inundações periódicas em grande parte da Califórnia.	\$ 4.10	27
Inundações e tempestades nos Estados do Golfo (1982)	Tempestades e inundações severas, especialmente nos estados de TX, AR, LA, MS, AL, GA e FL	\$ 4.00	45
Tempestades e Inundações Ocidentais (1982)	Tempestades e inundações severas, especialmente nos estados de WA, OR, CA, AZ, NV, ID, UT e MT	\$ 3.90	50
Inundações do Rio Mississippi (2011)	A precipitação persistente (quase 300% das quantidades no vale de Ohio), combinada com a neve derretida causaram inundações históricas ao longo do Rio Mississippi e seus afluentes. Exemplos de danos econômicos incluem: 555,0 milhões para agricultura no Arkansas; 355,2 milhões em danos a Memphis, Tennessee; 888,0 milhões para agricultura no Mississippi; 351,9 milhões para agricultura e propriedades no reservatório de <i>Birds Point-New Madrid</i> do rio Mississippi; 88,8 milhões nos primeiros 30 dias de esforços de combate às inundações em Louisiana.	\$ 3.30	7
Inundações em Houston (2016)	Precipitações extremas de até 432 mm geraram inundações urbanas generalizadas em Houston e subúrbios circundantes. Milhares de casas e empresas foram danificadas e mais de 1.800 resgates foram conduzidos. Este representa o evento inundações mais difundido a afetar Houston desde a tempestade tropical Allison em 2001.	\$ 2.80	8

A Figura 2.8 apresenta o somatório dos danos desde 1980 para eventos com prejuízos acima de 1 bilhão de dólares. Em comparação aos demais eventos naturais geradores de desastres, vemos as inundações ocuparem o quarto lugar em gastos gerados. Por mais que os dados já indiquem uma situação preocupante em relação à posição dos danos ocasionados pelas inundações, vale ressaltar que esta pesquisa indica apenas os desastres que geraram prejuízos maiores a um bilhão de dólares e como as inundações apresentam maior recorrência que outros desastres naturais, é esperado que quando quantificados todos os danos gerados pelos desastres (incluindo os inferiores a 1 bilhão de dólares), a integral de danos por inundações avance mais que os outros desastres. Além disso, os eventos de inundações apresentam maiores valores de incerteza em torno de suas estimativas devido a menor cobertura de ativos segurados (SMITH, 2013).

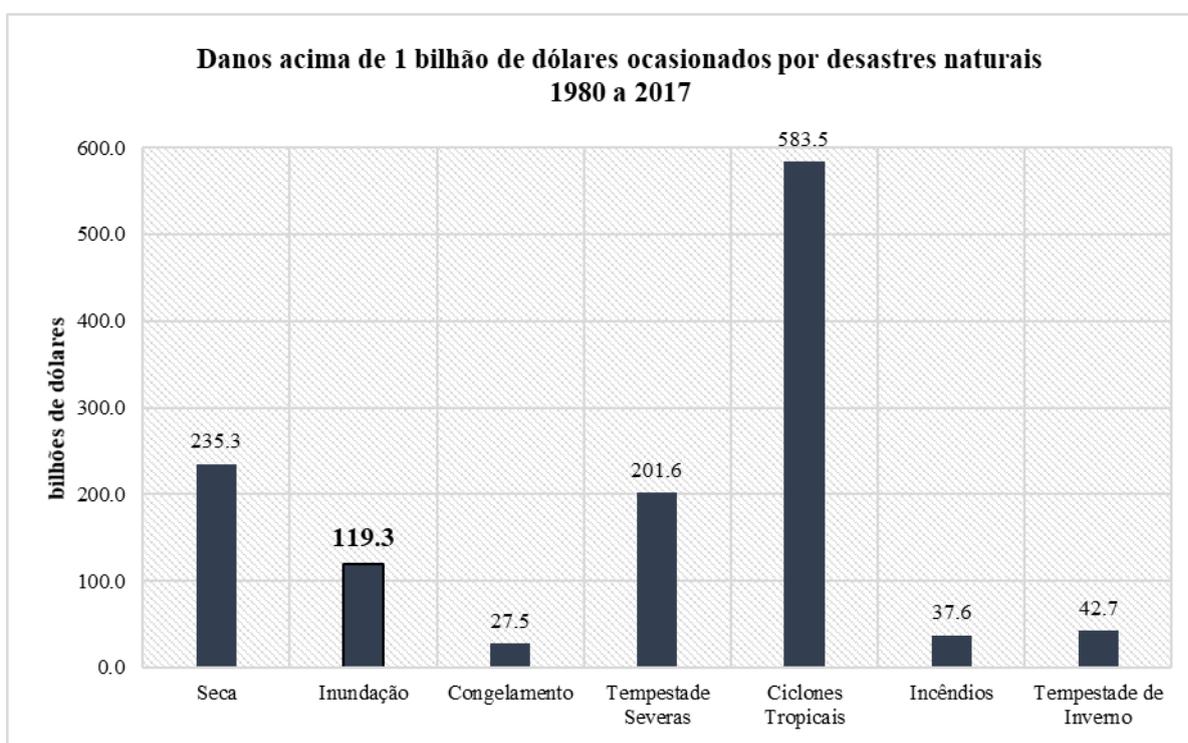


Figura 2.8 – Somatório dos danos no período de 1980 a 2017 dos desastres naturais que causaram mais de um bilhão de dólares em danos. Obs.: Os dados não levam em consideração os furacões Irma, Harvey e Maria (2017), uma vez que até a data do levantamento das informações ainda não tinham sido quantificados os danos trazidos por eles.

Em relação aos registros de danos trazidos pelas inundações no eixo de economia no Brasil, se destacam as publicações do Banco Mundial para as inundações bruscas em 2008 em Santa Catarina (BANCO MUNDIAL, 2012a), em 2010 em Alagoas (BANCO MUNDIAL, 2012b) e em Pernambuco (BANCO MUNDIAL, 2012c), além das inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 (BANCO MUNDIAL, 2012d).

No final do mês de novembro de 2008, o Estado de Santa Catarina foi afetado por eventos pluviométricos extremos que ocasionaram um dos piores desastres já registrados na região, quantificando elevadas perdas humanas e prejuízos econômicos (BANCO MUNDIAL, 2012a). Correspondendo a 14.5% do PIB do estado, o setor econômico agropecuário sofreu perdas e danos correspondentes a quase 540 milhões de reais. A Tabela 2.5 apresenta as perdas e danos no setor agropecuário, quantificados pelo Banco Mundial com base nas informações oficiais. Se destacam os danos gerados às Culturas Anuais que sofreram 67% do total de perdas e danos.

Tabela 2.5 - Perdas e danos no setor agropecuário, quantificados pelo Banco Mundial com base nas informações oficiais.

Subsetor	Danos (R\$ milhões)	Perdas (R\$ milhões)
Agricultura / Culturas Permanentes	28,15	
Culturas Anuais	361,47	
Olerícolas	95,86	
Pecuária	14,82	16,86
Maricultura	8,27	
Edificações Agrícolas Danificadas / Destruídas	14,05	
Total	522,61	16,86
Total		539,47

No mês de junho de 2010, 19 municípios do estado de Alagoas foram declarados em Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública devido às inundações trazidas por fortes eventos pluviométricos. As perdas e danos atingiram quase todos os setores urbanos da região com prejuízos estimados de 1,89 bilhões de reais, sendo 94,5 milhões de reais somente do setor industrial, 132,3 milhões de reais dos setores relativos ao comércio e 18,9 milhões de reais do setor de agricultura (BANCO MUNDIAL, 2012b).

Ainda em junho de 2010 o estado de Pernambuco registrou eventos pluviométricos intensos, que levaram a fortes enxurradas e inundações. O evento foi responsável por decretação de situação de calamidade em 12 municípios e situação de emergência em 30, com um total de 77 municípios afetados. Foram também registradas 20 mortes em consequência do evento.

As perdas e danos quantificados foram significativos, chegando aos R\$ 3,4 bilhões, que corresponde a mais de 4% do Produto Interno Bruto de Pernambuco. Em relação às características das perdas e danos, aproximadamente R\$ 2 bilhões de custos foram diretos e R\$ 1.4 bilhão foram custos indiretos. A Tabela 2.6 apresenta o sumário de perdas e danos para os setores produtivos de Pernambuco após as inundações de 2010. Diferente do evento de Santa Catarina, o evento de 2010 no Pernambuco teve a maioria de suas perdas e danos no Setor produtivo de Comércio e Serviços (76,75%), indicando impactos mais urbanos do desastre.

Tabela 2.6 – Inundações bruscas de Pernambuco em 2010: sumário de perdas e danos para os setores produtivos. (BANCO MUNDIAL, 2012c)

Subsetor	Danos (R\$ milhões)	Perdas (R\$ milhões)
Agricultura	63,29	0,10
Indústria	35,37	0,00
Comércio e Serviços	252,10	73,97
Total	350,76	74,07
Total		424,83

Em relação ao evento que atingiu a região serrana do estado do Rio de Janeiro, as inundações e deslizamentos em janeiro de 2011 ficaram conhecidos como o pior desastre brasileiro no que diz respeito a danos humanos, porém, as perdas e danos econômicos também foram significativos, maiores do que os três eventos brasileiros apresentados até o momento. Com base nos dados do Banco Mundial (2012d), observamos que as perdas e danos chegaram a 4,79 bilhões de reais. Os setores produtivos foram responsáveis por 19% do total de perdas e danos do evento. Destaque negativo novamente para o subsetor do comércio com 52,36% do total de perdas e danos dos setores produtivos. A Tabela 2.7 apresenta as perdas e danos para o setor produtivo gerados na região serrana do Estado do Rio de Janeiro pelo evento de 2011.

Tabela 2.7 Inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011 (BANCO MUNDIAL 2012d).

Subsetor	Danos (R\$ milhões)	Perdas (R\$ milhões)
Agricultura	124,00	90,00
Indústria	30,18	123,30
Comércio	133,54	335,68
Turismo	7,00	52,40
Total	294,72	601,38
Total		896,10

Por mais que o documento leve em consideração tanto as inundações como os deslizamentos (Movimentos de massa) na região serrana, de acordo com o Atlas Brasileiro dos Desastres Naturais, entre 1991 e 2010, 42% dos registros de desastres naturais corresponderam a fenômenos de inundações bruscas (260 registros) e 22% a movimentos de massa (140 registros). Somando-se às inundações graduais, com 155 registros no período de vinte anos, temos um total 67% de desastres hidrológicos do total de desastres do período, reafirmando a criticidade das inundações para a região.

2.7.2 A Drenagem e o Patrimônio Cultural

A ocorrência de alagamentos, enxurradas e inundações ameaçam o patrimônio público e privado, prejudicando a paisagem cultural e bens tombados (MEDEIROS & AFONSO, 2017). Fatos históricos comprovam a vulnerabilidade do patrimônio cultural perante as inundações resultantes da falta de resiliência das cidades.

Em 1966, em Florença, a elevação do rio Arno causou danos consideráveis em toda a cidade, danificando bens materiais, em especial várias obras de arte conservadas desde a época renascentista. A água ultrapassou 4,5 metros de altura, atingindo diversos bens históricos como a Ponte e Palácio Vecchio, a Biblioteca Nacional de Florença, o Museu Arqueológico Nacional, a igreja de Santa Croce, entre outros (ALTMAN, 2013) (Figura X). Segundo a Unesco, mais de dois milhões de volumes raros insubstituíveis e manuscritos foram severamente danificados, além de diversas obras, com destaque para a “Última Ceia” de Giorgio Vasari (KENNEDY, 2013).



Figura 2.9 – Danos causados pela inundação de 1966 em Florença, Itália. Fonte: Ribeiro (2016).

Em 2016, o Museu do Louvre, em Paris, passou por alerta de inundação devido ao excesso de chuvas que elevou o nível do rio Sena cerca de 5 metros acima do habitual. De forma preventiva, as obras conservadas nas zonas inundáveis foram deslocadas para os andares superiores. Ademais, as fortes chuvas provocaram a inundação do cais em ambas as margens do rio Sena, a interrupção do transporte pluvial e o bloqueio da linha de trem regional que atravessa a capital francesa (VEJA, 2016).

Já no Rio de Janeiro, o Museu Casa do Pontal, com o maior acervo de arte popular do Brasil, vem sofrendo inundações devido a impermeabilização do solo da região e pelo fato do seu terreno ter ficado abaixo da cota das novas ruas. As peças deste acervo foram confeccionadas em materiais delicados, não podendo entrar em contato de forma alguma com a água, com risco de perda total. Em 2016, durante uma enchente em janeiro, cerca de 100 obras foram retiradas do museu, resultando em um delicado trabalho de manipulação e em 30 dias de não funcionamento do local (MUSEU, 2017).

2.7.3 A Drenagem e a Mobilidade

Segundo Salgado (1995) as inundações podem provocar congestionamentos e retenções no trânsito das vias que cruzam áreas onde há falhas nas redes de drenagem, podendo causar prejuízos diretos tangíveis e intangíveis aos usuários. Segundo o autor, os prejuízos tangíveis incluem:

- 💧 o acréscimo do custo operacional dos veículos;
- 💧 o tempo perdido pelas pessoas retidas no congestionamento;
- 💧 as perdas econômicas decorrentes de atrasos na entrega de encomendas ou deterioração de cargas perecíveis.

Em relação aos prejuízos intangíveis há o stress provocado pelos transtornos devido às retenções no trânsito e/ou pela sensação de insegurança com o aumento do risco de acidentes pela aquaplanagem.

Dependendo do tempo que as vias permanecerem inundadas o impacto das inundações sobre a mobilidade urbana pode alcançar valores significativos de prejuízos.

Sobre os icônicos eventos de as inundações bruscas em 2008 em Santa Catarina (BANCO MUNDIAL, 2012a), em 2010 em Alagoas (BANCO MUNDIAL, 2012b) e em Pernambuco (BANCO MUNDIAL, 2012c) e as inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 (BANCO MUNDIAL, 2012d) os impactos dos desastres em relação à infraestrutura do setor de mobilidade podem ser vistos na Tabela 2.8. Observamos significativas perdas no setor, com destaque para os impactos sobre a mobilidade do evento de Santa Catarina impactando 28,43% do total de perdas e danos. Analisando os quatro eventos, observamos que o impacto das inundações sobre o setor de mobilidade varia entre 10% e 30 % com uma média ponderada pelo total de perdas e danos de 17,65%.

Tabela 2.8 – Perdas e danos no setor de mobilidade para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).

Evento	Perdas e Danos em Mobilidade (R\$ milhões)	Percentual do total de perdas e danos
Santa Catarina (2008)	1352,1	28,43%
Alagoas (2010)	245,7	13%
Pernambuco (2010)	394,1	11,69%
Rio de Janeiro (2011)	620,1	13,34%
Todos os eventos	2613,0	17,65%

Os impactos das inundações sobre a mobilidade urbana ficam ainda mais claros quando analisamos o trabalho de Armond e Neto (2012). Os autores utilização médias impressas para identificar e analisar episódios extremos de chuva no município do Rio de Janeiro no período de 2006 a 2010. A Tabela 2.9 apresenta os eventos extremos de chuva e transtornos ligados a inundações e alagamentos no município do Rio de Janeiro noticiados no jornal “O Extra” no período de análise. Observamos que dentre os 25 eventos de chuva extrema observados 24 apresentam como principais danos materiais os prejuízos causados ao setor de mobilidade urbana.

Tabela 2.9 - Eventos extremos de chuva e transtornos ligados a inundações e alagamentos no município do Rio de Janeiro noticiados no jornal “O Extra” entre 2006 e 2010 (ARMOND E NETO, 2012).

Data	Chuva máx. em 24h (mm)	Local	Manchete	Tipos de dano	
				Danos materiais	Danos humanos (desalojados, feridos e óbitos)
03/02/2006	66	Honório Gurgel, Jacarepaguá, Vila Valqueire, Leopoldina, Penha	Mortos pela chuva já são 19 (Geral, p. 9)	Inundação de casas; terras, galhos e troncos nas ruas da cidade; alagamento do estacionamento do Penha Shopping	15 desalojados; 2 mortes por alagamentos; 6 mortes por afogamento
03/02/2006	66	Caju	Chuva causa interdição de posto de saúde (Geral, p. 9)	Inundação do posto de saúde Fernando Antônio Braga Lopes, com danos em equipamentos e documentos	-

18/04/2006	2 434	Centro, Avenida Brasil, Tijuca, Maracanã, Leblon, Lapa	Chuva provoca acidentes e deixa 92 pessoas feridas (O assunto é TEMPORA L, p. 3)	Queda de árvores na Av. Niemeyer; fechamento do aeroporto Santos Dumont; falta de luz em pontos da cidade; pistas molhadas; alagamento na rua Haddock Lobo (Tijuca), na Av. Maracanã (Praça da Bandeira) e na Rua São Francisco Xavier, com cheia do Rio Maracanã; alagamento das ruas Mem de Sá e Lavradio (Lapa);	124 feridos em acidentes automobilísticos
28/11/2006	496	Centro	Tromba d'água arrasta 52 veículos em Nova Iguaçu (Geral, p. 8)	Complicações no trânsito na área central da cidade	-
16/12/2006	908	Tijuca, Maracanã, Bonsucesso, Manguinhos, Parada de Lucas, Penha, Honório Gurgel, Guadalupe	Temporal alaga ruas do Rio e da Baixada (Geral, p. 8)	Alagamentos nas ruas e na Avenida Brasil; fechamento do aeroporto Santos Dumont e falta de luz	-
15/03/2008	1 004	Taquara, Cavalcante, Engenheiro Leal, Vargem Grande, Bonsucesso, Santa Cruz, Higienópolis, Itanhangá, Maracanã e Centro	Frente fria provoca caos no Rio (Geral, p. 10)	Queda de árvores; falta de luz; transbordamento do Rio Maracanã, com pontos de alagamento na Praça da Bandeira; detritos espalhados pela cidade; desabamento do teto do Hospital Souza Aguiar, no Centro.	-
17/03/2008	102	Centro	Transtornos em vários locais (Geral, p. 7)	Alagamento na Av. Presidente Vargas, com colisão entre veículos	29 feridos
11/08/2008	810	Caju, Grajaú, Avenida Brasil	Chuva, ventania e acidentes (Geral, p. 9)	Acidentes entre veículos; fechamento do aeroporto Santos Dumont	-

03/10/2008	102	Praça XV, Encantado, Centro, Ilha do Governador, Manguinhos, Leblon	Frente fria: um morto e 16 feridos (Geral, p. 5)	Colisão entre veículos e demais acidentes de trânsito; vendaval; queda de postes	16 feridos; 1 morte
18/11/2008	712	Centro, Aterro do Flamengo, Leblon, Barra	Rio, cidade purgatório da beleza e do caos – aeroportos, Linha Amarela e a Ponte Rio-Niterói são fechados devido à fúria de São Pedro (Geral, p. 8)	Alagamento das principais vias da cidade, com interdição devido aos bolsões de água; carros arrastados pela água; desabamento de uma cobertura no Leblon; alagamento da Câmara Municipal; Barcas trafegaram com velocidade reduzida no trajeto Rio- Niterói	-
28/11/2008	344	Vidigal, Ipanema, Alto da Boa Vista	No Rio, três mortos e mais de 2.000 desabrigados (Geral, p. 8)	Alagamento de trechos de vias da cidade; queda de árvores e postes	-
26/12/2008	434	Centro, Urca	Chuva na virada do ano no Rio (Geral, p. 4)	Rajadas de vento; fechamento por 35 min.do aeroporto Santos Dumont; suspensão da circulação dos bondinhos no Pão de Açúcar; enchentes nas principais vias de acesso à zona sul	-
17/11/2009	314	Anchieta, Oswaldo Cruz, Cordovil, Campo Grande, Praça Seca, Tijuca, Madureira, Marechal Hermes, Jacarepaguá	Dezenas de socorros (Geral, p. 3)	Alagamentos em diversas ruas, com água ultrapassando a altura de 1m; deslizamentos; bloqueio de estações de trem; portas e portões de metal avariados	-
29/12/2009	598	Piedade, Jacarepaguá, Taquara, Cordovil, Ramos, Urca, Lapa	Criança morre em temporal (Geral, p. 4)	Inundação e alagamentos em ruas, formando bolsões d'água; transbordamento de bueiros; queda de árvores; deslizamentos de terra; falta de luz	1 ferido; 1 morte por afogamento em bolsão de água

07/03/2010	1 272	Rio Comprido, Barra, Recreio, Maracanã, Leblon, Tijuca, Ilha do Governador, Inhaúma, São Cristóvão, Vicente de Carvalho, Anchieta	Chuva de 40 minutos para o Rio (Geral, p. 12)	Tumulto no trânsito das principais vias da cidade, com alagamentos formando bolsões d'água; motoristas ilhados; desabamento de casas; falta de energia; queda de árvores e muros	22 feridos
15/03/2010	882	Engenho de Dentro, Centro, Bonsucesso, Penha, Vicente de Carvalho, Inhaúma, Ramos, Urca, Ilha do Governador, Olaria, Vila Isabel	Forte temporal castiga o Rio (Geral, p. 9)	Alagamentos nas principais vias da cidade; desabamento do teto do Hospital Geral de Bonsucesso; falta de luz na Unidade de Pronto Atendimento da Penha; queda de árvores; fechamento do aeroporto Santos Dumont e aparelhos utilizados no aeroporto do Galeão	-
16/03/2010	142	Maracanã, Av. Brasil, Praça da Bandeira	Baixa intensidade (Geral, p. 3)	Alagamento das principais vias nos locais já sinalizados.	-
19/03/2010	188	Vila Valqueire, Bonsucesso	Mais transtornos com as chuvas (Geral, p. 6)	Alagamentos nas estações de trem em V. Valqueire, com interdição da estação; deslizamentos de terra.	-
06/04/2010	1 374	Barra, São Conrado, Tijuca, Jacarepaguá, Ilha do Governador, São Cristóvão, Maracanã, Andaraí, Zona Sul, Manguinhos	Rio embaixo d'água (CAPA)	Alagamentos em vários pontos impediram o tráfego, com carros inundados pela água; deslizamento no Morro do Borel; fechamento do aeroporto S. Dumont; paralisação de parte dos trens da SuperVia e do metrô; rajadas de até 75km/h; falta de luz; transbordamento do Rio Maracanã;	5 feridos; 3 mortes

07/04/2010	2 758	Centro, Maracanã, J. Botânico; Lagoa; Leblon, Jacarepaguá, S. Teresa, Taquara, Humaitá, Andaraí, Recreio, Ilha do Governador, Botafogo, Campo Grande	O Rio inteiro atolado (Rio 40 CAOS, p. 19)	Alagamentos em vários pontos, com água na altura de 2m chegando a invadir veículos (inclusive ônibus); deslizamentos no Morro dos Prazeres (Santa Teresa)	11 mil desalojados (Região Metropolitana); 39 mortes no município (34 por deslizamento em Santa Teresa)
10/04/2010	268	Santa Teresa, Rocinha, Copacabana, Alto da Boa Vista	Desocupação até com a polícia (Rio 40 CAOS, p. 14)	Alagamentos e deslizamentos nos locais noticiados; interdição de pistas	-
28/10/2010	710	Copacabana, Urca, Olaria, Humaitá, Triagem; Praça da Bandeira	Chuva ainda deixa carioca alagado (Geral, p. 5)	Alagamentos na Zona Sul; fechamento de passagem subterrânea do trem em Olaria; inundação do pátio do colégio Pedro II	-
06/12/2010	1 524	Centro, Botafogo, J. Botânico, Tijuca, Penha, Bonsucesso, Ilha do Governador, Laranjeiras, Urca, Ramos, Cascadura, Flamengo, Maracanã, Manguinhos	Temporal deixa Rio em alerta (Geral, p. 10)	Pontos de alagamento na Praça da Bandeira, na Radial Oeste, Rua Siqueira Campos, Cidade Nova, Avenida Brasil, Apoteose	-
07/12/2010	134	Ilha, Santa Teresa, Laranjeiras	Mais de 200 pontos de alagamento (Geral, p. 8)	Transtornos no trânsito, com bolsões d'água; Praça da Bandeira extremamente afetada	-
29/12/2010	332	Centro	Chuva deixa cidades em alerta (Geral, p. 6)	Alagamentos na Linha Amarela, com bolsões d'água.	-

2.7.4 A Drenagem e a Habitação

Machado (2005) correlaciona os danos no setor habitacional à: qualidade da construção; área construída; estado de conservação da construção; e conteúdo ou bens da habitação. Percebemos então que a vulnerabilidade do setor urbano de habitação está associada a características urbanas socioeconômicas.

Cidades de países subdesenvolvidos apresentam extremos em relação aos padrões construtivos. Em geral, ocupações irregulares apresentam maior susceptibilidade aos impactos das inundações, gerando maior potencial de impactos diretos à edificação e aos seus conteúdos pela baixa qualidade da construção, localização em áreas de risco e mal estado de conservação da edificação. Em geral o conteúdo da habitação de ocupações irregulares apresenta pouco potencial de prejuízo se comparado a ocupações regulares, porém, a dificuldade de recuperação dos bens perdidos por esta população acaba por piorar a sua exposição a inundações.

Além dos impactos diretos às edificações e a seus conteúdos, uma implicação importante dos crescentes perigos de inundações é a possibilidade de um efeito desestabilizador mais amplo que gera quedas imprevistas dos preços das habitações (PRYCE et al., 2011). Como consequência, a variação espacial no preço das habitações pode, em princípio, revelar o valor monetário da perda de bem-estar associada à vulnerabilidade às inundações.

Os trabalhos publicados por Tobin et al. (Tobin & Newton, 1986; Tobin & Montz, 1994) argumentam que existem diferentes perfis temporais que descrevem os impactos das inundações nos preços das habitações, dependendo da frequência com que as inundações ocorrem em comparação com o tempo necessário para restaurar a propriedade à sua utilidade pré-inundação. Utilizando como exemplo um local onde raramente acontecem inundações, os preços das casas caem imediatamente após um evento de enchente e depois se recuperam totalmente após os reparos e permanecem nesse nível mais alto até a próximo evento extremo. Nestes casos, a longo prazo, nem os danos passados nem os possíveis danos causados pela inundação são capitalizados no preço final do imóvel. Por outro lado, regiões onde há frequentes inundações não há tempo suficiente para se recuperar e assim, os preços das casas permanecem baixos. Nestes casos, os danos gerados pelas inundações são completamente capitalizados nos preços dos imóveis.

Regiões degradadas e empobrecidas pelas frequentes inundações são cada vez mais desvalorizadas, atuando como um ímã da pobreza. Esta dinâmica é particularmente evidente em áreas que enfrentam alto risco de desastres naturais ou que carecem de funções urbanas para o restante da cidade (BOUSTAN, 2017). Esta situação espiral de degradação é observada em todo o mundo. Glaeser e Gyourko (2005) documentaram uma espiral semelhante de declínio em cidades dos Estados Unidos da América, mais especificamente em Detroit.

Em relação ao histórico de inundações e seus impactos sobre o setor de habitação, se destaca a avaliação de perdas e danos do Banco Mundial para os quatro eventos de desastres naturais já apresentados. Os impactos sobre o setor de habitação para os desastres causados pelos eventos de Santa Catarina 2008, em Alagoas e em Pernambuco 2010 e as inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 podem ser vistos na Tabela 2.10. Com exceção do evento de Santa Catarina todos os outros eventos apresentam mais da metade das Perdas e Danos somente no setor de habitação, mostrando que é o setor mais atingido pelos desastres naturais ocasionados por eventos hidrológicos extremos. O valor de 48,22% significa a média de total de perdas e danos gerados somente para o setor de habitação levando em consideração esses desastres.

Tabela 2.10 - Perdas e danos no setor de habitação para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).

Evento	Perdas e Danos em Habitação (R\$ milhões)	Percentual do total de perdas e danos
Santa Catarina (2008)	1428,8	30,04%
Alagoas (2010)	1096,2	58,00%
Pernambuco (2010)	2003,6	59,43%
Rio de Janeiro (2011)	2609,7	54,53%
Todos os eventos	7138,3	48,22%

De forma complementar o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013) apresenta o número total de edificações destruídas e danificadas por desastres hidrológicos no período de 1991 a 2012 no estado do Rio de Janeiro. No período de 20 anos considerado foram quantificadas 9.704 edificações de habitação destruídas por enxurradas, 1.151 por inundações e 151 por alagamentos. No mesmo período para edificações de habitações

danificadas, foram quantificadas 23.634 por enxurradas, 56.982 por inundações e 5.227 por alagamentos. A Figura 2.10 mostra o percentual de edificações de habitação atingidos por cada desastre hidrológico no período de análise.

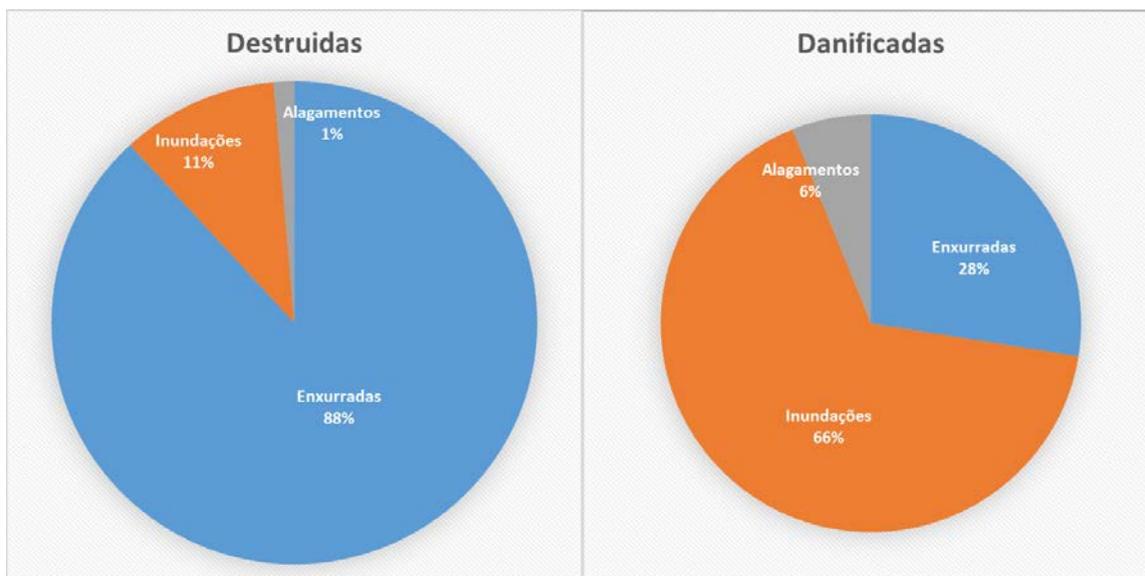


Figura 2.10 – Percentual de edificações de habitação destruídas e danificadas pelos desastres hidrológicos no Estado do Rio de Janeiro, no período de 1991 a 2012. (BRASIL, 2013)

2.7.5 Drenagem e Equipamentos sociais

A Lei Nº 6.766, de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências cita que equipamentos comunitários são os equipamentos públicos de educação, cultura, saúde, lazer e similares. Porém, a quantificação dos impactos das inundações tanto no setor educacional, com as escolas particulares, como na área da saúde, com a rede privada, é de suma importância, pois observamos que mesmo que sejam de iniciativa particular possuem um caráter de oferta de serviços para a sociedade. Dessa forma o presente trabalho se dirigirá aos equipamentos com funções sociais como um todo, sejam eles edificações com funções de saúde e educação públicas ou privadas.

Por mais que os equipamentos com função social de lazer sejam de suma importância para a sociedade, quando comparados com os equipamentos de saúde e educação acabam ficando um pouco de lado.

Para ter uma ideia dos impactos na área da saúde e educação por um evento de inundações serão utilizados os eventos de Santa Catarina 2008, em Alagoas e em Pernambuco 2010 e as inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 onde o Banco Mundial fez um trabalho de quantificação de perdas e danos para diversos setores da cidade, A Tabela 2.11 apresenta as perdas e danos para o setor de saúde e a Tabela 2.12 apresenta os resultados da quantificação para o setor de educação. Observamos que as perdas e danos são sempre maiores na área de educação. Por mais que o percentual de perdas e danos da saúde e educação serem inferiores a ao dos outros setores, o valor absoluto dos prejuízos é considerável, passando a marca de 1 bilhão de reais para os quatro eventos. Da mesma forma a importância que estes setores têm para a sociedade fazem com que esta situação seja mais preocupante. Assim, a escolha dos locais para a construção de escolas, bem como postos de saúde e outros serviços essenciais, deve sempre levar em consideração a susceptibilidade a eventos hidrológicos extremos.

Tabela 2.11 - Perdas e danos no setor de saúde para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).

Evento	Perdas e Danos em Saúde (R\$ milhões)	Percentual do total de perdas e danos
Santa Catarina (2008)	155,7	3,3%
Alagoas (2010)	56,7	3,0%
Pernambuco (2010)	146,0	4,3%
Rio de Janeiro (2011)	11,3	0,3%
Todos os eventos	369,7	2,5%

Tabela 2.12 - Perdas e danos no setor de educação para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).

Evento	Perdas e Danos em Educação (R\$ milhões)	Percentual do total de perdas e danos
Santa Catarina (2008)	163,3	3,4%
Alagoas (2010)	189,0	10,0%
Pernambuco (2010)	286,6	8,5%
Rio de Janeiro (2011)	74,6	1,6%
Todos os eventos	713,5	4,8%

2.7.6 A Drenagem e o Saneamento

A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, conhecida como a Lei de Saneamento de 2007 define a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas como peças indispensáveis do saneamento básico de todas as áreas urbanas e não se refere apenas a infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte e disposição final, que compreendem as atividades tradicionais deste sistema, mas também preveem a detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias e o seu tratamento como elementos do sistema. Porém, a drenagem urbana se destaca como disruptor dos outros serviços do saneamento, sendo eles o abastecimento de água potável, o sistema de esgotamento sanitário e o manejo de resíduos sólidos e limpeza de vias urbanas.

Eventos de chuva extrema podem atingir as redes de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. O impacto no sistema de abastecimento de água pelo excesso de chuvas tende a intensificar os processos erosivos e de lixiviação, gerando aumento da turbidez e conseqüente comprometimento da produção de água tratada pelas ETA's. Em casos mais extremos, estruturas de vertimento de reservatórios podem ser superados e barragens podem ser galgadas, comprometendo suas estruturas. O impacto no sistema de esgotamento sanitário ocorre pelas chamadas conexões parasitas, que contribuem com águas pluviais para as redes de esgotamento, assim, a capacidade hidráulica, já excedida em muitos casos, pela pressão do crescimento urbano, apresenta um cenário pior, pelos eventos pluviométricos extremos. Extravasamentos das redes de esgotamento se tornam mais frequentes, contaminando áreas, prejudicando a saúde pública e a qualidade da água dos corpos hídricos (PROJETO MEGACIDADES, 2011).

Banco Mundial (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d) cita possíveis danos das inundações sobre as redes de distribuição de água impactando represas, reservatórios, tanques de armazenamento, água mineral não engarrafada, estações de tratamentos de água danificadas ou destruídas. Em relação às perdas, são apresentadas a mão-de-obra necessária para recuperar a rede de distribuição e os gastos em distribuição emergencial por carro-pipa.

Em relação aos danos na rede de coleta de esgotos por eventos de inundação são citados a manutenção das Estações de Tratamento de Esgoto e a destruição ou danificação das

redes. Há também as perdas trazidas pela necessidade de recuperar as redes de esgotamento sanitário.

Para o setor de resíduos sólidos o trabalho considera perdas na remoção de lixo não coletado e não tratado que foi espalhado pela cidade no decorrer do evento de inundações.

Vale destacar que as inundações podem atingir o próprio sistema de drenagem urbana, destruindo ou danificando sistemas de drenagem, galerias, canais, entre outras estruturas de drenagem, pelo excesso de volume de água pluvial escoado.

A Tabela 2.13 apresenta os resultados da quantificação de perdas e danos para o setor de saneamento em relação aos eventos de os eventos de Santa Catarina 2008, em Alagoas e em Pernambuco 2010 e as inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011. Dos eventos apresentados as inundações e deslizamentos da região serrana do Rio de Janeiro apresentam o maior número de prejuízo com 457 milhões de reais. Em geral, é percebido que as perdas e danos do setor de saneamento estão na casa de 1% do total. Como média dos 4 eventos temos 3,7% de prejuízos pelos desastres somente no setor em análise.

Tabela 2.13 - Perdas e danos no setor de saneamento para os eventos de desastres naturais brasileiro citados. (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).

Evento	Perdas e Danos em Saneamento (R\$ milhões)	Percentual do total de perdas e danos
Santa Catarina (2008)	29,2	0,6%
Alagoas (2010)	18,9	1,0%
Pernambuco (2010)	36,2	1,1%
Rio de Janeiro (2011)	457,0	9,6%
Todos os eventos	541,3	3,7%

De maneira geral, considerando os 4 eventos críticos considerados pelo Banco Mundial podemos observar um padrão de perdas e danos para as cidades. O setor de habitação sempre é o mais atingido e para os eventos em questão corresponde à quase metade de todos os prejuízos. Em seguida está o setor econômico com 20% de todos as perdas e danos, em geral este setor tem mais capacidade de recuperação pós-evento do que o setor habitacional. Em terceiro lugar está o setor de mobilidade com 2% a menos dos prejuízos

do setor econômico. Em seguida estão os setores de educação (5%), saneamento (4%), saúde (2%) e meio ambiente (2%) representando baixos percentuais em relação à perda total, mas apresentando grandes prejuízos considerando o valor absoluto. A Figura 2.11 apresenta os resultados organizados em gráfico.

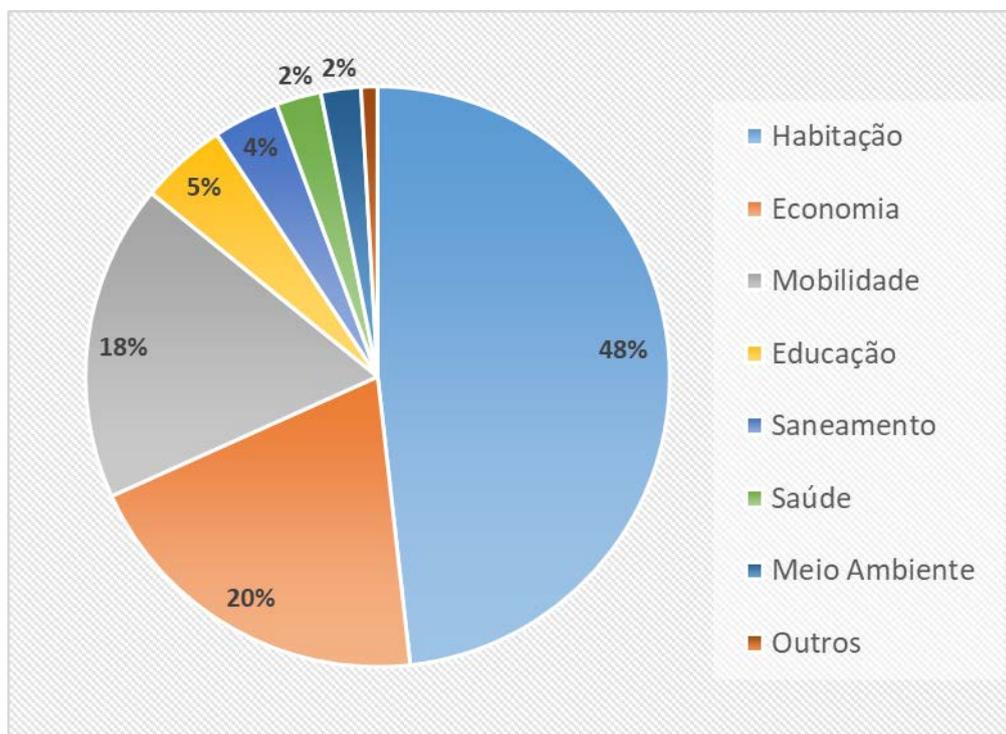


Figura 2.11 – Percentual de prejuízos por setor levando em consideração os eventos os eventos de Santa Catarina 2008, em Alagoas e em Pernambuco 2010 e as inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d).

3 O SETOR DE DRENAGEM COMO UM EIXO ESTRUTURANTE DO PLANEJAMENTO URBANO

O processo de urbanização tende a introduzir alterações significativas no ambiente natural, notadamente nos padrões de uso do solo, provocando uma série de processos que modificam a qualidade, tanto do ambiente natural, tanto quanto do ambiente construído. A remoção da vegetação, a impermeabilização que segue esse processo para implantação da urbanização, a regularização de superfícies e a introdução de sistemas artificiais de drenagem modificam significativamente o padrão de escoamentos, produzindo maiores e mais rápidas respostas dos escoamentos superficiais e menores oportunidades de infiltração, o que resulta em incremento de vazões de pico, redução de vazões de base, redução do tempo de concentração da bacia e perda de ecossistemas fluviais (MIGUEZ et al., 2015).

Fatores como o acúmulo de lixo nas redes de drenagem (CHANDRASENA, 2017) ou a impermeabilização descontrolada de determinadas áreas e o conseqüente aumento do escoamento superficial (SILVEIRA, 2002) fazem com que os tempos de recorrência de falha para o qual foram dimensionadas as redes de drenagem sejam reduzidos e os volumes de água não captados pelo sistema de drenagem sejam aumentados, tornando as inundações mais severas e mais frequentes, além de agravar os danos sobre a cidade.

Com isso, um resultado frequente observado nas cidades é a desvalorização dos rios, que, degradados, poluídos e sem vida, acabam se confundindo com “valões” de esgoto e lixo (WALSH et al., 2005 ; PARKINSON e MARK, 2005), ou são canalizados, enterrados e escondidos, se perdendo como elemento da paisagem, empobrecendo a biodiversidade urbana, gerando problemas de saúde pública, desvalorização do ambiente construído, perda de oportunidades de lazer, entre outros problemas (McKEE et al., 2003 ; CAPPS et al., 2016). As cheias urbanas geram danos a edificações e a equipamentos urbanos, degradam e empobrecem áreas sujeitas à inundação, geram perdas associadas à paralisação de negócios e serviços, interrompem a circulação de pedestres e de sistemas de transportes, são potenciais veículos de difusão de doenças, afetam e são afetadas pela coleta e disposição de esgotos e resíduos sólidos urbanos. O sistema se fragiliza, os riscos e os prejuízos crescem e forma-se um ciclo: o rio, que tem sua bacia modificada, se degrada e sofre inundações, que, por sua vez, agridem de volta à cidade, causando a ruptura de vários serviços urbanos e diversas perdas econômicas, degradando a própria

cidade, como resposta (MIGUEZ et al., 2015; MAGALHÃES e MIGUEZ, 2018). A Figura 3.1 apresenta de forma esquemática o ciclo de degradação da cidade ocasionado pelas falhas no sistema de drenagem urbana.

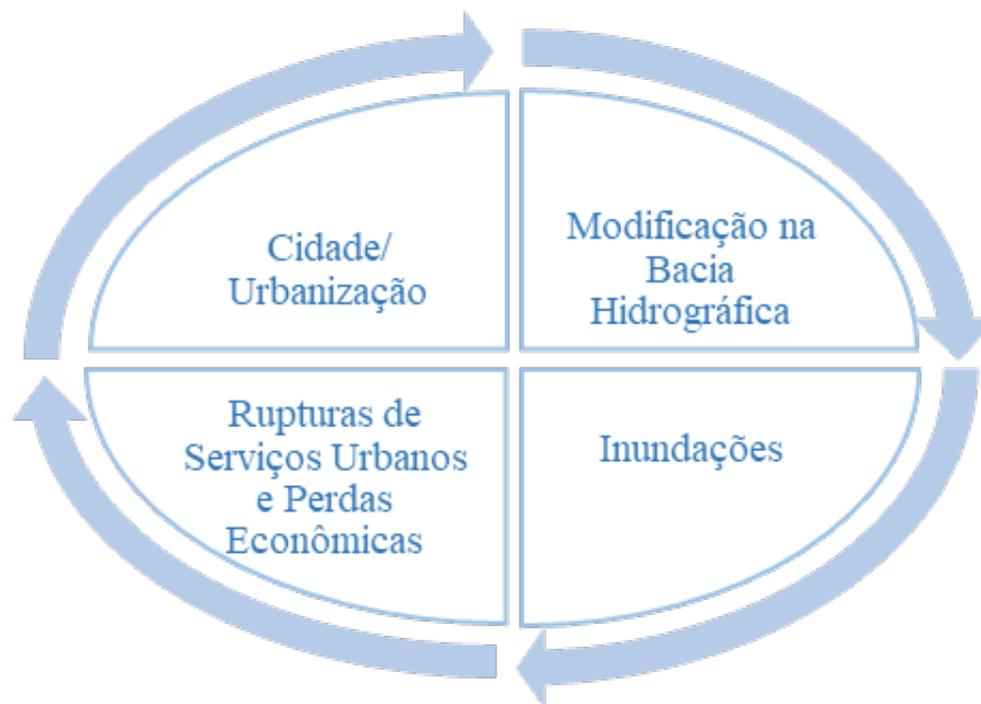


Figura 3.1 – Ciclo de degradação da cidade ocasionado pelas falhas no sistema de drenagem urbana. Fonte: Autor.

Desta forma, as inundações e alagamentos surgem como um elemento de disrupção dos serviços urbanos, de redes de infraestrutura, do funcionamento de equipamentos comunitários e do sistema de habitação. A cidade falha, em um efeito dominó, em que os diversos sistemas não sustentam suas funções.

Visto que o problema da inundação está diretamente relacionado à alocação de espaço nas cidades, este aspecto aponta para a identificação de espaços livres relativos às dinâmicas da água para orientar o planejamento do uso do solo e facilitar a manutenção dos serviços ambientais associados às funções hidrológicas naturais. Quando essa preocupação precede o desenvolvimento da cidade e participa das primeiras etapas do planejamento urbano, é possível projetar cidades melhores, menos expostas a perigos e, portanto, com menos riscos. No entanto, ao tentar mitigar as inundações, em uma cidade já desenvolvida, o uso de espaços livres remanescentes com características multifuncionais pode oferecer volumes para reordenar os padrões de escoamento, em um arranjo que combina funções ambientais, de infraestrutura e de lazer para atender a essa

demanda. Neste caso, utilizam-se os espaços livres remanescentes com a lógica multifuncional para acomodar as diversas atividades que concorrem no mesmo espaço.

O espaço livre urbano oferece uma ampla gama de benefícios para os cidadãos de uma comunidade. Parques e áreas naturais podem ser usados para recreação; zonas húmidas e florestas podem fornecer habitat de vida selvagem; fazendas e florestas podem proporcionar benefícios estéticos para os moradores do entorno, áreas vegetadas podem reduzir os efeitos de impermeabilidade e espaços livres, em geral, podem fornecer volumes para armazenar as águas das chuvas (McCONNELL, 2005).

Um contexto em que prevalecem os conceitos de drenagem urbana sustentável exige soluções integradas ao planejamento e crescimento urbano, criando condições para revitalizar a paisagem urbana e recuperar valores ambientais naturais (*European Commission*, 2012). Portanto, o presente trabalho propõe a hipótese de que o sistema de drenagem conectado com o planejamento de espaços livres deve ser visto como um catalisador de mudança nos padrões de escoamento e a relação dos cursos d'água com a cidade, quando a mitigação de inundações é necessária, bem como um condutor para ordenar espaços urbanos, ao trabalhar com antecedência na fase de prevenção de riscos de inundação (MIGUEZ et al., 2018).

