



**PLANEJAMENTO
ORIENTADO PELA**

ÁGUA

**POSSIBILIDADES DE REABILITA-
ÇÃO DO RIACHO TUAPE**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PPGAU+D | JOANA GUEDES**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO E DESIGN
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO E
DESIGN

JOANA PIMENTEL GUEDES

PLANEJAMENTO ORIENTADO PELA ÁGUA: POSSIBILIDADES DE
REABILITAÇÃO DO RIACHO TUAPE

FORTALEZA

2023

JOANA PIMENTEL GUEDES

PLANEJAMENTO ORIENTADO PELA ÁGUA: POSSIBILIDADES DE
REABILITAÇÃO DO RIACHO TAUAPE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Design da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo e Design. Área de concentração: Produção do Espaço Urbano e Arquitetônico.

Orientador: Prof. Dr. Newton Becker.
Coorientador: Prof. Dr. Daniel Cardoso

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G957p Guedes, Joana Pimentel.
Planejamento orientado pela água : possibilidades de reabilitação do riacho Tauape /
Joana Pimentel Guedes. – 2023.
116 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Design, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Newton Becker Célio de Moura.
Coorientação: Prof. Dr. Daniel Ribeiro Cardoso.
1. Reabilitação hídrica. 2. Resiliência urbana. 3. Geodesign. I. Título.

CDD 720

JOANA PIMENTEL GUEDES

PLANEJAMENTO ORIENTADO PELA ÁGUA: POSSIBILIDADES DE
REABILITAÇÃO DO RIACHO TUAPE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Design da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo e Design. Área de concentração: Produção do Espaço Urbano e Arquitetônico.

Aprovada em: 23/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Newton Becker Célio de Moura (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Daniel Cardoso (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Mariana Monteiro Xavier de Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Ana Clara Mourão Moura
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares e amigos pelo suporte ao longo de toda essa jornada.

Aos meus colegas virtuais que se tornaram amigos reais e a todos os jovens que tornaram esse trabalho possível.

Aos meus orientadores, pelo incentivo, paciência e liberdade fornecidas.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao SOMAR pelo curso básico de QGis, sem o qual certamente esse trabalho não teria sido realizado.

RESUMO

O crescimento das cidades e o conseqüente avanço da urbanização alterou “contrato hidrossocial” – valores e acordos (implícitos ou não) entre as comunidades, governos e empresas sobre como deveria ser feita a gestão dos recursos hídricos. Os rios, essenciais para o desenvolvimento de assentamentos humanos, passaram a ser vistos como obstáculo para a expansão urbana. A implantação de novas formas de manejo das águas, com a otimização do rio para serviços como esgotamento sanitário e drenagem urbana, fragmentou a paisagem natural resultando em cidades não sustentáveis, seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento. O fornecimento de água potável e o acesso a saneamento básico em áreas urbanas têm diminuído, e a sua manutenção e melhoria são os maiores desafios atuais dos gestores públicos frente a tendência global de crescimento da população urbana. Reconhecendo o papel decisivo na preservação, proteção, restauração, reabilitação e reuso dos recursos hidrológicos que o planejamento urbano possui, a presente dissertação constitui uma pesquisa acerca da utilização dos recursos hídricos como o elemento estruturador do planejamento urbano. O Riacho Tauape, localizado na sub-bacia B1 no município de Fortaleza (CE) foi utilizado como objeto de estudo. Por meio da abordagem do Geodesign e da aplicação de ferramentas de modelagem da informação, foram desenvolvidos métodos de avaliação, modificação e verificação de impacto de alterações na sub-bacia B1. Para isso, foram utilizados dados de várias esferas diferentes, de forma a reunir a maior quantidade de informações sobre o local, e células de biorretenção (CBio) foram os elementos utilizados na pesquisa como possíveis meio de reabilitação da área. Ao final, constatou-se que a utilização desses dispositivos tem a capacidade de melhorar as condições ambientais e tornar a área mais resiliente, e os cálculos utilizados demonstram a viabilidade de um planejamento territorial orientado pela água.

Palavras-chave: Reabilitação Hídrica; Resiliência Urbana; Geodesign.

ABSTRACT

The growth of cities and the consequent advance of urbanization changed “hydrosocial contract” - values and agreements (implicit or not) between communities, governments and companies on how water resources should be managed. The rivers, essential for the development of human settlements, came to be seen as an obstacle to urban expansion. The implementation of new forms of water management, with the optimization of the river for services such as sanitation and urban drainage, fragmented the natural landscape resulting in unsustainable cities, either in developed or developing countries. The supply of drinking water and access to basic sanitation in urban areas have decreased, and its maintenance and improvement are the biggest current challenges of public managers in the face of the global trend of urban population growth. Recognizing the decisive role in the preservation, protection, restoration, rehabilitation and reuse of hydrological resources that urban planning has, this dissertation is a research about the use of water resources as the structuring element of urban planning. The Tauape Creek, located in sub-basin B1 in the city of Fortaleza (CE) was used as object of study. Through the Geodesign approach and the application of information modeling tools, methods of evaluation, modification and impact verification of changes in sub-basin B1 were developed. For this, data from several different spheres were used, in order to gather the largest amount of information about the site, and bioremediation cells (BCell) were the elements used in the research as possible means of rehabilitation of the area. In the end, it was found that the use of these devices has the ability to improve environmental conditions and make the area more resilient, and the calculations used demonstrate the feasibility of a territorial planning guided by water.