Propõe-se que se considere uma abordagem ecossistêmica para o tratamento de rios em áreas urbanas, com o objetivo de ampliar o conceito de *Waterfront Design* (WU, 2016.), no qual se procura valorizar a linha de contato entre o urbano e os corpos d'água, reintroduzindo estes na paisagem da cidade, para uma possibilidade mais ampla, usando a presença da água como um valor urbano e como um valor ecológico, como um elemento de conexão da cidade com a natureza. A perspectiva de incorporar conceitos de sustentabilidade ambiental no processo de repensar o crescimento da cidade abre um diversificado conjunto de oportunidades a serem explorados como soluções integradas em um contexto multidisciplinar (MIGUEZ, 2018). Ações no tecido urbano, tendo o controle de uso do solo urbano como pano de fundo e ações no corredor fluvial, tendo o controle do rio como síntese do território, são ações que devem se combinar no caminho de uma construção mais sustentável para o funcionamento das cidades, tomando esse eixo como estruturante da paisagem (MAGALHÃES e MIGUEZ, 2018).

Neste aspecto, como resultado prático, este trabalho visa contribuir com soluções para bacia urbanas hidrográfica, fornecendo uma metodologia replicável para ordenar o uso do solo, evitando o agravamento das inundações e dando oportunidades para integrar as necessidades ambientais e urbanas, melhorando a resiliência da cidade a inundações. Além disso, visa confirmar a hipótese anterior, comprovando que o sistema de drenagem urbana deve ser tomado como um eixo estruturante e precedente para fins de planejamento urbano usando sempre espaços livres de ocupação e de redes de infraestrutura urbana como fornecedores de volumes para o controle de inundações.

Embora este trabalho foque e aprofunde as discussões apenas no funcionamento do setor de drenagem urbana, é indispensável que os espaços livres identificados subsidiem um sistema que ofereça outras funções a cidade. Com um caráter multifuncional e de forma a melhorar a resiliência e os serviços ecossistêmicos o Sistema de Espaços Livres suportado pelos espaços identificados para a drenagem deve contar com aspectos relativos à vulnerabilidade social, manutenção de vegetação, qualidade do ar, melhoria das ilhas de calor urbanas e conectividade de paisagem (MEEROW & NEWELL, 2017) entre outras funções que podem ser observadas para cada especificidade urbana.

4 METODOLOGIA

Este item tem por objetivo organizar a sequência lógica de procedimentos metodológicos propostos por este trabalho, de forma a torná-los replicáveis em outras bacias hidrográficas urbanas.

Como primeiro passo da metodologia, tem-se a definição de uma bacia hidrográfica urbana como caso de estudo e o entendimento da sua principal rede hidrográfica. Utilizando a bacia como unidade de planejamento, identificam-se os principais cursos d'água e redes de drenagem relevantes para a escala de planejamento. O presente trabalho focará na escala de macrodrenagem, sabendo que os impactos de sua falha geram piores consequências quando comparados com falhas de microdrenagem e que, em geral, são estas falhas que imobilizam a cidade, enquanto as falhas de microdrenagem são mais locais e podem ser vistas como uma distorção do próprio sistema de drenagem, também de forma mais local. Apesar disto, a metodologia aqui empregada pode ser replicada para escalas menores de planejamento, quando necessário.

Devem ser obtidas a maior quantidade de dados relevantes para análise, partindo de dados topográficos de terreno, dados batimétricos dos cursos d'água e cadastros das redes de drenagem existentes. A quantidade, qualidade e precisão destes dados levantados é diretamente proporcional ao nível de detalhamento que poderá ser alcançado pelo modelo matemático a ser utilizado para representar o comportamento hidrodinâmico da bacia. A qualidade dos dados também influi na confiabilidade dos resultados

Como ferramenta de modelagem, diversos softwares são capazes de bem representar a hidrodinâmica de bacias hidrográficas urbanas complexas. Porém, quando nos deparamos com a realidade de países em desenvolvimento, percebemos que não há sempre dados topográficos e batimétricos completos. Esta ausência é um problema que pode ser solucionado pela experiência do modelador, porém, ela também impede o uso de alguns recursos de modelagem que requerem uma extensa base de dados para execução, como modelos em duas ou três dimensões. Assim, como alternativa, surge o Modelo de Células de Escoamento (MODCEL) desenvolvido por Miguez (2001). MODCEL é um modelo hidrodinâmico Quasi-2D e, para seu uso, é necessário simplificar e discretizar a bacia em células de escoamento. Tais células são compartimentos homogêneos que funcionam de forma integrada, comunicando-se apenas por leis hidráulicas unidimensionais.

Após a modelação da bacia urbana considerada é necessário fazer a calibração do modelo. Dentro do processo de modelagem, a calibração é uma fundamental ação que deve preceder a utilização do modelo hidrodinâmico (TEJASWINI & SATHIAN, 2018). Para simular adequadamente o comportamento hidrodinâmico em bacias hidrográficas é necessário que seja realizada de maneira satisfatória, especialmente para melhorar a consistência do modelo e para reduzir a incerteza dos parâmetros (WANG et al., 2017).

Modificações coerentes na interpretação topográfica e hidrodinâmica do modelo devem ser realizadas até que, por comparação, os resultados das simulações se aproximem das informações registradas. Assim, o modelo matemático será considerado calibrado, estando apto para simulações de diferentes cenários.

O primeiro cenário a ser simulado deve ser o cenário atual, ou cenário de diagnóstico, no qual serão identificados os locais onde há maiores falhas das redes de drenagem e as regiões mais susceptíveis a inundações, além de se avaliar também as consequências sobre os elementos estruturantes da ocupação urbana e a eixos de planejamento urbano. Para esta etapa, se define uma chuva de projeto a ser utilizada e o seu tempo de recorrência. Esta mesma chuva será utilizada para os cenários de projeto e norteia o nível de segurança desejado para o sistema.

Após o diagnóstico do setor de drenagem urbana, deve ser realizado o diagnóstico dos espaços livres da bacia hidrográfica. Devem ser levantados o maior número de áreas livres de ocupação na bacia hidrográfica e classificados quanto à propriedade (público ou privada/militar), cobertura do solo (Impermeabilizado ou não), Aspectos Topográficos (Área plana ou encosta) e quanto às condições de drenagem, obtidas a partir do diagnóstico realizado com a simulação matemática (inunda ou não). Através desta classificação, poderão ser sugeridas diretrizes para criação de um sistema de espaços livres com foco na recuperação da qualidade dos serviços oferecidos pelos sistemas da cidade e, em especial, pelo sistema de drenagem urbana (BARBOSA et al., 2017). Complementarmente, um sistema de espaços livres interligados diminui a fragmentação de áreas que podem ganhar uma importância ambiental maior neste tratamento integrador.

Esta análise é de suma importância para identificação de espaços livres que possam vir a compor o sistema de drenagem, revitalizar a paisagem urbana e recuperar valores ambientais naturais perdidos no decorrer da urbanização.

A próxima etapa da metodologia é primordial para continuidade do trabalho. Serão levantadas as principais áreas, edificações, equipamentos e pontos relevantes, de forma a especificar os elementos que representam os demais eixos de planejamento da cidade, que são impactados pelas inundações. Esta etapa oferece um quadro geral do funcionamento da cidade e como a cidade reage às inundações.

Para o eixo estruturante de habitação, deve ser obtida a distribuição de domicílios por toda a bacia urbana. Recomenda-se, para esta etapa, o uso da grade estatística do IBGE (IBGE, 2016). Esta grade apresenta recortes padrões de 200 x 200 metros (para áreas urbanas), nos quais são informados os números de domicílios ocupados. Seu formato em pequenas quadrículas permite realizar a interseção entre bacias hidrográficas ou células de escoamento sem perder informações. Também deve ser levado em consideração que o padrão construtivo se modifica espacialmente dependendo do tipo de urbanização. Regiões *periurbanas* ou de favelas e ocupações informais apresentam casas muito próximas ao nível da rua enquanto as demais regiões apresentam domicílios em níveis mais elevados, mais protegidos dos possíveis alagamentos. Estas diferenças devem ser identificadas e representadas espacialmente na bacia, para correta avaliação de prejuízos.

Para o setor de equipamentos comunitários, devem ser obtidos o maior número de edificações que oferecem funções relevantes na área da saúde como hospitais, clínicas, UPAs e na área da educação, como escolas, colégios e creches.

Para o eixo estruturante da mobilidade urbana, devem ser obtidos os traçados de todos os logradouros da bacia urbana em questão, assim como suas respectivas classificações de hierarquia. Os logradouros podem ser obtidos através do Censo Demográfico do IBGE (IBGE, 2010). Caso não possam ser obtidos todos os logradouros, deve ser dada preferência às vias que apresentarem maior hierarquia. O setor de mobilidade deve ser complementado também com o levantamento dos principais pontos de ônibus e estações rodoviárias, metroviárias ou de qualquer outro tipo de transporte existente na região.

Para o setor ou eixo estruturante de economia devem ser levantados os principais centros de atrativo comercial, sendo eles shopping centers, galerias de lojas, complexos industriais, edifícios com salas comerciais, feiras, entre outros.

Para o eixo do Patrimônio Cultural da cidade devem ser encontrados os principais Museus, Parque históricos, Pontos turísticos, Igrejas com importância histórica, entre outros elementos relevantes.

A escolha dos setores a serem analisados frente às inundações e o próprio levantamento dos elementos de interesse para os setores escolhidos não são esgotados por este trabalho, podendo ser complementados, modificados ou até mesmo parcialmente retirados em outras aplicações, caso não sejam relevantes para outras bacias urbanas. Há muitas outras partes que compõem a cidade que não foram abordadas, porém, as informações aqui apresentadas foram consideradas satisfatórias para basear a discussão principal do trabalho.

Após realizado o diagnóstico do sistema de drenagem e levantados os principais elementos dos demais eixos de planejamento da cidade, devem ser feitas as interações entre ambos os conjuntos de informações. As informações obtidas na forma de dados geográficos digitais são organizadas em eixos de planejamento e cada eixo é representado por uma camada. Serão sobrepostas diferentes camadas com a camada de drenagem urbana, produzindo um mapa composto de impactos de drenagem sobre a cidade.

A interação das camadas dos eixos da cidade com o eixo de drenagem urbana permite a criação de uma série de indicadores que servirão para dar um panorama dos atuais impactos das inundações sobre a cidade e, nas próximas etapas da metodologia, ver os ganhos de um possível projeto de drenagem a ser implementado. Os indicadores que serão utilizados neste trabalho podem ser apreciados a seguir:

Habituação:

Identificadas as diferenças construtivas da bacia e as lâminas necessárias para invadir as diferentes tipologias de domicílios no âmbito da bacia em questão, encontramos o primeiro indicador da Habituação, que é representado pela equação (1).

$$I_{h1}^A = \text{Número de domicílios ocupados inundados para a situação atual.} \quad (1)$$

O segundo indicador da Habituação serve para complementar o primeiro e é representado pela equação (2).

$$I_{h2}^A = \frac{\Sigma(D_{SA}^{inund} \times h_{SA})}{I_{h1}^A} \quad (2)$$

Na equação (2), D_{SA}^{inund} representa um determinado número de domicílios ocupados inundados na situação atual e h_{SA} sua respectiva lâmina de inundação. O somatório de todos os $D_{SA}^{inund} \times h_{SA}$ dividido pelo número total de domicílios inundados (I_{h1}^A) representa a lâmina média de água nos domicílios atingidos pelas inundações (I_{h2}^A).

Esgotamento Sanitário:

O indicador de esgotamento sanitário é dado pelas áreas que possuem inundações maiores do que a lâmina de referência para invadir os domicílios, onde provavelmente ocorre o aporte das águas pluviais para as redes de esgotamento sanitário e assim as redes de esgoto extravasam e geram contaminação. A equação (3) representa o indicador de esgotamento sanitário.

$$I_{es1}^A = \text{Área ocupada pelos domicílios inundados para a situação atual ou Área contaminada pelo aporte das redes de drenagem às redes de esgotamento} \quad (3)$$

Equipamentos Comunitários:

Serão considerados para análise de inundação os equipamentos comunitários que oferecerem para a sociedade serviços de saúde e educação. Os demais equipamentos comunitários também são importantes para o funcionamento da cidade, mas os serviços citados foram considerados os mais básicos. Novamente serão consideradas as lâminas de inundação dadas pela tipologia construtiva da região, considerando que lâminas abaixo deste valor causam transtornos, mas não interrupção dos serviços. As equações (4) e (5) apresentam os indicadores de saúde e educação respectivamente.

$$I_{s1}^A = \text{Número de estruturas de saúde inundadas para a situação atual} \quad (4)$$

$$I_{e1}^A = \text{Número de estruturas de educação inundadas para a situação atual} \quad (5)$$

Mobilidade:

Em carros menores, o duto que capta ar e o direciona para o motor (duto de admissão) fica localizado em uma parte baixa, atingida por alturas de inundação a partir de 30 cm. Caso este duto seja coberto pela água, ele pode sugá-la para dentro do motor e causar o chamado calço hidráulico, evitando a locomoção do veículo. Da mesma forma que a altura de inundação é importante para o cálculo do indicador deste setor, a hierarquia representa um fator relevante, visto que indica o volume de veículos que aquele logradouro pode suportar. Sendo assim, o primeiro indicador de Mobilidade será dado pela equação (6). Este indicador, representado por um número de 0 a 1, mostra a severidade de inundação dos logradouros levando em consideração a sua hierarquia viária.

$$I_{m1}^A = \frac{(1.L_{SA}^{local})+(2.L_{SA}^{colec})+(3.L_{SA}^{art2})+(4.L_{SA}^{art1})+(5.L_{SA}^{estrut})}{(1.L_{Tot}^{local})+(2.L_{Tot}^{colec})+(3.L_{Tot}^{art2})+(4.L_{Tot}^{art1})+(5.L_{Tot}^{estrut})} \quad (6)$$

Na equação (6), L_{Tot}^{local} representa o comprimento total das vias locais, L_{Tot}^{colec} o total das vias coletoras, L_{Tot}^{art2} o total das vias arteriais secundárias, L_{Tot}^{art1} o total das vias arteriais principais e L_{Tot}^{estrut} o total das vias estruturais. Estes parâmetros representam apenas as vias que estão em locais susceptíveis a inundação, sendo desconsideradas vias onde a topografia local impossibilita inundações ocasionadas por falhas de macrodrenagem.

De forma equivalente, L_{SA}^{local} representa o comprimento total das vias locais inundadas, L_{SA}^{colec} o total das vias coletoras inundadas, L_{SA}^{art2} o total das vias arteriais secundárias inundadas, L_{SA}^{art1} o total das vias arteriais principais inundadas e L_{SA}^{estrut} o total das vias estruturais inundadas.

Pode ser observado na equação (6) que o comprimento das vias está ponderado de maneira linear pela sua hierarquia.

O segundo indicador de Mobilidade é representado pela equação (7).

$$I_{m2}^A = \text{Número de estações e pontos de ônibus inundados para a situação atual} \quad (7)$$

Economia:

Quantificar os impactos econômicos de uma inundação é algo complexo e delicado. Este trabalho se aterá à quantificação dos centros comerciais que são inundados (inundações acima da lâmina de referência a ser utilizada) para uma determinada chuva de projeto. Desta forma, conceitualmente, os centros comerciais inundados, tem a possibilidade de perder materiais e equipamentos e de cessar suas atividades econômicas pela presença do excesso de águas pluviais em seu entorno ou dentro do próprio centro. A equação (8) apresenta o indicador a ser utilizado para o setor de economia.

$$I_{c2}^A = \text{Número de centros comerciais inundados para a situação atual} \quad (8)$$

Patrimônio Cultural:

Em relação ao setor de Patrimônio Cultural serão identificadas as estruturas relevantes do setor, levando em consideração a tipologia construtiva da região. Dessa forma, a equação (9) representa o indicador a ser utilizado para o setor de Patrimônio Cultural.

$$I_{pc1}^A = \text{Número de Patrimônios Culturais inundados para a situação atual} \quad (9)$$

Assim como os elementos e eixos estruturantes utilizados neste trabalho, os indicadores utilizados são uma primeira versão idealizada pelo autor para substanciar a discussão principal, na qual é necessária a identificação dos impactos da drenagem sobre diversos setores de planejamento da cidade. Visto que os indicadores estão ainda em uma versão inicial de desenvolvimento, é esperado que os resultados aqui obtidos sejam menores no que diz respeito a prejuízos trazidos à cidade pelas inundações quando comparadas com a situação real.

Diante do diagnóstico geral construído, será realizado um projeto de drenagem que conte com correções estruturais necessárias e incorpore espaços livres para se tornarem parques ou reservatórios de retenção temporária de cheias. Nesta etapa será consolidado o Sistema de Espaços Livres com foco no controle de inundações, mas também com desdobramentos ambientais. As alternativas propostas serão distribuídas por toda a bacia de forma a tornar o projeto o mais sustentável possível e resiliente perante possíveis falhas. Caso sejam necessárias, devem ser realizadas também desapropriações de áreas de risco ou de áreas que tem um potencial grande para armazenamento ou melhoria da

condutância do excesso dos volumes de águas pluviais trazidos no período de cheias hidrológicas. Serão sugeridos locais para onde os desapropriados possam ir, mantendo-os ainda dentro da bacia de estudo quando possível e melhorando sempre suas condições habitacionais. A realocação de pessoas não é uma atividade preconizada como premissa inicial, e deve ser evitada tanto quanto possível, mas pode ser necessária, tanto sob o ponto de vista do risco, como na obtenção de resultados mais amplos, na escala da bacia, afeta a comunidade como um todo.

Após a concepção do projeto e simulação hidrodinâmica com o software escolhido serão novamente aplicados os indicadores apresentados, porém, com as lâminas resultantes da situação de projeto. A Tabela 4.1 apresenta o resumo dos indicadores que serão aplicados no presente trabalho.

Tabela 4.1 - Resumo dos indicadores propostos para quantificação dos ganhos de um projeto de drenagem.

Eixo Estruturante	Indicador	Situação Atual	Situação de Projeto
Habitação	Número de domicílios ocupados inundados para a situação atual	I_{h1}^A	I_{h1}^P
	Lâmina média de água nos domicílios atingidos pelas inundações	I_{h2}^A	I_{h2}^P
Saneamento	Área contaminada Drenagem x Esgoto	I_{es1}^A	I_{es1}^P
Equipamentos Sociais	Número de estruturas de saúde inundadas	I_{s1}^A	I_{s1}^P
	Número de estruturas educacionais inundadas	I_{e1}^A	I_{e1}^P
Mobilidade	Severidade de inundações dos logradouros	I_{m1}^A	I_{m1}^P
	Número de estações e pontos de ônibus inundados	I_{m2}^A	I_{m2}^P
Economia	Número de centros comerciais inundados	I_{c2}^A	I_{c2}^P
Patrimônio Cultural	Número de Patrimônios Culturais inundados	I_{pc1}^A	I_{pc1}^P

Após o cálculo dos 18 indicadores, nove para o diagnóstico e nove para o prognóstico, serão quantificados os ganhos trazidos pelo projeto para os outros eixos de planejamento da cidade, seguindo a equação (10) apresentada a seguir. Assim, podem ser determinados, em valores percentuais, os ganhos trazidos para os indicadores das equações (1) à (9).

$$Ganho_{setor} = \frac{(I_{setor}^A - I_{setor}^P)}{I_{setor}^A} \quad (10)$$

Na qual I_{setor}^A representa um determinado indicador da situação atual para um setor de planejamento específico; I_{setor}^P representa o indicador equivalente escolhido em I_{setor}^A , porém, com a aplicação da lâmina de projeto para determinar as inundações.

De forma complementar, o projeto pode (e deve) trazer outros ganhos para a cidade, não quantificados na situação atual. Um exemplo são os ganhos para o ambiente natural, considerando que o meio ambiente apresenta diversos ganhos quando os espaços livres de ocupação de uma bacia hidrográfica possuem coesão e conexão e levando em consideração que os projetos de drenagem sobre os cursos d'água possuem caráter longitudinal, é esperado que estas intervenções possuam potencial de unir os fragmentos dos espaços livres. Assim, devem haver ganhos no que diz respeito ao meio ambiente. A quantificação dos ganhos para este setor pode ser calculada pela equação (11).

$$Ganhos_{Meio Ambiente} = \frac{N^0 \text{ de fragmentos situação atual} - N^0 \text{ de fragmentos situação de projeto}}{N^0 \text{ de fragmentos situação atual}} \quad (11)$$

Vale destacar que o indicador de equação 11 precisa de determinação de uma escala de observação para ser calculado, uma vez que os espaços livres podem ter tamanhos muito menores quando comparados com a dimensão da bacia hidrográfica, para a qual é realizado o projeto de macrodrenagem. Logo, devem ser considerados apenas espaços livres com uma dimensão representativa na escala da bacia hidrográfica. Neste trabalho serão considerados para o cálculo deste indicador espaços livres maiores que ~5% do total da bacia.

A quantidade de ganhos para a cidade através da implementação de um projeto de drenagem multifuncional deve ser tal que justifique a sua realização e ao mesmo tempo que apresente a drenagem como estruturador do planejamento urbano. Para um melhor entendimento do processo metodológico proposto, é apresentado, na Figura 4.1, um fluxograma de etapas.

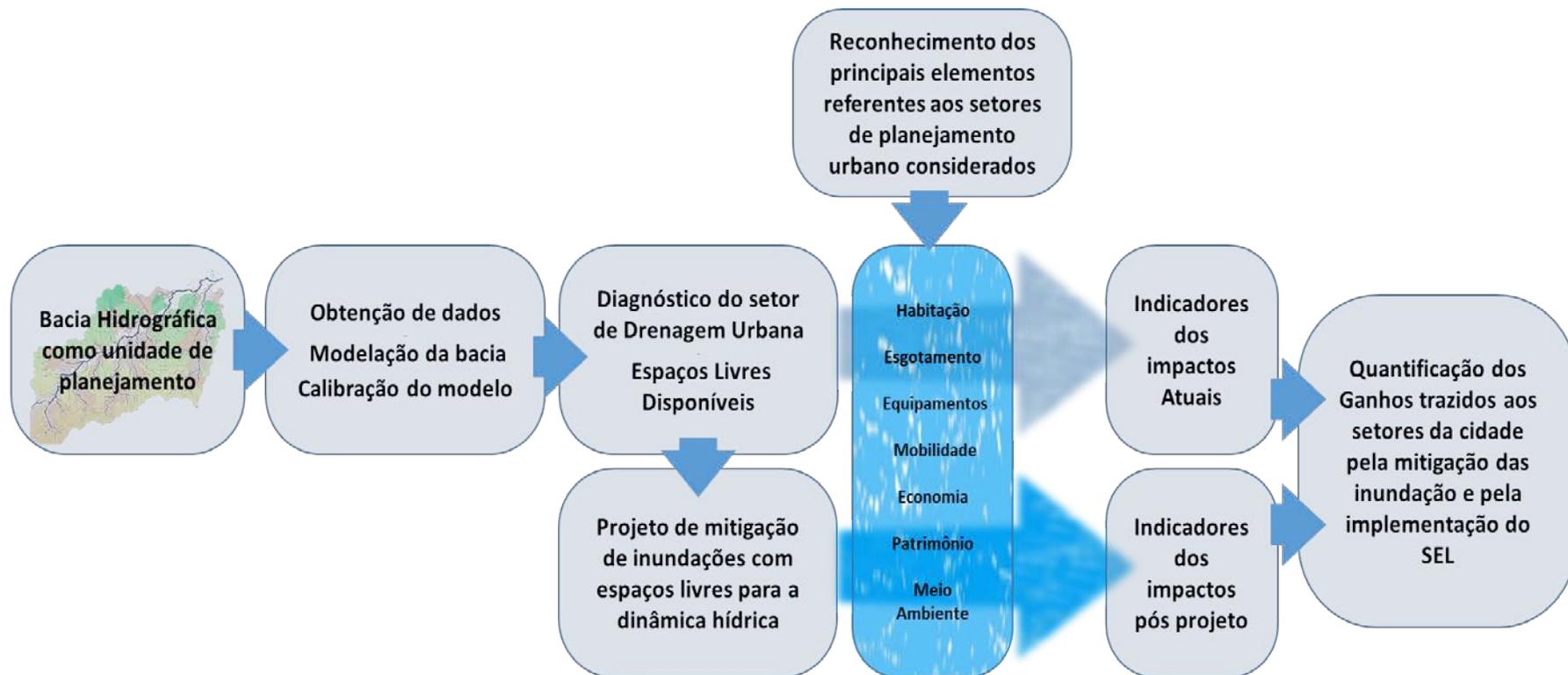


Figura 4.1 - Fluxograma de etapas do processo metodológico proposto

5 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ACARI

Citado por Miguez (2001), O livro "Tormentas Cariocas", traz uma exposição de Mauricio de Almeida Abreu, intitulada "A Cidade e os Temporais: Uma Relação Antiga". Esta exposição apresenta um relato sobre o histórico de enchentes na cidade do Rio de Janeiro. Um trecho do texto é transcrito a seguir.

“A posição estratégica do Rio de Janeiro, na entrada da Baía de Guanabara, foi fundamental na decisão portuguesa de fundar a cidade e de aqui manter o posto avançado de controle colonial. Mas o sítio sempre foi problemático, pela quebra abrupta de gradiente entre a encosta e a baixada situada ao nível do mar, e pela grande quantidade de brejos, pântanos e lagoas. Por isso, a conquista propriamente dita foi um processo longo e penoso. O espaço da cidade do Rio de Janeiro teve que ser conquistado pelo homem através de dessecamentos e aterros, durante mais de 300 anos até o século XIX. [...]

[...]A cidade vai ocupar então áreas mal aterradas e mal niveladas, e não é de surpreender que, depois, sejam justamente estas as áreas mais afetadas pelas inundações. [...]”

As características citadas no texto são a realidade de quase todas as bacias hidrográficas do município do Rio de Janeiro até os dias atuais. Há ainda o agravamento do elevado crescimento urbano do município do Rio de Janeiro no último século, evidenciado pela sua região metropolitana que possui a segunda maior conurbação do Brasil, a terceira da América do Sul e a 23ª do mundo (HELDERS, 2005). As bacias do Rio Acari, Pavuna e Meriti, Canal do Mangue, Rio dos Macacos (Bacia Hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas), Rio Faria e Timbó, Rio Irajá, Rio Grande e Rio Guerenguê são destaques negativos no que diz respeito a inundações urbanas na cidade do Rio. A Figura 5.1 apresenta a localização das principais bacias hidrográficas do município do Rio de Janeiro.

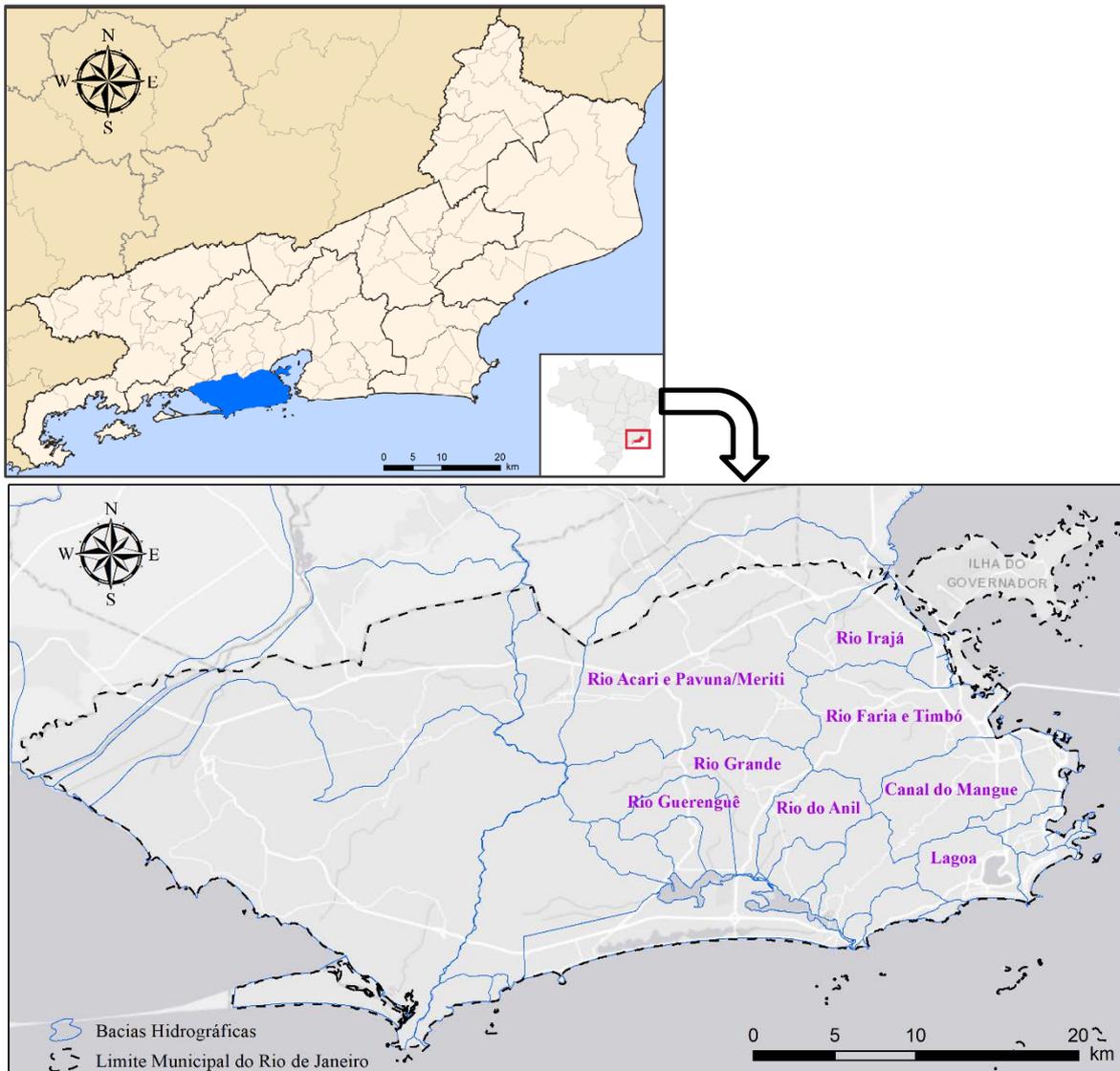


Figura 5.1 – Localização do município do Rio de Janeiro e principais bacia hidrográficas.

Apesar da gravidade, no que se refere ao sistema de drenagem nas bacias hidrográficas urbanas citadas, a bacia do Rio Acari além de apresentar problemas de inundações crônicos, apresenta também grave degradação urbanística e ambiental gerada, em grande parte, pelo excesso de inundações a que é submetida e ao estado de deterioração de seus cursos d'água principais.

O Rio Acari se junta ao Rio Pavuna pela sua margem direita e juntos formam o Rio São João de Meriti, que deságua na Baía da Guanabara. O Rio Acari possui outros nomes a montante, Rio Marinho até o encontro com o Rio Piraquara, Rio Maranga até o encontro com o Arroio dos Afonsos e Rio Sapopemba até a afluição do Rio Tingui. Os principais afluentes do Rio Acari são, de montante a jusante, o Rio Catarino, o Rio Piraquara, o Rio Caldeireiro, o Arroio dos Afonsos, o Rio Tingui, o Rio das Pedras, todos pela margem

direita, o Rio Calogi pela margem esquerda e os Rios Cachorros II e Cachorros I, ambos pela margem direita. A Figura 5.2 apresenta a principal hidrografia da bacia do Rio Acari.

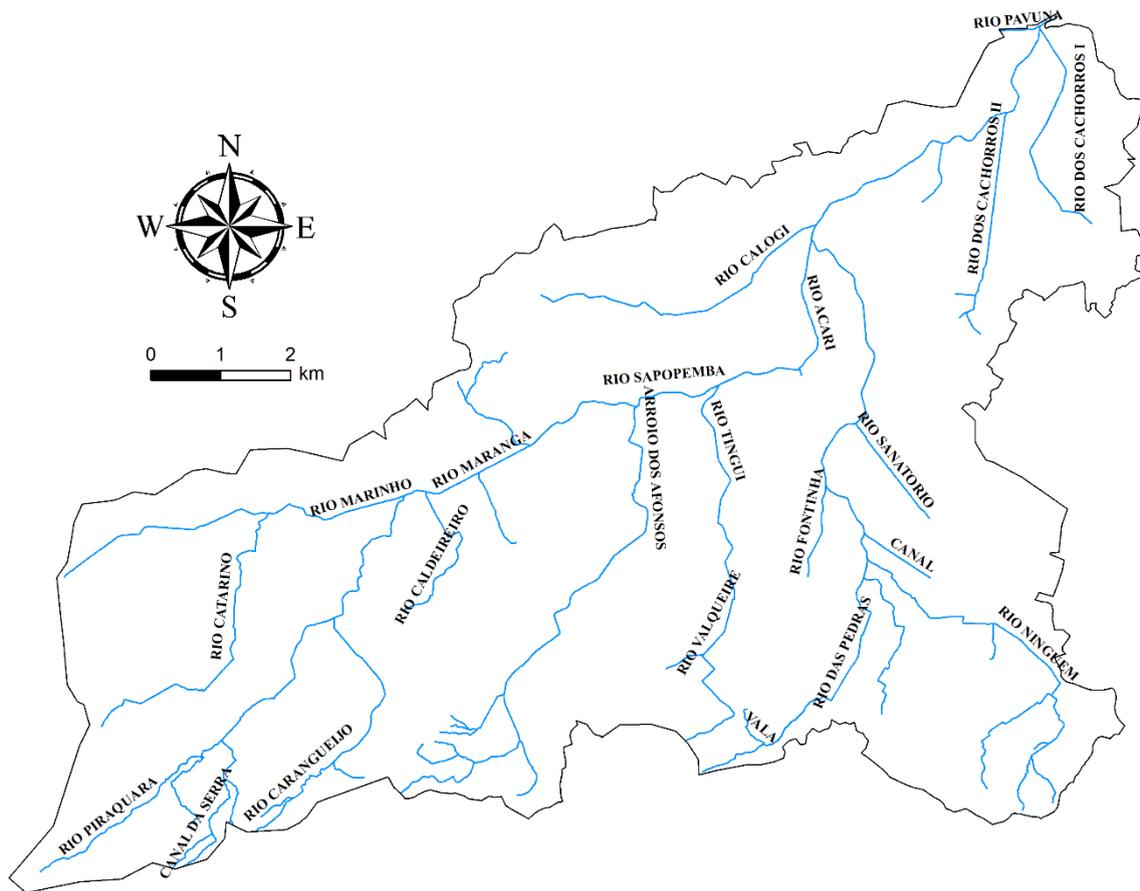


Figura 5.2 – Principal hidrografia da bacia do Rio Acari

Em relação à identificação das principais falhas do sistema de drenagem da bacia podemos destacar o Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais do Rio de Janeiro desenvolvido pelo Consórcio Hidrostudio-Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica-SP, para a Prefeitura do Rio de Janeiro, sob a coordenação da Secretaria de Obras/Rio-Águas (CONSORCIO HIDROSTUDIO - FCTH, 2014). Este trabalho apresenta os locais com risco de inundação indicados na Tabela 5.1, complementados pelo autor.

Tabela 5.1 – Principais locais de inundação (CONSORCIO HIDROSTUDIO, 2014).

Curso d'água	Locais de inundação
Rio das Pedras	<p>Apresenta histórico de inundações em praticamente todo o seu curso. O primeiro ponto de inundação identificado localiza-se no bairro de Oswaldo Cruz, no trecho entre as ruas Conde de Linhares e Henrique Braga, onde há trechos alternados de canal e galeria, nos fundos de lotes.</p> <p>A jusante do ramal Deodoro da linha férrea da Flumitrens, na altura das Ruas Henrique Ferreira e Jundiaí, em Bento Ribeiro, ocorre outro ponto de inundação também localizado no trecho onde o rio corre pelo meio das quadras. Outros pontos observados em Rocha Miranda, na altura das Ruas Ururaí, dos Rubis e das Turmalinas.</p>
Rio Orfanato	A travessia sob a Rua Antonieta, em Oswaldo Cruz.
Rio Ninguém	Trecho em galeria ao longo da Travessa Carlos.
Rio Fontinha.	Travessia sob o Ramal Deodoro da linha férrea e na galeria sob a Rua Capitão Pires, em Bento Ribeiro
Rio Sanatório	Trecho canalizado próximo à estação Rocha Miranda do Ramal Belford Roxo da linha férrea.
Rio dos Cachorros II	Próximo ao Canal do CEASA que, por estar próximo do entreposto de abastecimento que atende principalmente a Zona Norte, provoca paralisação nos serviços e perda de mercadorias. Apresenta ainda ponto de inundação significativo à montante da Av. Brasil.
Arroio dos Afonsos:	Região da Av. Marechal Fontenelle e na área militar próximo a cabeceira da pista de voo.
Rio Tingui	Região da avenida marginal, denominada Av. Jambéiro entre a Rua Vitório Libonat e a Estrada Intendente Magalhães e também próximo a Linha Férrea Flumitrens - Ramal Deodoro em trecho de galeria
Rio Catarino	Região da Rua Luísa Barata e do condomínio Limites
No Rio Caranguejo	Região da Av. General Omir Vieira com Rua Carumbé (próximo à Favela Bairro Carumbé)
Rio Caldeireiro	Região entre a Rua Laranjeiras do Sul e Rua Araguaia
Rio Acari	Apresenta histórico de inundações em praticamente todo o seu curso. As regiões mais críticas estão nas proximidades dos bairros de Acari e Parque Columbia e a montante das pontes das vias: Rodovia Presidente Dutra e Rua Luís Coutinho Cavalcanti que apresentam séria restrições ao escoamento pelo subdimensionamento da cota do seu infradorso.

Um estudo desenvolvido para esta área (GUIMARÃES, 2016) mostrou que a população que vive na região não é capaz de se recuperar das perdas por inundações ao longo de um horizonte de 50 anos, mesmo quando se analisam períodos de recorrência mais baixos (2 anos de tempo de recorrência, por exemplo).

Segundo o Índice de Desenvolvimento Social ou IDS¹ (CAVALLIERI e LOPES, 2008) dos 31 bairros da bacia do Acari, 25 estão abaixo da média do IDS calculado para os 158 bairros do Rio de Janeiro. Com destaque negativo para o bairro do Acari que ocupa a 153ª posição. Os resultados do IDS para os bairros da bacia hidrográfica do Rio Acari podem ser vistos na Tabela 5.2, enquanto a localização geográfica dos 31 bairros que pertencem à bacia podem ser vistos na Figura 5.3.

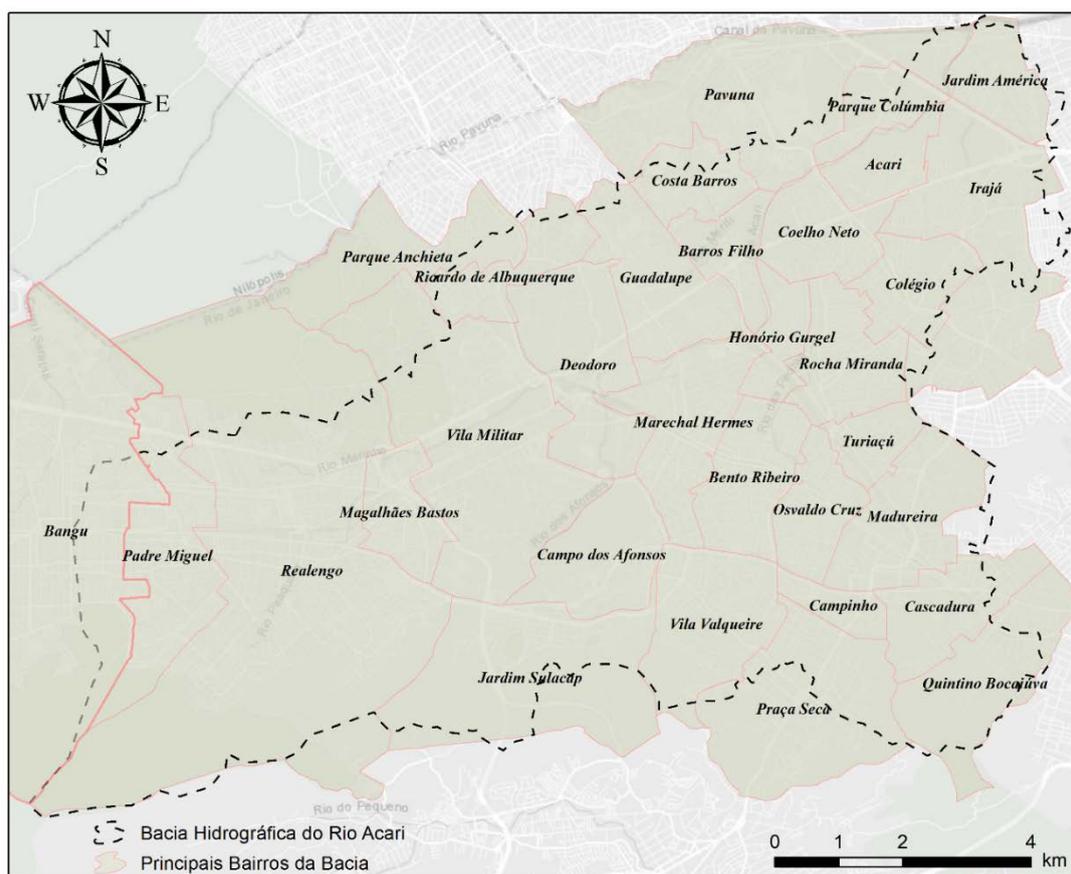


Figura 5.3 – Principais bairros pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Acari

¹ O IDS utiliza como base metodológica o Índice de Desenvolvimento Humano (ONU), tem por finalidade medir o grau de desenvolvimento social de uma determinada área geográfica. São levados em consideração o acesso a saneamento básico, qualidade habitacional, grau de escolaridade e disponibilidade de renda.

Tabela 5.2 - Índice de Desenvolvimento Social por bairros - Município do Rio de Janeiro (CAVALLIERI e LOPES, 2008).

Bairro	Posição	Índice Geral
Acari	153	0,443
Costa Barros	142	0,490
Barros Filho	141	0,49
Parque Colúmbia	127	0,522
Ricardo de Albuquerque	124	0,525
Pavuna	121	0,540
Parque Anchieta	120	0,540
Padre Miguel	119	0,542
Colégio	118	0,543
Magalhães Bastos	117	0,544
Realengo	116	0,545
Guadalupe	113	0,548
Turiaçu	109	0,550
Honório Gurgel	108	0,551
Deodoro	105	0,555
Coelho Neto	103	0,556
Rocha Miranda	102	0,556
Jardim América	96	0,559
Marechal Hermes	89	0,572
Madureira	82	0,586
Cascadura	80	0,588
Bento Ribeiro	79	0,590
Oswaldo Cruz	77	0,591
Campinho	73	0,594
Vila Militar	72	0,594
Praça Seca	69	0,598
Quintino Bocaiúva	63	0,605
Irajá	62	0,606
Jardim Sulacap	48	0,628
Vila Valqueire	35	0,665
Campo dos Afonsos	17	0,730

A bacia ainda apresenta em sua região mais susceptível a inundações (Jusante do Rio Acari) duas das dez favelas mais populosas de todo o município, as favelas do Complexo da Pedreira em nono lugar com 20.508 moradores, situada no bairro de Costa Barros e o Complexo de Acari, com 21.999 moradores ocupando a sétima posição com dados de 2010 do censo do IBGE (IBGE, 2010)

As inundações da bacia do Rio Acari também são responsáveis por grandes paralizações das principais vias de transporte do município do Rio de Janeiro. Percebem-se como mais críticas as inundações causadas nas principais vias: Rodovia Presidente Dutra que une o estado do Rio de Janeiro ao de São Paulo; e a Avenida Brasil mais importante via da cidade do Rio de Janeiro. A Avenida Brasil é mensurada como a responsável pelo maior fluxo viário da cidade com mais de 300 mil veículos por dia, atribuído à influência geográfica da via - causado pelo fenômeno da migração pendular, ditado pelo deslocamento diário dos trabalhadores da Baixada Fluminense e da Zona Norte e Zona Oeste ao Centro da Cidade do Rio de Janeiro (Costa, 2006). A Figura 5.4 apresenta a localização das principais vias na bacia hidrográfica incluindo as citadas Rodovia Presidente Dutra e a Avenida Brasil. Algumas dessas inundações marcantes podem ser observadas nas imagens da Figura 5.5 que exibem as consequências da inundações do evento extremo ocorrido em dezembro de 2013.



Figura 5.4 – Principais vias da bacia hidrográfica do Rio Acari (Google Earth).



Figura 5.5 - Inundação na Rodovia Presidente Dutra (esquerda) e na Avenida Brasil (Direita) na bacia do Rio Acari no evento de chuva extrema de 2013. Fonte: Reprodução / TV Globo

Com o objetivo de mitigar tais problemas, diversos trabalhos técnicos vêm elaborando projetos de readequação dos escoamentos pluviais através de um conjunto de intervenções para melhoria da capacidade hidráulica de alguns trechos dos rios principais e aumento da capacidade de armazenamento na bacia. Destacam-se as soluções propostas no âmbito dos “Estudos Integrados para Avaliação de Projeto de Intervenção na Calha do Rio Acari – RJ” (COPPETEC, 2007), as propostas apresentadas pelo Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI-RMRJ) realizado entre os anos de 2016 e 2018 (MAGALHÃES e MIGUEZ, 2018) e diversas intervenções de iniciativa da Fundação Rio-Águas em especial o Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais (PDMP) do Município do Rio de Janeiro (CONSORCIO HIDROSTUDIO, 2014).

Segundo o dicionário da Língua Portuguesa (FERREIRA, 1986) a palavra "Acari" seria um sinônimo de cascudo, que corresponde a um tipo de peixe, vestígio de que algum dia houve vida em um rio hoje completamente contaminado e morto em termos microbiológicos e urbanos.

Assim, a bacia do Rio Acari será escolhida como caso de estudo do presente trabalho, visto que se apresenta como grande desafio no que diz respeito à aplicação da metodologia apresentada.

6 MODELAGEM MATEMÁTICA

As bacias de rios naturais, ou canalizados, em áreas urbanas, geralmente em áreas aproximadamente planas, têm potencial para formar grandes áreas alagáveis. Ao sair da rede de drenagem, o caminho da água pode ser qualquer, ditado pelos padrões de urbanização. Calçadas marginais tornam-se vertedouros para os rios, cujas águas extravasadas ao chegarem às ruas fazem destas verdadeiros canais, podendo alagar construções, parques ou praças, que então podem funcionar como reservatórios, indesejavelmente, concentrando águas que não retornarão à rede de drenagem. Nessa situação, pode-se perceber que águas extravasadas podem ter comportamento independente da rede de drenagem, gerando seus próprios padrões de escoamento, especialmente, quando a microdrenagem não corresponde à função que dela se espera. Em um caso extremo, onde a microdrenagem não funcione, por falhas de manutenção e entupimentos, por exemplo, ou onde ela estiver subdimensionada, alagamentos em áreas urbanas podem-se iniciar mesmo sem extravasamento da rede de macrodrenagem, gerando também um padrão de escoamento particular e distinto daquele dos canais.

Nesse contexto, percebe-se que há indicações para o uso de um modelo que tenha capacidade para simular as cheias na bacia de forma espacializada e integrada, permitindo a avaliação das diversas interações existentes entre o sistema de drenagem e a superfície urbana. Para cumprir esse objetivo, é definida como ferramenta de modelagem, o Modelo de Células de Escoamento – MODCEL, desenvolvido na UFRJ, que tem como princípio a representação do espaço urbano através de compartimentos homogêneos, que cobrem toda a superfície da bacia e faz toda ela se integrar e interagir em função do escoamento que sobre ela ocorre, indo de encontro aos objetivos e exigências da modelação das enchentes urbanas.

6.1 Hipóteses do Modelo de Células para Cheias Urbanas

- A natureza pode ser representada por compartimentos homogêneos, interligados, chamados células de escoamento. A cidade e sua rede de drenagem são subdivididas em células, formando uma rede de escoamento bi-dimensional, com possibilidade de escoamento em várias direções nas zonas de inundação, a partir de relações unidimensionais de troca.
- Na célula, o perfil da superfície livre é considerado horizontal, a área desta superfície depende da elevação do nível d'água no interior da mesma e o volume de água contido em

cada célula está diretamente relacionado com o nível d'água no centro da mesma, ou seja, $V_i = V(Z_i)$, mais especificamente, $V_i = A_{si} \cdot x(Z_i - Z_{0i})$, onde Z_{0i} é a cota do fundo da célula.

- Cada célula comunica-se com células vizinhas, que são arranjadas em um esquema topológico constituído por grupos formais, onde uma célula de um dado grupo só pode se comunicar com células deste mesmo grupo, ou dos grupos imediatamente posterior e anterior.
- O escoamento entre células pode ser calculado através de leis hidráulicas conhecidas, como, por exemplo, a equação dinâmica de Saint-Venant, completa ou simplificada, a equação de escoamento sobre vertedouros, livres ou afogados, a equação de escoamento através de orifícios, equações de escoamento através de bueiros, entre outras várias, sendo, neste estudo, considerados os efeitos de inércia no escoamento que ocorre nos cursos d'água principais.
- A vazão entre duas células adjacentes, em qualquer tempo, é apenas função dos níveis d'água no centro dessas células, ou seja, $Q_{i,k} = Q(Z_i, Z_k)$.
- As seções transversais de escoamento são tomadas como retangulares equivalentes;
- O escoamento pode ocorrer simultaneamente em duas camadas, uma superficial e outra subterrânea, em galeria, estando as células da superfície e as da galeria associadas por uma ligação entre elas. Nas galerias, o escoamento é considerado inicialmente à superfície livre, mas pode vir a sofrer afogamento, passando a ser considerado sob pressão.

6.2 Modelação da Bacia Urbana do Rio Acari com MODCEL

O comportamento hidrodinâmico do Rio Acari, Pavuna, Meriti e seus principais afluentes foi simulado através do modelo computacional MODCEL. Os conceitos fundamentais do Modelo de Células estão associados à divisão da região a modelar em células (compartimentos homogêneos que caracterizam uma porção da bacia) e à interligação destas células através de relações hidráulicas capazes de representar a troca de vazões entre elas (permitindo montar uma rede de escoamentos em *loop*, em várias direções do plano bidimensional). As células de escoamento, em grupo ou isoladamente, representam tanto estruturas hidráulicas como paisagens naturais ou urbanas, num arranjo tal que procura reproduzir padrões diversos de escoamento, dentro ou fora da rede de canais, a partir das interações entre as células modeladas. Este modelo hidrodinâmico, apesar de

trabalhar com relações hidráulicas unidimensionais, é capaz de representar o escoamento no espaço bidimensional. Na Figura 6.1 é apresentado o domínio de modelagem definido para representação em células de escoamento assim como a condição de contorno do tipo de variação de maré utilizada.

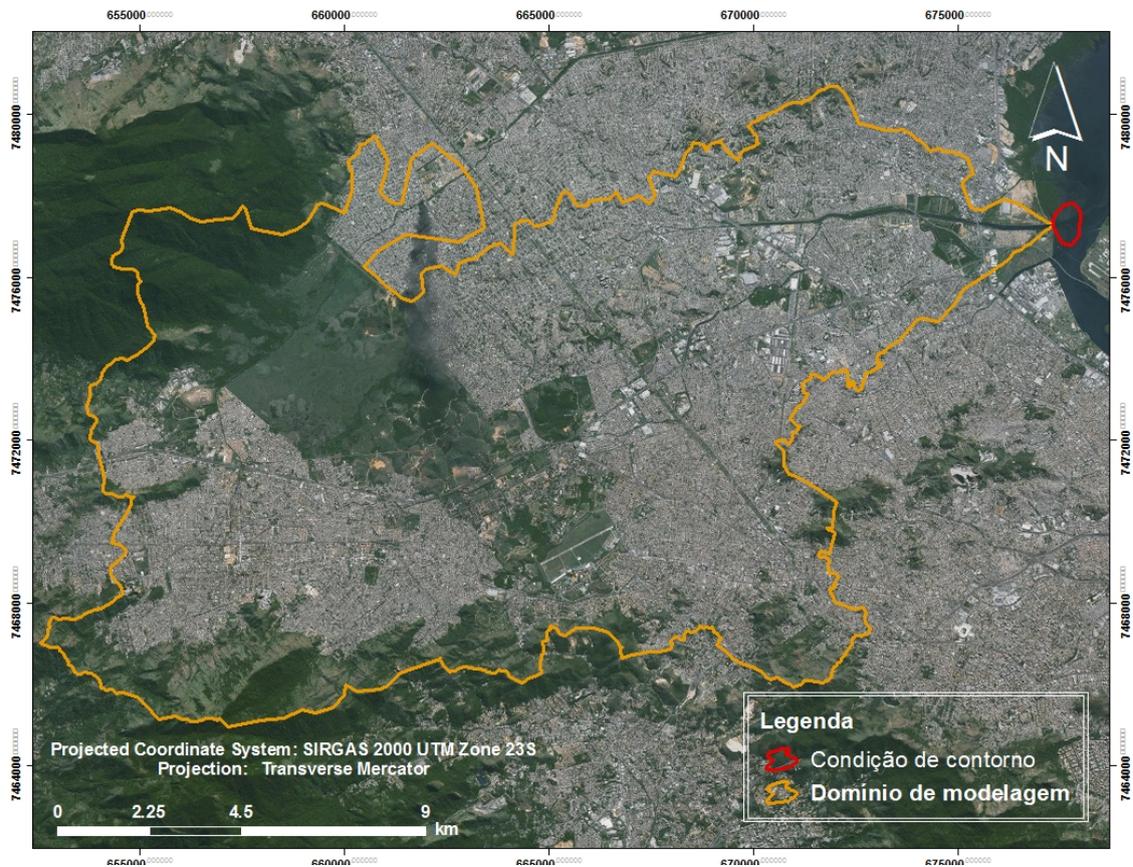


Figura 6.1 - Área de interesse com a discretização em células de escoamento. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

6.2.1 Levantamento de Dados

Para a confecção dos arquivos de entrada de dados no modelo, foram necessários dados topográficos, fisiográficos, hidrológicos e hidráulicos do trecho dos principais cursos d'água, para subsidiar o próprio processo de modelagem topográfica e hidráulica que precede o processo de simulação.

Uma série de arquivos com informações relevantes para o processo de modelagem foi obtido junto à Fundação Rio-Águas. Os arquivos possuem informações planialtimétricas, seções de cursos d'água e cadastro de singularidades pertinentes para os fluxos hidrodinâmicos. A Tabela 6.1 apresenta de forma sumária as informações obtidas a partir de cada arquivo analisado.

Tabela 6.1 – Arquivos utilizados para levantamento de dados

NOME DO ARQUIVO	INFORMAÇÕES
ADUTORA CEDAE.DWG	Possível interferência na conexão do Rio Acari com a barragem de Gericinó
PM2_CADASTRO_DRENAGEM TRECHO 4B,C E 4D_REV5.DWG	Rede de Microdrenagem do Parque Madureira + Cotas do Infradorso das 2 pontes
RIO ACARI LOCALIZAÇÃO TRECHOS_MAR_2015	Informações de Seção Transversal do Trecho do Rio Acari considerado
PLANTA E PERFIL - AS BUILT ACARI2010.DWG	Perfis longitudinais e seções transversais de alguns trechos do Acari
ACARI_REV1_06_2014.DWG	Perfis longitudinais e seções transversais de alguns trechos do Acari
RA0027.DE.1486-0_A_1497-0_LEVANT-TOPO_ARROIO-DOS-AFONSOS	Levantamento topográfico do Arroio dos Afonsos
RA0027.DE.1522-0_E_1523-0_PARQUE-ACARI_PLANTA-PERFIL	Ao abrir o CAD só tem representado as estacas, não o Rio, mas esta georreferenciados e sim tem o Perfil
RA0027.DE.722-0_A_725-0_LEVANT_TOPO_CADAST_ACARI_ACA RI	Muitas seções no trecho (em torno de 200)
RA0027.DE.1401-0_A_1405-0_LEVANT-TOPO_CALDEREIRO	Levantamento topográfico do Rio Caldeireiro
RA0027.DE.844-0_A_847-0_LEVANT_TOPO_CADAST_ACARI_CAL OGI	Levantamento topográfico do Rio Calogi
RA0027.DE.1058-0_A_1062-0_LEVANT-TOPO_CARANGUEJO	Levantamento topográfico do Rio Caranguejo
RA0027.DE.1419-0_A_1422-0_LEVANT-TOPO_CARARINO	Levantamento topográfico do Rio Catarino

RA0027.DE.884-0_A_892-0_LEVANT_TOPO_CADAST_ACARI_RIO-DAS-PEDRAS	61 SEÇÕES do Rio das Pedras
RA0027.DE.813-0_A_815-0_LEVANT_TOPO_CADAST_ACARI_CACHORROS1	Levantamento topográfico do Rio dos Cachorros 1
RA0027.DE.822-0_A_826-0_LEVANT_TOPO_CADAST_ACARI_CACHORROS2	Levantamento topográfico do Rio dos Cachorros 2
RA0027.DE.1051_A_1057_MARANGA_LEVANT_TOPO_PLANIALT_CADAST	Levantamento topoplanialtimétrico
TOPOGRAFIA_EMBOQUE NO PIRAQUARA.DWG	Informações de rede de drenagem próximo à foz do Piraquara
ED-1-2-3.NOVO.DWG	Informações de Projeto das Estruturas de Dissipação Rio Marangá (Marinho), sem localização
ED-4.DWG	Informações de Projeto das Estruturas de Dissipação Rio Marangá (Marinho), sem localização
ED-5.DWG	Informações de Projeto das Estruturas de Dissipação Rio Marangá (Marinho), sem localização
PLANTA E PERFIL.PDF	Planta e Perfil Longitudinal Rio Marangá (Marinho)
SEÇÕES.PDF	Informação das Seções Transversais no trecho do RA34 (Marinho)
RIO MARANGÁ (PLANTA GERAL E PERFIL).DWG	Planta e Perfil Longitudinal Rio Marangá (Marinho).
SEÇÕES_TIPO.DWG	Seções tipo do Rio Acari em Autocad
RIO MARINHO GERAL_URBANIZAÇÃO_14_03_.DWG	Informações de seção e da urbanização (cota rua) do entorno - Marangá (Marinho) Mesmo trecho do RA34, RA35 e RA36
PERFIL EIXO RIO MARINHO.DWG	Perfil longitudinal de trecho do rio Marinho
PLANTA.DWG	Planta de trecho do rio Marinho
CHAMBELLAND.DWG	Cotas de Calçada, rua e meio fio
PONTE_RIO_ACARI.DWG	Informações da Ponte da Rua Luiz Coutinho Cavalcanti
RIO ACARI 03.DWG	Informações de Seção Transversal do Rio Acari
RIO ACARI 03B.DWG	Informações de Seção Transversal do Rio Acari

Além dos arquivos disponibilizados pela Fundação Rio-Águas foi utilizado para interpretação da topografia da região e delimitação das bacias hidrográficas um modelo digital de terreno (MDT) com precisão 5x5m. A Figura 6.2 apresenta tal MDT.

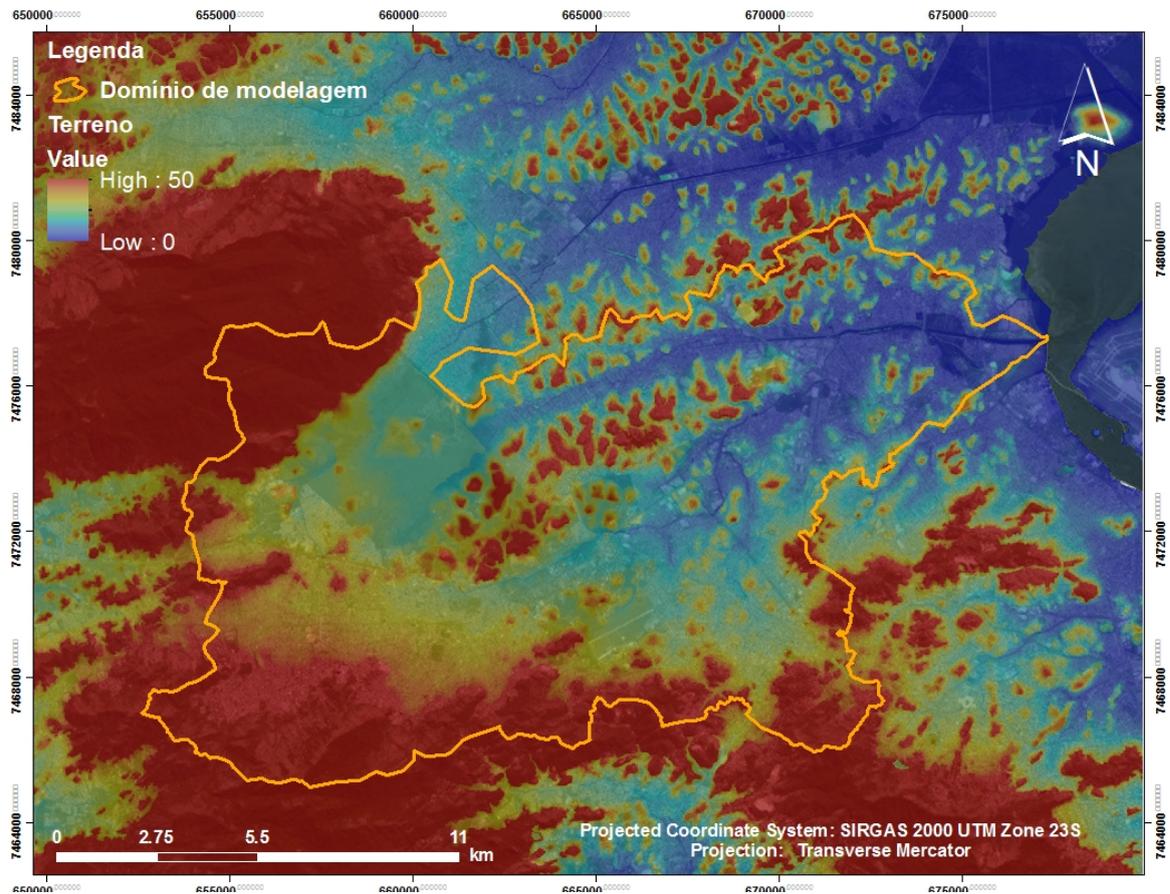


Figura 6.2 - Modelo digital de Terreno com precisão de 5 metros x 5 metros. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

6.2.2 Modelação Topográfica e Topológica

A partir da conclusão do levantamento de dados, passa-se à tradução dos dados levantados para a linguagem compreendida pelo modelo matemático. Assim, foi realizada uma análise dos mapas disponíveis para estudar a topografia da região, com objetivo de caracterizar o padrão de comportamento do escoamento da cheia. Com este estudo realizado, é feita a divisão da área de interesse em células de escoamento, com a posterior determinação das possíveis conexões hidráulicas entre células vizinhas. Ao término desta divisão, é construído um esquema topológico que integra a rede de células, mostrando as suas interações com as células vizinhas e com as condições de contorno localizadas nas fronteiras da área modelada.

Nesta etapa, é efetuado o levantamento das informações gerais necessárias para caracterização de cada célula de escoamento, tais como:

- Área de contribuição para realização da transformação de chuva em vazão e área de armazenagem para cômputo do balanço de massa;
- Cotas do terreno;
- Número e tipos de ligações com células vizinhas;
- Distância entre as células;
- Demais parâmetros individuais de cada tipo de ligação entre as células, conforme a definição hidráulica dos mesmos.

As condições iniciais de níveis d'água para o modelo foram obtidas a partir da simulação hidrodinâmica da bacia do Rio Acari, Pavuna e Meriti durante um tempo de 5 horas de duração, com vazões de base, mas sem entrada de chuvas e com maré fixa na cota de partida do evento crítico de referência para a simulação (evento real ou de projeto), de forma a estabilizar os níveis do rio no instante em que este evento crítico começa. O resultado desta etapa fornece os níveis d'água em toda a extensão dos rios modelados a serem utilizados como condições iniciais das simulações de projeto.

O modelo de células do Rio Acari, Pavuna e Meriti é limitado a montante pelos divisores de águas naturais e possui representação a jusante até a foz do Rio São João de Meriti na

Baía de Guanabara, compreendendo toda a bacia hidrográfica. Além desta região, foi incorporado também no modelo a bacia de contribuição do Rio Sarapuí até a saída do reservatório no Campo de Gericinó, situado nos municípios de Mesquita e Nilópolis, de forma a tornar possível a simulação de propostas de comunicação entre os volumes de cheia do reservatório do Rio Pavuna e do reservatório do próprio Rio Sarapuí, ambos no Campo de Gericinó.

No total, o modelo possui 273 células de canal, representativas dos cursos principais, 4 células representando importantes galerias existentes no eixo principal dos rios, 599 células do tipo planície urbanizada, 84 células do tipo Cota \times Área e 142 células do tipo planície natural ou não urbanizada, totalizando 1.102 células. A divisão da área em análise em células de escoamento pode ser vista na Figura 6.3.

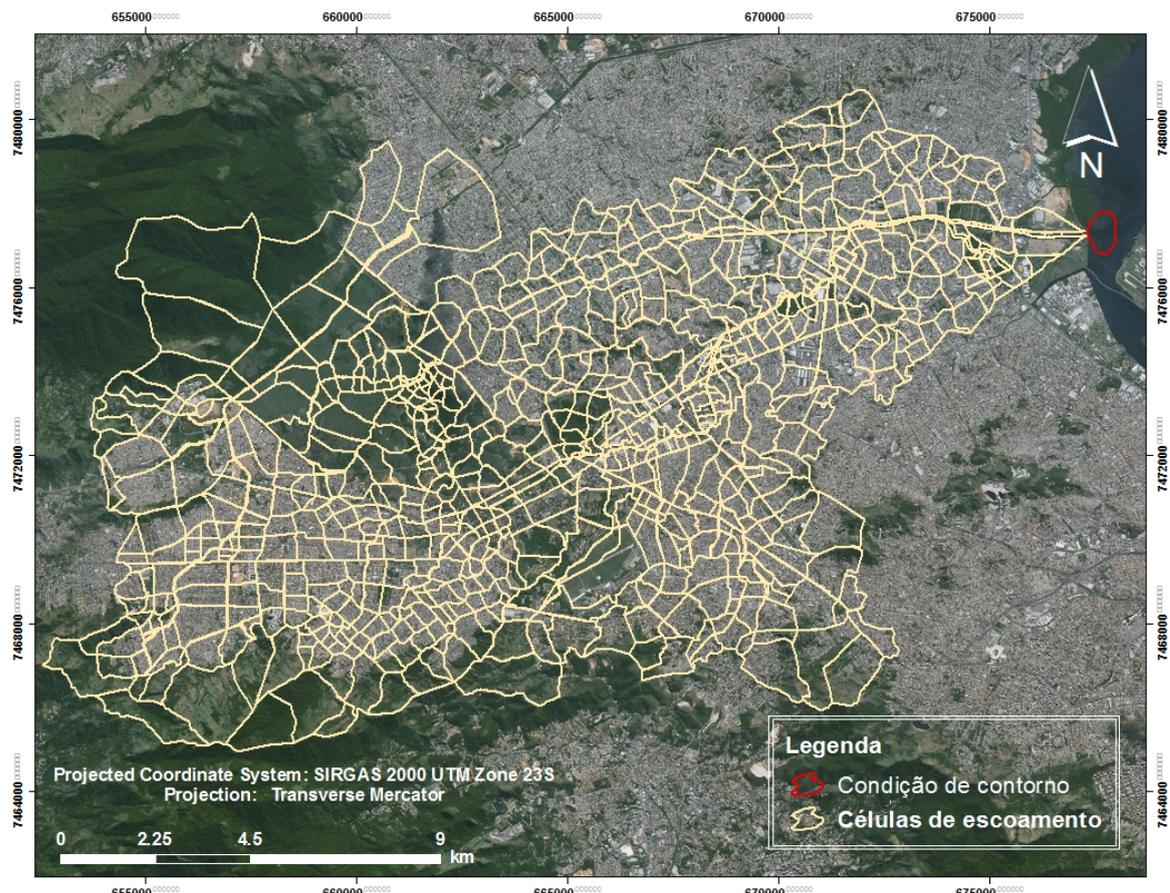


Figura 6.3 - Divisão da área em análise em células de escoamento. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

6.2.3 Condições de Contorno

As condições de contorno foram de dois tipos, de vazão específica ou vazão de base, uma a montante de cada rio; e uma condição de contorno de níveis d'água, representativa da maré na foz.

As vazões de base representam o escoamento específico dos rios sem influência da ocorrência de chuvas intensas. A estimativa destas vazões se baseia no documento “Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil”, da Agência Nacional de Águas (ANA). Segundo este documento, a vazão específica para a região das bacias dos Rios Acari e Pavuna é de aproximadamente 20-40 l/s/km², conforme apresentado na Figura 6.4. Na Tabela 6.2 são apresentadas as vazões de base utilizadas para as áreas de contribuição das diferentes sub-bacias que compõem o domínio de modelagem, as quais podem ser vistas no mapa da Figura 6.5.

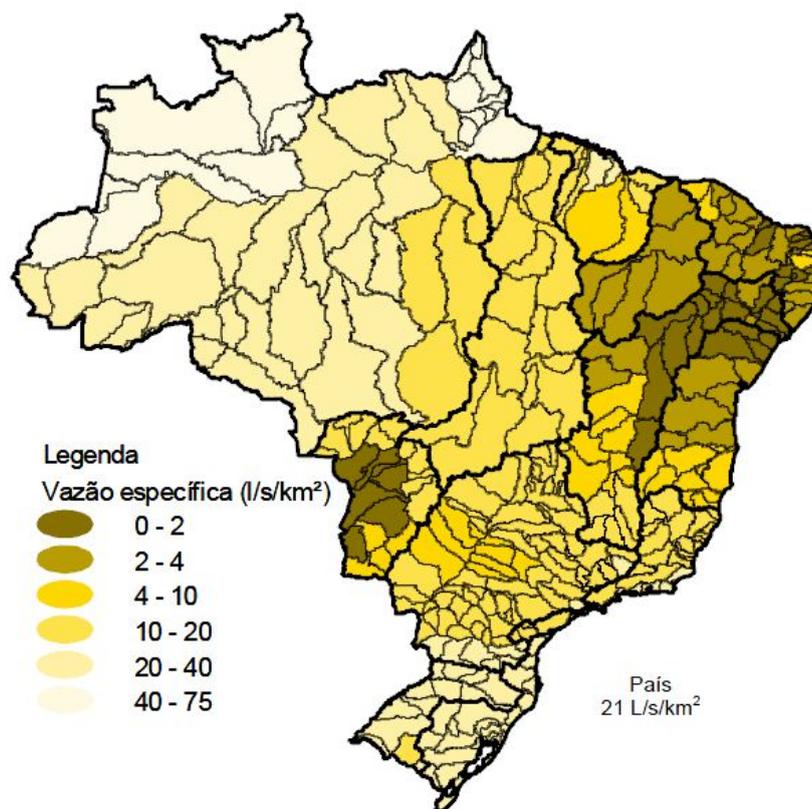


Figura 6.4 – Vazões específicas nas diferentes unidades hidrográficas de Brasil. Fonte: “Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil” (ANA)

Tabela 6.2 . Condições de Contorno de Vazões de Base dos Rios. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

Célula	Rio	Vazão de base (m³/s)
253	Catarino	0,43
264	Piraquara	0,20
267	Caranguejo	0,10
245	Marinho	0,15
271	Arroio dos Afonsos	0,08
94	Caldereiro	0,33
23000	Tingui	0,56
30011	Calogi	0,53
20750	Orfanato	0,49
20910	Ninguém	0,49
99036	Sanatório	0,49
76	Rio dos Cachorros II	0,32
11313	Rio dos Cachorros I	0,29
980	Pavuna	1,56

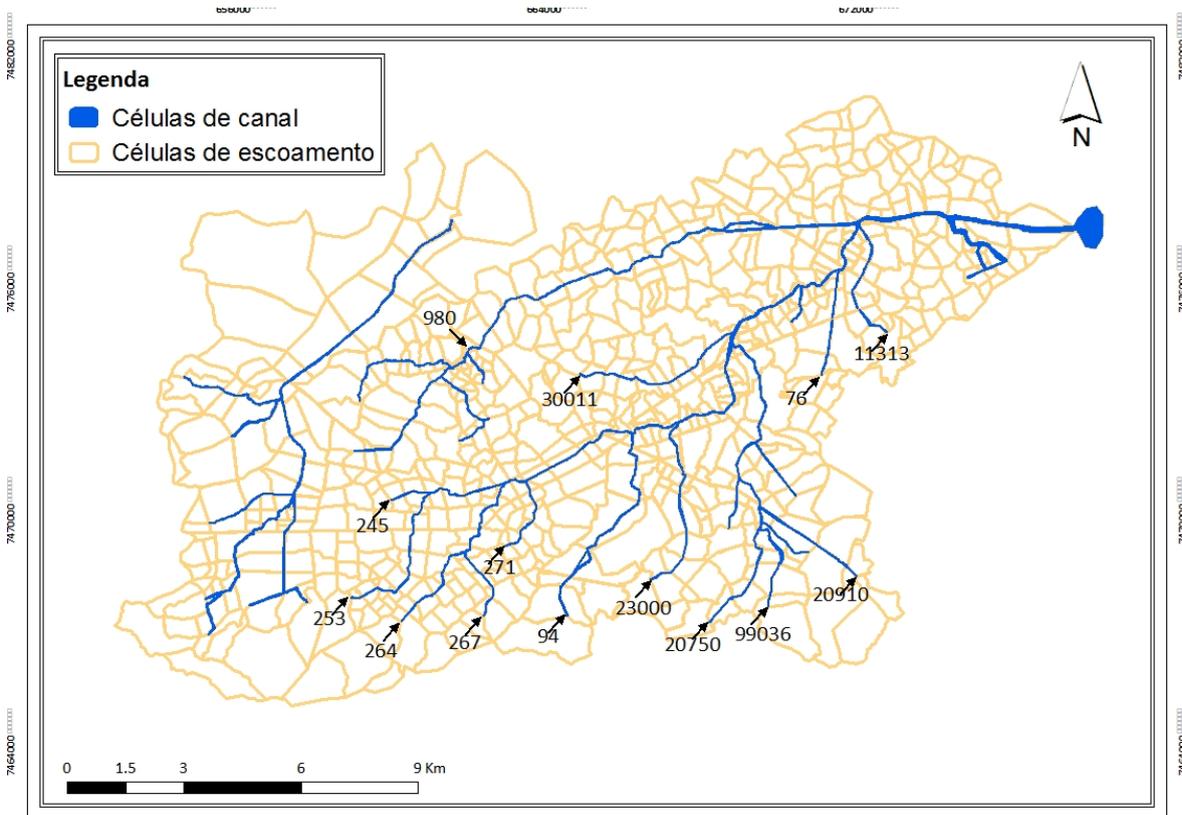


Figura 6.5 - Condições de Contorno de Vazões de Base dos Rios aplicadas às células do tipo canal no Modelo de Células de Escoamento. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

Considerando a importância da maré na bacia do Rio Acari, localizado em zona costeira e sujeita a restrições ao escoamento por causa da influência desta, foi necessário representá-la como condição de contorno na foz. As informações para representação da maré foram obtidas do *Centro de Hidrografia da Marinha (CHM)*, no Porto do Rio de Janeiro – Ilha Fiscal e adaptadas para a referência de nível de elevação do IBGE. Para calibração do evento de 2013, a maré foi calibrada também por meio das medições do Posto Fluviométrico “*Fuzileiros Navais*”, na foz do Rio Meriti. A Figura 6.6 mostra a maré adaptada do dia 11 de dezembro de 2013, para o evento de calibração. Vale destacar que a maré utilizada para o evento de calibração será utilizada também na simulação dos diversos cenários de projeto, uma vez que apresenta valores médios elevados de preamar, os quais estão a favor da segurança no dimensionamento das proposições para o controle de inundações na bacia.

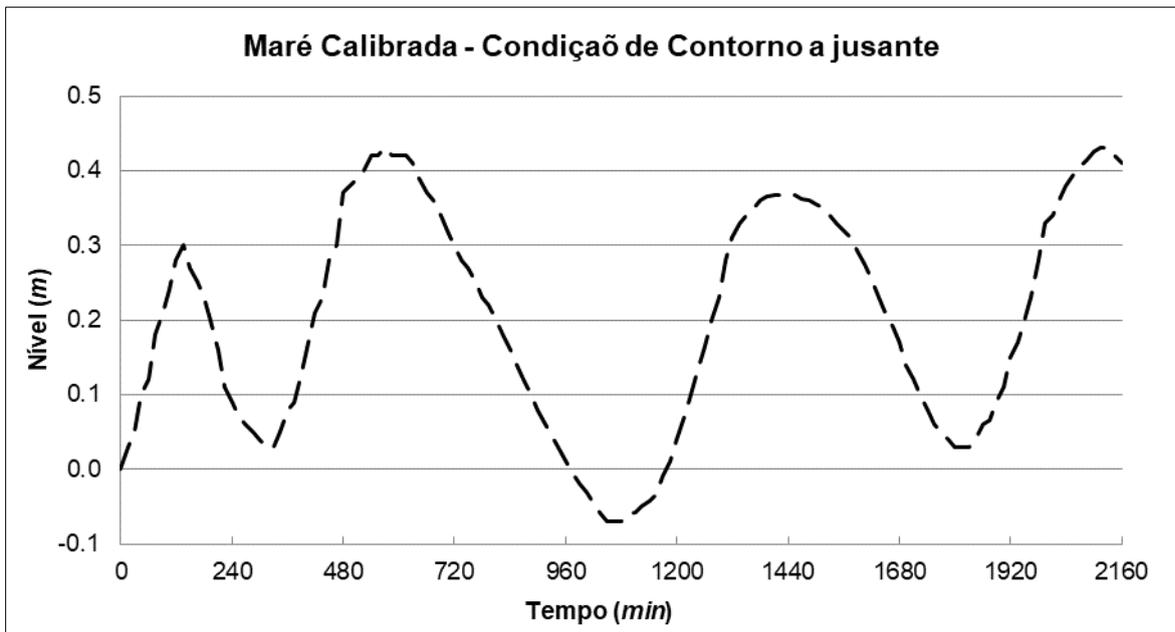


Figura 6.6 – Condição de Contorno do tipo Maré utilizada na simulação do modelo matemático e calibrada com os registros do evento de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

Assim, com toda a bacia discretizada e dividida em células para a modelagem matemática, não foi preciso adicionar outras condições de contorno, uma vez que todos os rios já estão representados, desde as encostas a montante até a foz, abrangendo suas respectivas bacias de contribuição e realizando, assim, o processo de transformação de chuva em vazão.

6.2.4 Estudos Hidrológicos

Este item apresenta os principais estudos hidrológicos realizados para a bacia do Rio Acari, Pavuna e São João de Meriti, com vistas à obtenção das chuvas de projeto a serem utilizadas na etapa de simulação. Estes estudos precedem a modelagem hidrodinâmica da bacia e são de suma importância para alcance de resultados mais coerentes nas próximas etapas de simulação, tanto no processo de calibração como na determinação da situação atual e na etapa de simulação, elaboração e escolha de propostas.

6.2.4.1 Determinação do Tempo de Concentração

Para a determinação do tempo de concentração da bacia do Rio Acari foram utilizadas as premissas adotadas pelos *Estudos Integrados para Avaliação de Projeto de Intervenção na Calha do Rio Acari*, COPPETEC, 2006. A Tabela 6.3 apresenta de forma sucinta os resultados obtidos para os estudos realizados.

Tabela 6.3 - Síntese dos cálculos de tempos de concentração e de viagem. Adaptado de COPPETEC (2006)

Curso d'Água	Tempo (min)	Tempo (horas)
Rio Acari (trecho 2, parte 1)	223,20	3,72
Rio Piraquara (trecho 2, parte 2)	31,90	0,53
Rio São João de Meriti (trecho 1)	72,70	1,21
Rio Piraquara (trecho 3)	38,80	0,65
Rio Pavuna (trecho 4)	300,00	5,00
Rio Acari (total)	293,90	4,90

O tempo de concentração total da bacia do Rio Acari foi estimado em 4,9 horas, enquanto que o da bacia do rio São João de Meriti foi avaliado como igual a 6,21 horas. Considerando que este projeto tem o foco voltado para a representação de cheias na bacia do Rio Acari, adotou-se um tempo de 5 horas para a duração da chuva de projeto, assim como nos estudos realizados em 2006, configurando uma situação mais crítica para esta bacia específica. Em relação ao tempo de concentração da bacia de contribuição para a Barragem de Gericinó no Rio Sarapuí, foi considerado o tempo de concentração da bacia do Rio Sarapuí, calculado no âmbito do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Iguaçu-Sarapuí – Projeto Iguaçu (1996), estimado em 8 horas de duração, configurando a situação mais crítica para o reservatório.

6.2.4.2 Determinação das Precipitações

Neste item é apresentada a metodologia utilizada para a determinação das precipitações para entrada de dados no modelo matemático.

Os arquivos de precipitação são essenciais para a realização da simulação proposta. A entrada de dados para este arquivo pode ser realizada de duas formas: uma chuva real medida, adotada para os processos de calibração do modelo, sendo a informação subdividida para compatibilizá-la com cada intervalo de tempo de simulação; ou uma chuva de projeto, calculada por meio de processos estatísticos e adotada para as simulações desejadas.

6.2.4.2.1 Chuvas do processo de calibração

As chuvas selecionadas para o processo de calibração ocorreram no dia 11 de dezembro de 2013, registradas nos quatro postos pluviométricos obtidos da Rede MonitorÁguas - rede de monitoramento de quantidade e qualidade de água do Rio de Janeiro, quais sejam:

- *Posto pluviométrico na Base dos Fuzileiros Navais;*
- *Posto pluviométrico nas proximidades do Ponto Frio;*
- *Posto pluviométrico nas proximidades do Parque das Vizinhaças; e*
- *Posto pluviométrico nas proximidades da Universidade Castelo Branco (UCB).*

A localização destes postos em relação ao domínio de simulação pode ser observada na Figura 6.7. Os hietogramas dos quatro postos podem ser observados da Figura 6.8 à Figura 6.11.

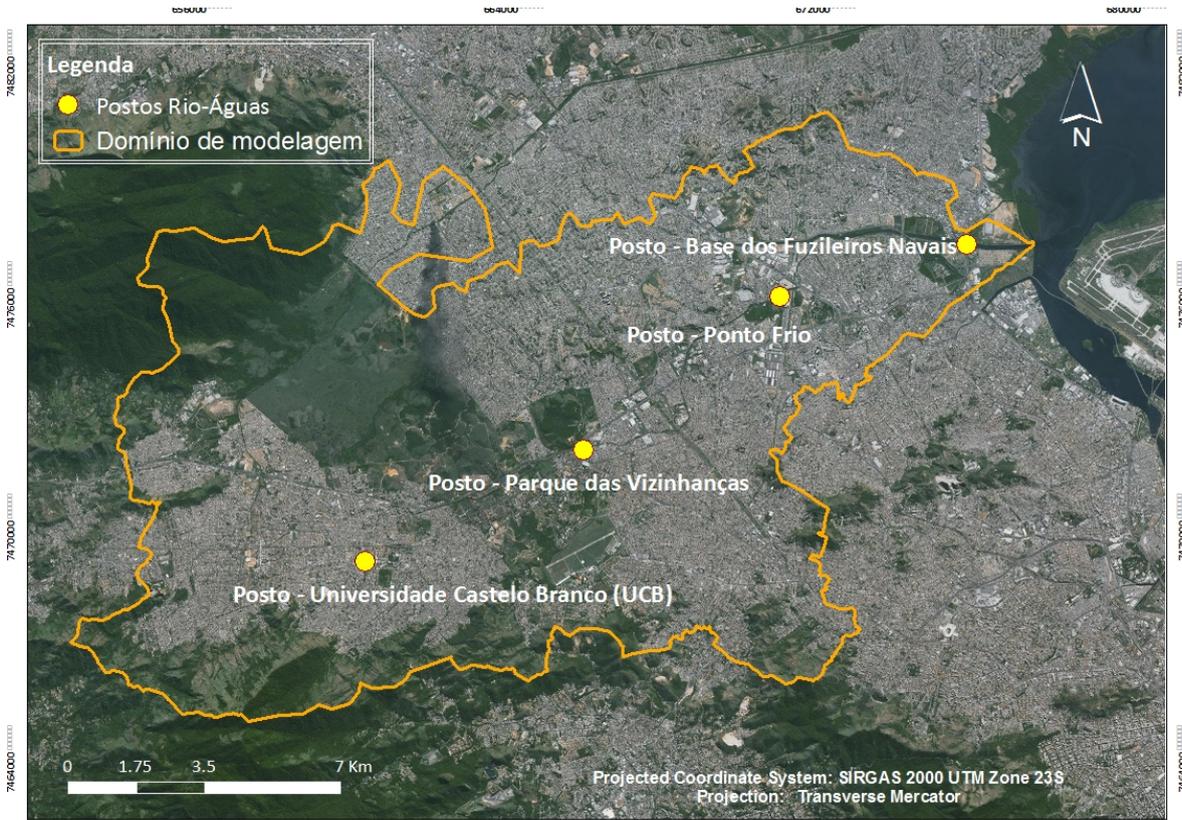


Figura 6.7 – Localização dos postos pluviométricos utilizados no processo de calibração para o evento de 11 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

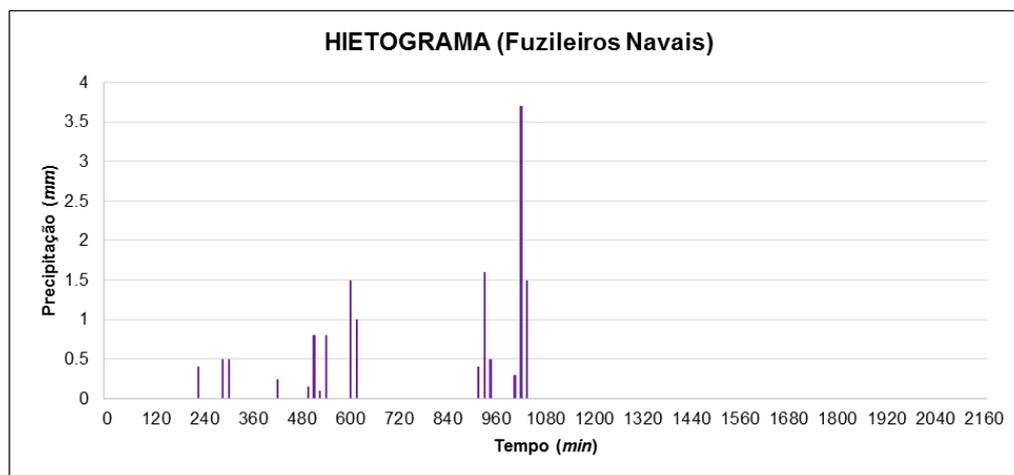


Figura 6.8 – Hietograma do Posto pluviométrico na Base dos Fuzileiros Navais, medido a partir das 12:00h do dia 10 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

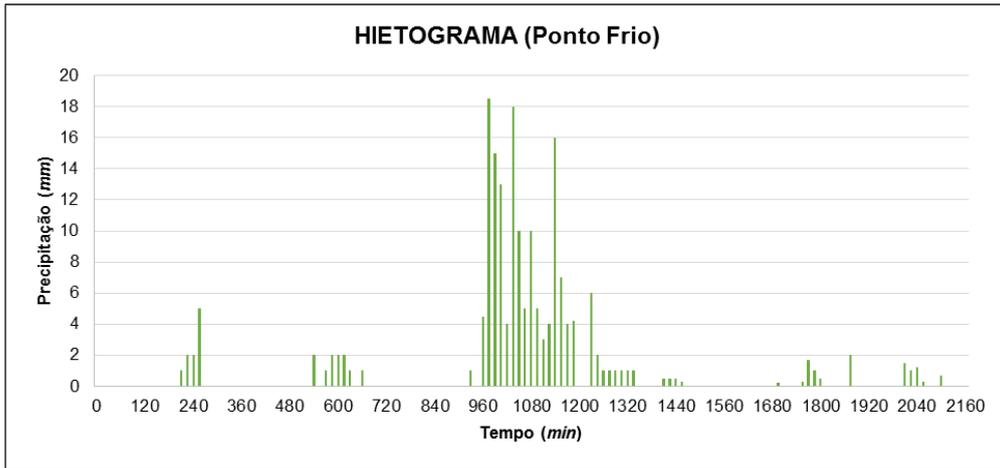


Figura 6.9 - Hietograma do Posto pluviométrico nas proximidades do Ponto Frio, medido a partir das 12:00h do dia 10 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

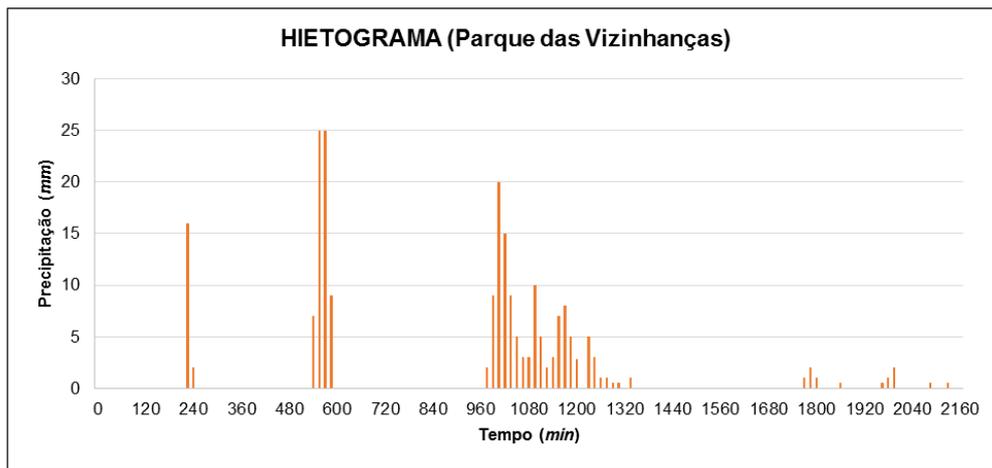


Figura 6.10 - Hietograma do Posto pluviométrico nas proximidades do Parque das Vizinhanças, medido a partir das 12:00h do dia 10 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

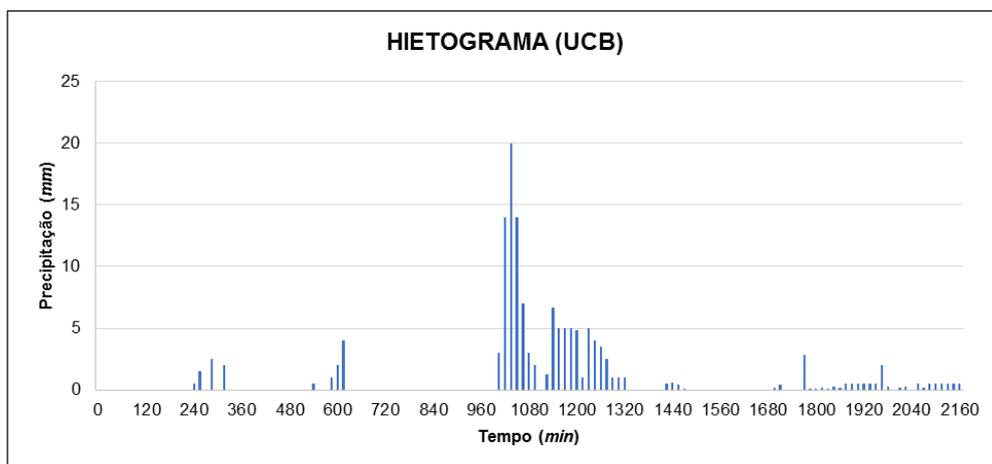


Figura 6.11 - Hietograma do Posto pluviométrico nas proximidades da Universidade Castelo Branco (UCB), medido a partir das 12:00h do dia 10 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

6.2.4.2.2 Chuvas de projeto para simulação de cenários

No item anterior deste relatório, a duração da chuva de projeto foi definida como igual a 5 horas. A chuva de projeto foi elaborada considerando as seguintes hipóteses:

- tempo de recorrência de 25 anos para a chuva aplicada sobre as células e condições de contorno da bacia do rio Acari;
- duração da chuva igual a 5 horas (equivalente ao tempo de concentração da bacia do Rio Acari);
- intensidade da chuva na bacia do Rio Acari, Pavuna e São João de Meriti calculada a partir das curvas IDF dos postos pluviométricos de Irajá e Realengo;
- distribuição espacial da chuva sobre a bacia dos Rios Acari, Pavuna e São João de Meriti definida através da aplicação de polígonos de Thiessen, considerando os postos pluviométricos de Irajá e Realengo;
- chuva de projeto da bacia do Rio Sarapuí, até a barragem de Gericinó, calculada considerando o posto pluviométrico de Bangu;
- distribuição temporal da chuva definida a partir do Método do *Bureau of Reclamation*;
- aplicação do cálculo de coeficientes de redução ponto-área para as bacias dos Rios Acari e Pavuna / Meriti, e para a bacia do Rio Sarapuí.

As equações IDF consideradas para os postos pluviométricos de Irajá e Realengo foram as seguintes:

$$\text{- Posto Irajá} \quad i = \frac{5986,27 Tr^{0,157}}{(t+29,70)^{1,050}}$$

$$\text{- Posto Realengo} \quad i = \frac{1164,04 Tr^{0,148}}{(t+6,96)^{0,769}}$$

$$\text{- Posto Bangu} \quad i = \frac{1208,96 Tr^{0,177}}{(t+14,00)^{0,788}}$$

Cujas variáveis representam: i – intensidade de chuva (mm/h); Tr – Tempo de recorrência (anos); t – duração da chuva (minutos).

A definição das áreas de influência dos postos pluviométricos de Irajá e Realengo foi feita a partir da aplicação do método de Thiessen, conforme ilustra a Figura 6.12 e a influência do posto de Bangu foi considerada apenas na bacia do Rio Sarapuí. Esta informação foi utilizada para o cálculo da chuva associada a cada uma das células que compõem a área modelada e às condições de contorno.