Keywords: Hydric Rehabilitation; Urban Resilience; Geodesign.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Paradigmas de gestão de água ao longo dos anos, destacando as influências dos parâmetros com maior influência entre as questões sociais (S), econômicas (E) e ambientais (A) frente à sustentabilidade (ST).....	21
Figura 02 - Desaparecimento dos rios em Tokyo (Japão).....	22
Figura 03 - Localização do Município de Fortaleza.....	25
Figura 04 - Evolução da urbanização e a base natural.....	25
Figura 05 - Pontos de monitoramento dos recursos hídricos de Fortaleza.....	26
Figura 06 - Av. Bezerra de Menezes antes [A] e depois do BRT [B].....	27
Figura 07 - Alagamento na Rua Tenente Albano.....	27
Figura 08 - Localização da Sub-Bacia B1. Em amarelo, pontos de registro fotográfico do Riacho Tauape, com observação realizada a montante....	28
Figura 09 - Imagens da situação atual do Riacho Tauape.....	29
Figura 10 - Desaparecimento dos rios na sub-bacia B1.....	30
Figura 11 - Lagoa do Tauape na década de 1940 (A) e em 2022 (B).....	30
Figura 12 - Digrama esquemático mostrando a diferença entre restauração, reabilitação e remediação.....	31
Figura 13 - Esquema da colaboração entre as profissões de projeto, ciências geográficas, tecnologias de informação e pessoas do lugar.....	32
Figura 14 - Grau de conhecimento do território por parte da população local e o risco existente são inversamente proporcionais às dimensões de projeto.....	33
Figura 15 - Em função das dimensões dos projetos de geodesign, são inversamente proporcionais o grau de conhecimento do território por parte da população local e a complexidade científica.....	33

Figura 16 - Em função das dimensões dos projetos de geodesign, são inversamente proporcionais as decisões centralizada se as descentralizadas.....	33
Figura 17 - Os atores, a equipe e o framework para o Geodesign.....	34
Figura 18 - Framework adaptado para o estudo.....	35
Figura 19 - Bacia hidrográfica e interflúvios.....	36
Figura 20 - Modelo cascata.....	38
Figura 21 - Estrutura de análise utilizada pelo CICES.....	39
Figura 22 - Adoção do termo SBN por instituições internacionais ao longo dos anos.....	42
Figura 23 - Benefícios de uso de SBN e suas estratégias.....	43
Figura 24 - Esquema simplificado da estrutura dinâmica hídrica de jardim de chuva (I) e biovaleta (II).....	48
Figura 25 - Localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign...	49
Figura 26 - Dados coletados para o Modelo de Representação (MR).....	50
Figura 27 - Localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign...	50
Figura 28 - Conjunto de modelos geomorfológicos.....	50
Figura 29 - Conjunto de modelos administrativos.....	51
Figura 30 - Conjunto de modelos de morfologia urbana.....	52
Figura 31 - Conjunto de modelos socioeconômicos.....	53
Figura 32 - Conjunto de modelos de planejamento.....	53
Figura 33 - Tipos de solo.....	54
Figura 34 - Hidromorfologia.....	55
Figura 35 - Altimetria.....	55
Figura 36 - Declividade.....	56
Figura 37 - Permeabilidade do recobrimento das vias.....	56

Figura 38 - Presença de vegetação nas vias.....	57
Figura 39 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	57
Figura 40 - Temperatura de superfície.....	58
Figura 41 - Limites dos bairros.....	59
Figura 42 - Limites das Secretarias Executivas Regionais (SER).....	60
Figura 43 - Área de Preservação Permanente (APP).....	61
Figura 44 - Macrozoneamento Urbano e Ambiental.....	61
Figura 45 - Índices Urbanísticos propostos pelo Macrozoneamento Urbano e Ambiental.....	62
Figura 46 - Tipos de usos dos lotes.....	63
Figura 47 - Tipos de ocupação presentes na área.....	64
Figura 48 - Presença de equipamentos de educação, cultura e lazer.....	64
Figura 49 - Presença de equipamentos de assistência social e de assistência à saúde.....	65
Figura 50 - Presença de modais de transporte na área.....	65
Figura 51 - Mapa cicloviário.....	66
Figura 52 - Mapa de integração viária.....	67
Figura 53 - Permeabilidade visual das fachadas.....	67
Figura 54 - GSI / Taxa de ocupação dos lotes.....	68
Figura 55 - FSI / Índice de aproveitamento dos lotes.....	69
Figura 56 - OSR.....	69
Figura 57 - Altura das edificações.....	70
Figura 58 - Existência de infraestrutura de água.....	70
Figura 59 - Existência de infraestrutura de esgoto.....	71
Figura 60 - Existência de iluminação pública.....	71
Figura 61 - Existência de infraestrutura de drenagem.....	72
Figura 62 - População de crianças e adolescentes.....	73

Figura 63 - População adulta.....	73
Figura 64 - População idosa.....	74
Figura 65 - População masculina.....	74
Figura 66 - População feminina.....	75
Figura 67 - Densidade populacional por setor censitário (hab/Km ²).....	75
Figura 68 - Renda média (em salários mínimos).....	76
Figura 69 - Classificação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).....	76
Figura 70 - Componente educação do IDH.....	77
Figura 71 - Componente renda do IDH.....	77
Figura 72 - Componente longevidade do IDH.....	78
Figura 73 - Planos Específico Prioritário Metrô Sul.....	79
Figura 74 - Planos Específico Prioritário Futuro Metrô Orbital.....	79
Figura 75 - Planos Específico Prioritário Centro Expandido.....	80
Figura 76 - Planos Específico Prioritário Aguanambi.....	80
Figura 77 - Zoneamento da OUC Aguanambi.....	81
Figura 78 - Altura máxima da edificação na OUC Aguanambi.....	82
Figura 79 - Taxa de ocupação (%) na OUC Aguanambi.....	82
Figura 80 - Índice de aproveitamento máximo na OUC Aguanambi.....	83
Figura 81 - Sobreposição de camadas que resultam na simulação do escoamento na área.....	83
Figura 82 - Simulação do fluxo de escoamento na sub-bacia B1.....	84
Figura 83 - Localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign...	85
Figura 84 - Localização do pluviômetro do Castelão.....	86
Figura 85 - Série histórica de precipitação do pluviômetro Castelão.....	86
Figura 86 - Fórmula da distribuição de Gumbel.....	87
Figura 87 - TR das precipitações máximas diárias (azul) a partir de dados empíricos (cinza).....	87