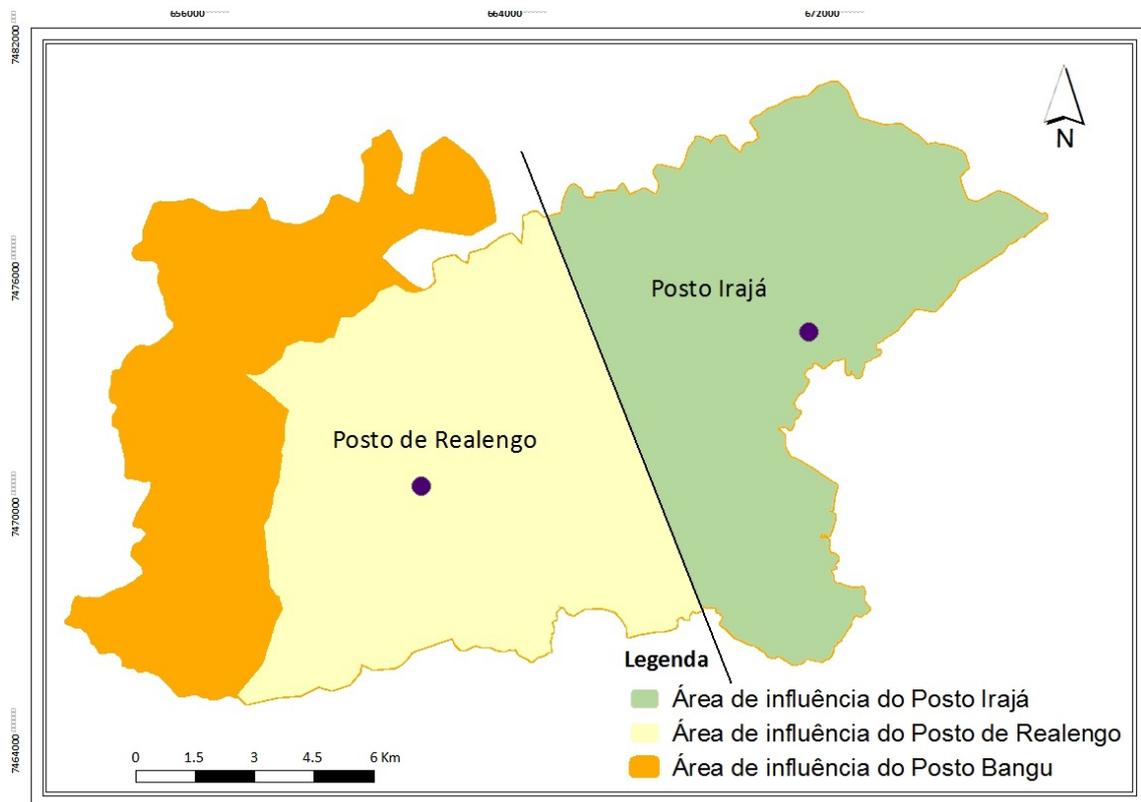


Figura 6.12 - Distribuição das chuvas de projeto na área de modelagem. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

Os coeficientes de redução ponto-área que foram aplicados sobre as chuvas de projeto foram calculados em função da área da bacia do Rio, considerando as curvas de redução ponto-área elaboradas por SERLA (1991) a partir de chuvas intensas ocorridas na década de 60, apresentadas na Figura 6.13.

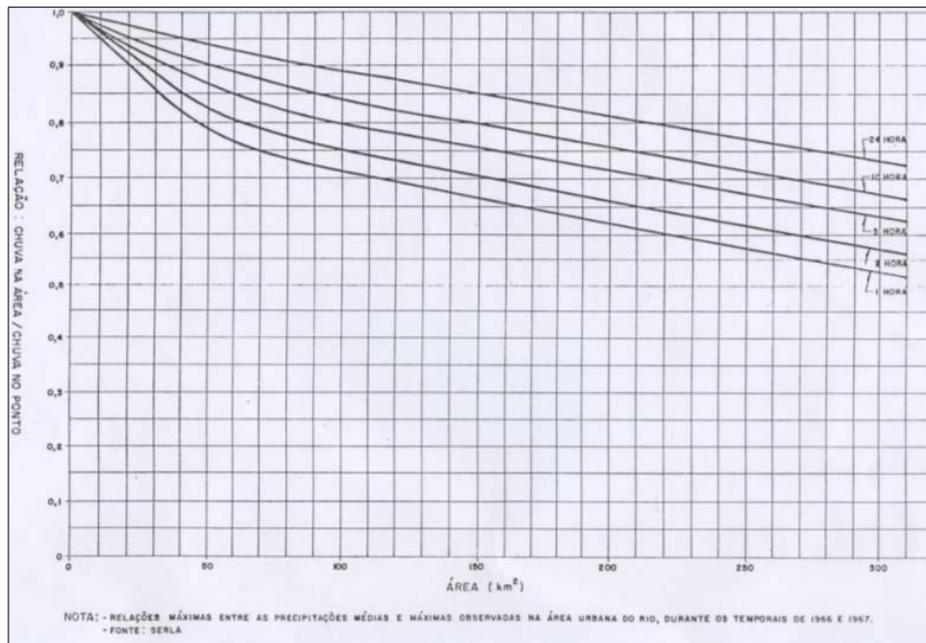


Figura 6.13 - Curvas de redução ponto-área utilizadas. Fonte: SERLA, 1991.

A partir das curvas de redução ponto-área, foram encontrados os seguintes valores para os coeficientes de redução:

- a) considerando apenas a área da bacia do Rio Acari (~105 km²) → 77,26%;
- b) considerando a área da bacia do Rio Sarapuí (~650 km²) → 60,82%;

Por fim, com a aplicação das equações de chuvas intensas, foram obtidas as alturas de precipitação com e sem o fator de redução ponto-área:

- 114,62 mm (chuva bruta) e 88,55 mm (chuva c/ redução) para o posto de Realengo (Tr 25 anos);
- 112,61 mm (chuva bruta) e 87,00 mm (chuva c/ redução) para o posto de Irajá (Tr 25 anos);
- 128,91 mm (chuva bruta) e 78,40 mm (chuva c/ redução) para a bacia de contribuição da barragem de Gericinó no Rio Sarapuí (Tr 25 anos);

As chuvas efetivamente utilizadas na modelagem foram aquelas que consideram a redução ponto área. Estas precipitações foram finalmente distribuídas ao longo do tempo a partir do Método do *Bureau of Reclamation*, considerando a construção em blocos alternados de precipitação a partir da maior chuva posicionada no centro. A partir da metodologia apresentada, foi possível obter as chuvas de projeto utilizadas no modelo matemático para entrada de dados e que estão apresentadas na Figura 6.14, Figura 6.15 e Figura 6.16.

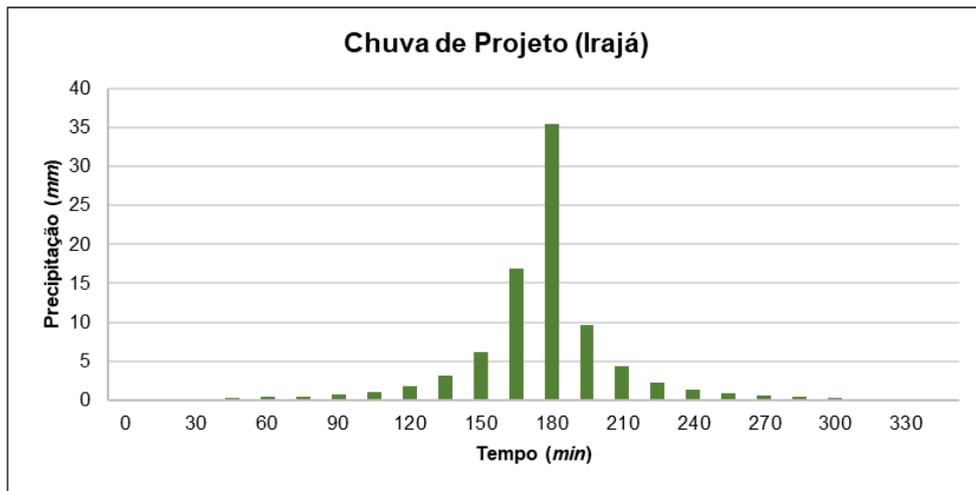


Figura 6.14 – Chuva de Projeto obtida para a área de influência do Posto de Irajá. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

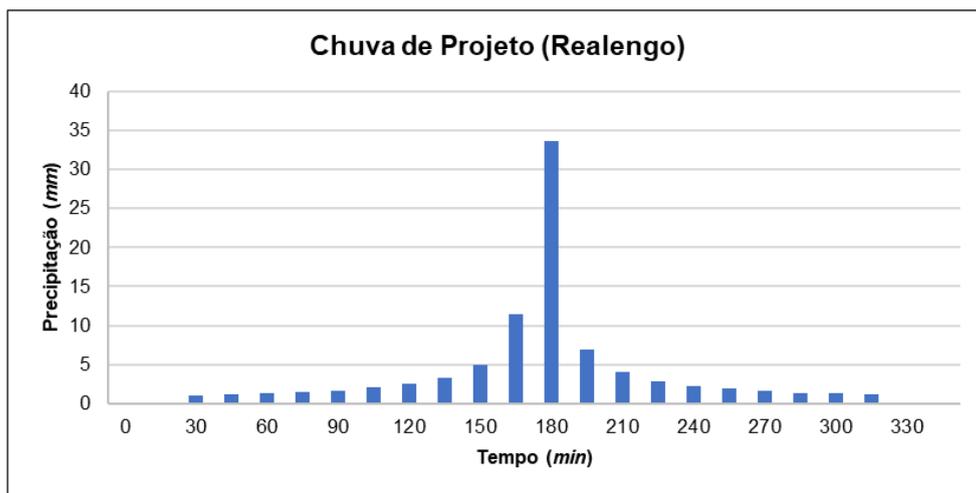


Figura 6.15 - Chuva de Projeto obtida para a área de influência do Posto de Realengo. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

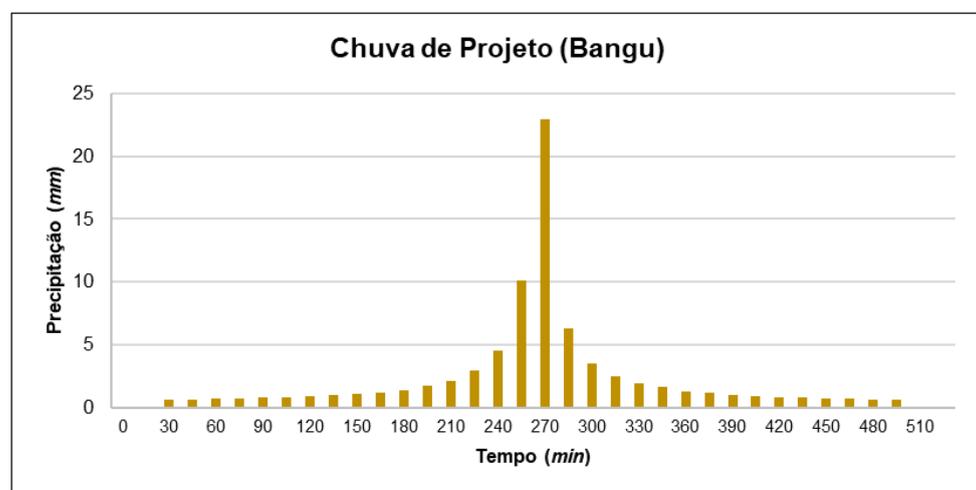


Figura 6.16 - Chuva de Projeto obtida para a área de influência do Posto de Bangu. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

6.3 Calibração do modelo

A calibração do modelo matemático se refere ao processo de ajuste de parâmetros de modelagem para representar tanto o comportamento hidrodinâmico normal da bacia, como também eventos de chuva intensa (elevadas pluviosidades).

Para este processo, foram realizadas comparações entre as respostas do modelo matemático e as medições registradas no evento de chuva intensa ocorrido no dia 11 de dezembro de 2013. Tal evento foi escolhido por suas consequências devastadoras em diversos pontos da bacia hidrográfica do Rio Acari, além de ser um evento relativamente recente e, ainda, por apresentar grande quantidade de dados medidos e levantados, que permitem uma melhor comparação com os resultados simulados.

Os dados utilizados no processo de calibração provêm de postos fluviométricos e de manchas de inundação realizadas pela Fundação Rio-Águas. Foram localizados 4 postos fluviométricos distribuídos ao longo da bacia, os quais coincidem com os postos pluviométricos: Base dos Fuzileiros Navais, Ponto Frio, Parque das Vizinhanças e Universidade Castelo Branco (UCB). A localização dos quatro postos está representada na Figura 6.17, enquanto a mancha de inundação elaborada pela Fundação Rio-Águas pode ser apreciada na Figura 6.18.

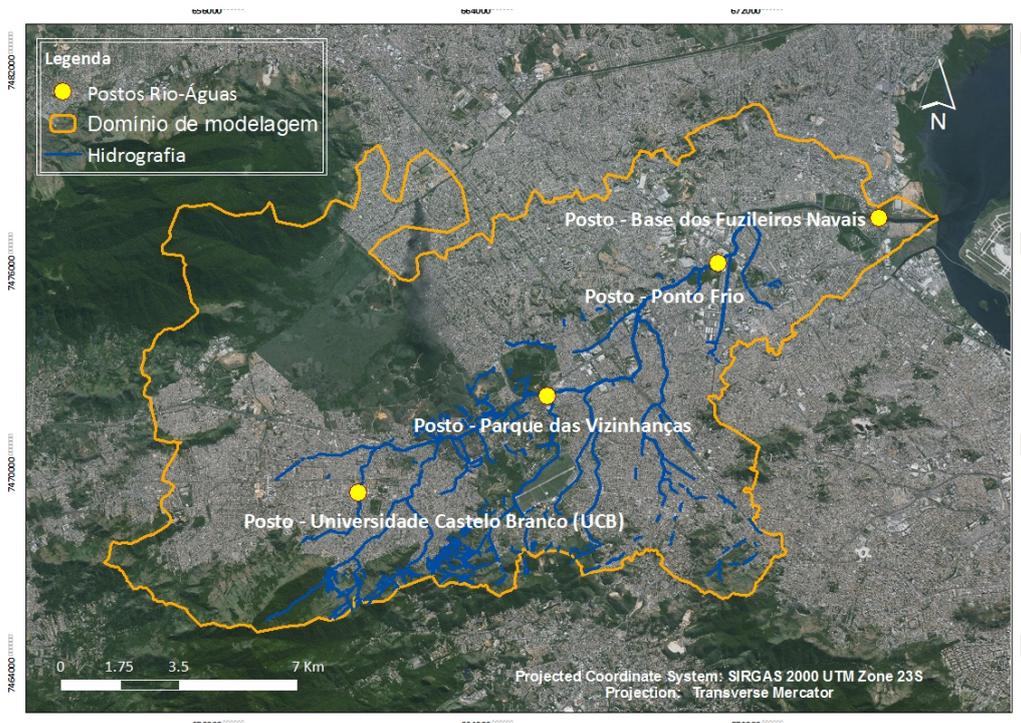


Figura 6.17 – Localização dos Postos Fluviométricos na Bacia do Rio Acari. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.



Figura 6.18 - Mancha de inundação elaborada pela Fundação Rio-Águas para o evento de 11 de dezembro de 2013. Elaborado por: LHC – COPPE/UF RJ.

Para melhor calibrar o modelo, considerando a verificação de outras áreas da bacia não abrangidas pela mancha de inundação da Rio-Águas e pelos postos fluviométricos, foi realizado um levantamento de áreas inundadas pelo evento de dezembro de 2013, por meio de pesquisas a páginas eletrônicas, jornais e outras fontes de informação públicas. A partir desta pesquisa, foram observados diversos locais que sofreram efeitos negativos causados pelo evento, complementando assim as medições de níveis dos postos pluviométricos de forma a fornecer informações mais especializadas.

As fotografias apresentadas entre a Figura 6.19 e a Figura 6.34 são registros de alagamentos obtidos durante evento supracitado. A partir delas, é possível estimar a lâmina d'água no momento do registro. A Figura 6.35 apresenta a espacialização destes registros fotográficos.



Figura 6.19 – Registros de inundação no Bairro Parque Columbia, com lâmina estimada em 1,6m. Fonte: Portal UOL Notícias²

² Disponível em <<https://noticias.uol.com.br/album/2013/12/11/forte-chuva-provoca-alagamentos-em-ruas-do-rio.htm> - fotoNav=115>, acessado em 19/12/2017.



Figura 6.20 – Registro de Inundação localizado no Bairro Parque Columbia com lâmina estimada de 1,4m. Fonte: Portal Veja³



Figura 6.21 – Registro de Inundação localizado no Bairro Parque Columbia nas proximidades do Rio Acari com lâmina estimada de 1,6m. Fonte: Página eletrônica *YouTube*⁴

³ Disponível em <<https://goo.gl/gjgM99>>, acessado em 19/12/2017.

⁴ Disponível em <<https://goo.gl/nM7sfd>>, acessado em 19/12/2017.



(a)



(b)

Figura 6.22 – Registros de inunda o localizados na Rua Marechal Ant4nio Sousa (a), com lâmina estimada de 0,5m, e no Bairro Acari (b), com lâmina estimada de 1,0m.

Fonte: Notícias UOL⁵

⁵ Disponível em <<https://goo.gl/k2cuh8>>, acessado em 19/12/2017.



Figura 6.23 – Registro de Inundação ao longo da Rua Guaiúba Bairro Acari, com lâmina estimada variando de 0,4m até 1,0m Fonte: Página eletrônica *YouTube*⁶



Figura 6.24 – Registro de Inundação localizado na Rua Ouseley com lâmina estimada pelos moradores de 1,8m Fonte: Portal G1⁷

⁶ Disponível em <<https://goo.gl/TEtQTj>>, acessado em 19/12/2017.

⁷ Disponível em <<https://goo.gl/G21qJr>>, acessado em 19/12/2017.



Figura 6.25 – Registro de Inundação localizado na Fazenda botafogo, com lâmina estimada em 1,0m. Fonte: Página eletrônica *YouTube*⁸



Figura 6.26 – Registro de Inundação localizado na Rua Ipuera com lâmina estimada de 0,5m
Fonte: Página eletrônica *YouTube*⁹

⁸ Disponível em <<https://goo.gl/xCCyAE>>, Acessado em 19/12/2017.

⁹ Disponível em <<https://goo.gl/Y7LvLe>>, acessado em 19/12/2017.



Figura 6.27 – Registro de inundação localizado no Hospital Municipal Ronaldo Gazolla, com lâmina estimada em 0,3m. Fonte: Página eletrônica *YouTube*¹⁰



Figura 6.28 – Registro de Inundação localizado no Viaduto da Pavuna com lâmina estimada de 0,6m. Fonte: Página eletrônica *YouTube*¹¹

¹⁰ Disponível em <<https://goo.gl/ca72JA>>, acessado em 19/12/2017.

¹¹ Disponível em <<https://goo.gl/mYB6JX>>, acessado em 19/12/2017.



Figura 6.29 – Registro de inundação localizado na Feirinha da Pavuna, abaixo do Viaduto da Pavuna, com lâmina estimada em 0,6m. Fonte: Página eletrônica *YouTube*¹²



Figura 6.30 – Registro de Inundação localizado no cruzamento entre Rua Mercúrio e a Rua Sargento Basileu da Costa lâmina estimada de 0,6m Fonte: Página eletrônica *YouTube*¹³

¹² Disponível em <<https://goo.gl/sjSo5g>>, acessado em 19/12/2017.

¹³ Disponível em <<https://goo.gl/AwFUz9>>, acessado em 19/12/2017.



Figura 6.31 – Registro de inundação localizado Rua Maria Joaquina, com lâmina estimada em 0,6m. Fonte: Página eletrônica *YouTube*¹⁴



Figura 6.32 – Registro de Inundação localizada Praça Nossa Senhora das Dores, na Pavuna, com lâmina estimada de 0,7m Fonte: Página eletrônica *YouTube*¹⁵

¹⁴ Disponível em <<https://goo.gl/6FYJZL>>, acessado em 19/12/2017.

¹⁵ Disponível em <<https://goo.gl/1hHn7K>>, acessado em 19/12/2017.



Figura 6.33 – Registro de inundação localizada na Avenida Nossa Sra. Das Graças, ao Lado da Estação Pavuna/São João de Meriti, com lâmina estimada em 1,7m. Fonte: Página eletrônica *YouTube*¹⁶



Figura 6.34 – Registro de inundação localizada nos trilhos da Estação Pavuna/São João de Meriti. Fonte: Página eletrônica *YouTube*¹⁷

¹⁶ Disponível em <<https://goo.gl/ZgnXL3>>, acessado em 19/12/2017.

¹⁷ Disponível em <<https://goo.gl/ABuoP6>>, acessado em 19/12/2017.



Figura 6.35 – Espacialização dos registros de inundação obtidos através de canais de informação no âmbito do evento do dia 11/12/2013 e lâminas de inundação estimadas. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

Após a obtenção de dados medidos e observados para o evento de calibração, foi possível realizar a comparação com os dados simulados a partir do *software* Modcel. A Figura 6.36 apresenta a comparação de níveis no Posto Base dos Fuzileiros Navais, a Figura 6.37 no Posto Ponto Frio, a Figura 6.38 no Posto Parque das Vizinhanças e a Figura 6.39 no Posto Universidade Castelo Branco (UCB).

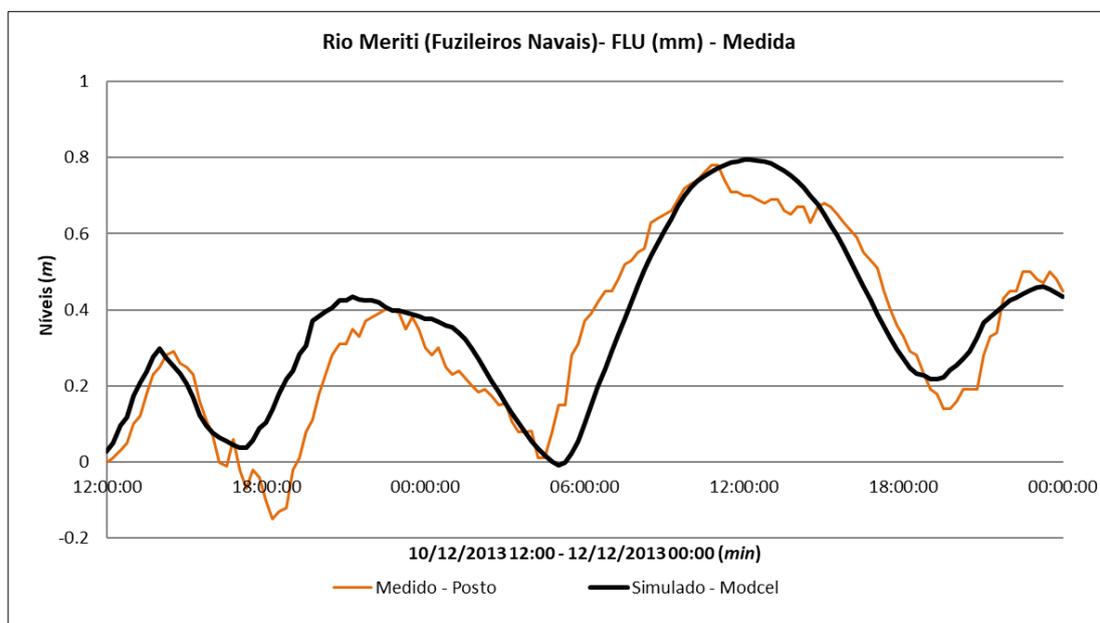


Figura 6.36 – Comparação dos níveis medidos com os simulados no posto fluviométrico Fuzileiros Navais. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

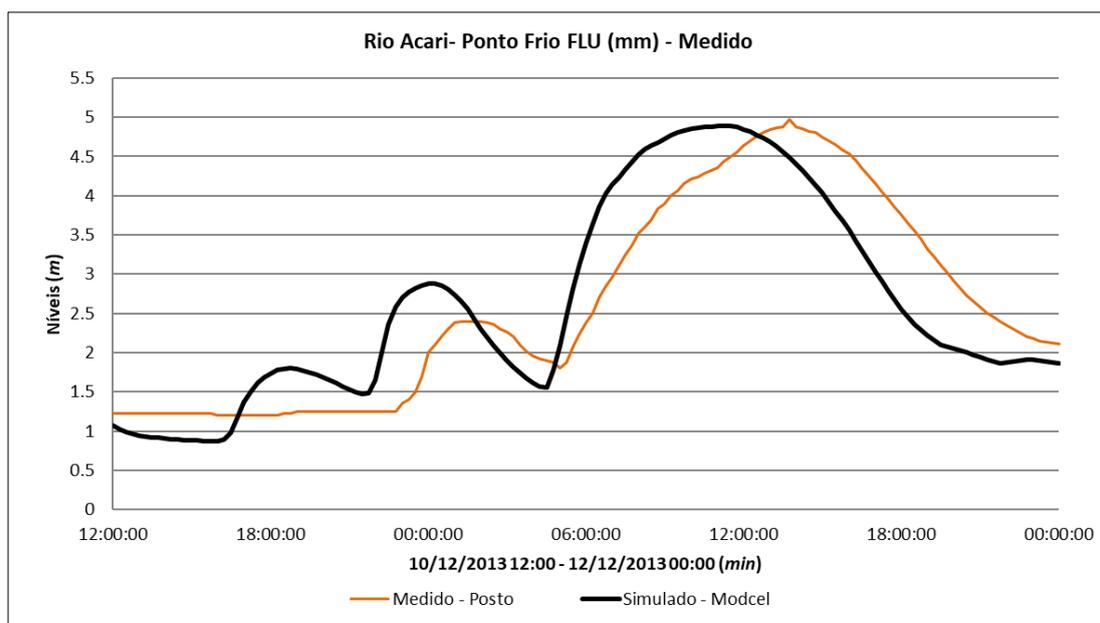


Figura 6.37 – Comparação dos níveis medidos com os simulados no posto fluviométrico Ponto Frio. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

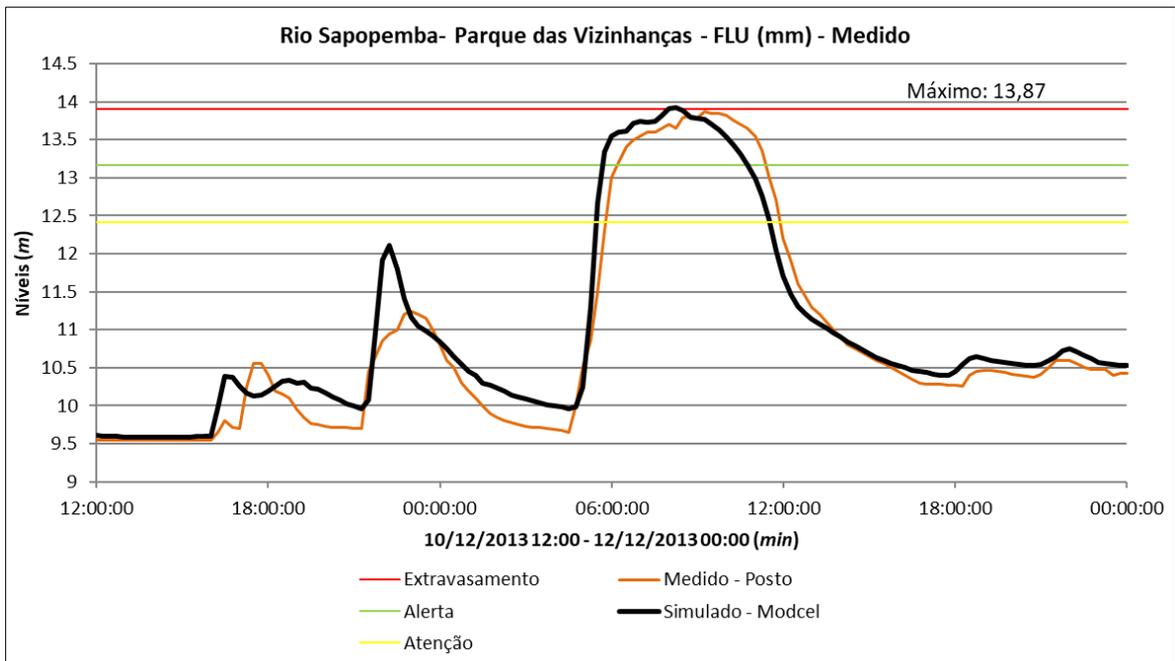


Figura 6.38 – Comparação dos níveis medidos com os simulados no posto fluviométrico Parque das Vizinhanças. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

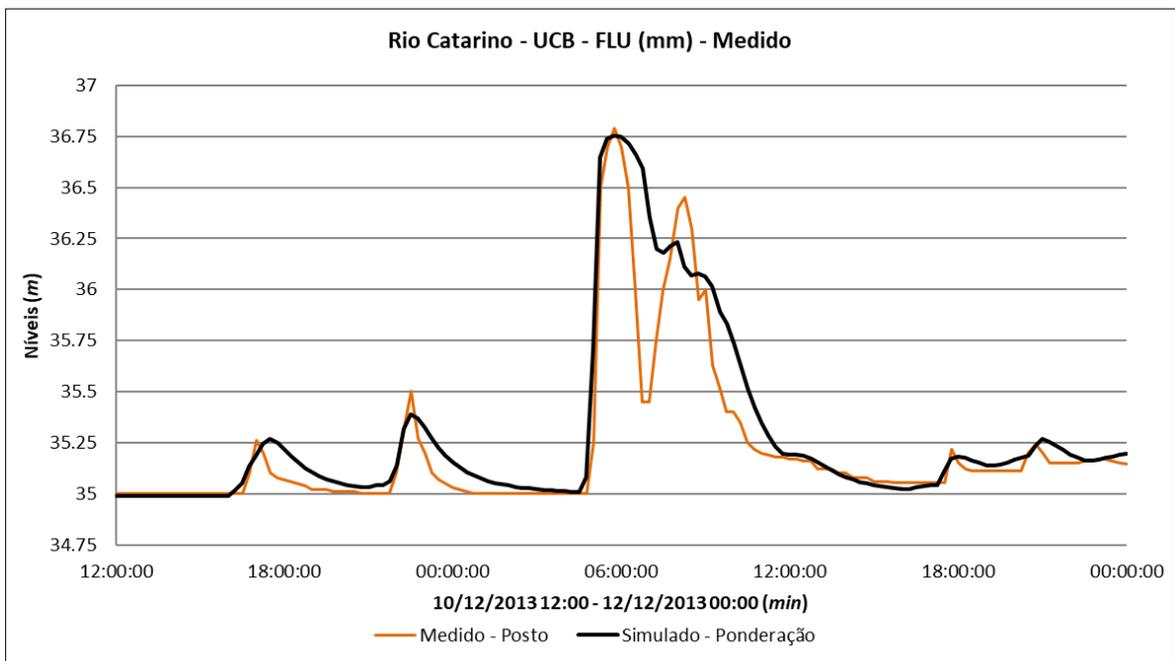


Figura 6.39 – Comparação dos níveis medidos com os simulados no posto fluviométrico UCB. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

De forma a complementar as comparações de níveis nos postos fluviométricos, foi realizada a comparação entre mancha de inundação gerada pela Fundação Rio-Águas, registros de inundação e mancha gerada a partir da simulação matemática com o Modcel. O resultado desta comparação pode ser observado na Figura 6.40.

A partir da comparação dos resultados das simulações do evento ocorrido no dia 11 de dezembro de 2013 com as informações registradas, o modelo matemático foi considerado calibrado, estando apto para simulações de diferentes cenários.

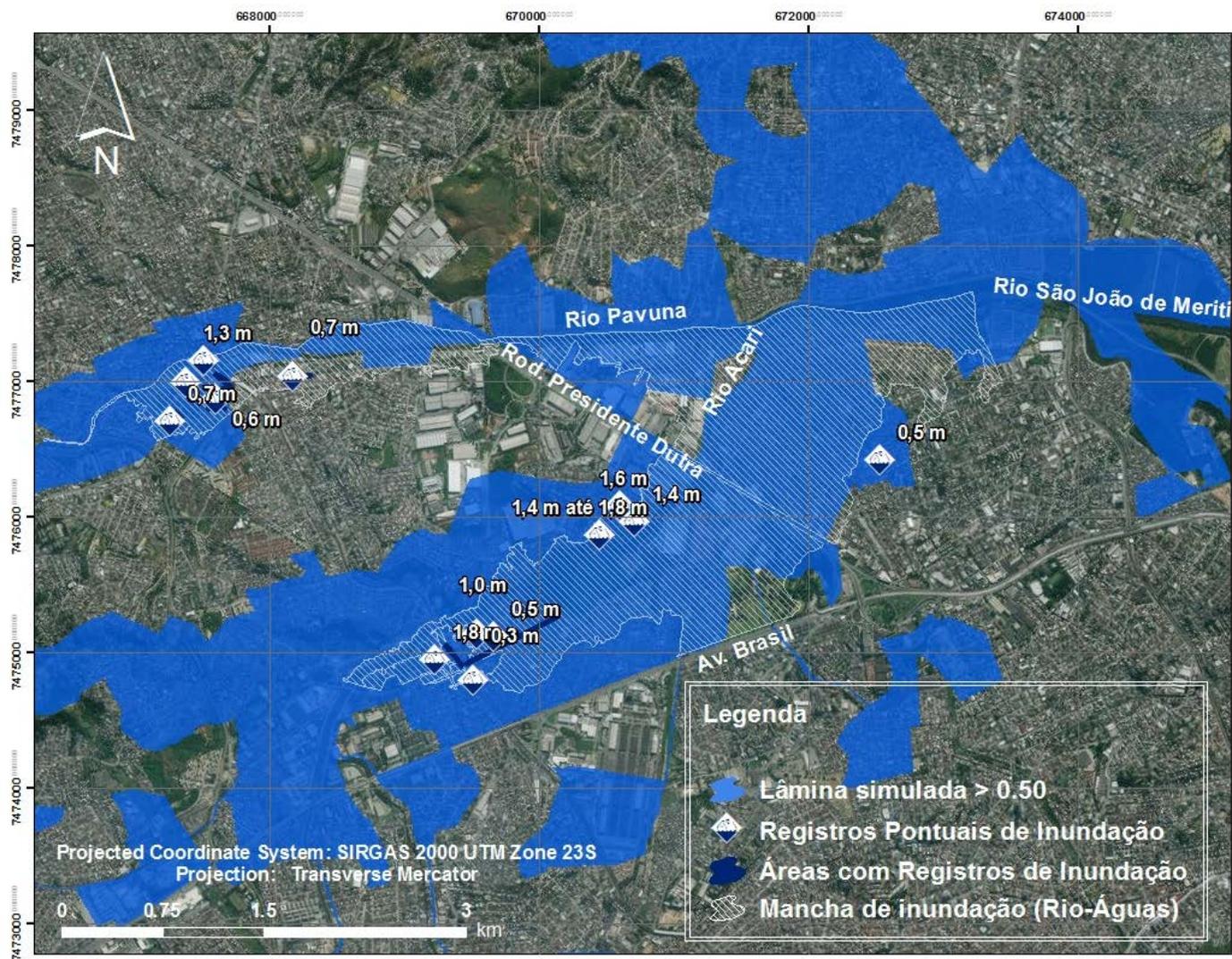


Figura 6.40 – Calibração do modelo matemático perante a comparação de manchas de inundação e registros de alagamento. Elaborado por: LHC – COPPE/UFRJ.

7 DIAGNÓSTICO DA BACIA DO RIO ACARI

Nesta etapa será realizada a simulação do cenário atual, ou cenário de diagnóstico, no qual serão identificados e confirmados os locais onde há maiores falhas das redes de drenagem e as regiões mais susceptíveis a inundações. Será realizado o diagnóstico dos espaços livres da bacia hidrográfica e serão obtidos os principais pontos de interesse dos eixos de planejamento da cidade. Após este levantamento, será apresentada a interação dos eixos estruturantes da cidade com as inundações da situação atual.

7.1 Diagnóstico do Setor de Manejo de Águas Pluviais

Este cenário simula o presente estado do sistema de drenagem urbana da bacia do Rio Acari. A diferença do modelo empregado para este cenário e o modelo utilizado para simular a calibração está na atualização das obras de canalização realizadas desde o evento crítico de 2013 até a presente data e a modificação da chuva de calibração (medida para o evento de 2013) por uma chuva de projeto com tempo de recorrência de 25 anos.

Os resultados do Cenário da Situação Atual (TR 25) utilizando o software MODCEL como ferramenta de modelagem podem ser apreciados na Figura 7.1. Os resultados mostram a situação crítica no que diz respeito às falhas do setor de macrodrenagem da bacia, com extravasamentos dos cursos d'água em praticamente todas as áreas. Destacam-se, negativamente, sete regiões da bacia no diagnóstico do sistema de manejo de águas pluviais.

São observadas inundações na afluência dos rios Marinho e Catarino (Ponto 1) no bairro de Realengo, inundações na área mais a jusante da bacia do Piraquara em Magalhães Bastos (Ponto 2), extravasamentos do Rio Maranga no bairro Vila Militar (Ponto 3).

Em Marechal Hermes são encontrados 2 pontos de inundações, um na região da praça Montese, devido a dificuldades de escoamento sob a linha do trem do Rio Tingui que vem em um trecho de galeria (Ponto 4) e na região da confluência do Rio Tingui com o Rio Sapopemba (Ponto 6) devido ao estrangulamento vertical de escoamentos causado pela baixa cota do infradorso da ponte da Rua Luís Coutinho Cavalcanti.

São observadas inundações em Oswaldo Cruz e Bento Ribeiro na parte intermediária do Rio das Pedras (Ponto 5), devido à falta de capacidade do Rio e ao volume de águas elevado das bacias de contribuição de seus tributários.

A última e mais crítica região se situa entre os pontos 7 e 8 e engloba os bairros de Acari, Parque Columbia, Coelho Neto, Irajá e Pavuna. Esta região apresenta severos problemas de inundação gerados pelo grande volume de águas pluviais da bacia contribuinte como um todo que acabam se acumulando nesta área mais baixa, somados à incapacidade de escoamento do Rio Acari e à falta de margens de inundação para alocação dos volumes de cheia. São encontradas nesta região lâminas de inundação superiores a dois metros. A Região ainda apresenta limitações hidráulicas pelo subdimensionamento do infradorso das pontes da Avenida Presidente Dutra, dificultando o escoamento e retendo ainda mais a água neste local. Os reflexos destas inundações são verificados ainda na bacia do Rio dos Cachorros II.

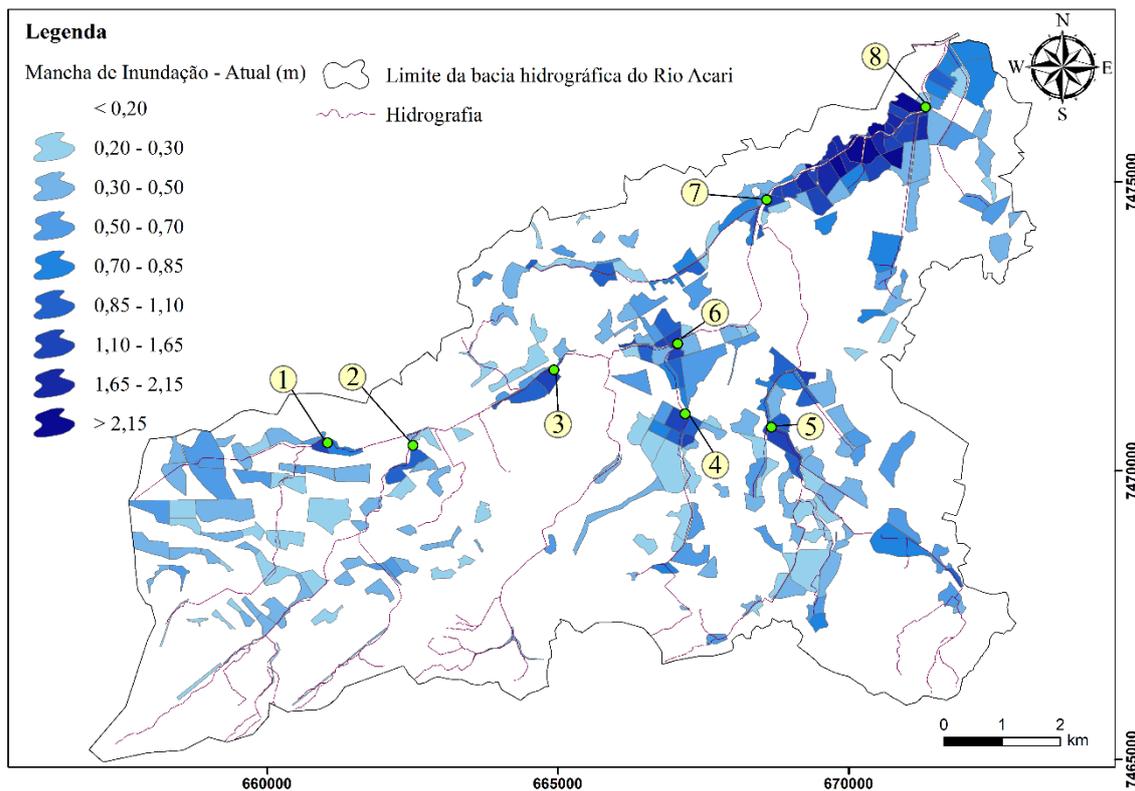


Figura 7.1 – Resultados do Cenário da Situação Atual (TR 25) utilizando o software MODCEL como ferramenta de modelagem. Fonte: Autor

7.2 Diagnóstico dos Espaços Livres

A bacia do Rio Acari ocupa uma área de 107,35 km² do município do Rio de Janeiro e se destaca por ser uma das regiões mais urbanizadas do município. Apresenta apenas 30,43 km² de espaços livres de ocupação no seu território. Os espaços livres remanescentes correspondem a 28,3% do total da área da bacia.

A Figura 7.2 apresenta uma imagem de satélite da bacia hidrográfica na qual é possível observar a distribuição dos espaços livres. A figura mostra ainda que a maioria dos espaços livres remanescente se encontra na região mais a montante da bacia, local onde as inundações não são críticas. Pode ser percebida a supressão de diversos espaços naturais na parte intermediária da bacia e mais a jusante, onde os poucos espaços remanescentes aparecem rodeados por áreas urbanas. Muitos dos espaços naturais, entre eles várzeas e margens dos rios, deram origem a área urbana, porém, estes mesmos possuíam funções essenciais para alocação do volume das cheias. Assim, é de se esperar que em eventos de cheia, o rio volte a tomar parte destas áreas e inunde regiões hoje urbanizadas.

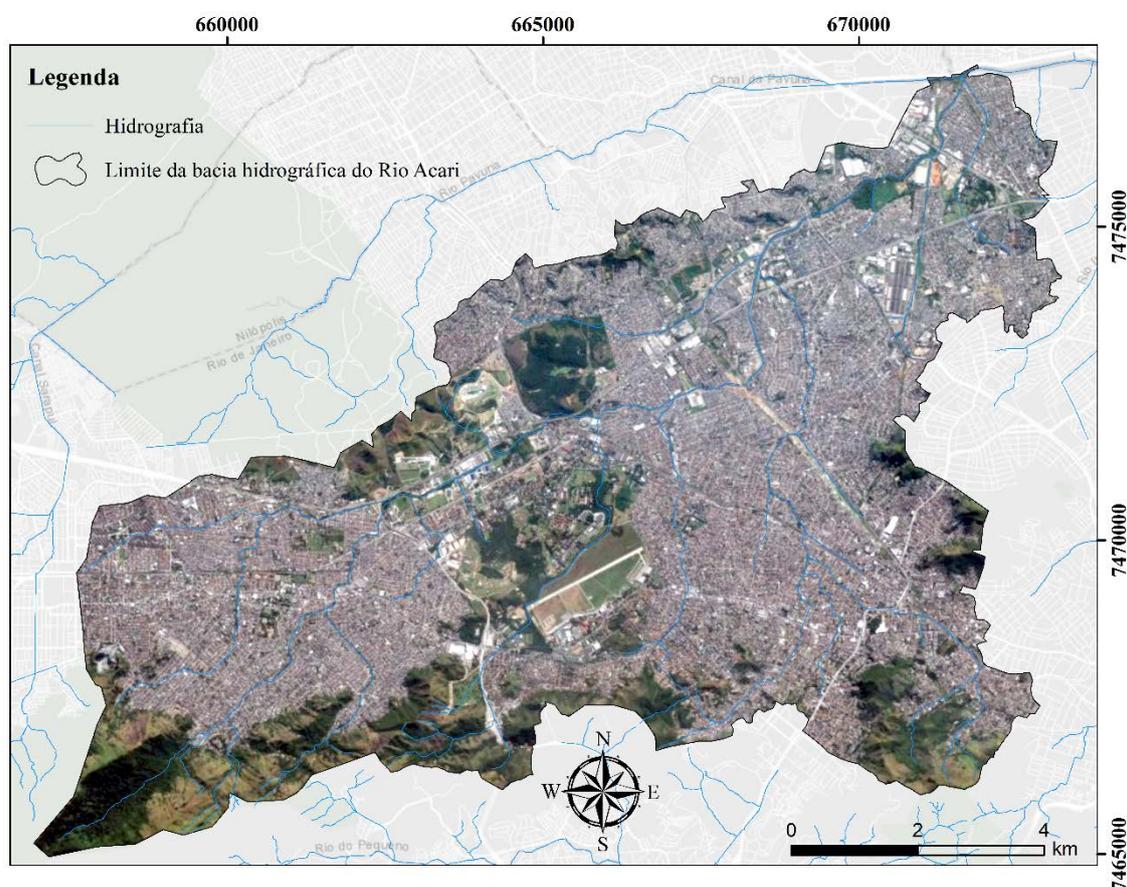


Figura 7.2 – Imagem de satélite da bacia hidrográfica do Rio Acari.

O mapa da Figura 7.3 apresenta os espaços livres classificados quanto ao uso geral atribuído. As Áreas Militares correspondem a 14,8% da área total de espaços livres e estão concentradas em geral na região do campo dos Afonsos. Os diversos parques e praças espalhados pela bacia correspondem a 5,1% da área dos espaços livres. Destaca-se o parque de Madureira com mais de 3,15 km de extensão. O parque acompanha a linha férrea de Belford Roxo e é o principal local de diversão, lazer e cultura do seu entorno. Há cinco unidades de conservação dentro da bacia que correspondem a 43,9% do total das áreas de livres. O Parque Estadual da Pedra Branca é o responsável pela maior parte de áreas enquadradas em unidade de conservação dentro da bacia. O Parque Estadual da Pedra Branca conta ainda, em seu interior, com a Área de Proteção Ambiental (APA) da Pedra Branca. A bacia ainda possui as Áreas de Proteção Ambiental do Morro do Valqueire e da Serra dos Pretos Forros e Área de Proteção Ambiental e Recuperação Urbana (APARU) da Serra da Misericórdia.