Figura 88 - Fluxograma explicativo das etapas de cálculo.....	89
Figura 89 - Análise de infiltração de precipitações com TR 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente.....	90
Figura 90 - Análise de infiltração de precipitações com TR 10, 25, 50 e 100 anos no cenário legal.....	93
Figura 91 - Análise de infiltração de precipitações com TR 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente adaptado.....	95
Figura 92 - Combinação da simulação de escoamento com o mapa de tipos de ocupação dos lotes.....	96
Figura 93 - Destaque da localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign.....	96
Figura 94 - Mapa síntese geomorfológico e esquema de composição.....	98
Figura 95 - Mapa síntese socioeconômico e esquema de composição.....	99
Figura 96 - Mapa síntese de morfologia urbana e esquema de composição.....	100
Figura 97 - Mapa síntese do território e sua composição.....	101
Figura 98 - Mapa síntese de vias e sua composição.....	102
Figura 99 - Mapa de declividade reclassificado de acordo com os requisitos das CBio.....	103
Figura 100 - Modelo de mudança, sinalizando os locais mais adequados para implantação das CBio de acordo com os requisitos apresentados....	103
Figura 101 - Localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign..	104
Figura 102 - Mapa semafórico somente com áreas adequadas consideradas para o cálculo do impacto.....	105
Figura 103 - Mapa semafórico somente com áreas adequadas consideradas para o cálculo do impacto.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Categorias e exemplos de abordagens de SBN.....	44
Tabela 02 - Estratégias para o desenvolvimento de resiliência urbana.....	46
Tabela 03 - Coeficiente de desagregação da chuva de 24 h de duração.....	88
Tabela 04 - Volume total produzido nos TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente.....	89
Tabela 05 - Percentual de lotes permeáveis e saturados TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente.....	89
Tabela 06 - Proporção das áreas dos lotes permeáveis e saturados nos TR de 10, 25, 20 e 100 anos no cenário existente.....	90
Tabela 07 - Volume total produzido nos TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário legal.....	92
Tabela 08 - Percentual de lotes permeáveis e saturados TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário legal.....	92
Tabela 09 - Proporção das áreas dos lotes permeáveis e saturados nos TR de 10, 25, 20 e 100 anos no cenário legal.....	92
Tabela 10 - Volume total produzido nos TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente adaptado.....	94
Tabela 11 - Percentual de lotes permeáveis e saturados TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente adaptado.....	94
Tabela 12 - Proporção das áreas dos lotes permeáveis e saturados nos TR de 10, 25, 20 e 100 anos no cenário existente adaptado.....	94
Tabela 13 - Mapas de processo utilizados para a geração do mapa-síntese geomorfológico e os critérios adotados para sua reclassificação.....	98
Tabela 14 - Mapas de processo utilizados para a geração do mapa-síntese socioeconômico e os critérios adotados para sua reclassificação.....	99

Tabela 15 - Mapas de processo utilizados para a geração do mapa-síntese de morfologia urbana e os critérios adotados para sua reclassificação...	100
Tabela 16 - Mapas de processo utilizados para a geração do mapa-síntese de vias.....	101
Tabela 17 - Volume retido pelas CBio nos diferentes graus de adequabilidade....	105
Tabela 18 - Volume resultante das chuvas em seus respectivos TR no cenário existente quando utilizadas CBios.....	105
Tabela 19 - Volume resultante das chuvas em seus respectivos TR no cenário legal quando utilizadas CBios.....	106
Tabela 20 - Volume resultante das chuvas em seus respectivos TR no cenário existente adaptado quando utilizadas CBios.....	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AbE	Adaptação baseada em ecossistemas
AL	Área do Lote
AP	Área Permeável
APP	Área de Preservação Permanente
CBio	células de biorretenção
CDB	Secretariat of the Convention on Biological Diversity
CICES	Common International Classification of Ecosystem Services
COURB	Coordenadoria de Desenvolvimento Urbano
CP	Capacidade permeável
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Mineirais
EC	European Commission
EEA	European Environment Agency
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FSI	Floor Space Index
GSI	Ground Space Index
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Iniciação Científica
IP	índice de prioridade
IUCN	International Union for Conservation of Nature
IV	Infraestrutura Verde
LC 236/2017	Lei complementar nº 236 de 11 de agosto de 2017 do Município de Fortaleza - Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo do Município de Fortaleza
MA	Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment
MI	Modelo de Impacto

MM	Modelo de Mudança
MP	Modelo de Processo
MR	Modelo de Representação
MV	Modelo de Avaliação
OSR	Open Space Ratio
OUC	Operação Urbana Consorciada
PE	parâmetros especiais
SBN	Soluções Baseadas na Natureza
SE	Serviços Ecológicos
SEFIN	Secretaria Municipal das Finanças
SER	Secretaria Executiva Regional
SEUMA	Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente do Município de Fortaleza
SMOG	Spatial Morphology Group
TP	Taxa de Permeabilidade
TR	Tempo de Retorno
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
VI	Volume capaz de ser infiltrado
VIB	Velocidade de Infiltração Básica

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	18
1	CONTEXTUALIZAÇÃO	21
1.1	Paradigmas de gestão hídrica urbana	21
1.2	Sistema hidrológico.....	23
1.3	Contexto hídrico local.....	24
1.4	Objetivos.....	31
1.4.1	<i>Geral.....</i>	31
1.4.2	<i>Específicos.....</i>	31
1.5	Metodologia.....	32
1.5.1	<i>Visão geral.....</i>	32
1.5.2	<i>Adequação do método ao estudo.....</i>	35
2	CONCEITOS TEÓRICOS.....	37
2.1	Serviços Ecossistêmicos.....	37
2.2	Capital Natural.....	40
2.3	Soluções Baseadas na Natureza.....	41
2.4	Adaptação Baseada em Ecossistemas.....	44
2.5	Infraestrutura Verde.....	46
3	ESTUDO DE CASO.....	49
3.1	Modelos de representação.....	49
3.2	Modelos de processo.....	50
3.2.1	<i>Modelos geomorfológicos.....</i>	54
3.2.2	<i>Modelos administrativos.....</i>	58
3.2.3	<i>Modelos de morfologia urbana.....</i>	63
3.2.4	<i>Modelos socioeconômicos.....</i>	72
3.2.5	<i>Modelos de planejamento.....</i>	78

3.2.6	<i>Modelo de escoamento</i>	83
3.2.7	<i>Como a área funciona?</i>	84
3.3	Modelo de avaliação	85
3.3.1	<i>Análise de vulnerabilidade</i>	88
3.3.1.1	<i>Cenário existente</i>	88
3.3.1.2	<i>Cenário legal</i>	91
3.3.1.3	<i>Cenário existente adaptado</i>	93
3.3.2	<i>A área é vulnerável?</i>	95
3.4	Modelo de mudança	96
3.4.1	<i>Modelo do território</i>	97
3.4.2	<i>Requisitos para intervenção</i>	101
3.5	Modelo de impacto	104
4	CONCLUSÃO	108
	REFERÊNCIAS	111

INTRODUÇÃO

Esta dissertação constitui uma pesquisa acerca da utilização dos recursos hídricos como o elemento estruturador do planejamento urbano. Por meio da abordagem do Geodesign e da aplicação de ferramentas de modelagem da informação, buscaram-se soluções para a revitalização de um trecho hídrico urbanizado com foco na resiliência urbana.

De uma forma geral, as ocupações humanas se instalam em locais que têm uma maior facilidade para sua permanência. Dentre as características para a escolha da melhor localização, a disponibilidade de água doce potável figura como um fator determinante para os assentamentos humanos (CAPPS; BENTSEN; RAMÍREZ, 2016; GOUVEIA; SELVA; PAZ, 2019). No entanto, à medida que as cidades foram crescendo, a urbanização avançando, e as infraestruturas se desenvolvendo, o “contrato hidrossocial” – valores e acordos (implícitos ou não) entre as comunidades, governos e empresas sobre como deveria ser feita a gestão dos recursos hídricos – foi se alterando. Os rios, que inicialmente tinham como função principal o fornecimento de água para abastecimento, passam a serem vistos como obstáculo para a expansão urbana com a desvinculação desse serviço de si ocasionado pela implantação de uma infraestrutura centralizada de fornecimento de água (BROWN; KEATH; WONG, 2009). Deste modo, foram implantadas novas formas de manejo das águas, com a otimização do rio para serviços como esgotamento sanitário e drenagem urbana, resultando, em muitos casos, na sua conversão em galeria subterrânea e, conseqüentemente, fragmentando a paisagem natural (JACOBI; SILVA-SÁNCHEZ; FRACALANZA, 2015). Essa solução, vista por muitos anos como sinal de progresso, liberou as margens dos rios para a especulação imobiliária, causando forte impacto ambiental por toda a cadeia do ciclo hidrológico devido a ações como, por exemplo, a ocupação de áreas ambientalmente frágeis, o aumento da contaminação de rios, lagos e lagoas e a alteração de perfil hídrico devido a impermeabilização do solo.

Apesar dos fortes impactos causados pelo processo de urbanização, os recursos hídricos ainda são vistos como um bem social abundante. No entanto, essa visão conflita com o consenso geral de que as cidades, suas paisagens e suas infraestruturas de água, esgoto e drenagem não são sustentáveis, seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento (HASSAN RASHID; MANZOOR; MUKHTAR, 2018; NOVOTNY; AHERN; BROWN, 2010). O fornecimento de água potável e o acesso a saneamento básico em áreas urbanas têm diminuído, e a sua manutenção e melhoria são os maiores desafios atuais dos gestores públicos frente a tendência global de crescimento da população urbana (HORNE; TORTAJADA; HARRINGTON, 2018).

O planejamento urbano possui um papel importante nesse tema. A forma físi-

ca da cidade é consequência do planejamento, das ações tomadas e dos projetos adotados, elencando prioridades para um resultado futuro. Ele pode ter um papel decisivo na preservação, proteção, restauração, reabilitação e reuso dos recursos hidrológicos (STEINITZ, 2016). O planejamento urbano, ou a falta dele, influencia a vulnerabilidade das cidades às mudanças climáticas. Elas são atingidas mais intensamente por eventos críticos inerentes à água (secas ou inundações), estimando-se que 2/3 das vítimas desse tipo de catástrofes são urbanas (MENDONÇA; MEDEIROS LEITÃO, 2009). Isto posto, conclui-se que os modelos atuais de urbanização estão atingindo seus limites, motivando o surgimento de um novo paradigma, derivado da premissa de que água é um recurso social e econômico e que os recursos hídricos são o elemento central para o desenvolvimento urbano sustentável. As condições hídricas, aqui, passam a ser entendidas como indicador das funções urbanas que afetam e são afetadas por múltiplos setores do planejamento. Esse paradigma abrange desde a microescala da edificação até a macroescala das ecocidades, que agora são vistas como soluções essenciais para os problemas atuais das áreas urbanas. Seu objetivo principal em macroescala é desenvolver uma bacia hidrográfica e sua paisagem, mimetizando as características do sistema natural (NOVOTNY; AHERN; BROWN, 2010).