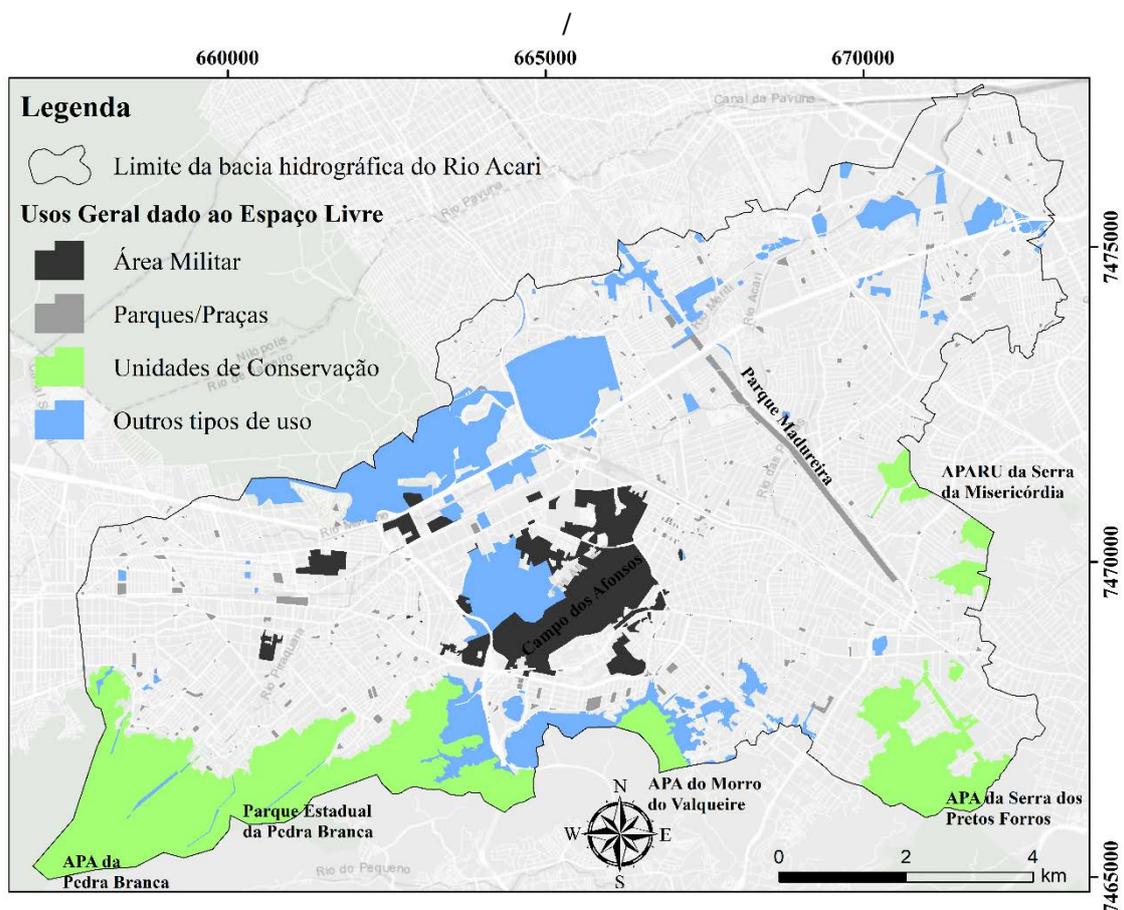


Figura 7.4 - Mapa de uso geral dado aos espaços livres remanescentes da bacia.

Os resultados obtidos no capítulo de diagnóstico do sistema de drenagem, que apresentaram as principais falhas do sistema de drenagem atual e consequentes inundações na bacia do Rio Acari para um tempo de recorrência de 25 anos, serviram de subsídio para caracterização dos espaços livres quanto às condições atuais de drenagem.

Na Figura 7.5 pode ser apreciado o mapa das condições atuais de drenagem dos espaços livres na bacia hidrográfica do Rio Acari. Os espaços livres que não são susceptíveis a inundações correspondem a 84,4%, enquanto os espaços livres que podem sofrer inundações, para um evento de chuva extrema, correspondem a 15,6% da área total ocupada pelos espaços livres na bacia hidrográfica.

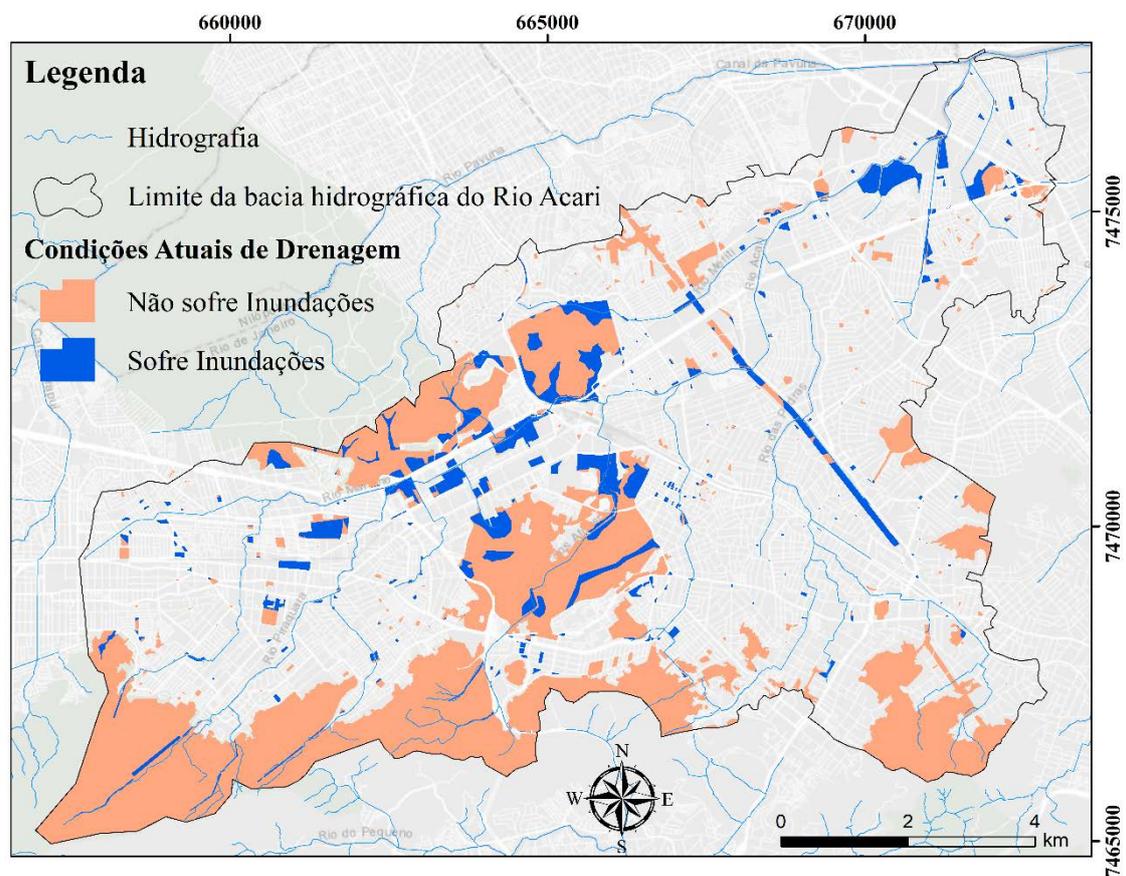


Figura 7.5 - Mapa de condições de drenagem dos espaços livres remanescentes da bacia para um evento de inundação de tempo de recorrência de 25 anos.

Em relação às características geométricas e espaciais dos espaços livres dentro da bacia, percebe-se um alto grau de segregação entre os espaços, com diversos fragmentos de espaços livres não conexos. Também é notado que os maiores espaços livres apresentam distribuições perpendiculares ao escoamento, dificultando a sua incorporação como áreas de amortecimento de cheias nos principais cursos d'água.

7.3 Identificação dos principais elementos de interesse dos eixos de planejamento urbano da bacia do Rio Acari

Para identificação dos principais elementos de interesse foram utilizadas mídias digitais e impressas, informações do software Google Earth e do site www.google.com.br/maps, confirmadas e completadas por informações de moradores da região.

Para o sistema de habitação foi realizado um mapa de quantidade de domicílios por quadrícula (200 x 200 metros), utilizando como base a grade estatística do IBGE (2016).

A bacia apresenta uma série de quadrículas com números elevados de domicílios, principalmente nos bairros de Realengo, Bangu, Colégio, Turiaçu, Coelho Neto, Irajá, Guadalupe e Acari. A Figura 7.6 mostra a quantidade de domicílios ocupados por quadrícula da grade estatística do IBGE.

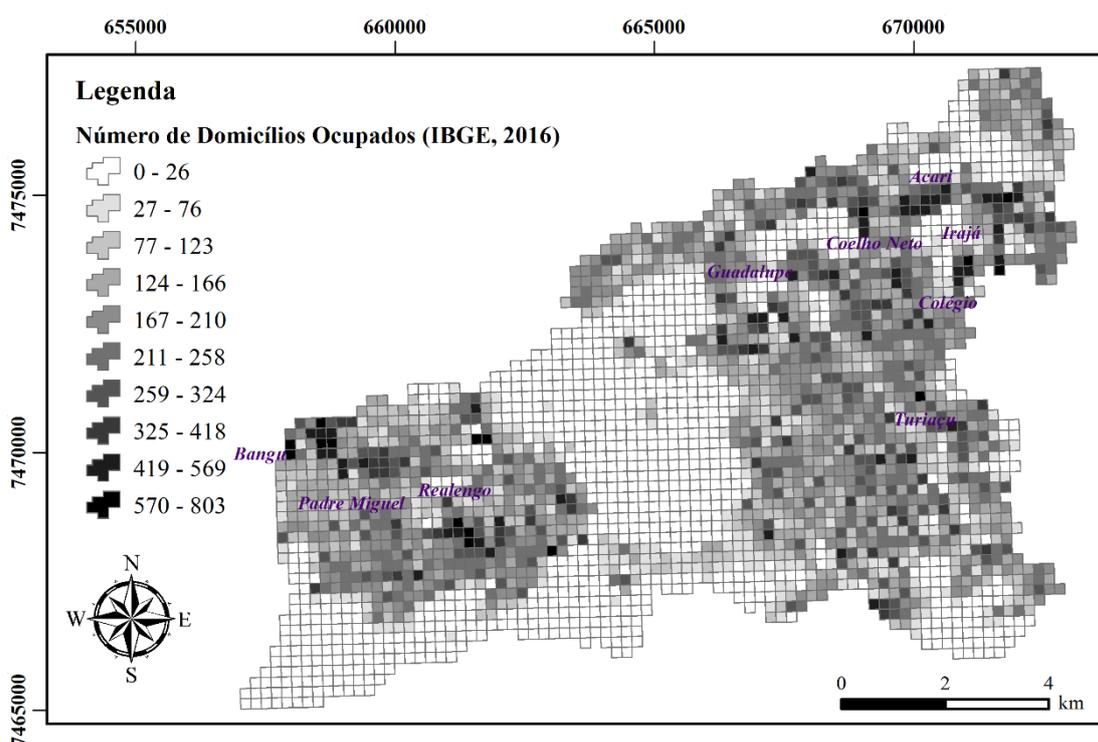


Figura 7.6 – Grade Estatística (IBGE, 2016) mostrando a quantidade de domicílios ocupados na bacia hidrográfica do Rio Acari. Os intervalos das classes levaram em consideração a distribuição natural dos dados (desvio padrão e Otimização de Jenks).

Em relação à identificação do padrão construtivo da região, relevante para determinação da exposição dos domicílios a inundações, foram utilizadas as informações de favelas e loteamentos irregulares disponibilizados pelo Instituto Pereira Passos. Se as favelas do Complexo da Pedreira e Complexo do Acari chamam a atenção devido à sua numerosa

população, a favela de Vila do Vintém e Gleba I, antiga Fazenda Botafogo, sobressaem pelo tamanho de sua área ocupada, somando juntas mais de um quilometro quadrado. A Figura 7.7 apresenta as favelas e os loteamentos irregulares da bacia do Rio Acari.

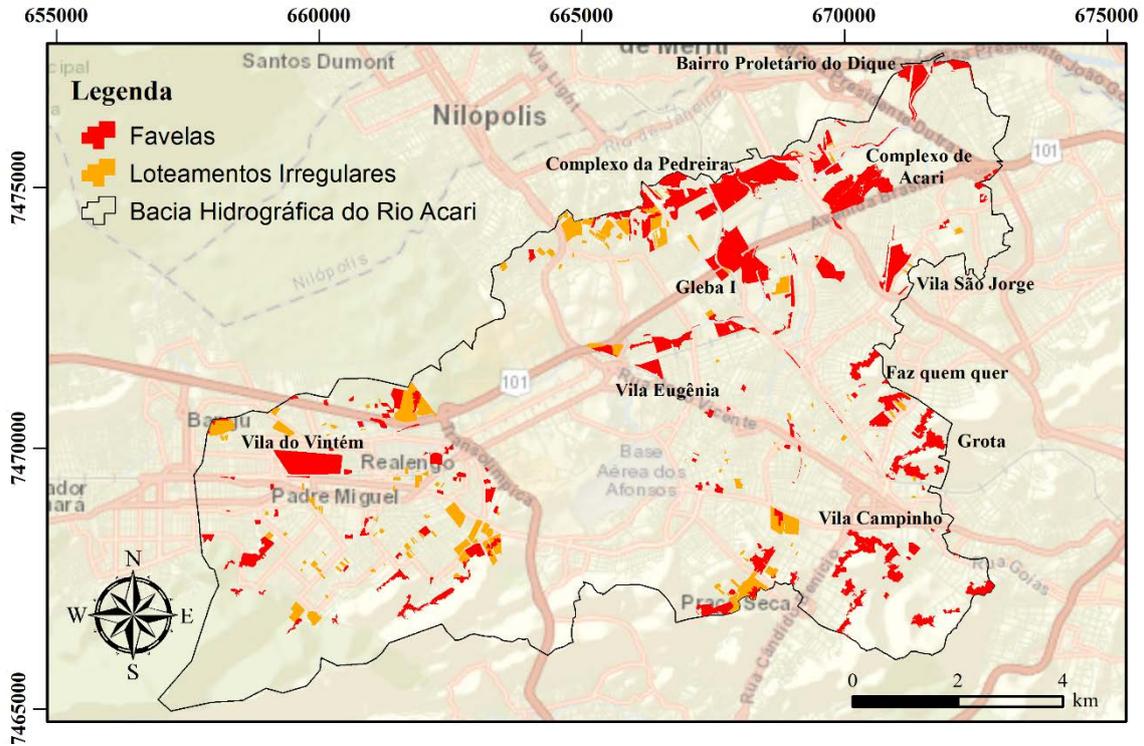


Figura 7.7 - Favelas e loteamentos irregulares da bacia do Rio Acari (IPP).

Diante do padrão construtivo da região, será considerado que para regiões de favela e de loteamentos irregulares inundações na rua a partir de 20 centímetros já adentram os domicílios. No restante da bacia os domicílios e edificações serão considerados sem inundação para até 50 centímetros de acúmulo de água na rua adjacente. A Figura 7.8 apresenta as diferentes tipologias construtivas consideradas para a bacia.



Figura 7.8 - Diferença entre o padrão construtivo de favelas e ocupações irregulares (imagem esquerda) e ocupações regulares (imagem direita). Fonte: oglobo.globo.com e www.aguiarimobiliaria.net.

O levantamento dos equipamentos sociais, tanto públicos como privados para a bacia foi realizado a partir de pesquisas online e verificações em alguns casos com visitas de campo.

Em relação ao setor da saúde, foram identificadas 67 edificações na bacia com ofertas de serviços de saúde divididas entre centros médicos, hospitais, policlínicas, posto de saúde, prontos socorros, centros de parto, asilos e clínicas. Podemos destacar o Hospital Estadual Carlos Chagas e o Hospital Municipal Albert Schweitzer que conta com mais de 2.500 funcionários, 384 leitos, dos quais 45 são unidades de terapia intensiva (UTI).

Foram levantadas na bacia um total 463 edificações com importância educacional, das quais fizeram parte colégios, escolas, creches, cursos, escolas técnicas, universidade e faculdades.

A Figura 7.9 apresenta os equipamentos sociais com importância para o setor da saúde enquanto a Figura 7.10 os relevantes para o setor da educação.

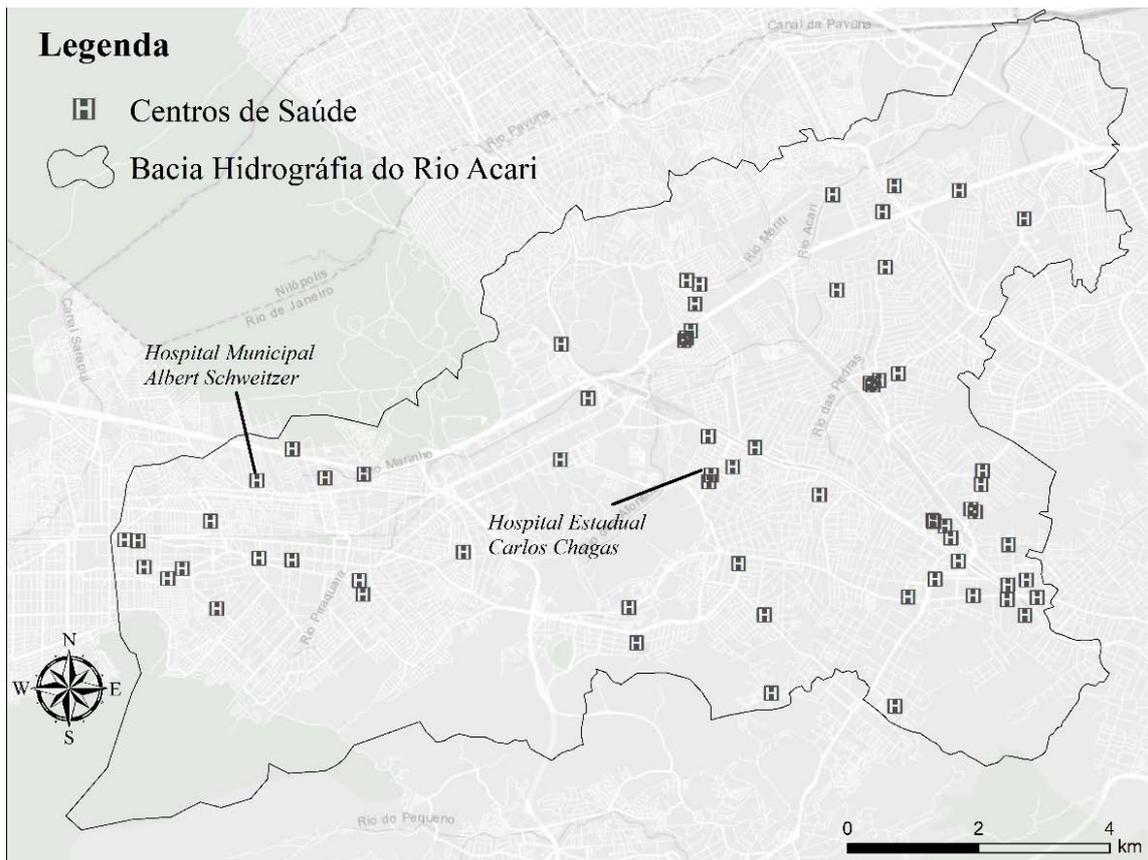


Figura 7.9 – Equipamentos sociais com importância no setor da saúde para a bacia do R. Acari.

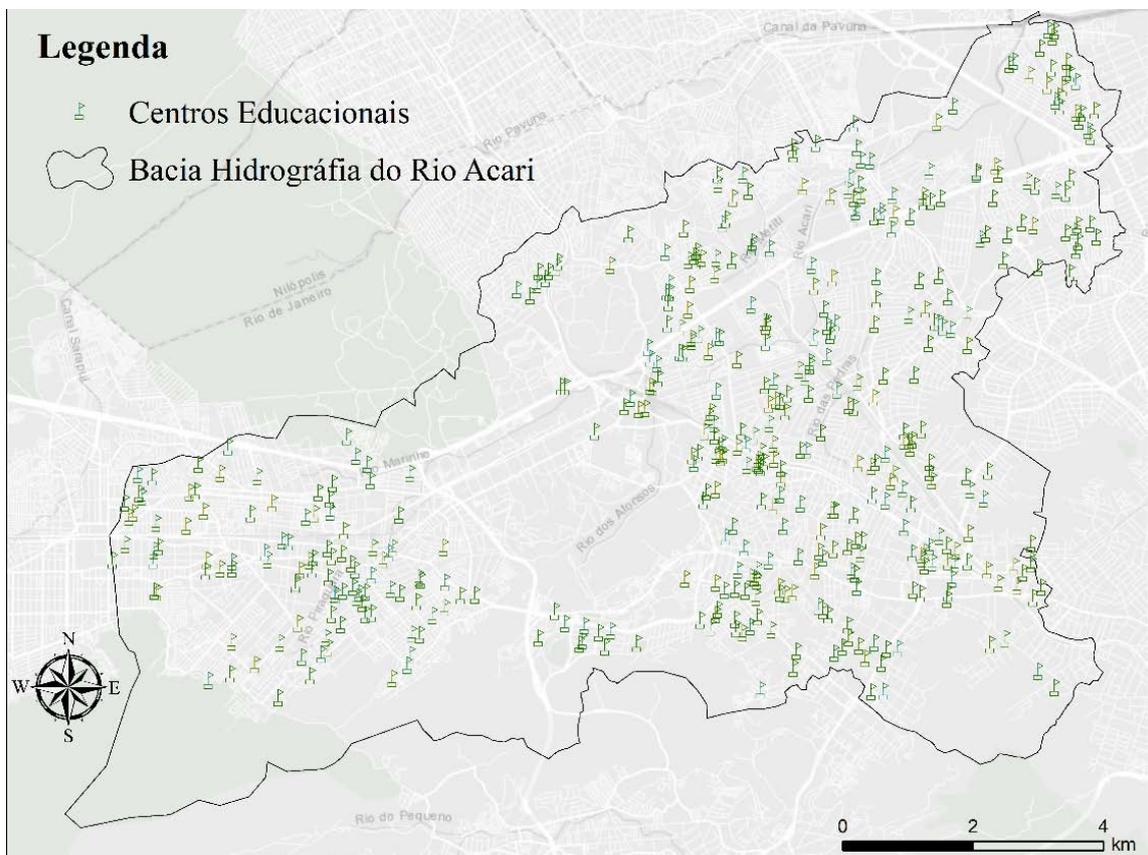


Figura 7.10 - Equipamentos sociais com importância no setor educacional na bacia do R. Acari.

No que diz respeito ao eixo estruturante de mobilidade, o traçado das vias foi extraído da base de dados geográfico do Instituto Pereira Passos, porém, através do Projeto de Lei Complementar Nº 33/2013 (BRASIL, 2013), que define as condições disciplinadoras de uso e ocupação para ordenamento territorial da Cidade do Rio de Janeiro, foram determinadas as hierarquias viárias. A Figura 7.11 apresenta o traçado viário da bacia hidrográfica do Rio Acari juntamente com a classificação hierárquica (BRASIL, 2013). Apesar da bacia não apresentar vias Estruturais Expressas duas das principais vias do Rio de Janeiro passam por ela. A Rodovia Presidente Dutra corta o trecho mais crítico no que diz respeito a inundações e a Avenida Brasil tem mais de 14 quilômetros dentro da bacia do Rio Acari seguindo em grande parte paralela à principal linha de escoamento.

Destacam-se também as Vias Arteriais Principais Avenida Santa Cruz, Avenida Marechal Fontenelle e Estrada Intendente Magalhães que servem de conexão entre a Zona Oeste e a Zona Norte do Rio de Janeiro. Essas vias ainda abrigam a maior quantidade do comércio local dos bairros que cruzam.

Outro ponto importante da mobilidade é a identificação de estações de metroviárias, ferroviárias e ponto de ônibus que compõe a rede de transporte urbano da bacia hidrográfica do Rio Acari. Foram identificadas 3 estações do Metrô Rio da linha dois (Colégio, Coelho Neto e Acari/Fazenda Botafogo), 4 ramais da Supervia (Deodoro, Santa Cruz, Japeri e Belford Roxo) com 17 estações ferroviárias, além de 1.099 pontos de ônibus. A Figura 7.12 mostra as estações da rede de transporte urbano da bacia do Rio Acari.

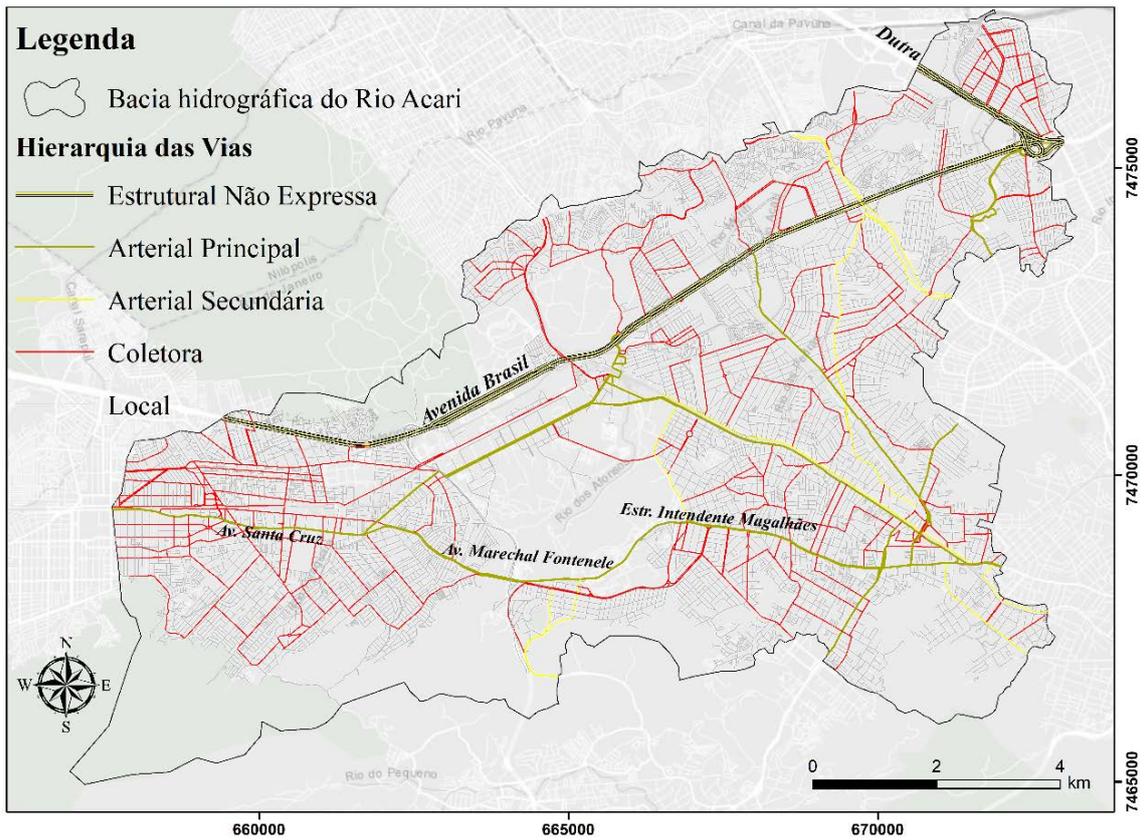


Figura 7.11 – Vias da bacia do Rio Acari e suas respectivas hierarquias.

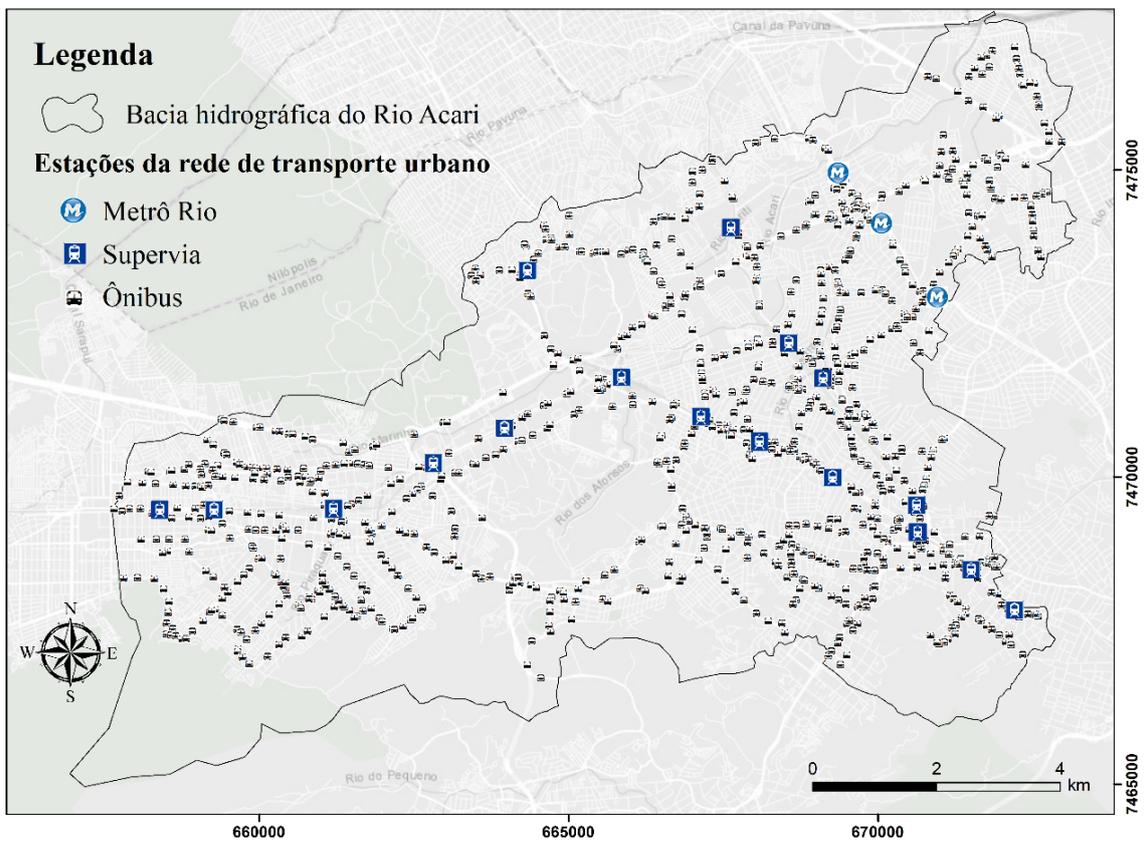


Figura 7.12 – Estações da rede de transporte urbano na bacia do Rio Acari.

Para o eixo estruturante de Economia, no decorrer do trabalho, houve grande dificuldade em levantar todos os pontos que tivessem algum tipo de importância comercial, havendo sempre uma menor escala para ser identificada. Dessa forma, para este trabalho foram definidos apenas os pontos de interesse comercial na escala da cidade, da bacia e dos bairros, sendo desconsiderados pequenos estabelecimentos que aparentemente tinham estrutura apenas para atender a escalas menores. Foram considerados como centros comerciais: shopping centers, depósitos de todos os tipos, bancos, restaurantes, lanchonetes, bares, casas de festas, edifícios comerciais, drogarias, estabelecimentos de produtos e serviços estéticos e supermercados. A Figura 7.13 apresenta os principais pontos de interesse comercial que foram levantados para o presente trabalho, totalizando 335 pontos. Destacam-se no mapa as concentrações de pontos de interesse comercial nos bairros de Guadalupe (Perto da Avenida Brasil e nas proximidades do Guadalupe Shopping), Irajá e Madureira, que possivelmente é o bairro mais atrativo economicamente no que diz respeito a comercio com o Mercado de Madureira, o Shopping Madureira e diversas outras áreas comerciais.

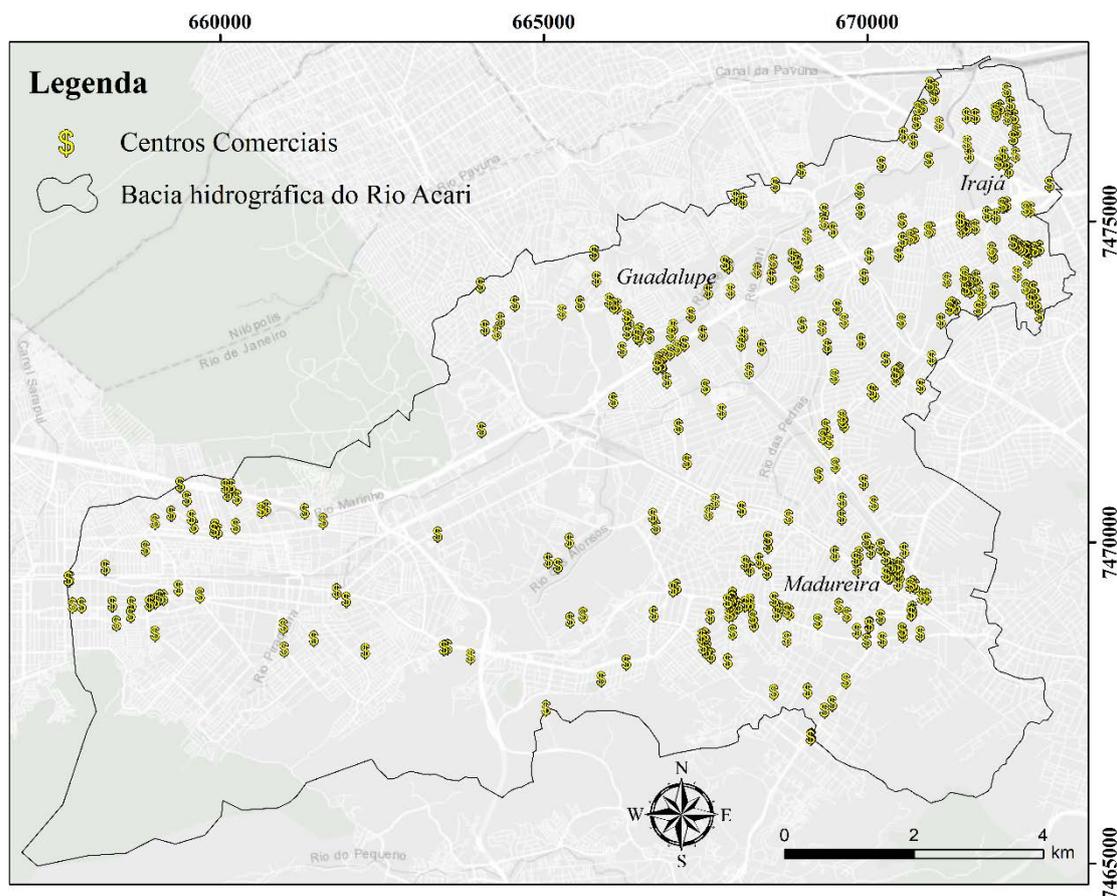


Figura 7.13 – Principais pontos de interesse do eixo estruturante de economia para a bacia hidrográfica do Rio Acari.

Sobre o eixo estruturante de Patrimônio Cultural foram identificados para a bacia diversos bens tombados, Museus entre outras estruturas de importância social, histórica e cultural. A Figura 7.14 apresenta a espacialização dos pontos relevantes para o Patrimônio Cultural.

Dentre os locais encontrados destaca-se o museu da aeronáutica no bairro de Jardim Sulacap, o maior e mais importante museu de aviação do Brasil, a região de Marechal Hermes com diversas áreas de importância para o eixo em questão, principalmente a estação ferroviária que segue o modelo de estação inglesa do século XIX sendo inaugurada em 1913.

Também se destaca o Palácio Rio 450, que além de sediar a terceira sede administrativa da prefeitura, é uma histórica construção datada de 1920.

O monumento de São Cristóvão também se apresenta como importante estrutura do eixo em questão. Localizado no Trevo das Margaridas, o monumento em bronze foi inaugurado em 1966 e representa o padroeiro dos motoristas.

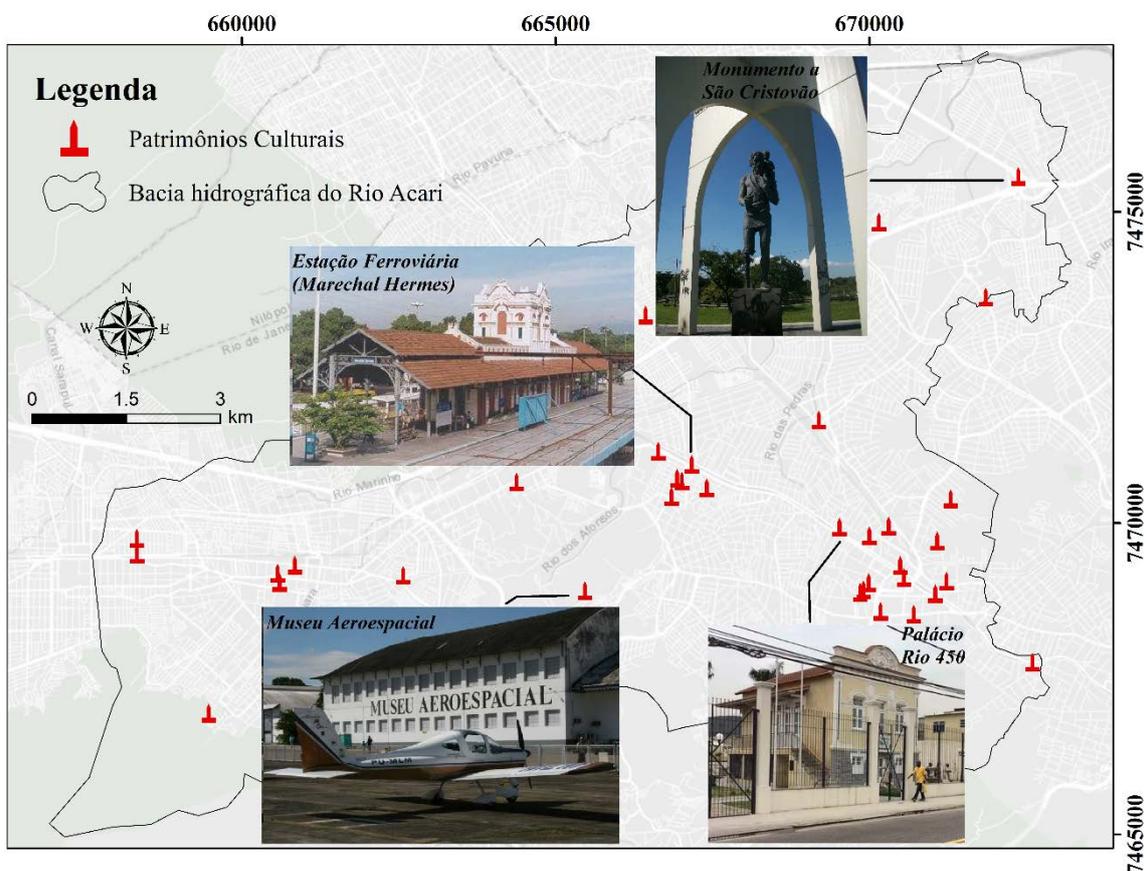


Figura 7.14 – Principais pontos de interesse do eixo estruturante do Patrimônio Cultural.

7.4 Interação do setor de manejo de águas pluviais com outros eixos estruturantes na Situação Atual

Cada grupo de informações levantadas no item 7.3 compõe camadas de planejamento dos principais elementos da ocupação urbana, representando os eixos de planejamento, da bacia que serão sobrepostas com a camada de drenagem urbana.

A camada de drenagem é representada pelas manchas de inundação obtidas para a situação atual do item 7.1.

As manchas de inundação obtidas a partir de simulação matemática com o software MODCEL, equivalem a inundações esperadas pela ocorrência de uma chuva crítica para a bacia do Rio Acari com **tempo de recorrência de 25 anos**. Foram consideradas para estas simulações apenas as redes de macrodrenagem.

A interação das camadas dos elementos com a camada do eixo de drenagem urbana permite a criação de uma série de indicadores que servirão para dar um panorama dos atuais impactos das inundações sobre a cidade.

A Figura 7.15 apresenta o esquema metodológico para obtenção dos indicadores relativos aos impactos das falhas do sistema de drenagem na bacia do Rio Acari. Assim, serão analisados os impactos das falhas do atual sistema de drenagem sobre os seguintes elementos da ocupação urbana:

- 💧 Domicílios ocupados (Esta interação irá gerar os indicadores de habitação e de esgotamento sanitário) – Eixo de Habitação;
- 💧 Vias e estações – Eixo de Mobilidade;
- 💧 Centros de Saúde e Educacionais – Eixo de Equipamentos Sociais;
- 💧 Centros Comerciais – Eixo de Economia; e
- 💧 Patrimônio Cultural.

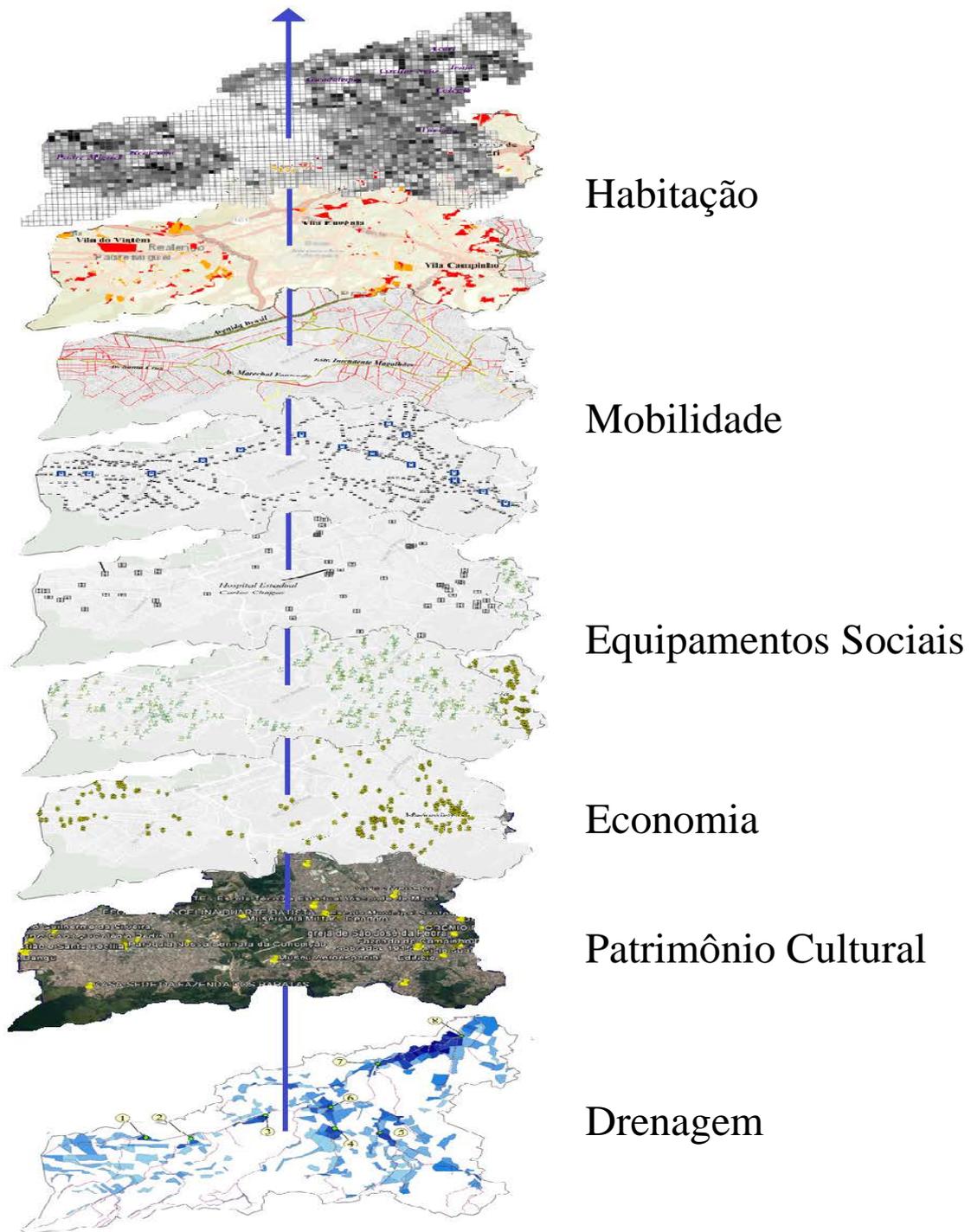


Figura 7.15 – Esquema metodológico para obtenção dos indicadores relativos aos impactos das falhas do sistema de drenagem.

7.4.1 Drenagem e Habitação – Situação Atual

Levando em consideração os dois padrões construtivos considerados para a região foi possível gerar manchas de inundação condicionadas nos domicílios da bacia hidrográfica. As manchas foram obtidas pela interação entre as camadas de drenagem com a do número total de domicílios e o padrão construtivo da bacia. Os resultados podem ser vistos na Figura 7.16. A bacia apresenta 46.398 domicílios ocupados inundados com lâmina média de inundação de 37 centímetros por domicílio. As ocupações informais correspondem a 28% do total de domicílios inundados. A região mais crítica das inundações, indicada na imagem, corresponde a 25% de todos os domicílios inundados na bacia (11.538 domicílios) e apresenta uma lâmina média de inundação de 94 centímetros por domicílio.

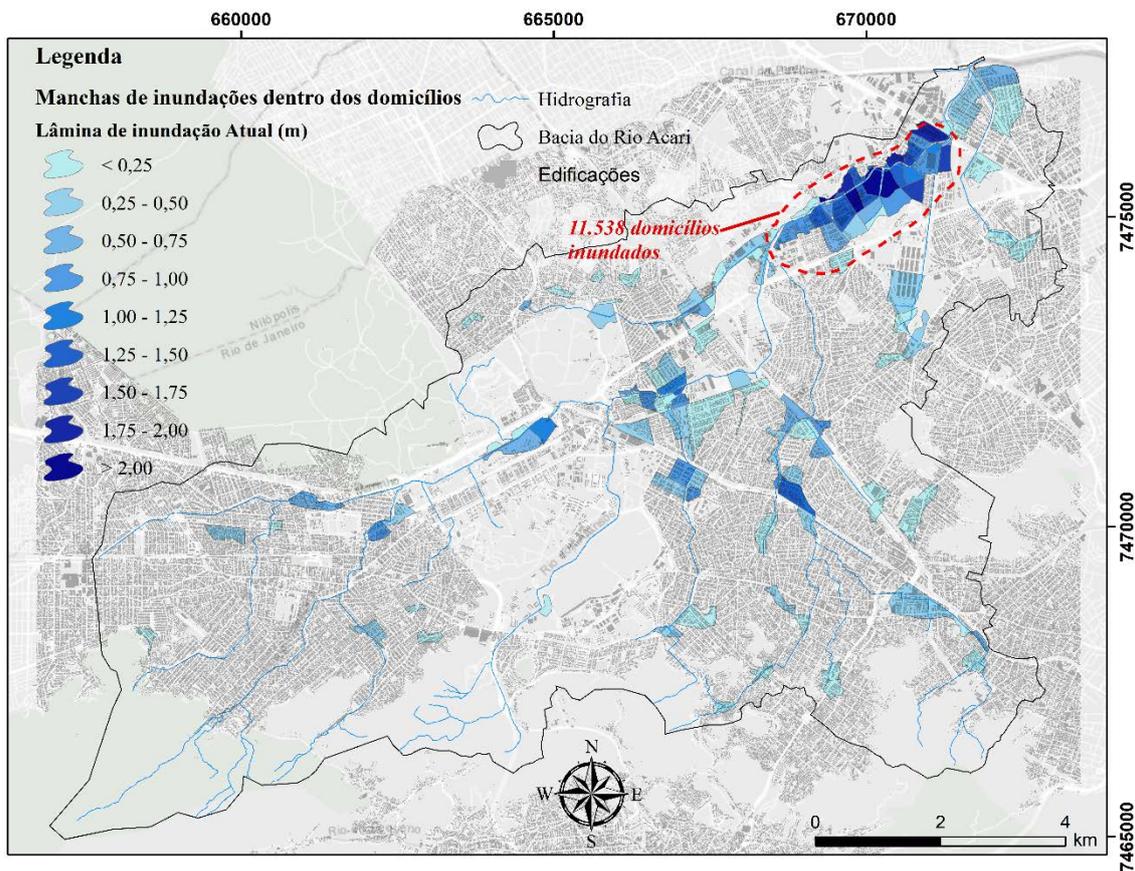


Figura 7.16 – Interação entre os eixos de habitação e drenagem apresentando a mancha de inundação dentre dos domicílios para a situação atual para um TR de 25 anos.

7.4.3 Drenagem e os Equipamentos Sociais – Situação Atual

A interação do eixo estruturante de equipamentos sociais com o eixo de drenagem urbana foi realizada através da sobreposição entre os principais centros de saúde e educacionais com as inundações simuladas na etapa de diagnóstico do sistema de drenagem da bacia do Rio Acari.

Os principais centros de saúde da bacia, bem como aqueles que se encontram dentro da mancha de inundações de um evento com tempo de recorrência de 25 anos, podem ser observados na Figura 7.18. Os resultados mostraram que 18 centros de saúde estão em locais onde devem ocorrer inundações. Os centros de saúde em situações sensíveis a falhas das redes de drenagem correspondem a 26,87% dos centros de saúde de toda a bacia.