Essa mudança de paradigma adotada, utilizando a água enquanto elemento estruturador, afasta a visão antropocêntrica dominante. Isso faz com que o ambiente passe a ser interpretado como um conjunto dinâmico de múltiplos sistemas interdependentes. Conforme destacado por Novotny; Ahern e Brown (2010):

Por que a água é essencial e uma fonte integradora, planejamento hidrológico afeta – e é afetado por – boa parte de outros setores do planejamento urbano, incluindo uso da terra, transporte, infraestrutura, espaço abertos, planejamento de resíduos e geração e transmissão de energia.

Ao adotarmos esse novo paradigma, surgiram diversos questionamentos. Qual o estado dos rios urbanos? Como eles se integram na cidade? Qual o tratamento que é dispensado a eles? Quais são os serviços que eles fornecem? Quais são os riscos que eles oferecem? Quais os elementos que o influenciam? Quais os impactos da urbanização nos rios? É possível reabilitar um corpo hídrico inserido em uma cidade? É possível, através do tratamento hídrico, alcançarmos cidades mais justas e sustentáveis? No quadro geral, por que um rio urbano saudável é importante? A fim de responder esses questionamentos, essa pesquisa estuda a relação entre o meio ambiente e a cidade, tendo como hipótese que a utilização da água enquanto parâmetro de desenvolvimento territorial é capaz de produzir cidades mais resilientes. Resiliência aqui será entendida como “... a habilidade de um sistema de absorver perturbações e ainda reter suas funções e estruturas básicas” (WALKER; SALT, 2006), sendo ela necessária para prevenir e mitigar efeitos adversos relacionados a água (CAPPS; BENTSEN; RAMÍREZ, 2016; JARAMILLO; NAZEMI, 2018; ZÖLCH; WAMSLER;

PAULEIT, 2018). Isso é importante também para a redução das inequidades sociais uma vez tais eventos afetam de forma mais intensa a população mais pobre, que, por não ter condições de participar do mercado imobiliário e não conseguir ser absorvida pelas políticas habitacionais, acaba ocupando áreas ambientalmente mais frágeis (HASSAN RASHID; MANZOOR; MUKHTAR, 2018; MENDONÇA; MEDEIROS LEITÃO, 2009). Assim, mudanças climáticas, inequidades sociais e vulnerabilidade são desafios interrelacionados, incorporados e moldados por processos e relações de poder (WORONIECKI; WAMSLER; BOYD, 2019). Dessa forma, a cidade será interpretada como um ecossistema urbano movido pelas atividades desenvolvidas nele, e os rios são interpretados como a espinha dorsal do seu desenvolvimento (NOVOTNY; AHERN; BROWN, 2010).

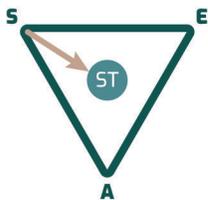
Organizada em quatro capítulos, essa dissertação busca identificar elementos e desenvolver cenários para uma possível reabilitação do Riacho Tauape, localizado no município de Fortaleza, Ceará, através da abordagem resiliente, utilizando como metodologia o Geodesign. No primeiro capítulo, temos a contextualização do estudo, delimitação da área, descrição dos objetivos e da metodologia adotada. No segundo capítulo, é apresentado o estado da arte dos múltiplos conceitos utilizados para o desenvolvimento da abordagem utilizada. O terceiro capítulo apresenta o desenvolvimento do estudo de caso e com uma descrição detalhada dos procedimentos adotados e, por fim, o quarto e último capítulo apresenta as considerações finais do estudo, retomando a pesquisa como um todo e apontando potenciais desenvolvimentos futuros.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 Paradigmas de gestão hídrica urbana

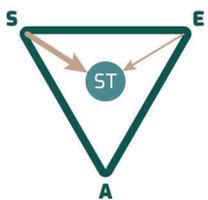
O surgimento das cidades possui uma relação direta com a presença de água. Essencial para a existência de vida, os corpos hídricos possuem importância estratégica no mundo, fornecendo recursos básicos para múltiplas atividades humanas. No entanto, ao longo dos séculos, a expansão da urbanização e o desenvolvimento de novas tecnologias alteraram a perspectiva acerca da importância desses bens, modificando também suas formas de manejo. Novotny; Ahern e Brown (2010) identificaram pelo menos quatro paradigmas de gestão hídrica urbana, que tinham como parâmetros o equilíbrio de questões econômicas, sociais e ambientais. Esses paradigmas refletem evolução da percepção acerca da questão hidrológica em períodos históricos (Figura 1), sendo possível também reconhecer o peso de cada um dos parâmetros nesses períodos.

Figura 01 - Paradigmas de gestão de água ao longo dos anos, destacando as influências dos parâmetros com maior influência entre as questões sociais (S), econômicas (E) e ambientais (A) frente à sustentabilidade (ST)



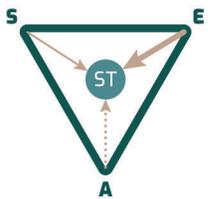
1º Paradigma

Período: A.C até a Idade Média; ainda pode ser encontrado em alguns países em desenvolvimento
Características: Utilização poços para fornecimento de água, uso de corpos hídricos para transporte, lavagem e irrigação, com as ruas sendo utilizadas para condução de pessoas, resíduos e precipitação.