Uma das principais regiões atingidas pelas inundações impactadas no que diz respeito ao setor de saúde se encontra no bairro de Marechal Hermes, nas proximidades da Praça Quinze de Novembro. A região possui 5 centros de saúde em situações de possibilidade de inundações, entre eles um dos principais hospitais da cidade, o Hospital Estadual Carlos Chagas, e o Hospital Maternidade Alexander Fleming, e a Unidade de Pronto Atendimento de Marechal Hermes.

Em relação aos centros educacionais, os resultados de interação com as manchas de inundação apresentam 85 centros em situações de susceptibilidade a inundação. Os 85 centros representam um total de 18,4% do total de estruturas educacionais identificados para a bacia. A Figura 7.19 apresenta o resultado da interação realizada. Na figura é possível observar que há concentração de centros educacionais inundados nos bairros de Madureira e Guadalupe. A favela da Vila Vintém, localizada entre os bairros de Realengo e Padre Miguel, situada às margens da linha férrea, também apresenta diversos centros educacionais em locais onde há falhas do sistema de drenagem. Além desses locais, surge novamente a região da Praça Quinze de Novembro, em Marechal Hermes, como local de impactos no eixo de equipamentos sociais, desta vez com impactos em diversos centros educacionais da região.

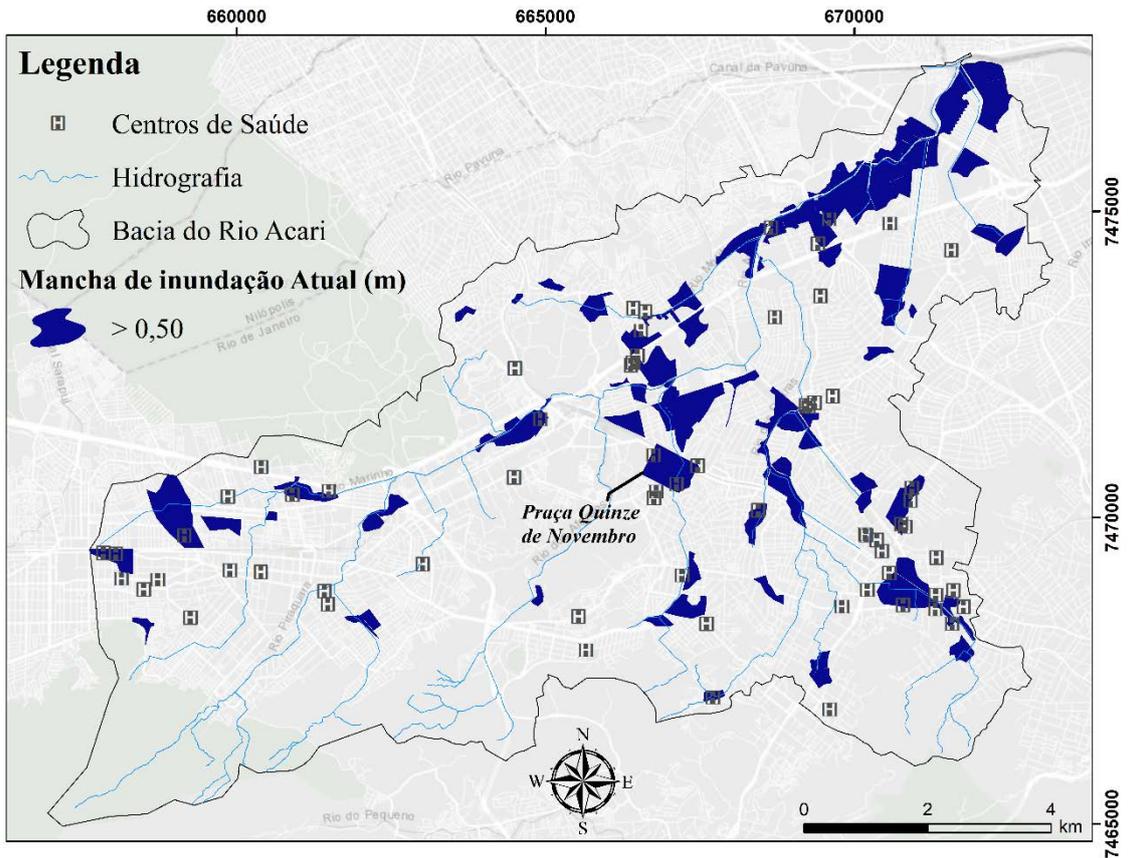


Figura 7.18 - Interação entre os centros de saúde e o eixo de drenagem na situação atual – TR25.

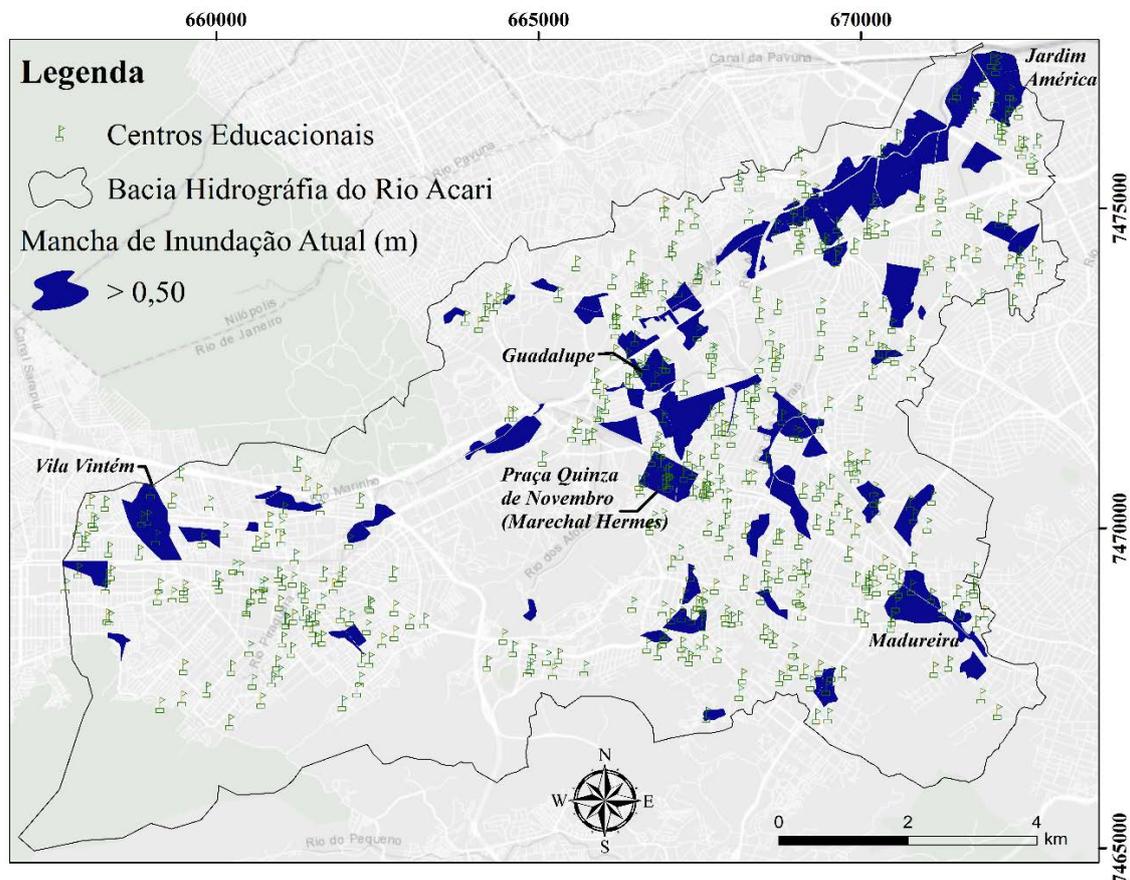


Figura 7.19 - Interação entre os centros educacionais e o eixo de drenagem na situação atual.

7.4.4 Drenagem e Mobilidade – Situação Atual

A primeira sobreposição do eixo estruturante mobilidade e o eixo de drenagem diz respeito da interação dos logradouros com as manchas de inundação para alagamentos maiores que 30 centímetros. A Figura 7.20 apresenta os principais resultados da primeira sobreposição. Os resultados mostram que há 313,93 km de Vias Locais inundadas, correspondendo a 28,8% do total de vias com a mesma hierarquia na bacia (1088,18 km). Em relação às Vias Coletoras, estão em situação de inundação 77,53 km de um total de 241,21 km de vias da mesma hierarquia na bacia, valor que corresponde a 32,1%. As Vias Arteriais Secundárias são as mais atingidas em termos percentuais, com 38,1% de vias inundadas (14,12 km) em relação ao total de vias com a mesma hierarquia na bacia (37,04 km). O comprimento de Vias Arteriais Principais inundadas corresponde a 24,16 km de um total de 70,68 km, logo 34,2% das vias com esta hierarquia estão em situação de inundação na bacia em questão. A Avenida Brasil e a Rodovia Presidente Dutra, vias estruturais não expressas na bacia do Rio Acari, apresentam 15,38 km de comprimentos viários com possibilidade de inundação, correspondendo a 19,8% de um total de 77,50 km de logradouros com a mesma classificação hierárquica.

Aplicando o indicador de severidade de inundação dos logradouros, apresentado na metodologia, obtemos um valor de 0,66 de 1,00, apresentando uma situação crítica no que diz respeito à interação do eixo de mobilidade e o eixo de drenagem.

A segunda interação de camadas é realizada pela sobreposição de estações da rede de mobilidade urbana (Estações ferroviárias, metroviárias e pontos de ônibus) com inundações acima de 50 centímetros. A Figura 7.21 apresenta os resultados da segunda sobreposição de camadas do eixo de mobilidade urbana com a drenagem. Segundo os resultados, a bacia apresenta 175 pontos de ônibus em situações de inundação de um total de 1035. Em relação às estações ferroviárias, há 4 estações em condições de inundações de um total de 17 estações na bacia. Para as estações metroviárias a estação de Acari / Fazenda botafogo é a única que se encontra em situação de inundações, além de apresenta grandes falhas de inundação em seu entorno, apresentando lâminas 1,25 metros de inundação para o evento de referência de 25 anos. No total 180 estações são impactadas pelas inundações na bacia hidrográfica do Rio Acari.

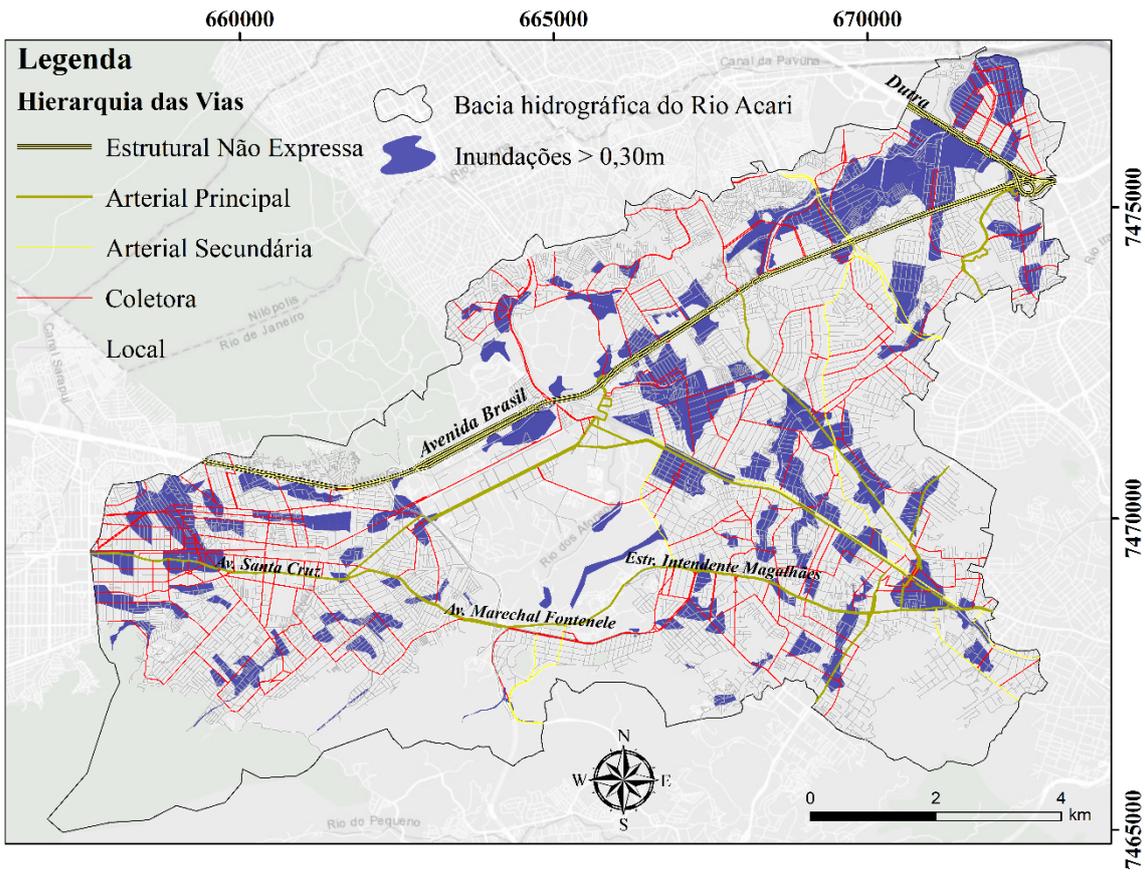


Figura 7.20 - Interação entre logradouros e o eixo de drenagem para a situação atual – TR 25.

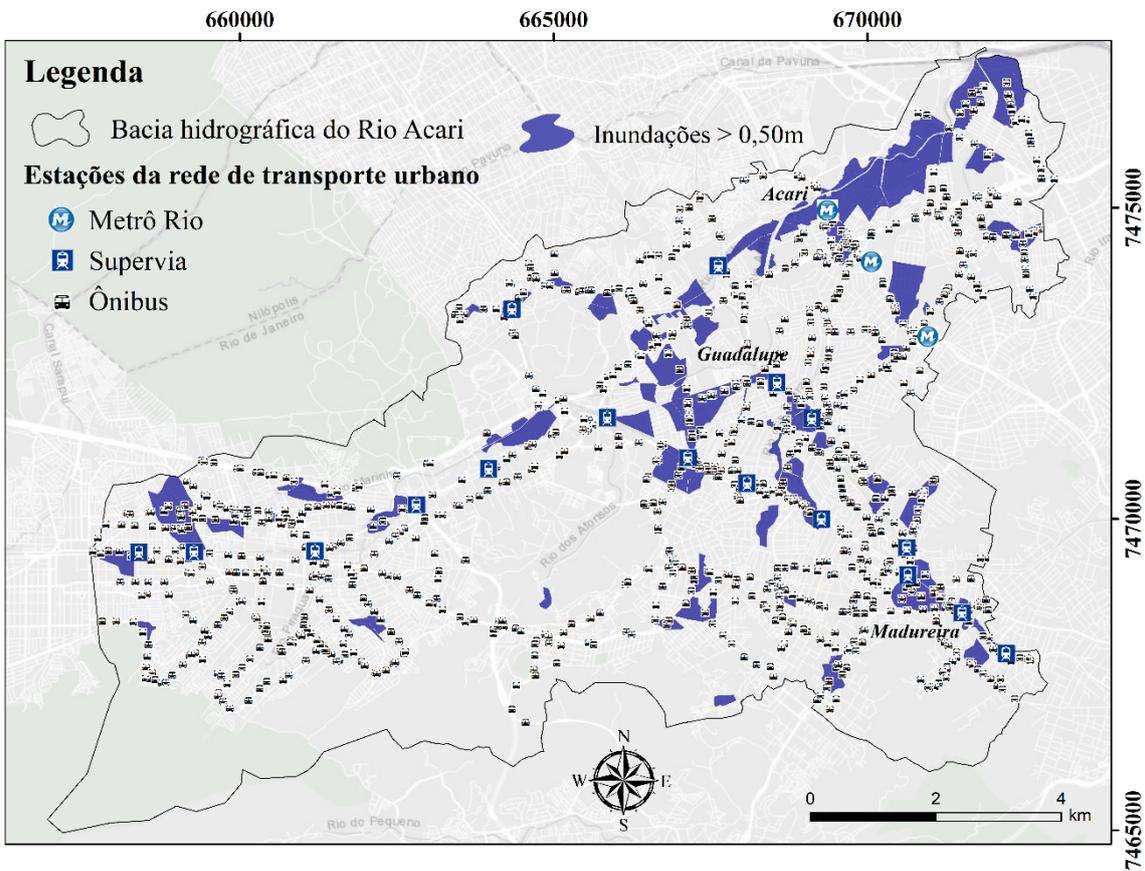


Figura 7.21 - Interação entre estações de transporte e o eixo de drenagem na situação atual.

7.4.5 Drenagem e Economia – Situação Atual

Os centros de comerciais, representantes do eixo estruturante de economia no presente trabalho, serão sobrepostos com manchas de inundações acima de 50 centímetros obtidas no diagnóstico do sistema de drenagem. Por mais que tenha sido identificada uma tipologia construtiva na bacia que é atingida a partir de menores lâminas de inundação, é de esperar que edificações que exercem uma atividade comercial apresentem melhores estruturas construtivas, no que diz respeito à susceptibilidade a inundações, mesmo em regiões *periurbanas*. A Figura 7.22 apresenta o resultado da interação do eixo em questão com o eixo de drenagem urbana. Dos 335 pontos comerciais levantados, 70 apresentam inundações que poderiam ocasionar interrupção de seus serviços, e perdas e danos em suas estruturas ou estoques. Destacam-se negativamente as inundações observadas nos centros comerciais dos bairros de Acari, Jardim América, Guadalupe, Irajá e Madureira, este último com uma relevante contribuição comercial para a região da bacia hidrográfica do Rio Acari como um todo.

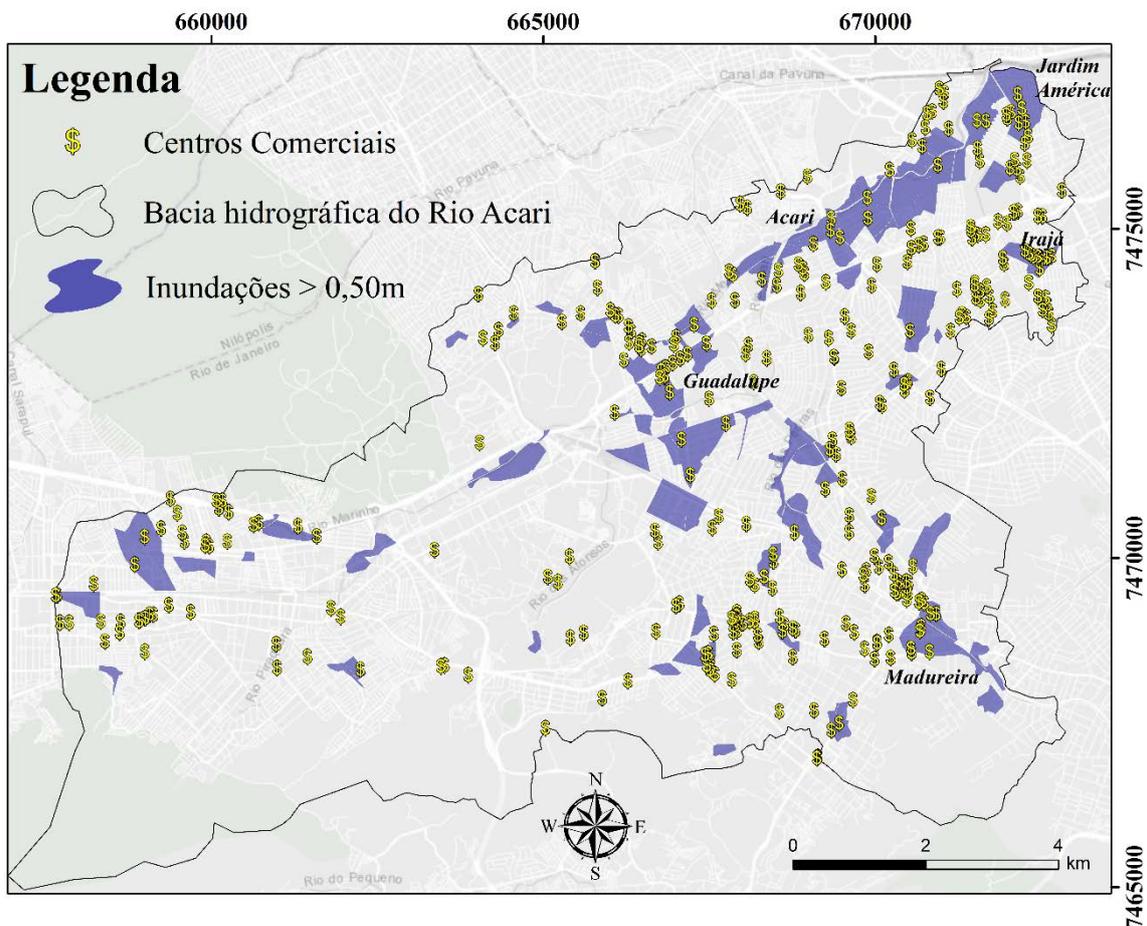


Figura 7.22 - Interação entre os centros comerciais do eixo da economia e o eixo de drenagem na situação atual para um TR de 25 anos.

7.4.6 Drenagem e Patrimônio Cultural – Situação Atual

Para a interação entre o eixo estruturante do Patrimônio Cultural e o eixo de drenagem urbana foram sobrepostos os 36 pontos de interesse do Patrimônio Cultural da bacia com as manchas de inundações maiores que 50 centímetros.

A Figura 7.23 apresenta os resultados da interação entre os eixos em questão.

Como resultado foram obtidos cinco pontos com prováveis inundações para um evento crítico de tempo de recorrência de 25 anos. Três desses cinco pontos se localizam nas proximidades da Praça Quinze de Novembro e Marechal Hermes. Entre os pontos de interesse patrimonial inundados na região se destaca a já citada Estação Ferroviária de Marechal Hermes.

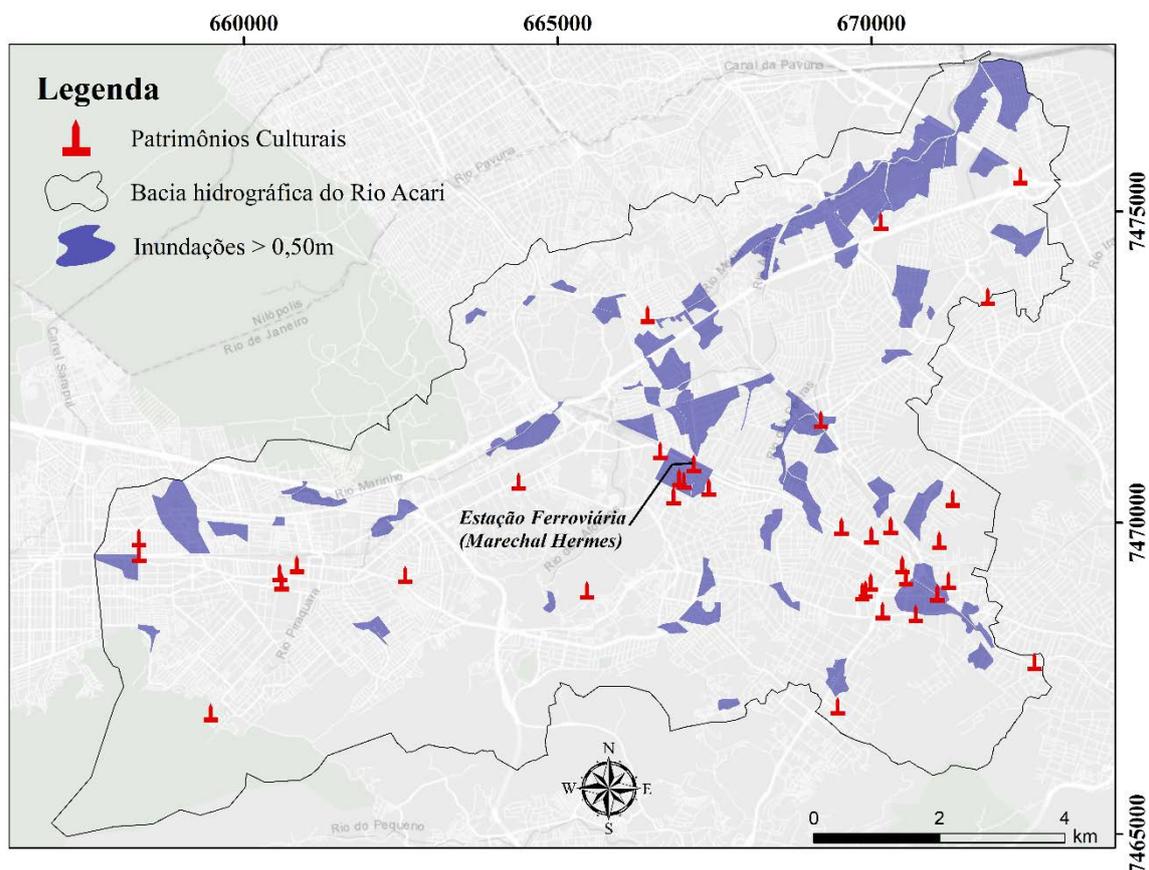


Figura 7.23 - Interação entre os principais patrimônios culturais e o eixo de drenagem para a situação atual para um TR de 25 anos.

8 CONSTRUÇÃO DO PROJETO PARA MITIGAÇÃO DAS INUNDAÇÕES APOIADO EM UM SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES

Este capítulo apresenta o passo a passo detalhado da escolha do projeto de drenagem a ser escolhido como solução adequada para as falhas do sistema de macrodrenagem apresentadas na fase do diagnóstico. Foram realizadas diversas simulações matemáticas com o auxílio do MODCEL, em etapas intermediárias e acumulativas de construção do projeto, que foram fundamentais para a escolha das intervenções apropriadas para a realidade da bacia hidrográfica perante a sua dificuldade em encontrar espaços para alocação do volume de cheias.

Correções Estruturais Básicas do Sistema de Drenagem Urbana

As primeiras intervenções escolhidas para fazer parte do projeto foram as modificações em estruturas que gerassem algum tipo de obstrução no escoamento dos cursos d'água. Assim, foram consideradas como primordiais modificações em algumas pontes, devido a baixas cotas dos seus infradorso e em algumas galerias de drenagem que apresentavam subdimensionamento. Foram propostas as elevações nos níveis dos infradorso das quatro pontes da Rodovia Presidente Dutra, apresentadas no diagnóstico como prejudiciais para o escoamento no Rio Acari. Foram também aumentadas as seções das galerias sob dois pontos da linha férrea, proximidades da Praça Montese e proximidades da estação Guilherme da Silveira. A simulação realizada para estas modificações mostrou redução de níveis a montante das pontes e da linha férrea, porém, mesmo retirando essas limitações pontuais, foi percebido que a capacidade instalada dos cursos d'água da bacia não suporta o volume de águas de um tempo de recorrência de 25 anos e ainda gera transbordamentos em diversos trechos dos principais rios.

Limpeza e Dragagem dos principais cursos d'água

Na seguinte etapa foram melhoradas as condições hidráulicas da calha do curso principal do Rio Acari, cujo leito apresentava irregularidades. Dessa forma, foi proposta a dragagem do fundo do rio em uma extensão de 4,0 km. Os resultados apresentados pela simulação para as dragagens realizadas mostraram melhorias nos níveis dos principais cursos d'água, com rebaixamento de em diversos pontos. Porém, somente a dragagem não se mostrou suficiente para evitar o transbordamento das redes de macrodrenagem, representadas pelos rios e canais.

Tabela 8.1 – Características finais dos reservatórios utilizados para simulação do amortecimento de cheia no presente trabalho para um TR 25. Adaptado de PDMAP (2014).

Reservatório	Prof. (m)	Vol. escavado (m ³)	Q Atual (m ³ /s)	Q amortecida (m ³ /s)	Amortecimento
RA-1	0,4	265,6	0,12	0,01	91,7%
RA-2	30,9	4630,5	18,58	8,62	53,6%
RA-3	6,6	2985,5	26,2	19,47	25,7%
RA-4	8,1	16145,6	77,24	32,22	58,3%
RA-5	4,7	8370,4	83,51	42,93	48,6%
RA-6	8,7	14975,8	125,19	72,01	42,5%
RA-7	6,4	3210,6	1,01	0,14	86,3%
RA-8	10,2	5120,0	6,45	3,48	46,1%
RAF-1	1,8	4136,0	41,21	2,8	93,2%
RC-1	3,4	7301,1	29,38	10,28	65,0%
RC-2	4,0	19890,0	50,42	1,08	97,9%
RCA-2	5,2	12636,0	22,15	11,26	49,2%
RCD-1	5,7	3320,5	11,64	1,84	84,2%
RCG-1	1,1	864,5	5,61	0,83	85,2%
RCT-2	3,6	5419,5	15,42	1,77	88,5%
RPE-1	0,6	434,8	2,92	0,46	84,4%
RPE-2	35,8	14195,0	54,28	20,54	62,2%
RPE-3	17,2	18307,6	86,39	50,75	41,3%
RPE-4	15,3	19860,3	105,25	70,56	33,0%
RPI-1	1,8	1594,6	6,44	1,41	78,0%
RPI-2	4,5	7198,3	17,22	3,55	79,4%
RTI-1	6,1	6065,6	28,34	10,82	61,8%

Os resultados dos amortecimentos dos reservatórios do PDMAP foram considerados satisfatórios, mas não resolveram completamente os problemas de macrodrenagem da bacia. É importante destacar que o PDMAP ainda conta com diversas outras intervenções no âmbito da bacia do Rio Acari que não foram incorporadas nesta etapa de construção do projeto para mitigação de cheias. Assim, é esperado que a aplicação integral das soluções propostas pelo PDMAP apresente resultados mais satisfatórios.

O perfil de níveis de água máximos da Figura 8.2 mostra os níveis mais críticos do Rio Acari utilizando a chuva crítica da bacia com tempo de recorrência de 25 anos. O eixo x corresponde ao eixo do Rio Acari e varia de zero, no encontro com o Rio Pavuna, a 10 km a montante. Podemos perceber que apesar de haver um claro rebaixamento no perfil de níveis máximos, o Rio Acari ainda extravasa nos seus 5 km finais.

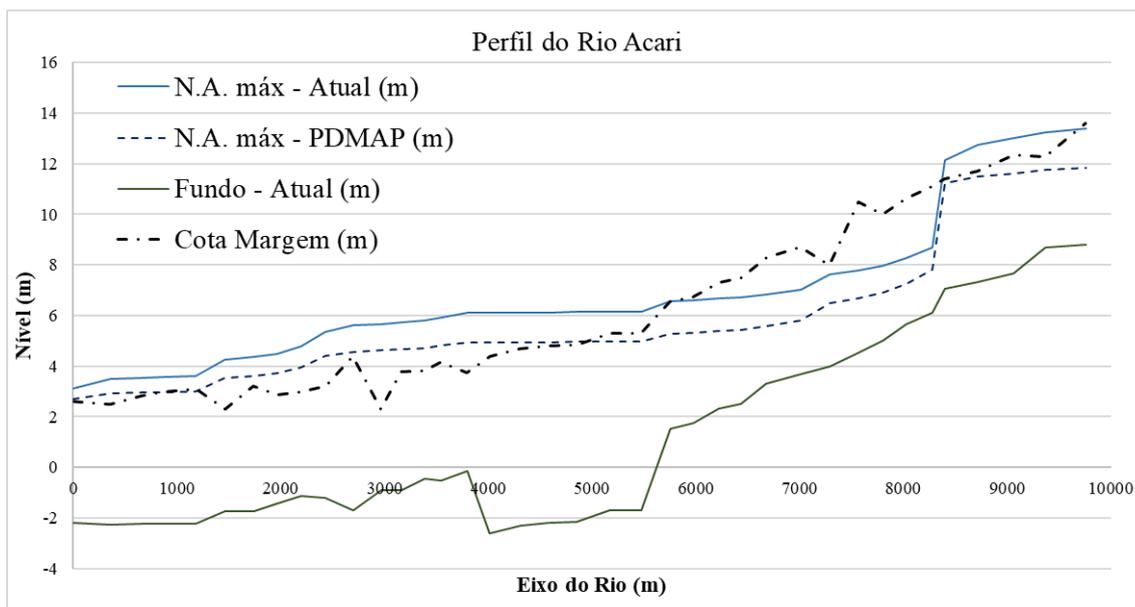


Figura 8.2 – Perfil de Níveis de Água máximos do Rio Acari para os cenários Atual e para o cenário até a inclusão dos reservatórios do PDMAP com um TR 25.

Incorporação de Espaços Livres para controle de inundações

Visto que a correção de problemas estruturais na bacia e a inclusão de reservatórios já propostos por relatórios oficiais do município do Rio de Janeiro não resolvem os problemas de macrodrenagem da bacia, devem ser incorporados novos espaços para alocação do volume de cheias.

Surge a necessidade de desenvolver um Sistema de Espaços Livres com foco na solução dos problemas de inundação. Inicialmente foram considerados apenas espaços atualmente livres de ocupação, sem necessidade de desapropriação de áreas. A determinação dos espaços livres que pudessem incorporar o sistema de drenagem levou em consideração as informações levantadas no capítulo 7.2 de Diagnóstico dos Espaços Livres. Foram cruzadas as informações de uso atual da área e condições de drenagem. Mediante esse cruzamento são propostas as diretrizes da Tabela 8.2 que devem guiar a identificação dos espaços livres para a Bacia que deverão compor um sistema. A Figura 8.3 apresenta os espaços livres com a diretriz proposta para as diferentes condições. Analisando os resultados percebemos diversas áreas para incorporação no sistema de espaços livres com potencial para mitigar cheias. Dentre estas áreas, um grande terreno nas proximidades de um depósito do Ponto Frio se destaca com grande potencial para amortecimento de cheias. Além de apresentar condições que indicam a possibilidade do seu aproveitamento como área de amortecimento de cheias, o terreno está situado imediatamente na margem direita do Rio Acari, na área mais crítica no que diz respeito a inundações na bacia.

Tabela 8.2 – Diretrizes propostas para a identificação de Espaços Livres relacionados com a dinâmica da água.

Condições	Uso – Drenagem	Diretriz proposta
1	Unidades de Conservação com inundação	DEVE ser incorporado ao sistema de espaços livres e, se relevante, DEVE ser usado para amortecer inundações
2	Unidades de Conservação sem inundação	DEVE ser incorporado ao sistema de espaços livres
3	Praças / Parques com inundação	DEVE ser consolidado no sistema de espaços livres e, se relevante, DEVE ser usado como Praça/Parque inundável para amortecer cheias
4	Praças / Parques sem inundação	DEVE ser incorporado ao sistema de espaços livres
5	Área Militar com inundação	PODE ser incorporado ao sistema de espaços livres para amortecer as inundações, se for necessário
6	Área Militar sem inundação	Se for possível, pode ser incorporado ao sistema de espaços livres - se referindo a uma área verde, não deve ser ocupado ou impermeabilizado
7	Outros com inundação	PODE ser incorporado ao sistema de espaços livres para amortecer as inundações, se for necessário
8	Outros sem inundação	Se for possível, pode ser incorporado ao sistema de espaços livres - se referindo a uma área verde, não deve ser ocupado ou impermeabilizado

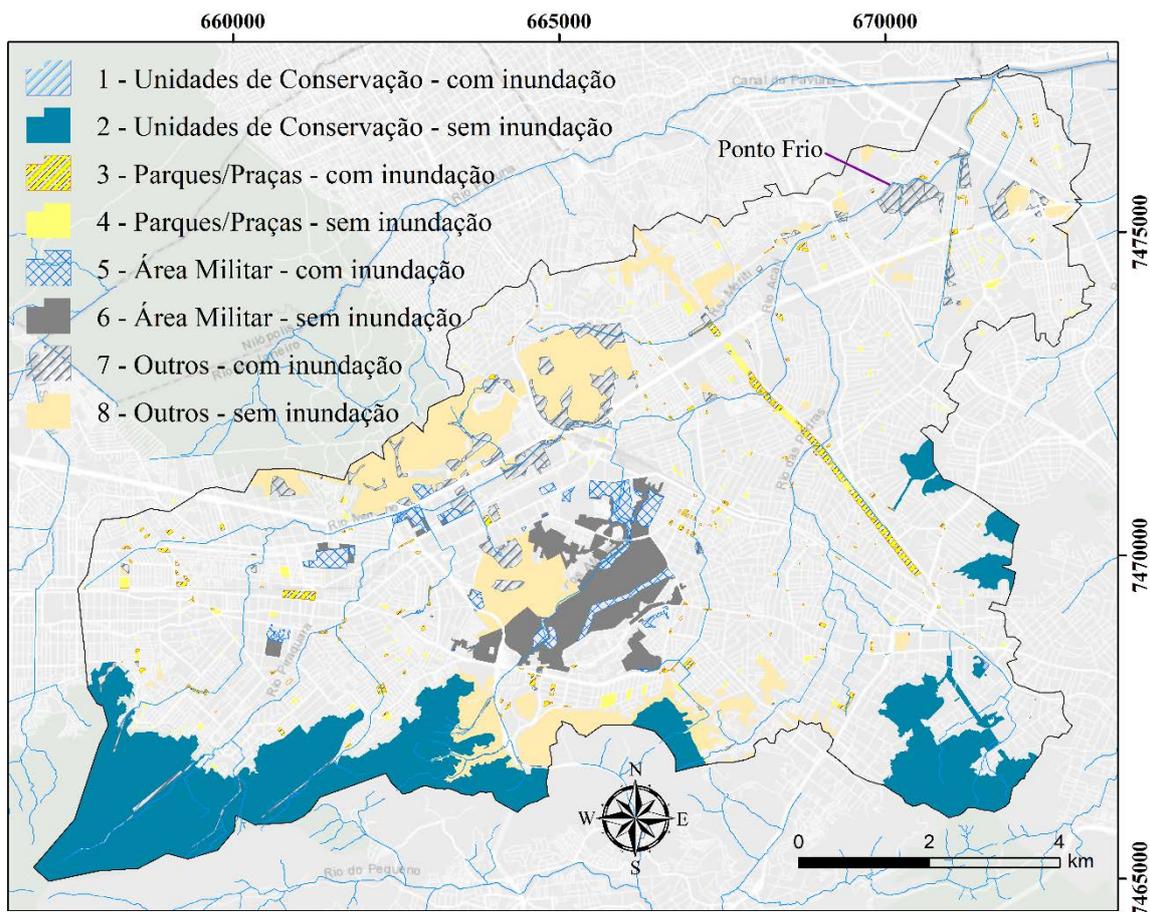


Figura 8.3 – Diretrizes para o Sistema de Espaços Livres da bacia do Rio Acari.

Assim, o terreno do Ponto Frio e outras áreas consideradas estratégicas foram incorporadas no Sistema de Espaços Livres e no projeto de drenagem, com as devidas modificações e adaptações estruturais para amortecimento das cheias. A localização de todas as áreas livres utilizadas para o amortecimento de inundações podem ser vista na Figura 8.4.

Os demais espaços livres identificados poderão compor o Sistema de Espaços Livres da Bacia, sendo utilizados sempre que possível de forma multifuncional (com ofertas para os demais eixos estruturantes) para reestruturar e requalificar o ambiente urbano, porém, não terão relação direta com o amortecimento das inundações.

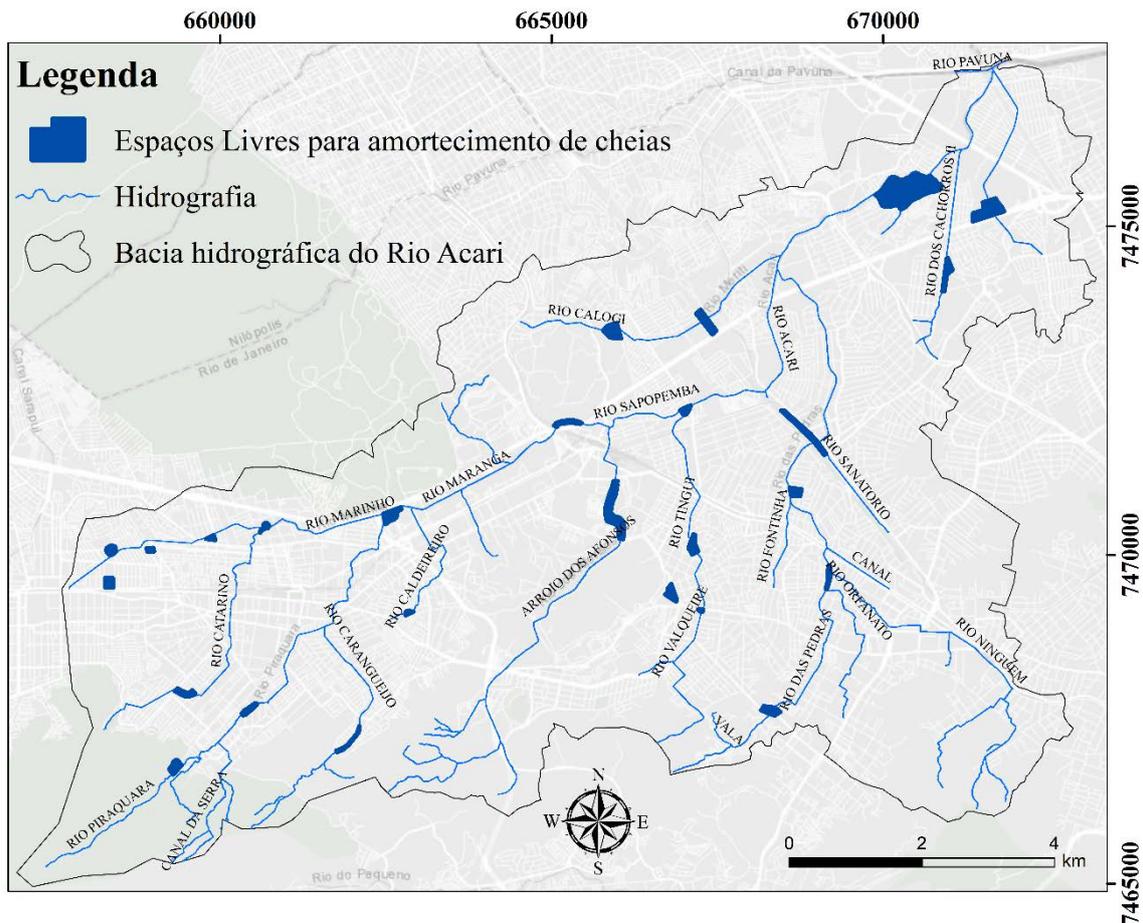


Figura 8.4 – Espaços Livres com função de amortecimento de cheias.

A simulação matemática das intervenções apresentadas até o momento apresentaram um rebaixamento considerável do nível de água nos 5 quilômetros finais do Rio Acari, região considerada mais crítica da bacia. A Figura 8.5 apresenta os resultados da simulação da incorporação de novos espaços livres com áreas destinadas ao amortecimento de inundações, com o intuito de se criar um sistema. Há claramente uma melhoria no cenário de falhas do sistema de macrodrenagem, porém, ainda são percebidas inundações em margens mais baixas em parte do trecho apresentado. A solução poderia ser a implementação de diques para contenção das cheias. Esta alternativa, porém, acaba por segregar de vez o rio da cidade, como é visto em diversas partes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a exemplo do Rio Sarapuí. Além disso se apresenta com baixa resiliência a falhas, visto que caso ocorra elevação do nível do rio acima do nível do dique, em um evento extremo, a população “protegida pelo dique” não estará preparada para contingência do evento de inundação.

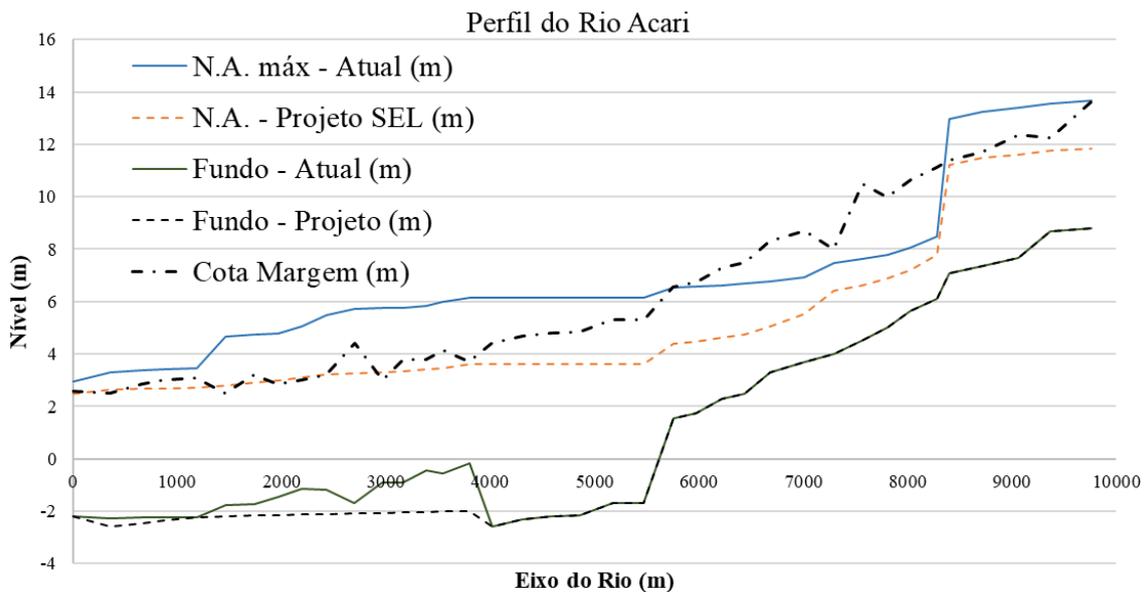


Figura 8.5 – Perfil de Níveis de Água máximos do Rio Acari para os cenário Atual e para o cenário até a incorporação do SEL.

Proposta de Parques Fluviais

Para solucionar de vez os problemas de macrodrenagem para o tempo de recorrência de 25 anos é necessário devolver para o rio parte de seus espaços naturais. Dessa forma foi utilizado como base de intervenção o Programa Acari Projeto Rio Vivo (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2007) que visa a recuperação da orla do Rio Acari com a implementação de parques. Segundo o Programa: “As ações, de caráter emergencial, se dão em função da situação de degradação ambiental existente ao longo dos corpos hídricos, e a diminuição gradativa da qualidade urbanística e habitacional dessas áreas, se estendendo aos limites territoriais das bacias hidrográficas. Visa promover a conscientização e a integração das diversas comunidades existentes ao longo do rio, sobre a importância da valorização e da manutenção de condições ambientalmente adequadas. As intervenções propostas são requisitos para a elevação da autoestima dos moradores pelo lugar de moradia.”.

De forma complementar o presente trabalho irá considerar que os parques fluviais a serem implementados às margens do Rio Acari funcionarão como calhas secundárias do Rio, inundando em eventos de chuva extrema. A Figura 8.6 apresenta um corte esquemático dos parques fluviais propostos, adaptados do Programa Acari Projeto Rio Vivo de 2007.