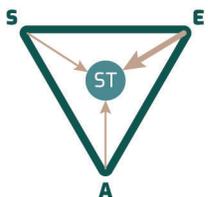
2º Paradigma

Período: Grécia, Creta e Roma Antiga; cidades europeias na Idade Média até a Revolução Industrial no Séc. XIX.
Características: Uso de soluções de engenharia para a captura, armazenamento e condução de água.



3º Paradigma

Período: Da segunda metade do Séc XIX na Europa e EUA, mais tarde em cidades asiáticas, até a segunda metade do Séc. XX em países desenvolvidos. Ainda persiste em muitos países.
Características: Tratamento de água potável por sedimentação e filtragem. Investimento na construção de esgotos para acelerar a condução de água servida com pouco ou nenhum tratamento para o corpo hídrico mais próximo. Canalização de rios para uso como sistema de drenagem subterrânea. Aumento da impermeabilização do solo.



4º Paradigma

Período: Da aprovação do Clean Water Act nos EUA em 1972 até hoje.
Características: Implementação de restrições ambientais. Tratamento de água potável e transporte, normalmente a partir de longas distâncias, para seu uso nas cidades. Tratamento prévio do esgoto antes de seu despejo nos corpos hídricos. Reconhecimento de problemas relacionados à poluição, aumentando o uso de práticas de manejo para seu controle.

Fonte: Adaptado de Novotny; Ahern e Brown (2010).

Com o histórico apresentado, podemos perceber a ocorrência de uma subvalorização sistemática dos recursos hídricos e o uso e dependência cada vez maior de soluções de engenharia como uma forma eficaz e definitiva de controlar o ambiente, negligenciando estratégias alternativas. Assim, áreas ambientalmente frágeis foram sendo ocupadas, modificando as bacias hidrográficas, seus fluxos e processos, ocasionando alterações em todo o ciclo hidrológico, na qualidade de sua água, na sua estética, e fragmentando o habitat ecológico (FERREIRA; WALSH; FERREIRA, 2018; HASSAN RASHID; MANZOOR; MUKHTAR, 2018; MARCELO MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015; NOVOTNY; AHERN; BROWN, 2010) (Figura 2). Essas peculiaridades foram sintetizadas por literatura específica no tema como a síndrome do rio urbanizado (MEYER; PAUL; TAULBEE, 2005). Tratam-se de rios com “características hidrográficas mais chamativas; com concentração elevada de nutrientes e contaminantes, com menor quantidade de córregos em sua rede; que possuem alteração na estabilidade e morfologia do seu canal; e que apresentam redução da riqueza biótica, com dominância/presença de espécies mais tolerantes.”



Fonte: Novotny; Ahern e Brown (2010).

Segundo (HORNE; TORTAJADA; HARRINGTON, 2018), pelo menos 600 milhões de habitantes urbanos (cerca de 15%) não tem acesso a estrutura de água potável. A perspectiva é que esse número cresça nos próximos anos com a tendência de aumento populacional nas cidades, que estará inevitavelmente em terrenos mais marginais. Dado que as mudanças climáticas aumentam intensidade dos eventos extremos, o crescimento populacional e a degradação ambiental dos centros urbanos intensificam seu impacto. Isso aumenta o risco para a população mais vulnerável, colocando as cidades como pontos prioritários para adoção de medidas mais sustentáveis (BROWN; KEATH; WONG, 2009; HORNE; TORTAJADA; HARRINGTON, 2018). No entanto, para isso ser possível, é necessária a revisão do paradigma adotado até o momento, pois, se continuar a ser utilizado, aumentará a probabilidade de sobrecarga das infraestruturas

existentes e agravar as consequências das mudanças climáticas (MOURA; PELLEGRINO; MARTINS, 2014).

Baseado nas percepções da importância da água e da necessidade adoção de medidas que tornem as cidades mais sustentáveis, nos últimos 20 anos tem-se desenvolvido um novo paradigma de gestão integrada de recursos – o 5º paradigma de recursos hídricos. Ele possui duas premissas básicas: (i) não existem resíduos – tudo é recurso; e (ii) é necessária uma abordagem sistêmica que conte com um alto grau de cooperação entre os setores político, social e privado. A abordagem utilizada pode partir desde a microescala do edifício até a macroescala escala das ecocidades/bacias hidrográficas urbanas, propondo um novo equilíbrio entre seus elementos constituintes em prol do desenvolvimento de cidades mais sustentáveis com melhores condições ambientais, sociais e econômicas. Seu objetivo principal em macroescala é desenvolver uma bacia hidrográfica e sua paisagem, imitando (uma vez que a recuperação completa é considerada impossível) as características do sistema natural. Para isso, o 5º paradigma interpreta a cidade como um ecossistema urbano composto por múltiplos sistemas que se interrelacionam e que é movido pelas atividades que são desenvolvidas nela (NOVOTNY; AHERN; BROWN, 2010). A adoção do 5º paradigma, frente aos problemas climáticos apresentados, não aparece mais como uma escolha, mas sim como uma imposição das condições atuais de vulnerabilidade urbana. É importante destacar que ele não consiste no abandono de técnicas já conhecidas, mas na integração técnicas estruturais (infraestrutura de drenagem tradicional) e não-estruturais (utilizando práticas que envolvem a paisagem), buscando aproveitar a vocação e o potencial de cada solução (MARCELO MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015; PELLEGRINO, 2017a). Entender as complexas relações de interdependência entre os elementos presentes em uma cidade para seu gerenciamento adequado é primordial para a garantia de que as cidades tenham um futuro, tornando-se mais resilientes, mais saudáveis, mais sustentáveis e mais justas.