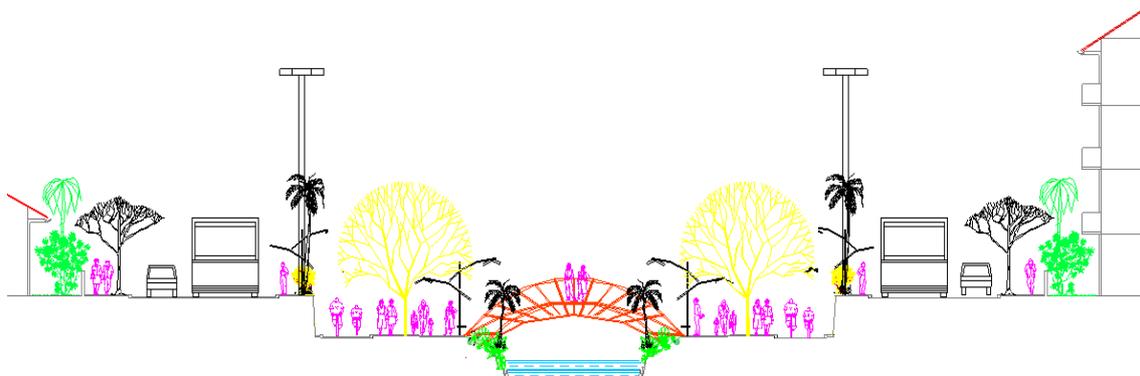


Figura 8.6 – Corte esquemático dos parques fluviais propostos, adaptado do Programa Acari Projeto Rio Vivo de 2007.

Para determinação dos lugares que podem se tornar parques fluviais, foram identificadas todas as áreas marginais ao rio com potencial de fazerem parte do sistema de drenagem, servindo como calha secundária dos cursos d'água, e conseqüentemente serem incorporadas também ao SEL específico da dinâmica da água.

Foram identificadas áreas urbanas às margens dos cursos d'água que poderiam ser reassentadas, uma vez que além de disponibilizarem volume para as águas pluviais, estão situadas em áreas expostas a riscos de inundações. Foram também selecionados espaços livres marginais para compor a calha secundária dos principais cursos d'água. Mesmo que as áreas a serem desocupadas e os espaços livres a serem incorporados não apresentem características de calha secundária, devem ser escavados para poder receber parte do volume das cheias. Esta nova calha secundária deve receber um projeto urbanístico que as torne parques fluviais longitudinais. As áreas identificadas para se tornarem estes parques fluviais estão identificadas na Figura 8.7, bem como os seus atuais usos.

Os Parques Fluviais ainda podem servir como um grande e longitudinal corredor verde e azul contribuindo para o amortecimento de cheias do sistema de drenagem e para a consolidação efetiva de um Sistema de Espaços Livres, onde os principais fragmentos de áreas livres de ocupação serão conectados.

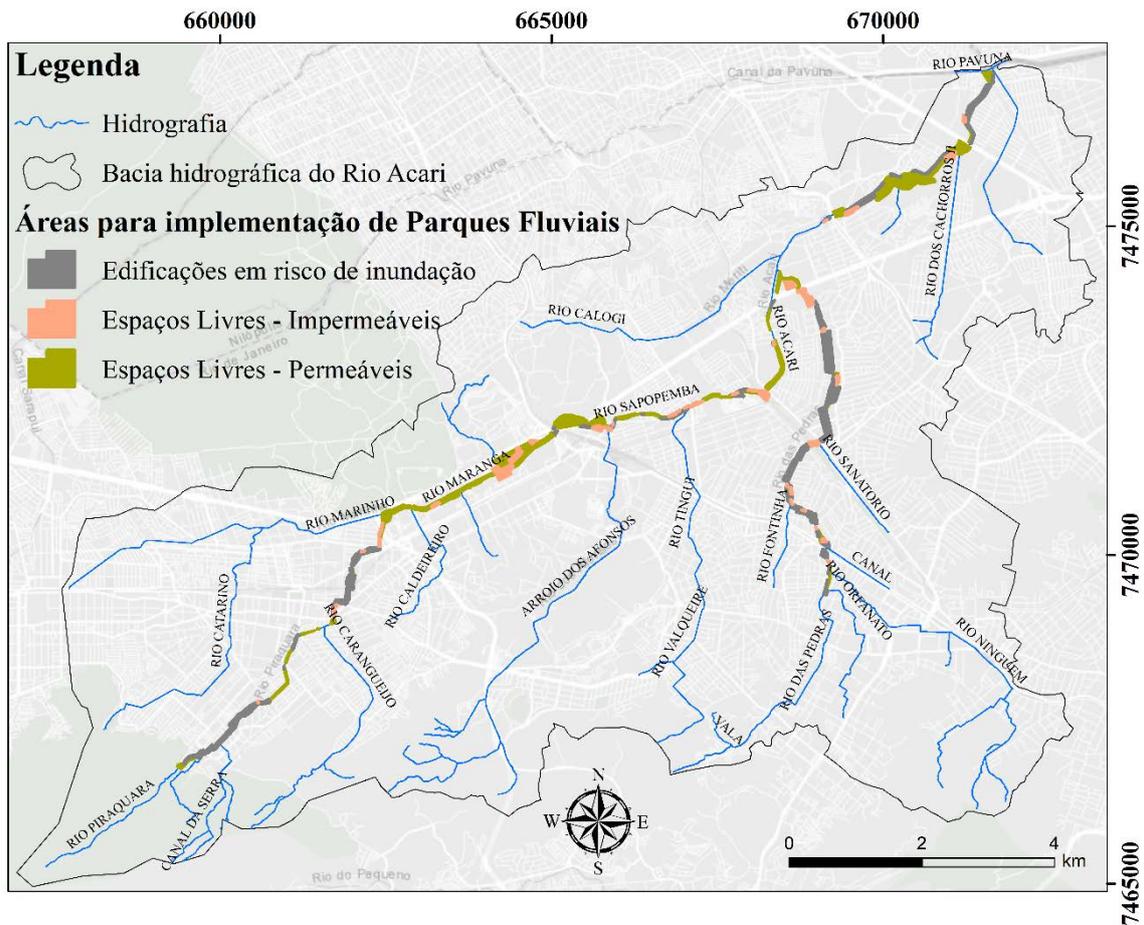


Figura 8.7 – Áreas identificadas para implementação de Parques Fluviais.

Os resultados da simulação matemática para um evento crítico de TR25, com o auxílio do MODCEL, considerando os novos volumes disponibilizados pelos parques fluviais podem ser vistos na Figura 8.8.

Observamos que não há extravasamentos na calha principal do Rio Acari, estando assim solucionadas as falhas do sistema de macrodrenagem após a implementação de todas as alternativas citadas (Considerando um tempo de recorrência de 25 anos). Desta forma, o projeto que conta com as correções estruturais básicas do sistema de drenagem urbana (revisão dimensionais de pontes e galerias), a limpeza e dragagem dos principais cursos d'água, a implementação dos reservatórios propostos no âmbito do PDMAP, a incorporação de um Sistema de Espaços Livres com foco no controle de cheias (considerando também parques fluviais), será considerado o projeto final que deverá ser utilizado para interação com os demais eixos e para realizar as discussões em relação ao eixo de drenagem urbana como eixo estruturador da cidade.

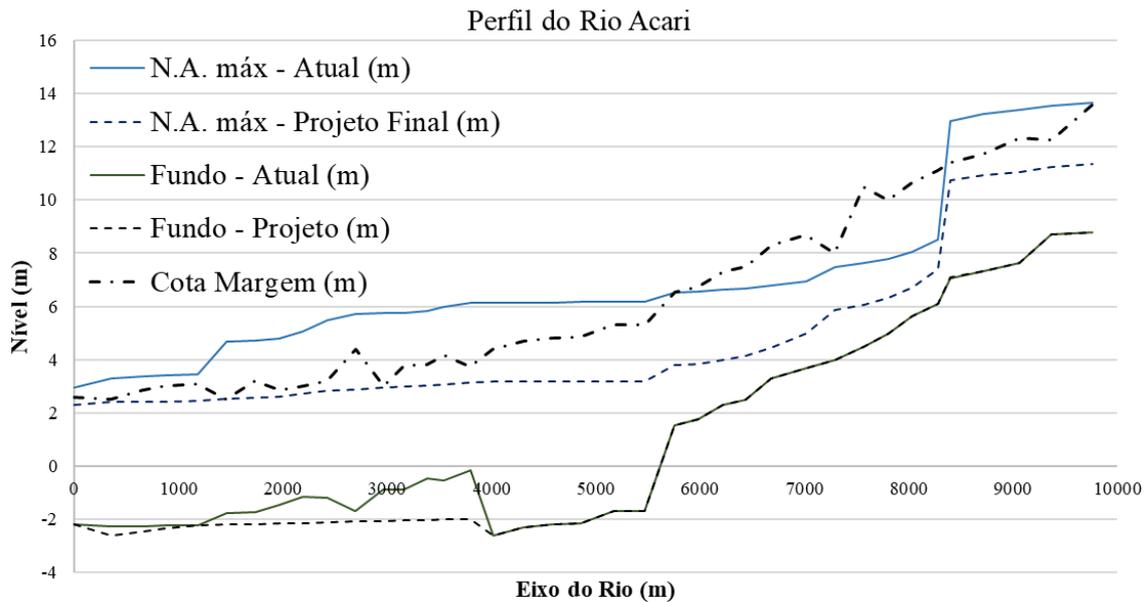


Figura 8.8– Perfil de Níveis de Água máximos do Rio Acari para os cenário Atual e para o cenário até a incorporação dos parques fluviais – TR25.

De forma complementar ao perfil de níveis máximos apresentados, a Figura 8.9 mostra a evolução da mancha de inundação da situação atual para a situação do projeto final escolhido para a bacia hidrográfica do Rio Acari.

Pode ser observado que há grande mitigação das inundações para um evento crítico de tempo de recorrência de 25 anos. Os 8 pontos considerados críticos pela severidade das inundações na etapa do diagnóstico apresentam reduções significativas em relação a sua mancha de inundação. Há poucas áreas na bacia pós projeto que apresentam inundações superiores a 50 centímetros.

As manchas ainda observadas na situação de projeto dizem respeito a alagamentos. Os alagamentos espalhados pela bacia hidrográfica se devem à não consideração de redes de microdrenagem que escoriam os acúmulos de água para as redes de macrodrenagem (em situação sem falhas para o projeto final).

Considerando que as falhas na rede de microdrenagem são recorrentes devido a mal dimensionamento e falta de manutenção, a mancha de inundação apresentada não deve diferir muito de uma simulação que leve em conta as redes de micro em sua situação atual.

Após apresentar as principais diretrizes para os espaços livres, determinar as áreas livres específicas para compor o sistema de macrodrenagem e incluir aos espaços livres os parques fluviais, é obtido um subsídio importante para compor um Sistema de Espaços Livres (SEL) realmente integrado na bacia do Rio Acari. Outra questão importante que também pode ser explorada é que os parques marginais ao rio surgem como peça essencial deste sistema, funcionando como corredores fluviais de estrutura verde e azul que conectam os fragmentados espaços livres da área em questão.

Em relação aos demais espaços livres identificados como potenciais mitigadores de inundação e que não foram incorporados no sistema de macrodrenagem por apresentarem posições não estratégicas ou poucos volumes disponíveis para as cheias, é definido que estes, têm capacidade de incorporar o sistema de microdrenagem, não detalhado hidraulicamente neste trabalho.

Sendo assim, para definir o SEL, os locais onde atualmente se situam parques ou praças que apresentam inundações devem ser preparados para compor o sistema de microdrenagem. Outros tipos de espaços livres que apresentam inundações podem ser incorporados também ao sistema de microdrenagem, caso seja necessário.

As Unidades de Conservação da bacia e os parques que não apresentem inundações, devem compor o SEL preservando as áreas verdes e permeáveis.

Os demais espaços livres que não apresentem inundações devem incorporar, sempre que possível e relevante para o bem-estar urbano, o SEL preservando as áreas verdes e permeáveis.

A Figura 8.10 apresenta o Sistema de Espaços Livres proposto para a bacia hidrográfica do Rio Acari. Na figura podem ser observadas as funções dos determinados espaços livres, definidas pelo seu uso atual e pelas condições de drenagem.

Resumidamente, os Espaços Livres que compõe o sistema podem apresentar características de mitigação de inundações e alagamentos, compondo os sistemas de macro e microdrenagem ou características de preservação de áreas verdes e permeáveis, de forma a manter a qualidade ambiental, a qualidade do clima local e a infiltração de parte do volume das chuvas.

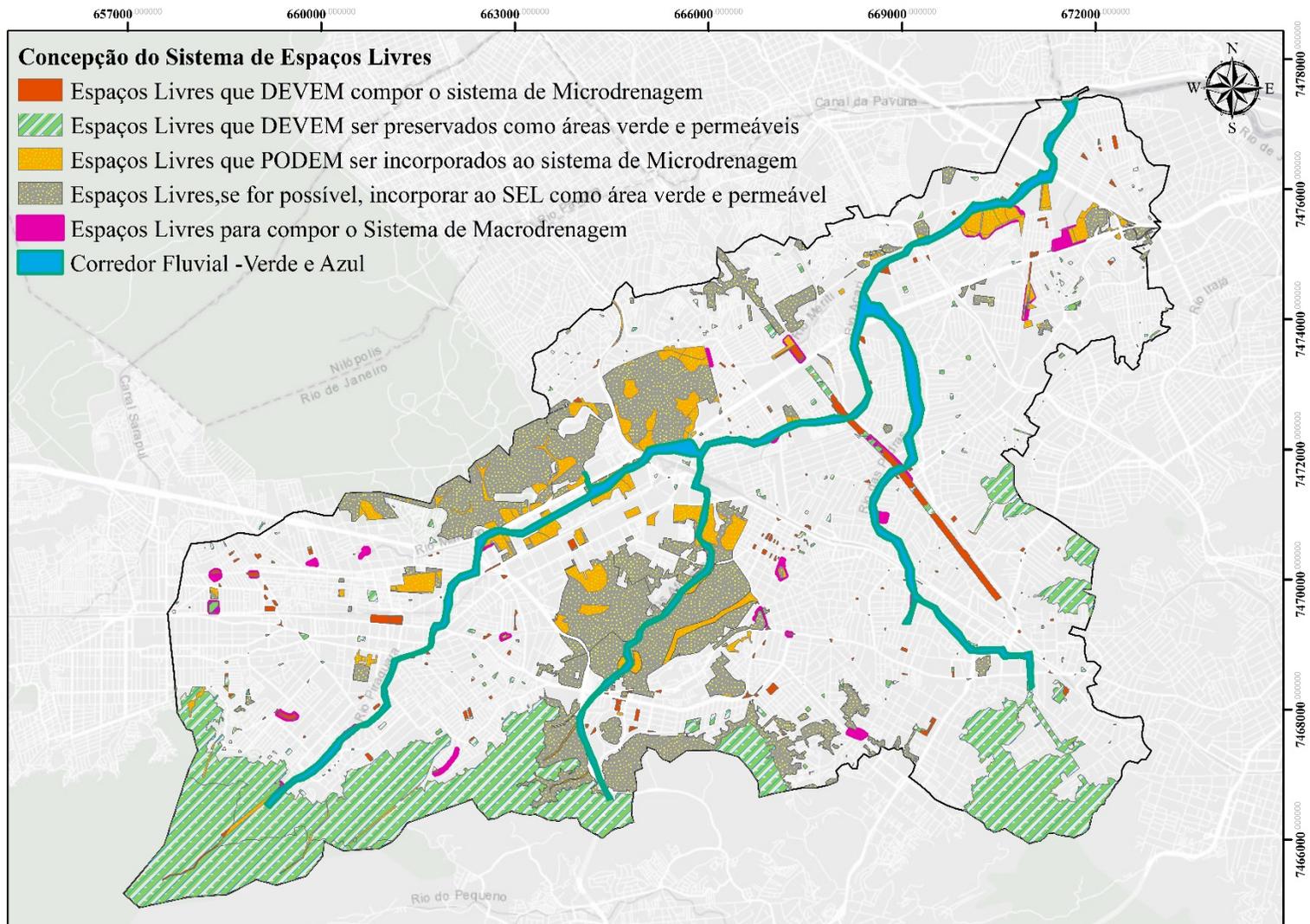


Figura 8.10 - Sistema de Espaços Livres proposto para a bacia do Rio Acari com foco no controle de inundações.

9.1.1 Drenagem e Habitação – Situação de Projeto

O resultado da interação das camadas de drenagem na situação de projeto e a camada do eixo de habitação representado pelos domicílios ocupados pode ser visto na Figura 9.2.

Os resultados mostram que para a situação de projeto de controle de cheias 12.291 domicílios ocupados se encontram em situação de inundação.

Em relação ao indicador de lâmina média de água dentro dos domicílios ocupados inundados, a situação de projeto apresenta 19 centímetros de inundação.

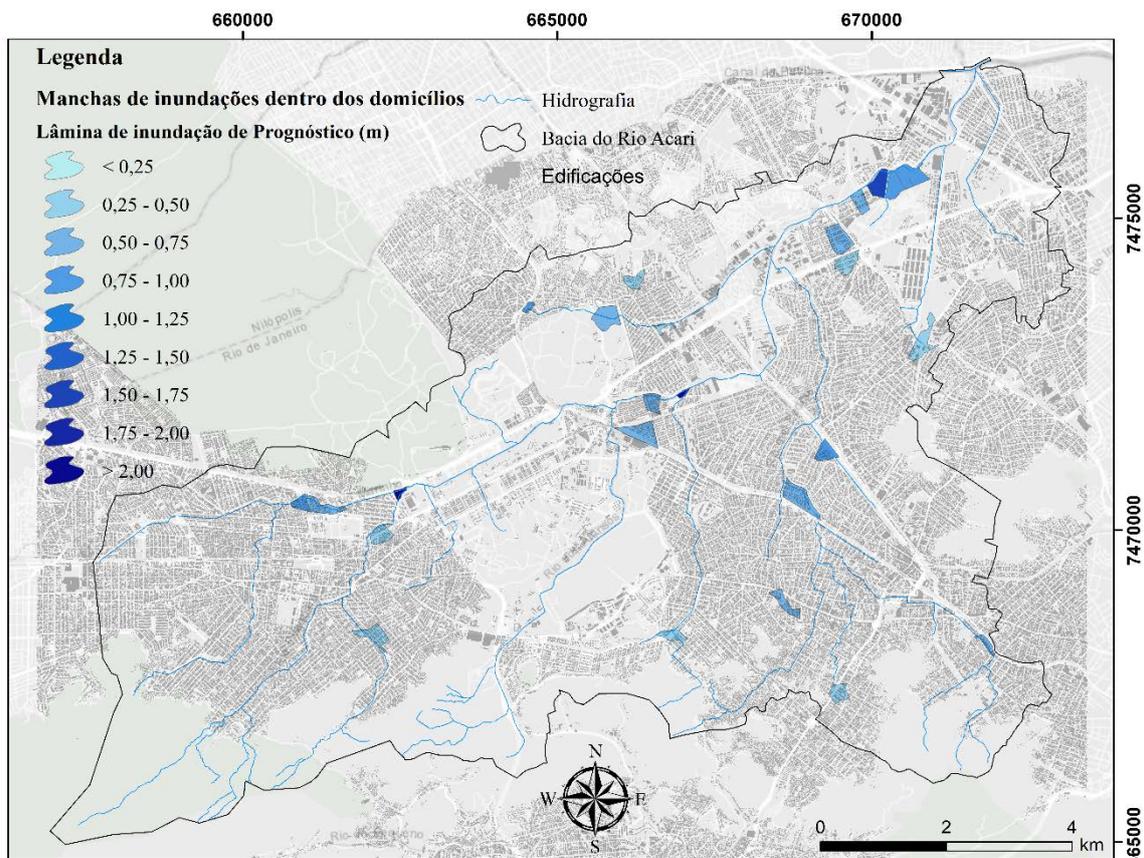


Figura 9.2 – Interação entre os eixos de habitação e drenagem apresentando a mancha de inundação dentro dos domicílios para a situação de projeto considerando um TR25.

9.1.2 Drenagem e Esgotamento sanitário – Situação de Projeto

A Figura 9.3 apresenta os resultados da interação entre o eixo de habitação com as lâminas de inundação acima de 20 centímetros para áreas *periurbanas* e acima de 50 centímetros para as demais áreas. A partir destas inundações é esperado que o setor de esgotamento sanitário seja atingido pela interação das águas pluviais e os esgotos sanitários, contaminando as áreas onde ocorrem.

Analisando os resultados observamos que os 12.291 domicílios inundados para a situação de projeto contribuem para a contaminação do sistema de drenagem mediante a comunicação com o sistema de esgotamento sanitário e contaminam uma área correspondente a 4,2 km².

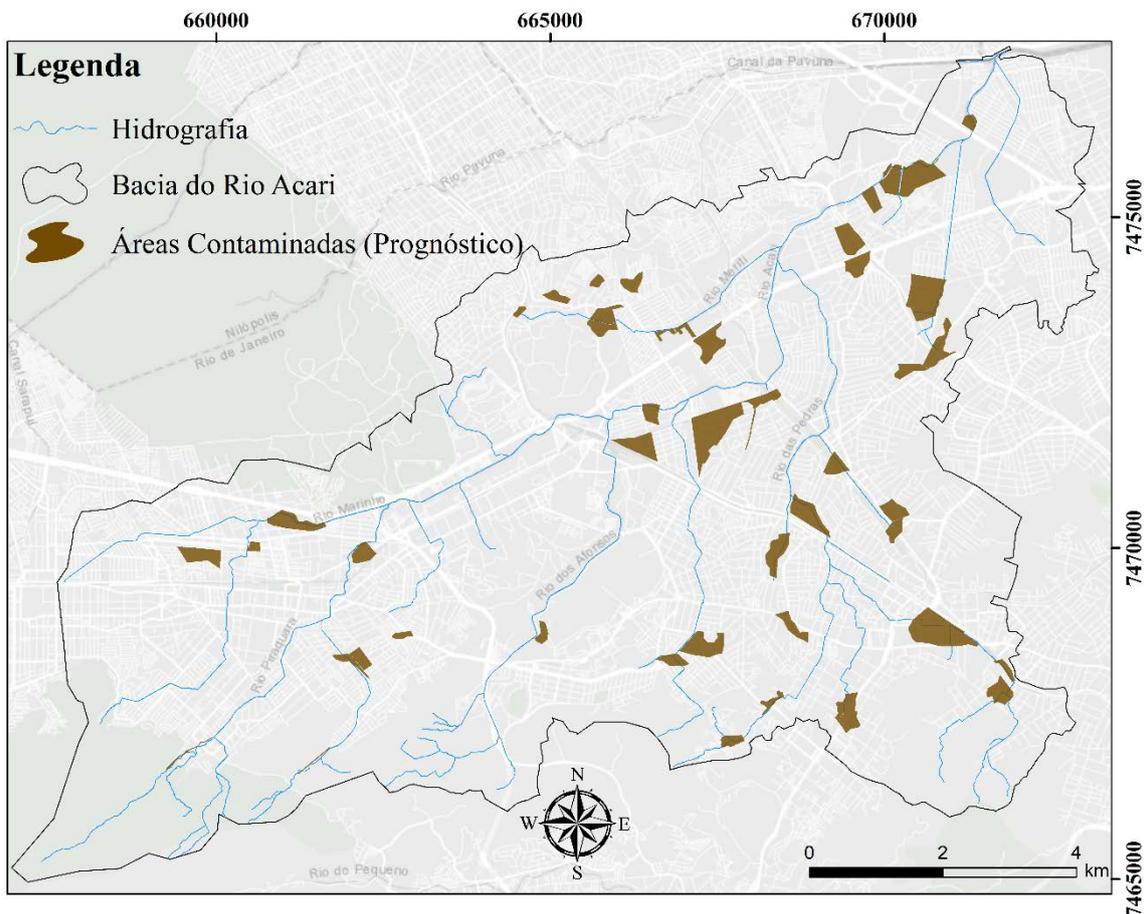


Figura 9.3 – Interação entre o sistema de esgotamento sanitário e o eixo de drenagem apresentando as áreas contaminadas pela de inundação dentro dos domicílios para a situação de projeto considerando um TR25.

A Figura 9.5, por sua vez, apresenta a interação das camadas dos centros educacionais (segunda camada do eixo estruturante de equipamentos sociais) com a camada do eixo de drenagem para a situação de prognóstico, representada pelas manchas de inundação acima de 50 centímetros após a implementação do projeto de controle de cheias.

A interação resulta em 33 centros educacionais inundados dos 463 centros educacionais identificados para a bacia hidrográfica, correspondendo a 7,1% do total.

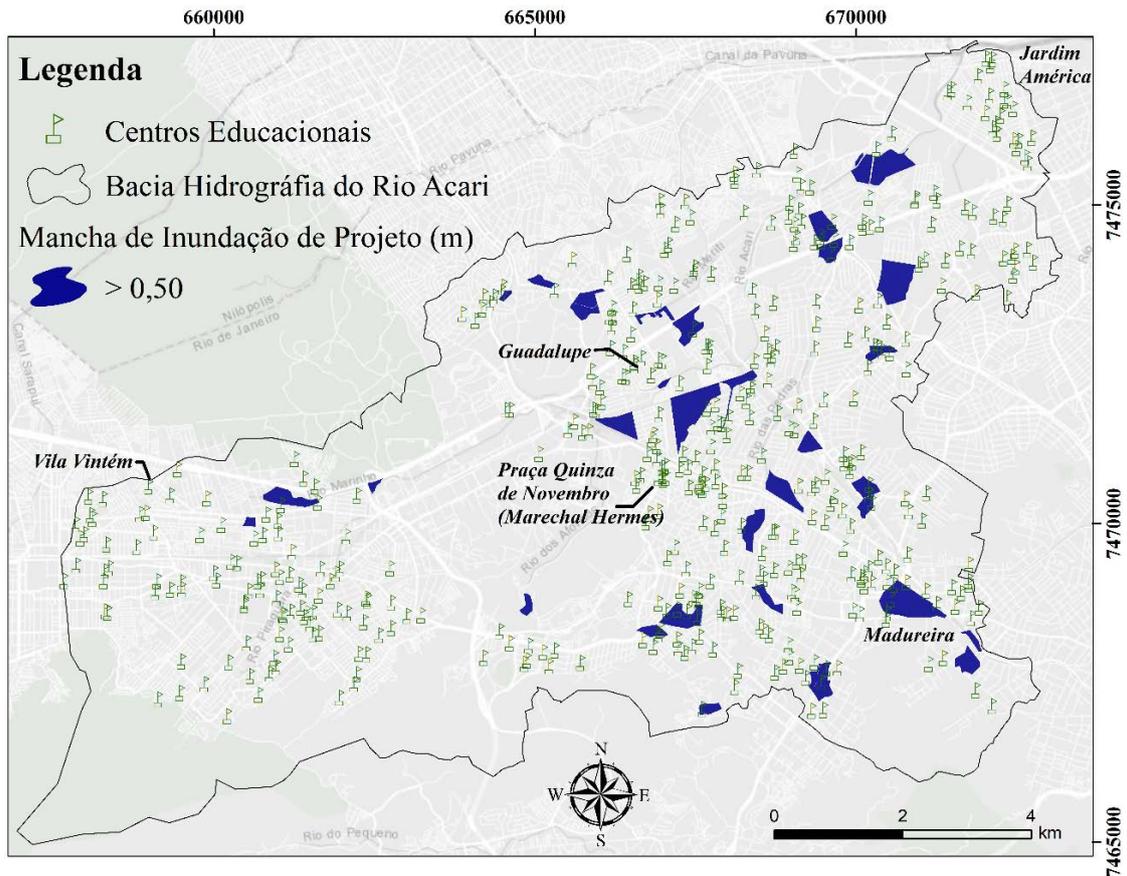


Figura 9.5 – Interação entre os centros educacionais do eixo estruturante de equipamentos sociais com a camada que representa o eixo da drenagem urbana para a situação de projeto considerando um TR25.

9.1.4 Drenagem e Mobilidade – Situação de Projeto

A Figura 9.6 apresenta os principais resultados da primeira sobreposição do eixo de mobilidade com o eixo de drenagem em situação de prognóstico.

Os resultados mostram que há 91,8 km de Vias Locais inundadas, correspondendo a 8,43% do total de vias com a mesma hierarquia na bacia (1088,18 km). Em relação às Vias Coletoras, estão em situação de inundação 29,6 km de um total de 241,21 km de vias da mesma hierarquia na bacia, valor que corresponde a 12,3%. As Vias Arteriais Secundárias continuam sendo as mais atingidas em termos percentuais para a situação de prognóstico, desta vez com 14,6% de vias inundadas (5,4 km) em relação ao total de vias com a mesma hierarquia na bacia (37,04 km). O comprimento de Vias Arteriais Principais inundadas corresponde a 7,3 km de um total de 70,68 km, assim, 10,4% das vias com esta hierarquia estão em situação de inundação na situação de prognóstico. As vias estruturais não expressas na bacia do Rio Acari, apresentam 7,0 km de comprimentos viários com possibilidade de inundação na situação de projeto, correspondendo a 9,0% de um total de 77.50 km de logradouros com a mesma classificação hierárquica.

Aplicando o indicador de severidade de inundação dos logradouros para a situação de projeto, obtemos um valor de 0,22 de 1,00.

A segunda interação de camadas é realizada pela sobreposição de estações da rede de mobilidade urbana (Estações ferroviárias, metroviárias e pontos de ônibus) com inundações acima de 50 centímetros para a situação de prognóstico. A Figura 9.7 apresenta os resultados da segunda sobreposição de camadas do eixo de mobilidade urbana com a drenagem. Segundo os resultados, a bacia apresenta em situação de inundação, após a implementação do projeto, 94 pontos de ônibus. Para o prognóstico nenhuma estação ferroviária ou metroviária é atingida pelas inundações.

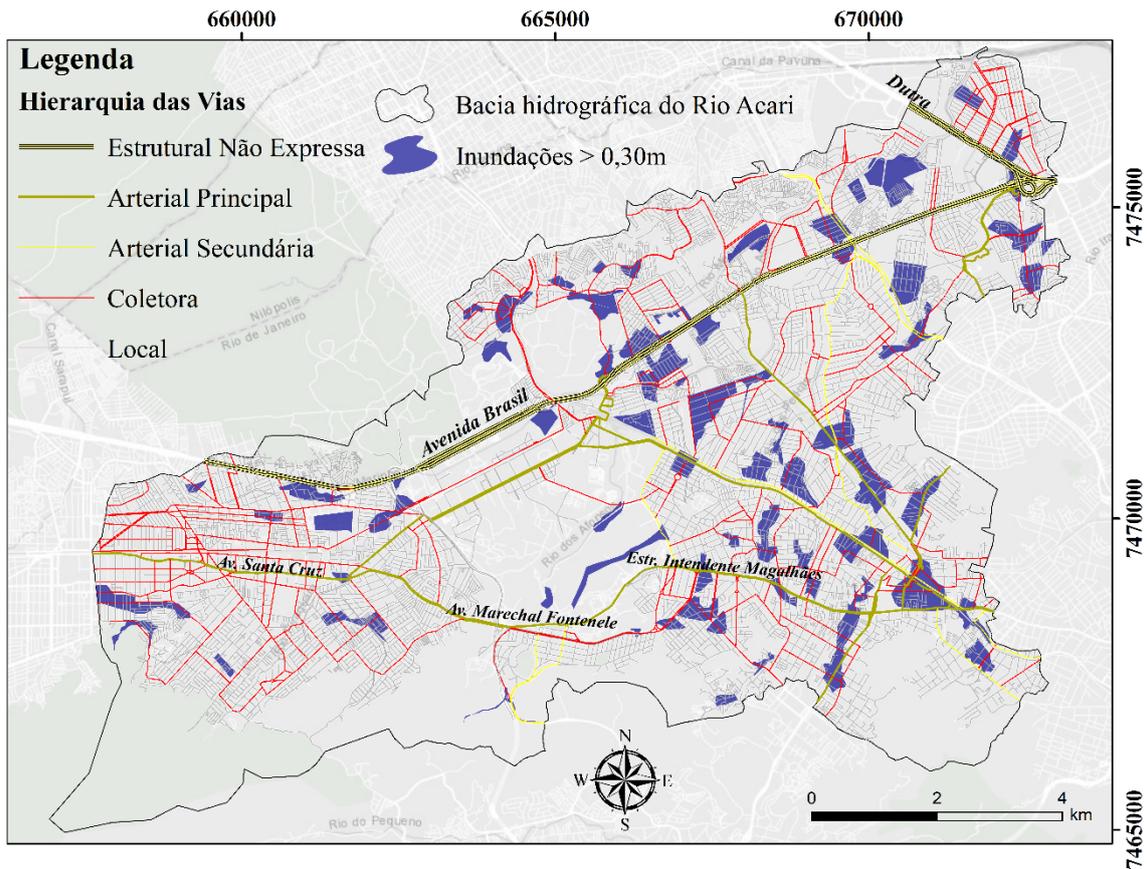


Figura 9.6 - Interação entre logradouros e o eixo de drenagem para a situação de projeto - TR25.

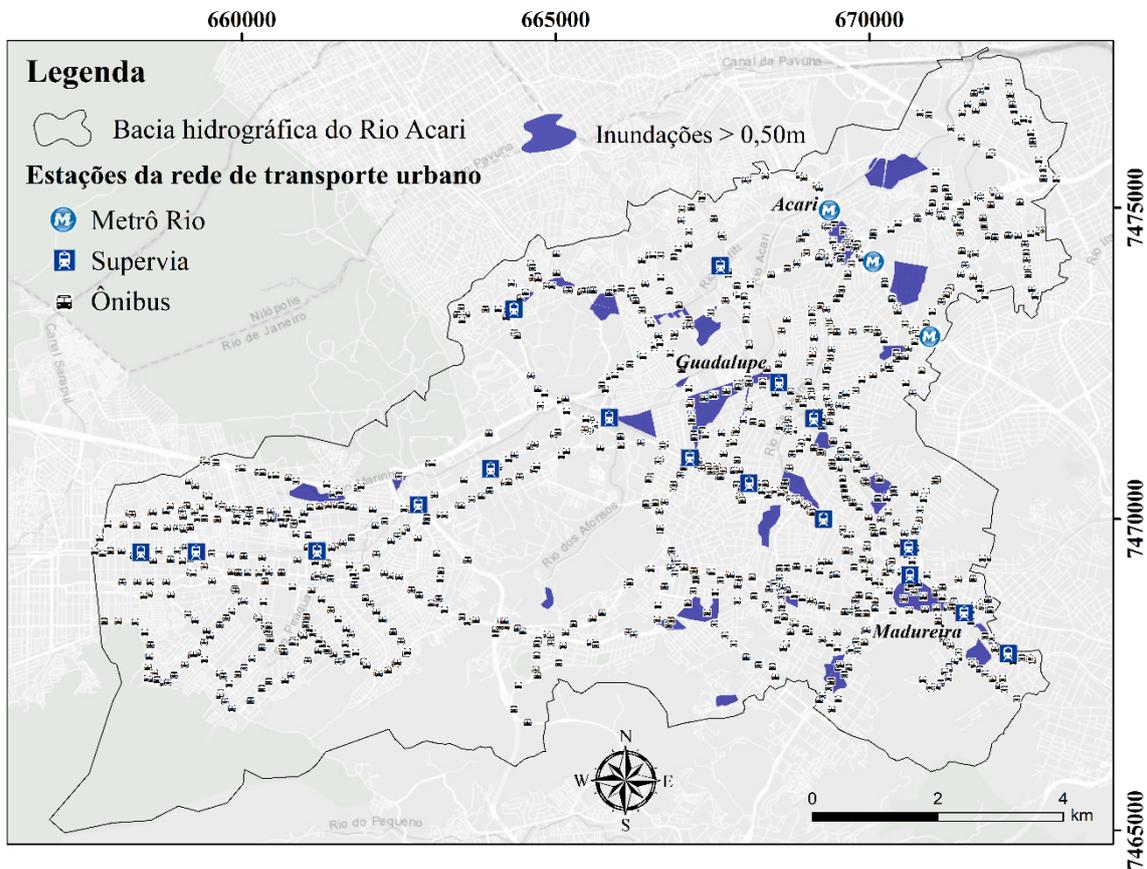


Figura 9.7 - Interação entre as estações e o eixo de drenagem para a situação de projeto - TR25.

9.1.5 Drenagem e Economia – Situação de Projeto

Os centros comerciais, representantes do eixo estruturante de economia no presente trabalho, serão sobrepostos com manchas de inundações acima de 50 centímetros obtidas na simulação matemática do projeto de controle de inundações do sistema de drenagem.

A Figura 9.8 apresenta o resultado da interação do eixo em questão com o eixo de drenagem urbana. Dos 335 pontos comerciais levantados, 26 ainda apresentam inundações que ocasionariam interrupção de seus serviços e perdas e danos em suas estruturas ou estoques para o prognóstico.

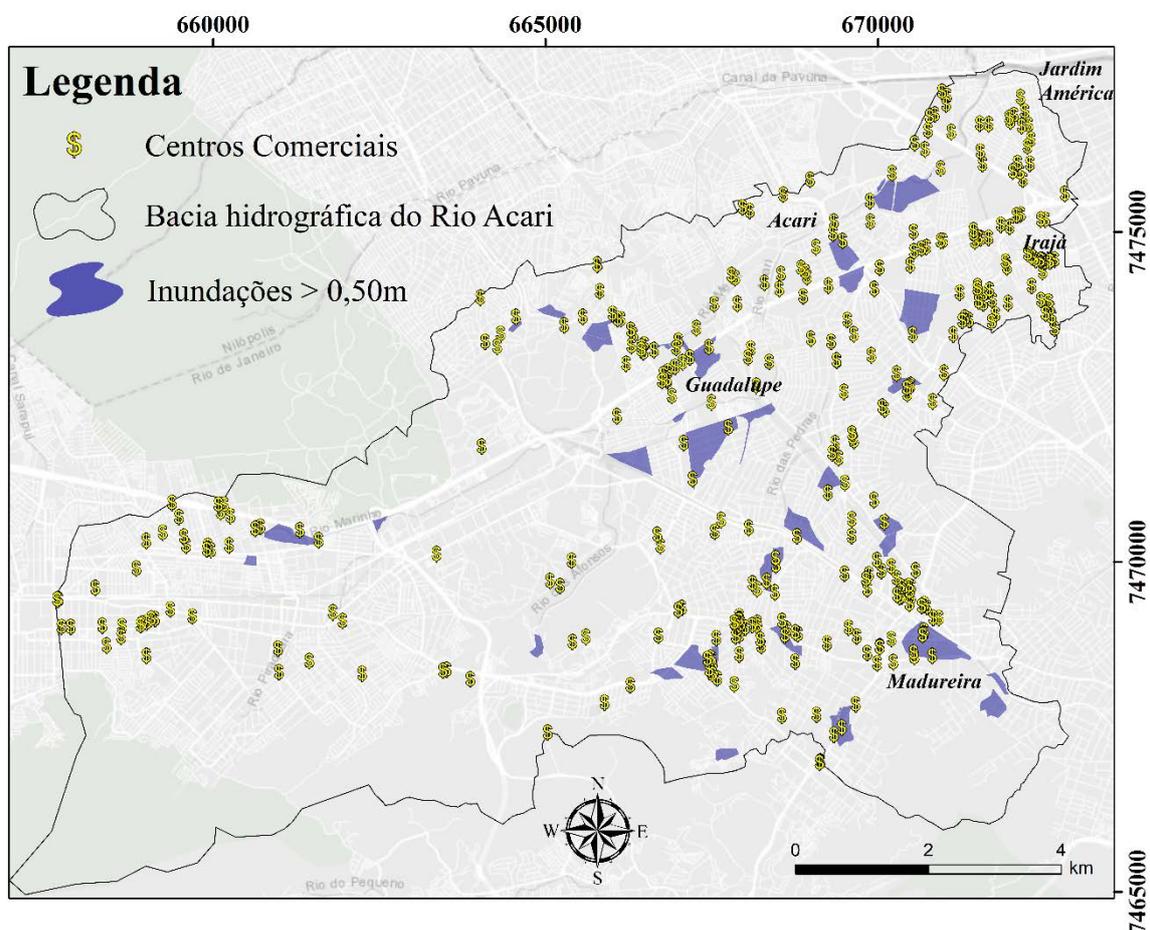


Figura 9.8 - Interação entre os centros comerciais e o eixo de drenagem para a situação de projeto considerando um TR 25.

9.1.6 Drenagem e Patrimônio Cultural – Situação de Projeto

Para a interação entre o eixo estruturante do Patrimônio Cultural e o eixo de drenagem urbana foram sobrepostos os 36 pontos de interesse do Patrimônio Cultural da bacia com as manchas de inundações maiores que 50 centímetros para a situação de projeto.

Os resultados da interação entre as manchas de inundação maiores que 50 centímetros para a situação de projeto e os Patrimônios Culturais identificados podem ser vistos na Figura 9.9.

O projeto de controle de inundações proposto resulta na proteção integral dos Patrimônios Culturais levantados para a bacia hidrográfica, considerando um evento crítico de tempo de recorrência de 25 anos. Logo, nenhum Patrimônio Cultural é atingido pelas inundações na situação de prognóstico.

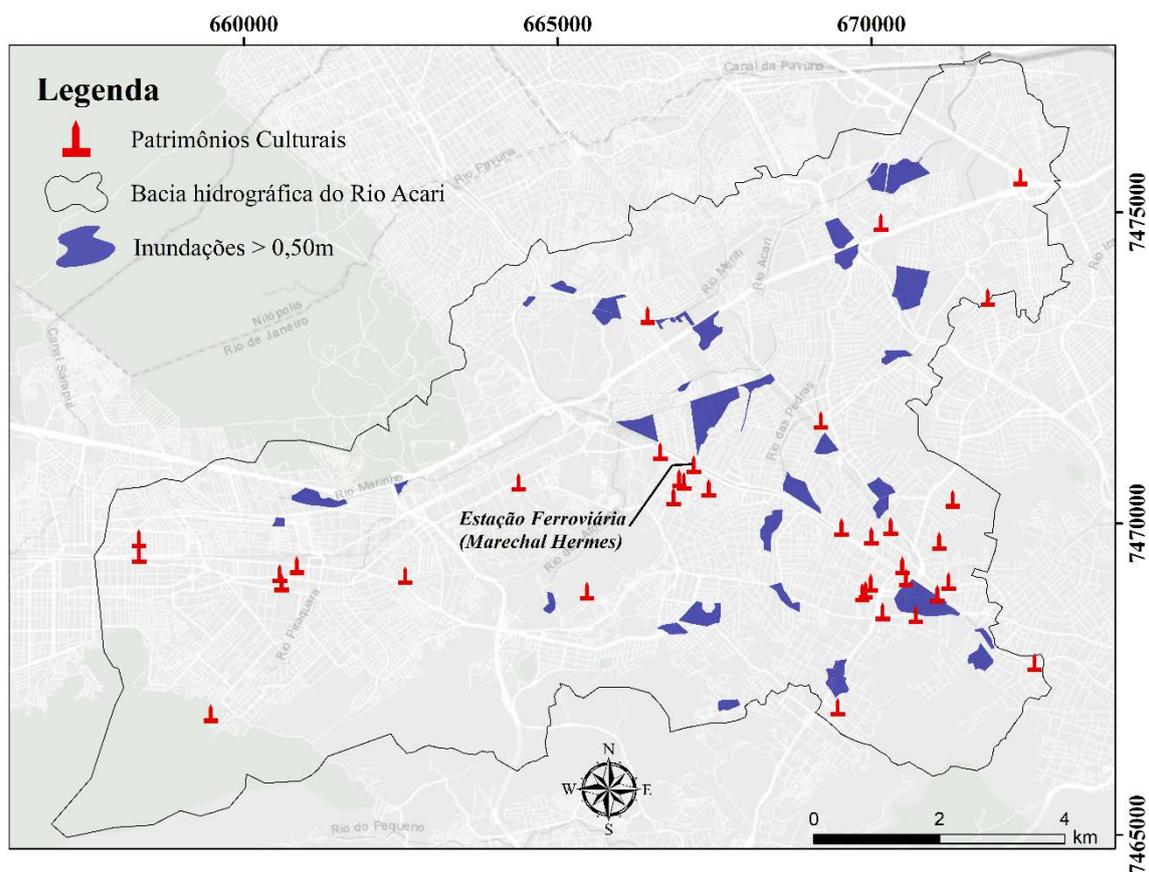


Figura 9.9 - Interação entre os principais patrimônios culturais e o eixo de drenagem para a situação de projeto considerando um TR 25.

10 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como última etapa da metodologia proposta surge a quantificação e análise dos ganhos trazidos pela implementação do projeto de controle de cheias. A Tabela 10.1 apresenta os nove indicadores propostos tanto para a situação atual como para a situação de projeto, assim como o cálculo dos respectivos ganhos.

O eixo estruturante de habitação tem o segundo maior ganho em relação aos demais indicadores com redução de 73,5% dos domicílios inundados. Apesar de ainda haver 12.291 domicílios em situação de inundação, o estado de calamidade à qual era submetida a área mais crítica da bacia foi superado. Os domicílios inundados que apresentavam lâmina média de inundação de 37 centímetros dentro de casa, tiveram um ganho de 48,6%, e passaram a ter em média menos de 20 centímetros de inundação. A composição destes dois indicadores indica ganhos verdadeiramente significativos, foram reduzidos o número de domicílios atingidos e as intensidades de inundação daqueles que ainda permanecem inundados.

Paralelamente é esperado que com a melhoria do eixo de habitação o setor de esgotamento sanitário também apresente avanços em relação às áreas contaminadas pela falha da rede de drenagem e seu aporte as redes de esgotamento sanitárias domiciliares. Analisando os resultados dos indicadores percebemos um ganho de 63,54% em relação às áreas contaminadas, indicando melhorias significativas em relação à qualidade ambiental e de salubridade da bacia frente a um evento de chuvas intensas.

O eixo estruturante de mobilidade também apresenta ganhos consideráveis. A severidade de inundações das vias é reduzida em 66,2% e quando analisamos individualmente os tipos de hierarquias de vias percebemos evoluções em direção à mitigação das inundações. 71% das vias Locais, 62% das Coletoras, 62% das vias Arteriais Secundárias, 70% das vias Arteriais Principais e 54% das vias Estruturais Não Expressas deixam de inundar para a situação de projeto.

As estações da rede de mobilidade urbana apresentam quase 50% de redução de inundações, com destaque para as estações metroviárias e ferroviárias que deixam de inundar completamente. Por mais que ainda hajam 94 pontos de ônibus inundados, o sistema de ônibus se mostra mais resiliente a falhas, podendo haver opções alternativas

de trajeto caso ruas inviabilizem a rota normal, ainda mais considerando os ganhos em relação à severidade de inundação trazidos pelo projeto para todas as vias da bacia.

Em relação aos equipamentos sociais, tanto os centros educacionais como os de saúde mostram ganhos em relação a inundações em mais de 60% da situação atual para a situação de projeto. Os 40 equipamentos sociais ainda em situação de inundação correspondem a apenas 7,5% de todos os equipamentos sociais levantados para a bacia hidrográfica do Rio Acari.

Resultados positivos são observados também para o eixo estruturante de economia com ganhos de 62,9% quando comparadas a situação atual e a situação de projeto. Os 26 pontos comerciais ainda expostos a inundações e possíveis perdas e danos na situação pós projeto representam apenas 7,8% do total de centros comerciais levantados para a bacia hidrográfica.

O Patrimônio Cultural é o eixo que apresenta os melhores resultados. Para a situação atual havia na bacia 5 estruturas de relevância cultural em exposição a inundações. Após a implementação do projeto e do SEL, 100% dos patrimônios da bacia deixam de inundar.

Tabela 10.1 – Principais ganhos trazidos pelo projeto de controle de inundações sobre os demais eixos estruturantes da cidade.

Eixo	Indicador	Situação Atual	Situação de Projeto	Ganhos
Habitação	Domicílios inundados	46398	12291	<u>73,5%</u>
	Lâmina média de inundação dos domicílios (<i>m</i>)	0,37	0,19	<u>48,6%</u>
Esgotamento Sanitário	Áreas contaminadas (<i>km²</i>)	11,5	4,2	<u>63,54%</u>
Mobilidade	Severidade das vias inundadas	0,66	0,22	<u>66,2%</u>
	Estações de metrô e trem inundadas	5	0	<u>100,0%</u>
	Estações de ônibus inundadas	175	94	<u>46,3%</u>
Equipamentos Sociais	Centros de saúde inundados	18	7	<u>61,1%</u>
	Centros educacionais inundados	85	33	<u>61,2%</u>
Economia	Centros comerciais inundados	70	26	<u>62,9%</u>
Patrimônio Cultural	Patrimônios culturais inundados	5	0	<u>100,0%</u>

Além dos ganhos tabelados, podemos destacar os ganhos para o ambiente natural. Considerando que o ambiente apresenta vários ganhos quando os espaços livres de uma bacia possuem coesão e conexão, e levando em conta que os corredores verdes e azuis propostos (curso d'água mais parque fluvial marginal) apresenta um caráter longitudinal que tem o potencial de agregar fragmentos verdes, é esperado que o ambiente natural tenha ganhos.

Para determinar esses ganhos, foram considerados apenas espaços livres com uma dimensão representativa na escala da bacia hidrográfica (áreas maiores que 5 km²). Desta forma, foi realizada uma análise macro do SEL. Na situação atual, a bacia tem 17 grandes áreas de espaços naturais segregados. Com a implantação do parque fluvial proposto, foram conectados 13 trechos de espaços livres naturais. Assim, comparando os dois cenários, temos uma redução de 70,6% do total de espaços livres segregados na visão macro da bacia hidrográfica. A Figura 10.1 mostra a conexão dos principais fragmentos dos espaços livres por intermédio dos corredores fluviais.

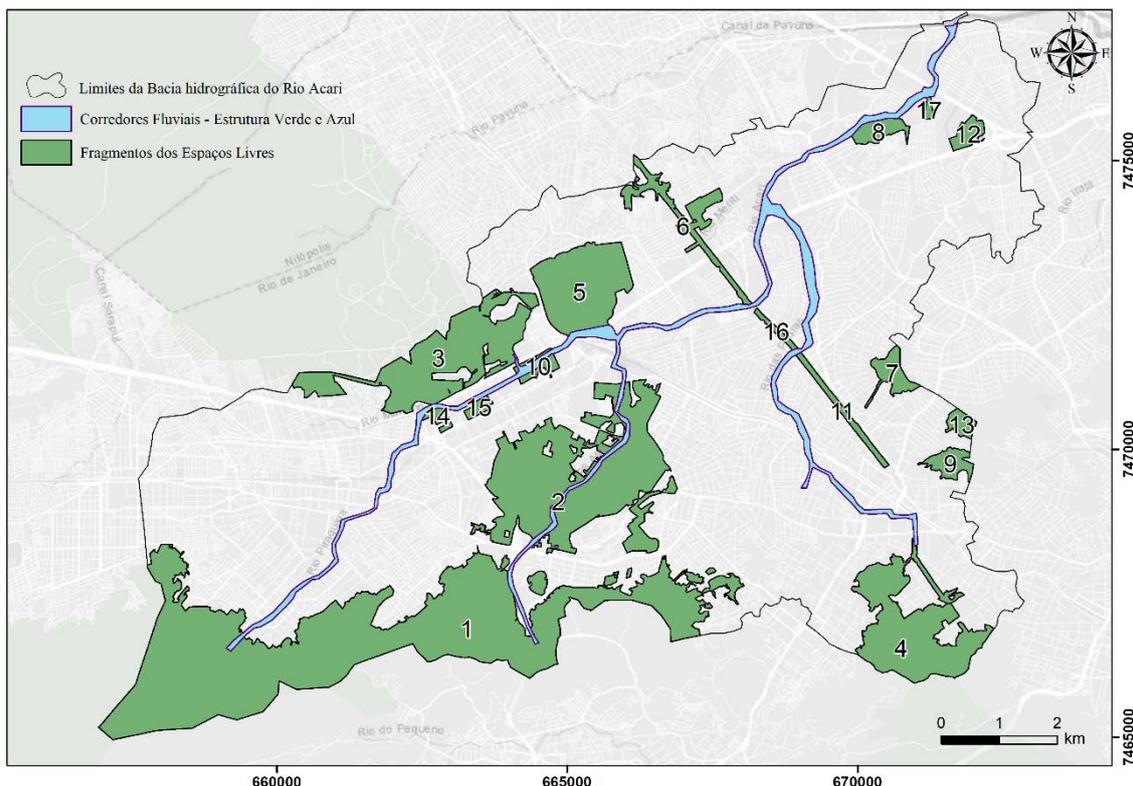


Figura 10.1 – Corredores Fluviais como meio de conexão dos fragmentos dos espaços livres naturais para melhoria ambiental da bacia hidrográfica do Rio Acari

Percebemos que mitigar o problema de inundações traz vantagens significativas para outros eixos estruturantes da cidade quando observamos o recorte da bacia hidrográfica como um todo. Porém, se mudarmos a escala de análise e observarmos bairros ou regiões da cidade com serias falências no setor de drenagem urbana os ganhos trazidos pelo projeto para os diversos eixos de planejamento são muito mais tocantes.

Dessa forma, a seguir serão analisados os resultados da metodologia aplicada com foco em regiões que apresentaram graves problemas na interface de seus eixos estruturantes com o eixo de drenagem urbana.

Bairro de Marechal Hermes

O diagnóstico realizado por este trabalho apresentou o bairro de Marechal Hermes como um dos mais críticos no que diz respeito ao impacto das inundações sobre os diversos eixos de planejamento da cidade. A Figura 10.2 apresenta os resultados da metodologia aplicada neste trabalho com foco no bairro em questão.

Analisando especificamente resultados os resultados dos indicadores para este bairro obtemos 2.161 domicílios inundados para a situação atual e 540 domicílios inundados para a situação de projeto, apresentando 75% de ganhos. Em relação à lâmina média de inundação, há ganhos de 55% quando comparadas as lâminas médias da situação atual (67 centímetros) e da situação de projeto (30 centímetros).

Em relação aos pontos comerciais são observados ganhos de 66,7%. Em relação ao eixo de equipamentos comerciais, os 13 centros educacionais e os 3 centros de saúde inundados na situação atual não inundam na situação de projeto, ou seja, possuem um ganho de 100%.

Vale destacar também que a estação de Marechal Hermes, importante para o eixo de patrimônio cultural e que estava exposta a inundações com mais 2 outros Patrimônios culturais do bairro, não apresentam inundações pós projeto.

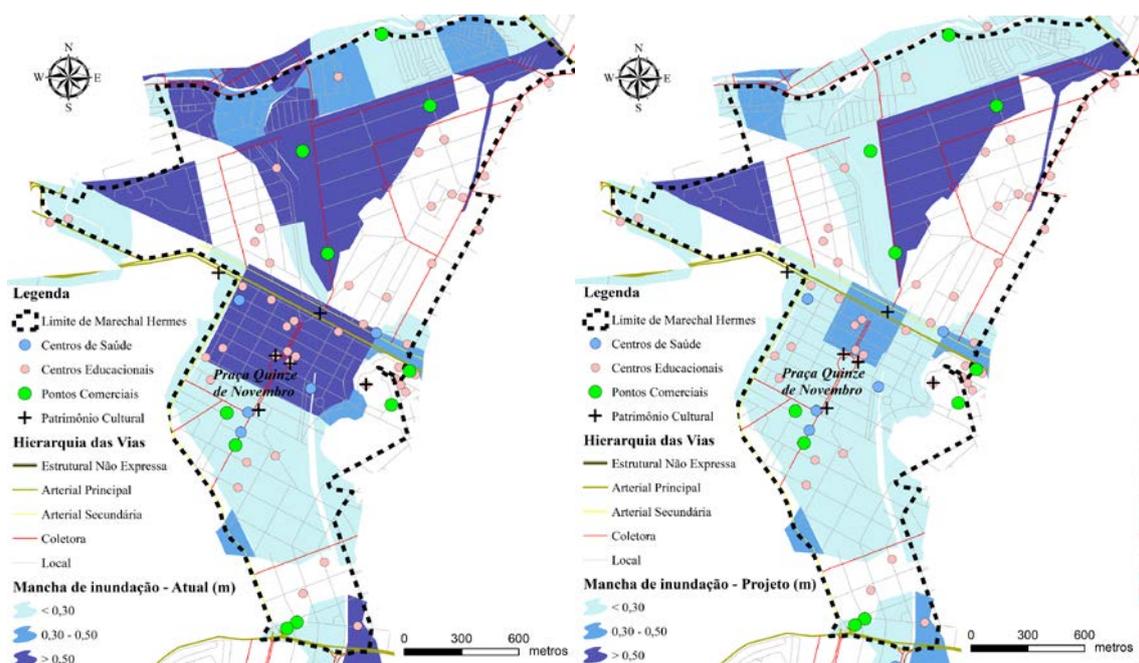


Figura 10.2 – Ganhos trazidos ao bairro de Marechal Hermes.

Bairro de Acari

As maiores lâminas de inundação foram encontradas nas proximidades do bairro de Acari. A região se apresenta como crítica segundo o diagnóstico realizado pelo presente trabalho. A Figura 10.3 apresenta as interações entre os principais eixos estruturantes com o eixo de drenagem urbana tanto na situação atual como na situação de projeto.

Analisando os resultados observamos que o bairro apresenta ganhos de 83% no eixo de economia (Partindo de 6 centros comerciais inundados na situação atual para apenas 1 na situação de projeto) e de 100% para o eixo de Equipamentos Sociais (Onde o único centro de saúde que inundava para a situação atual não apresenta mais riscos pós projeto).

Porém, os principais resultados são observados para o eixo de habitação. Na situação atual o bairro apresentava 4.565 domicílios inundados com uma lâmina de média de 92 centímetros, uma região completamente degradada pelo impacto das inundações. A situação pós projeto apresenta apenas 246 domicílios em possibilidade de inundações com uma lâmina média de 33 centímetros para a chuva extrema de tempo de recorrência de 25 anos.

Os resultados observados tanto na escala dos bairros mais críticos diferem muito dos ganhos obtidos para a bacia hidrográfica como um todo. Observamos que por mais que o projeto de drenagem e a determinação do SEL devam ser realizados utilizando a bacia

hidrográfica como unidade de planejamento, em relação aos demais eixos de planejamento da cidade é fundamental que as análises sejam complementadas visando a escala local, levando em considerações particularidades urbanas, sociais e culturais de cada favela, bairro, região ou unidade de planejamento.

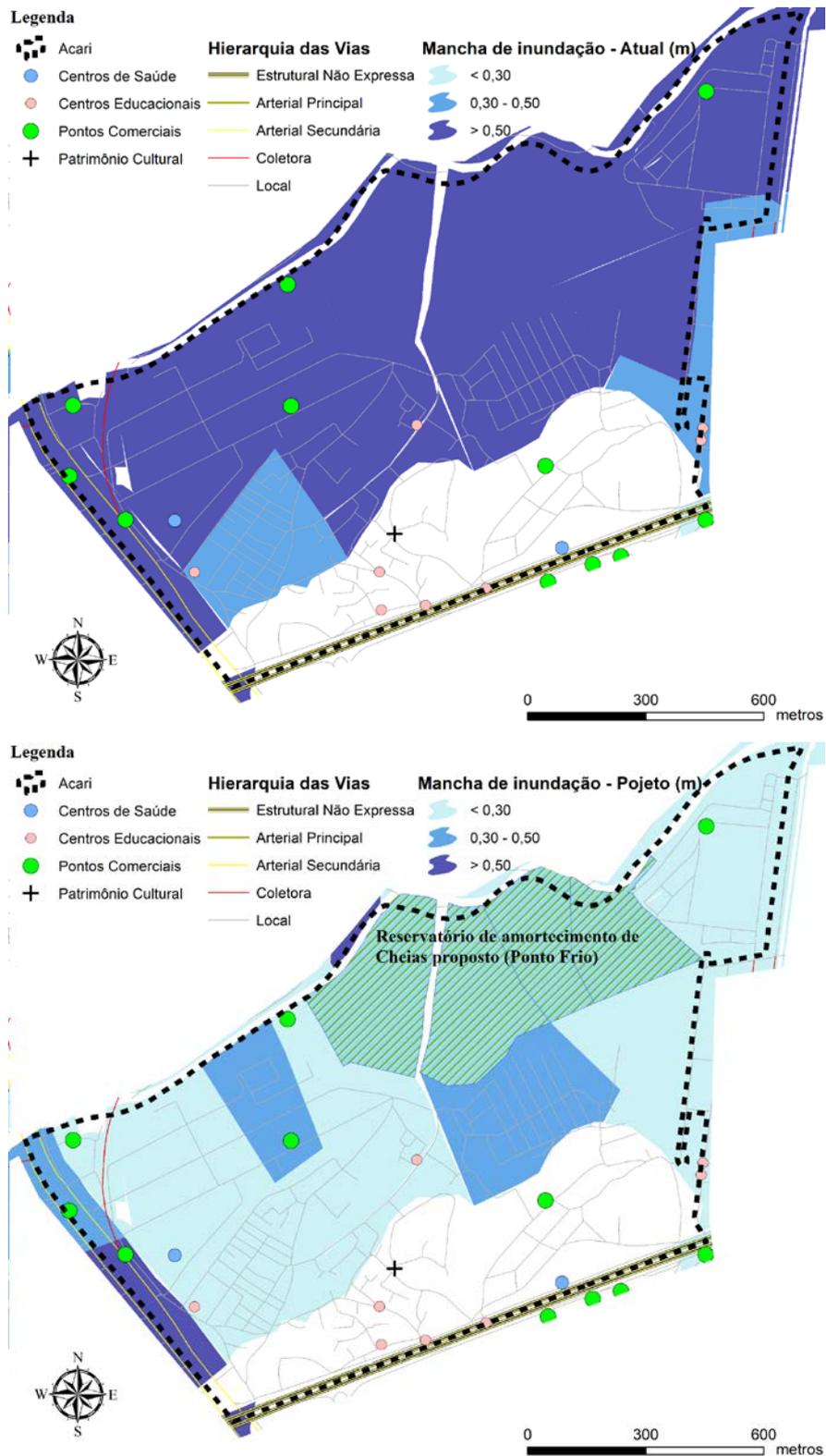


Figura 10.3 – Ganhos trazidos ao bairro de Marechal Hermes.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese de trabalho propõe o sistema de drenagem como um sistema estruturante para o planejamento urbano e deve, por este motivo, ser previamente organizado e projetado, antes do desenvolvimento da cidade, a fim de integrar as demandas naturais e urbanas de forma harmônica, garantindo o desenvolvimento das funções ambientais e o funcionamento dos sistemas urbanos, sem prejuízo para ambas as partes. Nesse contexto, a drenagem deve intermediar o processo de geração de escoamentos e de passagem da cheia pela rede hidrográfica, através da cidade, de forma segura, sem prejuízo dos sistemas urbanos e garantindo a integração de ganhos ambientais e de biodiversidade para a própria cidade.

Em um contexto ideal, a organização do sistema de drenagem passa pela preservação dos fundos de vale, a valorização das áreas úmidas, a integração dos rios e corpos d'água, de forma geral, à paisagem urbana e pelo controle de impermeabilização do solo. Entretanto, de forma mais realista, em cidades que já alcançaram um elevado grau de crescimento urbano, o sistema de drenagem deve ser avaliado de forma diagnóstica, quanto ao seu funcionamento, para correção de possíveis distorções no cumprimento de seus objetivos básicos de propiciar ambientes urbanos saudáveis. Mesmo nesta segunda situação, em que idealmente a prevenção não pode mais ser exercida de forma plena, uma vez que a urbanização pode já ocupar um espaço que originalmente pertencia às águas, o reconhecimento do papel da drenagem precisa ser explicitado e a mitigação de problemas de inundação precisa ser objeto de planejamento e projeto, de forma preliminar aos planos de desenvolvimento urbano, que configuram documentos produzidos ciclicamente em um processo contínuo de planejamento urbano. Áreas frágeis e sujeitas a inundação devem ser evitadas e, caso já ocupadas, não podem ser locais de adensamento populacional ou preferências para ocupação. Áreas alagáveis ciclicamente podem ser objeto de planejamento diferenciado, conjugado com códigos e posturas de obra que prevejam edificações mais resistentes à inundação ou previstas sob pilotis, para evitar danos maiores nos alagamentos eventuais. Note-se que, mesmo com medidas de mitigação, locais naturalmente frágeis ainda serão objeto de sujeição a riscos residuais e, portanto, precisam de proteção no processo de desenvolvimento urbano.

Devido a sua interface com os demais eixos de planejamento, a drenagem urbana (e as falhas de funcionamento que podem gerar inundações e alagamentos) pode ser uma

agente de degradação do espaço, no caso de falhas sucessivas, com alta repetição temporal, sem tempo para recuperação da cidade, ou impulsionadora de desenvolvimento, caso produza condições adequadas para o desenvolvimento das funções urbanas, valorizando o ambiente construído e utilizando o rio como fator de atração para o desenvolvimento e não condutor de deterioração urbana.

Portanto, o sistema de drenagem pode (e deve) ser visto como um caminho para ordenar espaços urbanos, quando se trabalha preventivamente, ou como um catalisador de mudanças, quando a mitigação de inundações é necessária. A necessidade de mitigação, por sua vez, leva à uma busca por espaços de armazenamento e possibilidades de infiltração, no intuito de recuperar funções hidrológicas perdidas durante a própria expansão urbana. Nesse contexto, o trabalho apresentado verificou a importância do sistema de espaços livres de uma bacia hidrográfica para o sistema de manejo de águas pluviais e o considerou como fundamental para a sustentabilidade, criando harmonia entre o ambiente construído e o espaço livre.

O déficit de capacidade de condução das águas pluviais pelas tradicionais redes de drenagem resulta em um volume de inundações espalhados pela cidade. Ao integrar os espaços livres como soluções multifuncionais na rede de manejo de águas pluviais, potencializa-se soluções para armazenamento do sistema de drenagem. Assim, parte do sistema de espaços livres pode ser utilizado como reservatórios de amortecimento, diminuindo os picos de vazão nos eventos extremos, ou como reservatórios de retenção, com lagos permanentes. Isso, além de aumentar as oportunidades de infiltração retirando parte da água do sistema e devolvendo para o solo, oferece a possibilidade de melhoria na qualidade da água. Outra percepção importante vem da possibilidade de utilizar este sistema de espaços livres também para a recomposição ambiental. Em geral, é frequente encontrar uma grande fragmentação de áreas verdes em cidades mais densas. O uso de parques lineares ao longo dos rios oferece caminhos longitudinais capazes de diminuir esta fragmentação, conectando áreas verdes naturais e parques urbanos em uma rede de caminhos que favorecem o fluxo de matéria e energia.

A concepção do Sistema de Espaços Livres neste trabalho é um produto a ser desenvolvido, uma vez que o foco principal recaiu na definição de áreas importantes para o sistema de drenagem, sem a participação de um urbanista ou paisagista, em uma composição multidisciplinar que seria fundamental em uma proposta final. Porém, o

sistema proposto foi considerado fundamental para composição da paisagem e qualificação do ambiente urbano em sua interface com as demandas do ambiente natural. Mesmo que estes ganhos não tenham sido quantificados especificamente, a integração dos espaços livres de uma bacia contribui significativamente para promover a aproximação da sociedade com o meio natural.

Este trabalho produziu uma revisão bibliográfica extensa, dentro das limitações de tempo, de forma a construir este arcabouço conceitual que aqui se apresenta fechando o trabalho, e desenvolveu uma metodologia de base, que pode ser replicada em bacias hidrográficas urbanas de forma geral. A metodologia de trabalho aqui proposta, também usada para validação da hipótese postulada, utiliza ferramentas de modelagem computacional para o diagnóstico das inundações e para a prospecção de cenários de projeto. Adicionalmente, uma série de indicadores foram propostos para verificação dos ganhos da implementação de um projeto multifuncional de drenagem apoiado em um sistema de espaços livres, para representar as interações entre todos os eixos estruturantes da cidade considerados (habitação, sistemas de esgotamento sanitário, mobilidade, equipamentos sociais, economia e patrimônio cultural) e o eixo estruturante da drenagem urbana.

De forma específica e como caso de estudo, foi trazida para discussão a bacia do Rio Acari, na cidade do Rio de Janeiro, que tem enormes problemas de inundação, um histórico de ocupações inadequadas, com fragilidades ambientais e urbanas e vetores diversos de degradação, com lacunas importantes de infraestrutura e uma população carente, que sofre muito com inundações e condições precárias de saneamento. A bacia do Rio Acari tem ainda limitados espaços livres, principalmente em sua área mais baixa, onde a ocupação é muito densa e áreas de ocupação informal e irregular toma as margens do rio.

O diagnóstico do sistema de macrodrenagem do Rio Acari realizado com auxílio de simulações matemáticas permitiu observar extravasamentos dos cursos d'água em diversos locais. A região mais crítica em relação às inundações se encontra no trecho mais a jusante do Rio Acari, entre o Rio dos cachorros e o Rio Calogi. Este trecho apresenta severos problemas de inundação gerados pelo grande volume de águas pluviais da bacia contribuinte como um todo que acabam se acumulando nesta área mais baixa, somados à incapacidade de escoamento do Rio Acari e à falta de margens de inundação para

alocação dos volumes de cheia. São encontradas nesta região lâminas de inundação urbanas superiores a 2 metros.

A construção de um projeto de macrodrenagem idealizado para controle das críticas inundações encontradas na bacia do Rio Acari contou com a realização de diversas simulações matemáticas com o auxílio do MODCEL, em etapas intermediárias e acumulativas de construção do projeto, que foram fundamentais para a escolha das intervenções apropriadas para a realidade da bacia hidrográfica perante a sua dificuldade em encontrar espaços para alocação do volume de cheias. O projeto final escolhido contou com correções estruturais básicas do sistema de drenagem urbana (revisão dimensionais de pontes e galerias), a limpeza e dragagem dos principais cursos d'água, a implementação dos reservatórios propostos no âmbito do PDMAP, a incorporação de um Sistema de Espaços Livres com foco no controle de cheias e sua complementação com parques fluviais.

As manchas de inundação gerada pelas falhas do sistema de drenagem na situação atual e na situação de projeto foram sobrepostas com as diversas camadas representativas dos demais eixos de planejamento. A sobreposição das camadas permitiu encontrar indicadores predecessores e posteriores à implementação do projeto e do SEL e quantificar os ganhos trazidos à cidade pelo bom funcionamento de um sistema de macrodrenagem. Os ganhos trazidos pela implementação da proposta foram considerados excelentes e geraram: 73,5% de redução dos domicílios inundados; 48,6% de redução da lâmina média de inundação dos domicílios; 63,54% de diminuição de áreas contaminadas pela inundação de sistemas de esgotamento domiciliares; 66,2% de atenuação da severidade das vias inundadas; 47,8% menos estações do sistema de mobilidade urbana inundadas; 61,1% menos centros de saúde inundados; 61,2% de redução de centros educacionais inundados; ganhos trazidos a economia da bacia por mitigação de 62,9% das inundações em centros comerciais; e 100% de redução de patrimônios culturais inundados.

Especificar um sistema de espaços livres (SEL) multifuncionais na bacia e controlar o futuro uso e ocupação do solo em áreas estratégicas é uma parte significativa na metodologia de recuperação do sistema de drenagem. Como visto no caso estudado, os esforços para recuperar áreas degradadas por inundações são enormes, exigindo a

incorporação de áreas de diversas áreas com usos já definidos no sistema de espaços livres; no entanto, os ganhos obtidos pela bacia como um todo são muito relevantes.

Levando em consideração somente o sistema habitacional como exemplo, o reassentamento de 2.300 domicílios para incorporação de áreas ao sistema de drenagem urbana fez com que 34.107 domicílios que se encontravam degradados pelas inundações passassem a não inundar em relação à chuva extrema de 25 anos de recorrência adotada. Os resultados representam uma eficiência de 15 domicílios não inundados a cada domicílio de uma área de risco reassentado.

Os resultados obtidos no caso corroboram com as hipóteses propostas, mostrando que as cidades com um uso ordenado e sustentável do solo, respeitando a dinâmica da água e preservando os espaços de água, podem responder de forma mais eficiente às inundações.

Os espaços livres multifuncionais propostos para incorporar a dinâmica das águas foram capazes de reduzir significativamente os níveis de água no rio principal, diminuindo as áreas inundadas e aumentando a segurança das estruturas hidráulicas na faixa de inundação. Pode ser destacado, assim, que um projeto adequado de sistema de drenagem deve preceder o planejamento urbano, evitando expor a população ao risco e, conseqüentemente, evitando a necessidade de ações de mitigação.

Como principal conclusão, considera-se que a drenagem deve ser consolidada como eixo estruturante do planejamento urbano, gerando oportunidades e desenvolvimento para outros eixos, demarcando locais de acordo com o risco de inundação que devem guiar o desenvolvimento da cidade; e gerando uma interface amigável entre os ambientes naturais e construídos.

O trabalho não esgota a discussão sobre os impactos da drenagem nos diversos eixos da cidade, porém, abre caminho para a determinação da drenagem como estruturador do espaços e planejamento urbano.

Para realização de estudos posteriores, é indicada a incorporação das seguintes atividades:

- 💧 Obter informações mais completas dos principais elementos que compõem os demais eixos de planejamento da cidade, de preferência a partir de fontes oficiais;
- 💧 Desenvolver os indicadores iniciais de impactos da drenagem sobre a cidade de forma a enriquecer mais as discussões;

- 💧 Verificar a viabilidade de utilizar diferentes tempos de recorrência de eventos extremos para cada eixo impactado pela drenagem, de forma a incorporar na equação dos indicadores a capacidade de resistência dos eixos em relação às inundações;
- 💧 Verificar a viabilidade de utilização de diferentes tempos de recorrência por bairro ou região administrativa, de forma a particularizar as respostas locais às inundações;
- 💧 Calcular o prejuízo em reais (R\$) utilizando uma metodologia de quantificação de perdas e danos de desastres de inundação sobre os diversos eixos da cidade, integrados em um horizonte de planejamento;
- 💧 Calcular o valor da implementação do sistema de espaços livres e do sistema de drenagem proposto;
- 💧 Verificar em termos monetários a viabilidade da proposta e determinar o horizonte de retorno do investimento.

Uma outra questão interessante se refere a aplicação e interpretação dos indicadores propostos em diferentes escalas. A lógica de trabalho em problemas de drenagem utiliza a bacia hidrográfica como área de planejamento, mas não se deve esquecer das particularidades dos eixos diversos em escalas menores de planejamento, dentro da cidade, uma vez que indicadores gerais para a bacia como um todo, podem não retratar realidades locais. Um exemplo disso foi observado quando os bairros de Acari e Marechal Hermes tiveram os indicadores de interface dos eixos com a drenagem quantificados de forma separada. Os resultados mostraram que para a situação de diagnóstico, os indicadores obtidos para a bacia como um todo não retratavam de forma correta a realidade destes bairros, que apresentavam prejuízos muito maiores no que diz respeito a inundações. Da mesma forma, após a implementação do projeto, os ganhos gerais apresentados para a bacia hidrográfica eram inferiores aos ganhos trazidos para estes bairros pela mitigação das inundações. Não se defende apenas um olhar local para a interação dos eixos da cidade com a drenagem, mas sim a necessidade de abordar os problemas da cidade sempre com diversas escalas de planejamento, complementando a visão macro da bacia com a visão meso e micro, sempre que identificadas diferenças urbanas locais. Nesse contexto, seria possível e desejável evoluir a avaliação de indicadores de um número integrado para a bacia, para mapas especializados, com possibilidade de visualização de áreas mais ou menos carentes em cada eixo específico.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, A. K. et al. Urbanismo: história e desenvolvimento. Escola Politécnica Da Universidade De São Paulo Departamento De Engenharia De Construção Civil. São Paulo-SP, 1995.

AHERN, J. Sustainability, Urbanism and Resilience. Palestra na Primeira Conferência de Humanidades e Indústria Criativa, Universidade de Tecnologia Nacional Chyn-Yi, Taichung, Taiwan, 4 de junho de 2009. pp. 4-22.

ALTMAN, M. Hoje na história: 1966 – Cheia de Florença mata dezenas de pessoas e danifica incontáveis obras de arte. Opera mundi. 2013. Disponível em: <<http://operamundi.uol.com.br/conteudo/historia/32231/hoje+na+historia+1966++cheia+em+florenca+mata+dezenas+de+pessoas+e+danifica+incontaveis+obras+de+art e.shtml>>. Acessado em 02 de Junho de 2018.

ANDRÉ, R. G. B. et al. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 23, n. 4, dez. 2008.

ARGUE, J. R.; PEZZANITI, D. Catchment “greening” using stormwater in Adelaide, South Australia. Water Science and Technology. pp. 177-183. 1999.

ARMAS I.; AVRAM E. Perception of flood risk in Danube Delta, Romania. Natural Hazards, 2009.

ARMOND, N. B.; NETO, J. L. S. Utilização de mídia impressa na identificação e análise de episódios extremos de chuva no município do Rio de Janeiro. Revista Geonorte, Edição Especial, v. 2, p. 774-785, 2012.

ARRUDA, M. As nove dimensões do FIB. Cooperadamente, Mogi das Cruzes, v. 13, 2009.

BANCO MUNDIAL. Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Santa Catarina - Novembro de 2008. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado de Santa Catarina, 2012a.

BANCO MUNDIAL. Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Alagoas - Junho de 2010. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado de Alagoas. Novembro de 2012b.

BANCO MUNDIAL. Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Pernambuco - Junho de 2010. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado de Pernambuco, 2012c.

BANCO MUNDIAL. Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro de 2011. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2012d.

BARBOSA, A. A. Q. et al. Metodologia para Levantamento e Classificação dos Espaços Livres de uma Bacia Hidrográfica com Foco na Solução dos Problemas de Drenagem Urbana. Congresso ABES FENASAN 2017. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.

BOTZEN W. J. W.; AERTS J. C. H. J.; VAN DEN BERGH J. C. J. M. Dependence of flood risk perceptions on socioeconomic and objective risk factors. *Water Resources Research*, 2009; 45:1–15.

BOUSTAN, L. P. et al. The Effect of Natural Disasters on Economic Activity in US Counties: A Century of Data. National Bureau of Economic Research, 2017.

BRASIL, Lei. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Diário Oficial da República Federativa do Brasil eletrônico, p. 19.457, 1979.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, 2007.

BRASIL. Lei nº 11.445/ 2007, de 5 de janeiro de 2007. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Esta Lei estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.

BRASIL. Lei nº 13.308, de 6 de julho de 2016. Altera a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determinando a manutenção preventiva das redes de drenagem pluvial.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2011. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília, DF: CENAD, 2012.

BRASIL. Projeto de Lei Complementar Nº 33/2013. Define as condições disciplinadoras de uso e ocupação para ordenamento territorial da Cidade do Rio de Janeiro. Poder Executivo. Diário Oficial da União, 2013.

BRILLY M.; POLIC M. Public perception of flood risks, flood forecasting and mitigation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2005.

BRODY, S. D. et al. Evaluating the effects of open space configurations in reducing flood damage along the Gulf of Mexico coast. *Landscape and Urban Planning*, v. 167, p. 225-231, 2017.

BRODY, S. D.; HIGHFIELD, W. E. Open space protection and flood mitigation: A national study. *Land use policy*, v. 32, p. 89-95, 2013.

BUENO, L. M. M. Cidades e mudanças climáticas no Brasil: planejamento de medidas ou estado de risco? In: *Sustentabilidade em debate*. Brasília, v.2, n.1, p.81-98, jan/jun 2011.

BURIAN, S. J. et al. Historical development of wet-weather flow management. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 125(1): 3-11. 1999.

BURIAN, S. J.; EDWARDS, F. G. Historical Perspectives of Urban Drainage. *Global Solutions for Urban Drainage*. Urban Drainage. 2002.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. *Urban Drainage*. Segunda Edição. Editora Spon. 2004.

CAPPS, K., BENTSEN, C. AND RAMÍREZ, A. Poverty, urbanization, and environmental degradation: urban streams in the developing world. *Freshwater Science*, 35(1), pp.429-435, 2016.

CARNEIRO, P. R. F. Controle de inundações em bacias metropolitanas, considerando a integração do planejamento do uso do solo à gestão dos recursos hídricos. Estudo de caso: bacia dos rios Iguaçu/Sarapuí na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Tese de doutorado. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

CAVALLIERI, F.; LOPES, G. P. Índice de Desenvolvimento Social-IDS: comparando as realidades microurbanas da cidade do Rio de Janeiro. Coleção Estudos Cariocas, v. 20080401, 2008.

CENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. *Mecânica dos fluidos-3*. AMGH Editora, 2015.

CHANDRASENA, D. C. N. et al. Blocked Drains Syndrome: Physical Degradation of the Storm Drainage System in a Compact City. *Advanced Science Letters*, v. 23, n. 2, p. 1407-1411, 2017.

CHARLESWORTH, S. M. et al. A Review of Sustainable Drainage Systems (SuDS): A Soft Option for Hard Drainage Questions? *Geography*. Vol. 88, No. 2, pp. 99-107. 2003.

CHOAY, F. O Urbanismo. 3ª Edição. 1992.

CONSORCIO HIDROSTUDIO - FCTH. Plano Diretor De Manejo De Aguas Pluviais Do Município Do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.

COPPE/UFRJ -PNUD. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Iguaçu/Sarapuí, com Ênfase no Controle de Inundações. Relatório Final IG-RE-029-R0 – SERLA, Rio de Janeiro, 1996.

COPPETEC, 2009. Plano Diretor de Recursos Hídricos, Recuperação Ambiental e Controle de Inundações da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí, Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente, COPPE/UFRJ. Disponível em: <www.hidro.ufrj.br>. Acesso em: 10 de janeiro de 2010.

COSTA, H.; TEUBER, W. Enchentes no Estado do Rio de Janeiro—uma abordagem geral. Rio de Janeiro [RJ]: SEMADS, 2001.

COSTA, R. G. R. Entre “Avenida” e “Rodovia”: a história da Avenida Brasil. (1906-1954). Thesis. Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, 2006.

CUTTER, S. L. et al. Flash Flood Risk and the Paradox of Urban Development. *Natural Hazards Review*, v. 19, n. 1, p. 05017005, 2017.

DE CASTRO, E.; WOJCIECHOWSKI, M. J. (Ed.). *Inclusão, colaboração e governança urbana: perspectivas canadenses*. University of British Columbia, 2010.

DRAMSTAD, W. E.; OLSON, J.; & FORMAN, R. *Landscape ecology principles in landscape architecture and land-Use planning*. Washington, DC: Island Press, 1996.

EMBRECHTS P, KÜPPELBERG C, MIKOSCH T. *Modelling extremal events for insurance and finance*. New York: Springer; 1997.

EUROPEAN COMMISSION, 2012. COM 673 final. *A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources*, 2012.

FABER, R., 2006. *Flood risk analysis: Residual risks and uncertainties in an Austrian context*. Tese de Doutorado. University of Natural Resources, Viena, Áustria.

FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*. Segunda edição. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. p.1 731

FREITAS, C. M. et al. *Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil*. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, p. 3645-3656, 2014.

GLAESER, E. L., & GYOURKO, J. *Durable housing and urban decline*. *Journal of Political Economy*, 113(2), 345-75, 2005.

GOITIA, F. C. *Breve história do urbanismo*, Lisboa, Editorial Presença, 1989.

PROJETO MEGACIDADES. *Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças climáticas: Região Metropolitana do Rio De Janeiro*. 2011.

GUIMARÃES, L. F., *Metodologia para avaliação da capacidade de recuperação em função de prejuízos de sucessivos eventos de inundação*. Dissertação (Mestrado), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

HANDMER, J. W., (1986), "Anuflood in New Zealand: Part2 - Background to Flood Loss Measures", Center for Resource and Enviromental Studies, Hamilton, New Zealand.

HECHTMAN, R., & LEIRAS, A. Análise comparativa de desastres no Brasil usando a metodologia DaLa (Damage & Loss assessment). Relatório resumo 2014, PUC-RIO, Rio de Janeiro, Brasil. 2014. Disponível em: http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2014/relatorios_pdf/ctc/IND/IND-Rebeca%20Hechtman.pdf

HELDERS, Stefan. World Gazetteer. World Gazetteer, 2005.

IBGE, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010.

IBGE, 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Grade Estatística.

KENNEDY, R. Especialistas recuperam pintura que quase se perdeu com inundação nos anos 60. The New York Times. 2013. Disponível em: <<https://cultura.estadao.com.br/noticias/geral,especialistas-recuperam-pintura-que-quase-se-perdeu-com-inundacao-nos-anos-60,1112942>>. Acessado em 31 de Maio de 2018.

LEOPOLD, L. B., 1968, Hydrology for Urban Land Planning - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use, U.S. Geological Survey Circular 554, United States - Department of Interior, Washington, 18p.

LOURENÇO, I. B. et al., Corpos hídricos e suas fragilidades nos processos de planejamento e gestão das cidades: um estudo de caso da área de proteção ambiental do Alto Iguaçu. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

MACHADO, M. L. et al. Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. Revista de gestión del agua de América Latina, v. 2, n. 1, p. 35-52, 2005.

MAGALHÃES P. C. et al., Operação do Serviço de Esgoto sob o Princípio do Poluidor-Pagador. XI Encontro Nacional de Águas Urbanas. Belo Horizonte, 5 a 7 de julho de 2017.

MAGALHÃES, P. C. et al., Avaliação Da Área De Proteção Ambiental Do Alto Iguaçu Com Foco No Controle De Inundações. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

MAGALHÃES, P. C., MIGUEZ, M. G., Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – Eixo Estruturante de Saneamento e Resiliência Ambiental. Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro, 2018.

MANER, A.W. Public works in ancient Mesopotamia. *Civil Engineering*, 36(7), 50-51. 1996.

MASCARENHAS, F. C. B. et al. *Flood risk simulation*. WIT, 2005.

MCCONNELL, V.; WALLS, M. The value of open space: evidence from studies of Nonmarket benefits. *Resources for the Future*. January 2005.

MCKEE, L. et al. A review of urban runoff processes in the Bay Area. *San Francisco Estuary Institute Contribution*, 66, 2003.

MEDEIROS, C. F.; AFONSO, S. Espaços livres públicos: Utilização de infraestrutura verde para otimizar a drenagem urbana nos centros históricos. *Paisag. Ambiente: Ensaios*. N. 39, p 83-111. São Paulo, 2017.

MEEROW, S. & NEWELL, J. P. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, v. 159, p. 62-75, 2017.

MIGUEZ, M. G. et al. Urban Agglomeration and Supporting Capacity: The Role of Open Spaces within Urban Drainage Systems as a Structuring Condition for Urban Growth. In: *Urban Agglomeration*. In Tech, 2018.

MIGUEZ, M. G.. Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas. 2001. 410 f. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

MIGUEZ, M. G.; REZENDE, O. M.; VERÓL, A. P. *Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade*. Elsevier Brasil, 2015.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; CARNEIRO, P. R. F. Sustainable drainage systems: an integrated approach, combining hydraulic engineering design, urban land control and river revitalisation aspects. INTECH Open Access Publisher, 2012.

MIRANDA, F. M. *Índice de Susceptibilidade do meio Físico a Inundações como ferramenta para planejamento urbano*. Dissertação de mestrado. Programa de Engenharia Civil – COPE/UFRJ, 2016.

MONTGOMERY, M.; KUNREUTHER, Howard. Pricing storm surge risks in Florida: Implications for determining flood insurance premiums and evaluating mitigation measures. 2017.

MOONEY, C. Z. Monte Carlo Simulation. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences. A Sage University Paper. 1997. Disponível em <<https://books.google.com.br/>> Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

MUNICH RE (2012) Severe Weather in North America (Munich RE, Munich, Germany), 2012.

MUSEU. Maior acervo de arte popular do Brasil está novamente ameaçado. Revista Museu. 2017. Disponível em: <<https://www.revistamuseu.com.br/site/br/noticias/nacionais/3712-14-11-2017-maior-acervo-de-arte-popular-do-brasil-esta-novamente-ameacado.html>>. Acessado em 29 de Maio de 2018.

NCA U.S. National Climate Assessment Report. U.S. Global Change Research Program Washington DC, 2014. Disponível em <<http://nca2014.globalchange.gov/downloads>> Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

NCDC Billion-dollar weather and climate disasters, 2014. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/billions>> Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

NIEMCZYNOWICZ, J. State of the art in urban stormwater design and research. Workshop and Inaugural Meeting of UNESCO Center for Humid Tropics Hydrology. Malaysia, 1997.

OLIVEIRA, A. K. B. et al. Avaliação do Uso de Reservatórios Individuais de Detenção de Águas Pluviais para Controle de Inundações Urbanas, Com Auxílio do Modelo de Células de Escoamento – MODCEL. Congresso ABES FENASAN 2017. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.

OLIVEIRA, A. K. B. et al., O Papel da Concepção de Espaços Livres no Planejamento da Paisagem, Com Foco na Drenagem Urbana e Controle de Inundações: Um Estudo de Caso para a Cidade Dos Meninos em Duque de Caxias/RJ. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

PARKINSON, J.; MARK, O. Urban stormwater management in developing countries. IWA publishing. 2005.

PECK, S. (1998). Planning for biodiversity: Issues and examples. Washington, DC: Island Press.

POLETO, C; TASSI, R. Sustainable Urban Drainage Systems. Drainage Systems. Prof. Muhammad Salik Javaid (Ed.), Intech. 2012.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Programa Acari Projeto Rio Vivo. Secretaria Municipal de Urbanismo. Coordenadoria de Planos Locais 3a. Gerência De Planos Locais- 3a. GPL, setembro de 2007.

PRYCE, G.; CHEN, Y.; GALSTER, G. The impact of floods on house prices: an imperfect information approach with myopia and amnesia. Housing Studies, v. 26, n. 02, p. 259-279, 2011.

REZENDE, O. M. Análise Quantitativa da Resiliência a Inundações para o Planejamento Urbano: Caso da Bacia do Canal do Mangue no Rio De Janeiro. 260 f. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

REZENDE, O. M. Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à baixada fluminense. Dissertação (Mestrado), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

RIBEIRO, D. A enchente de Florença de 1966: O dia em que o Arno transbordou. 2016. Disponível em: <<https://passeiosnatoscana.com/2016/10/25/a-enchente-de-florenca-de-1966/#jp-carousel-23241>>. Acessado em 01 de Junho de 2018.

ROBERTS, E.; PELLING, M. Climate change-related loss and damage: translating the global policy agenda for national policy processes. Climate and Development, v. 10, n. 1, p. 4-17, 2018.

SANTOS, M. Pensando o espaço do homem. Edusp, 2004.

SÃO BERNARDO DO CAMPO, Defesa Civil. Enchente, Inundação, Alagamento ou Enxurrada? Disponível em: SÃO BERNARDO DO CAMPO, Defesa Civil. Enchente, Inundação, Alagamento ou Enxurrada? Disponível em: <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>> Acesso em: 08/01/2018

SCHLEE, M. B. et al. Sistema de Espaços Livres nas Cidades Brasileiras – um Debate Conceitual. In Revista Paisagem e Ambiente - Ensaios n°. 26. São Paulo: FAU-USP, 2009. ISSN 1517-2422. p.225-247.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Contribuição para Formulação da Política Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2003.

SILVEIRA, A., Problems of modern urban drainage in developing countries. Water Science and Technology, v. 45, n. 7, p. 31-40, 2002.

SILVEIRA J. A. R. et al. Espaços Livres Públicos: lugares e suas interfaces intraurbanas – João Pessoa: AB Editora, 2016. Acesso: <http://laurbeufpb.wixsite.com>

SMITH A. B., KATZ R. W. U.S. billion-dollar weather and climate disasters: Data sources, trends, accuracy, and biases, 2013. Nat. Hazards 67:387–410. doi: 0.1007/s11069-013-0566-5

SOUSA, M. M. Comparação entre Ferramentas de Modelagem Unidimensional e Quasi-Bidimensional, Permanente e Não-Permanente, em Planejamento e Projetos de Engenharia Hidráulica. Dissertação (Mestrado), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

SOUSA, M. M. Avaliação Comparativa de Metodologias de Modelagem Hidráulica 2D e seu Impacto na Interpretação e Avaliação de Ondas de Cheia. 324 f. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

SOUZA, M. S. Os Impactos das Políticas Agrárias e de Saneamento na Baixada Fluminense. Revista Pilares da História, Duque de Caxias, n. 6, p.17-25, abr. 2006.

TARDIN, R. Espaços Livres: Sistema e Projeto Territorial, 2008.

TEJASWINI, V.; SATHIAN, K. K. (2018). Calibration and Validation of Swat Model for Kunthipuzha Basin Using SUFI-2 Algorithm. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(1), 2162-2172.

TERPSTRA T. Flood Preparedness: Thoughts, Feelings and Intentions of the Dutch Public. Thesis, Twente: University of Twente, 2009.

TIERNEY, K. J. Impacts of recent US disasters on businesses: the 1993 midwest floods and the 1994 Northridge Earthquake. 1995.

TOBIN, G.; MONTZ, B. The flood hazard and dynamics of the urban residential land market, *Water Resources Bulletin*, 30(4), pp. 673–685, 1994.

TOBIN, G.; NEWTON, T. A theoretical framework of flood induced changes in urban land values, *Water Resources Bulletin*, 22(1), pp. 67–71, 1986.

TUCCI, Carlos EM, et al. *Hidrologia*. UFRGS, 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (UFSC-CEPED). Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil. Florianópolis: CEPED -UFSC; 2013a.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (UFSC-CEPED). Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Rio de Janeiro. Florianópolis: CEPED -UFSC; 2013b.

VALENTE, O. F. Reflexões hidrológicas sobre inundações e alagamentos urbanos. *Minha Cidade*, São Paulo, ano 10, n. 109.01, Vitruvius, ago. 2009 Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/10.109/1839>> Acessado em : 08/01/2018.

VAN TIMMEREN, A. et al. Green-blue multifunctional infrastructure: An urban landscape system design new approach. In: ICUD 2014: Proceedings of the 13th IAHR/IWA International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia, 7-12 September 2014. 2014.

VEJA. Inundações provocam mortes na Alemanha e ameaçam obras na França. 2016. Disponível em: < <https://veja.abril.com.br/mundo/inundacoes-provocam-mortes-na-alemanha-e-ameacam-obras-de-arte-na-franca/> >. Acessado em 30 de Maio de 2018.

WALSH, C., ROY, A., Feminella, J., Cottingham, P., Groffman, P. and Morgan, I. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), pp.706-723, 2005.

WANG, L., VAN MEERVELD, H. J.; SEIBERT, J. (2017). When should stream water be sampled to be most informative for event-based, multi-criteria model calibration?. *Hydrology Research*, 48(6), 1566-1584.

WOODS, B. B. et al. *The SUDS Manual (C697)*. Construction Industry Research and Information Association, London. 697 p. 2007.

WORLD BANK. *Damage and Loss Assessment (DaLA) Methodology*. Disponível em: <http://go.worldbank.org/KWCRRCKA20>. Acesso em 08/01/2018.

WRIGGINS, J. *Flood Money: The Challenge of US Flood Insurance Reform in a Warming World*. 2014.

WU, J. *Didactic Approaches in Riverfront City Landscape Design*. 2016.

YOUNG, C. E. F.; POSSAS, E.; PEREIRA, P. J. C.; AGUIAR, C. É Pau, É Pedra: Custo Econômico Dos Desastres Climáticos no Estado do Rio De Janeiro. Trabalho apresentado no X Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (EcoEco), Vitória, setembro 2013.