1.2 Sistema hidrológico

Alterações hidrológicas ocasionam impactos que ultrapassam a escala local. Para entendermos melhor isso, vamos fazer uma breve abstração, e observar os recursos hídricos sob a ótica da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) (VIEIRA, 2000). Segundo essa perspectiva, os recursos hídricos são sistemas abertos organizados. São sistemas porque são um conjunto de elementos entre os quais existem relações de tal forma que eles partilham de um conjunto de propriedades. Rios, lagos, lagoas, oceanos, lençóis freáticos, etc. são os elementos constituintes desse sistema, e variam em quantidade, qua-

lidade e tipo, apresentando informações e baixa homogeneidade. Esses elementos possuem uma conexão ativa entre si, organizando-se em uma estrutura integralizada (que forma subsistemas e.g. subsistema de rios, subsistema de lagoas, etc.) que desempenha uma função. O sistema é dito aberto porque ele troca informações com o ambiente, que nesse cenário, é o contexto no qual esses recursos estão inseridos. Quando realizamos alterações nesse sistema, seja em seus componentes ou em seu ambiente, mudamos as conexões existentes e, como o sistema tem como princípio básico a premissa de que “todas as coisas tendem a permanecer”, ele se adapta para que isso aconteça. Quando modificamos características do solo, por exemplo, estamos alterando o ambiente no qual o sistema hídrico está inserido. Quando transformamos um rio natural em canalizado, estamos modificando um componente do sistema. Uma vez que esses elementos são conectados, a intervenção em um ponto vai gerar um estresse que faz com que seja necessário um ajuste em todo o sistema. Os ajustes são as mudanças climáticas, e as consequências deles são os eventos críticos. A hidrologia, portanto, pode ser vista como um indicador das condições ambientais de um determinado local.

1.3 Contexto hídrico local

Uma vez que os recursos hídricos fazem parte de um grande sistema interconectado, intervenções na microescala adquirem uma importância maior para o controle de eventos climáticos extremos, capazes de gerar uma reação em cadeia que ultrapassa os limites locais. Grande parte dos riscos ambientais urbanos está inserida na esfera municipal, relacionando-se diretamente com questões de uso e ocupação do solo (MENDONÇA; MEDEIROS LEITÃO, 2009). Segundo a Confederação Nacional de Municípios (2022), entre os anos de 2017 e 2022 foram decretados 5.622 casos de Situação de Emergência devido aos desastres ocasionados pelo excesso de chuvas, resultando em um total de 637 óbitos, 171.789 desabrigados e 819.843 desalojados. Soluções para esse tipo de problemas não são genéricas, elas estão intrinsecamente relacionadas com o contexto no qual estão inseridas – reconhecer contextos temporais, ideológicos, históricos e tecnológicos é crucial para a passagem para o 5º paradigma (CAPPS; BENTSEN; RAMÍREZ, 2016; GENELETTI; ZARDO, 2016; MOONEY et al., 2009; PELLEGRINO, 2017b; POTSCHIN; HAINES-YOUNG, 2013).

No município de Fortaleza (Ceará, BR) (Figura 03) a ocupação configurava-se de acordo com a proximidade de disponibilidade de água. Nas primeiras décadas do Séc. XIX, o abastecimento era feito primordialmente pelo Riacho Pajeú, que abrigava em suas margens as primeiras moradias. A criação de chafarizes e cacimbas alterou os

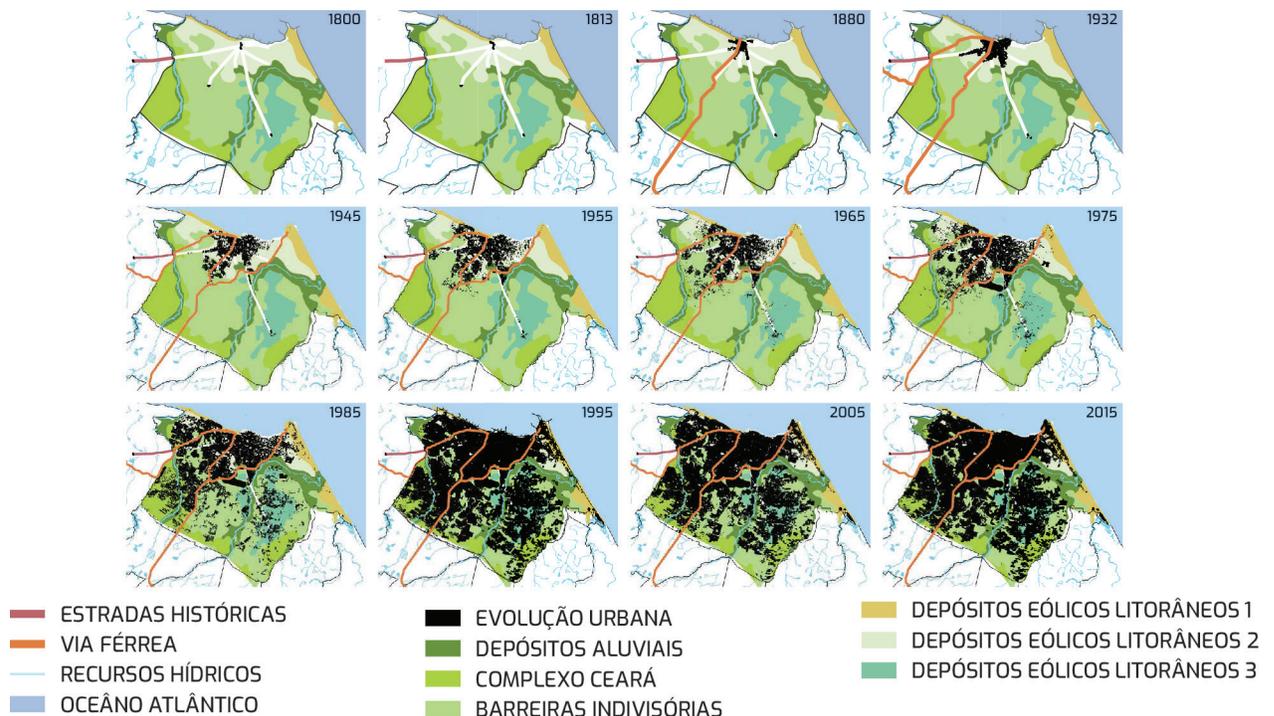
requisitos necessários para a expansão urbana, e a instauração do primeiro sistema de abastecimento desvinculou a necessidade de proximidade entre moradia e corpo hídrico, iniciando um novo período de configuração da morfologia urbana (NETO, 2014) (Figura 04). Essa nova configuração trouxe consigo alterações que impactaram nas características hidrológicas locais por meio da redução da capacidade de infiltração do solo, resultando no aumento do escoamento superficial e seu consequente acréscimo na vazão de pico dos rios/riachos locais. Quando somada ao aumento populacional e à infraestrutura insuficiente na cidade, ocasionou a degradação dos rios urbanos.

Figura 03 - Localização do Município de Fortaleza



Fonte IBGE (2010); Atlas COGERH (2021).

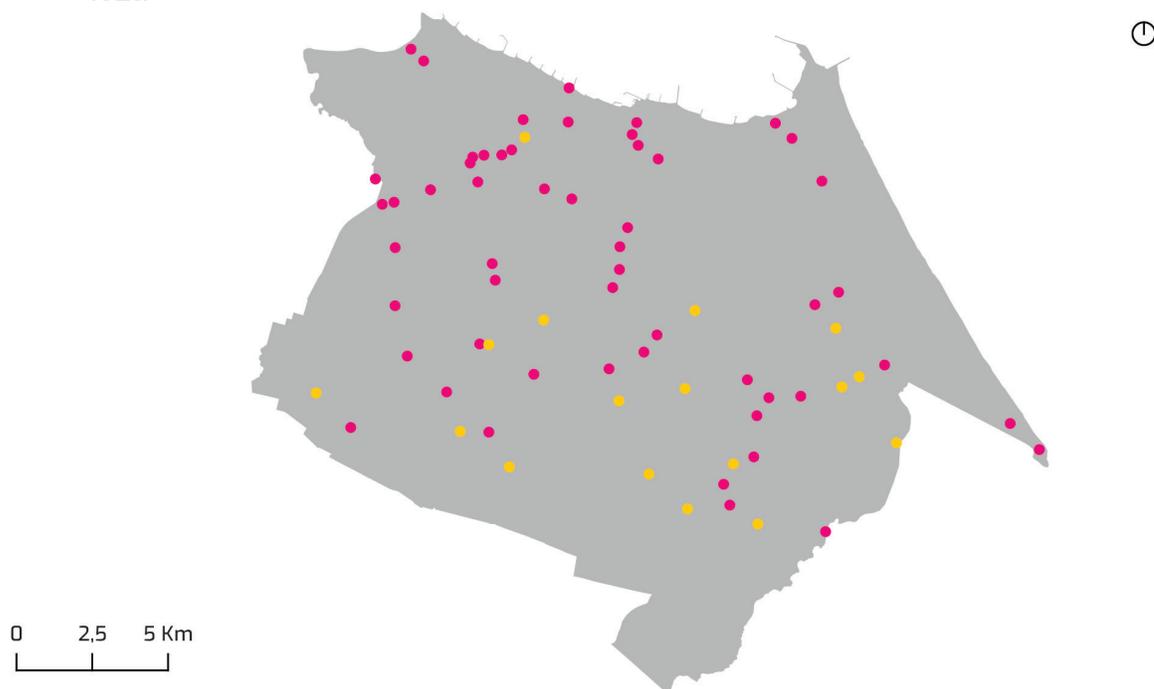
Figura 04 - Evolução da urbanização e a base natural



Fonte: Prefeitura Municipal de Fortaleza (2019).

A descoberta do médico inglês John Snow relacionando a transmissão de doenças com a contaminação das águas impulsionou a adoção de noções sanitárias no final do século XIX e início do Século XX. A partir desse pensamento higienista as soluções para a melhorar as condições de salubridade das cidades contou com estratégias como canalização de rios e urbanizações de áreas ribeirinhas (ARAÚJO, 2012). Canalizações são “intervenções feitas em corpos d’água, que podem contemplar a estabilização de suas margens e fundos, retificação de seu traçado, aumento das dimensões de suas seções bem como mudanças nas declividades de seus trechos” (ALENCAR, 2017). Em Fortaleza, a utilização de canalizações e a ocupação de áreas ribeirinhas foi bastante disseminada, trazendo o benefício imediato de suportar o aumento de vazão, evitando, assim, o alagamento e inundação de áreas marginais. No entanto, por ser uma solução estática, ela não consegue acompanhar o contínuo crescimento urbano, fazendo com que, com o passar dos anos, ela perca sua eficiência e agrave problemas de alagamentos, uma vez que apenas consistem na transferência de volume para trechos a jusante (MARCELO MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015).

Figura 05 - Pontos de monitoramento dos recursos hídricos de Fortaleza



Foram monitorados 71 pontos, distribuídos entre rios, riacho, canais, açudes, lagos e lagoas. Ao todo, foram produzidos 462 relatórios, nos quais 441 (acima de 95%) deles apontaram o recurso hídrico impróprio para uso (de acordo com a Resolução N° 357, de 17 de Março de 2005 - águas Classe 2). Nenhum dos recursos hídricos analisados foi considerado próprio para uso durante todo o ano em questão. Fonte: SIAFOR (2022), SEFIN (2016). Dados espacializados pela autora (2023).

Figura 06 - Av. Bezerra de Menezes antes [A] e depois do BRT [B]



Fonte: Nascimento (2022)

Figura 07 - Alagamento na Rua Tenente Albano

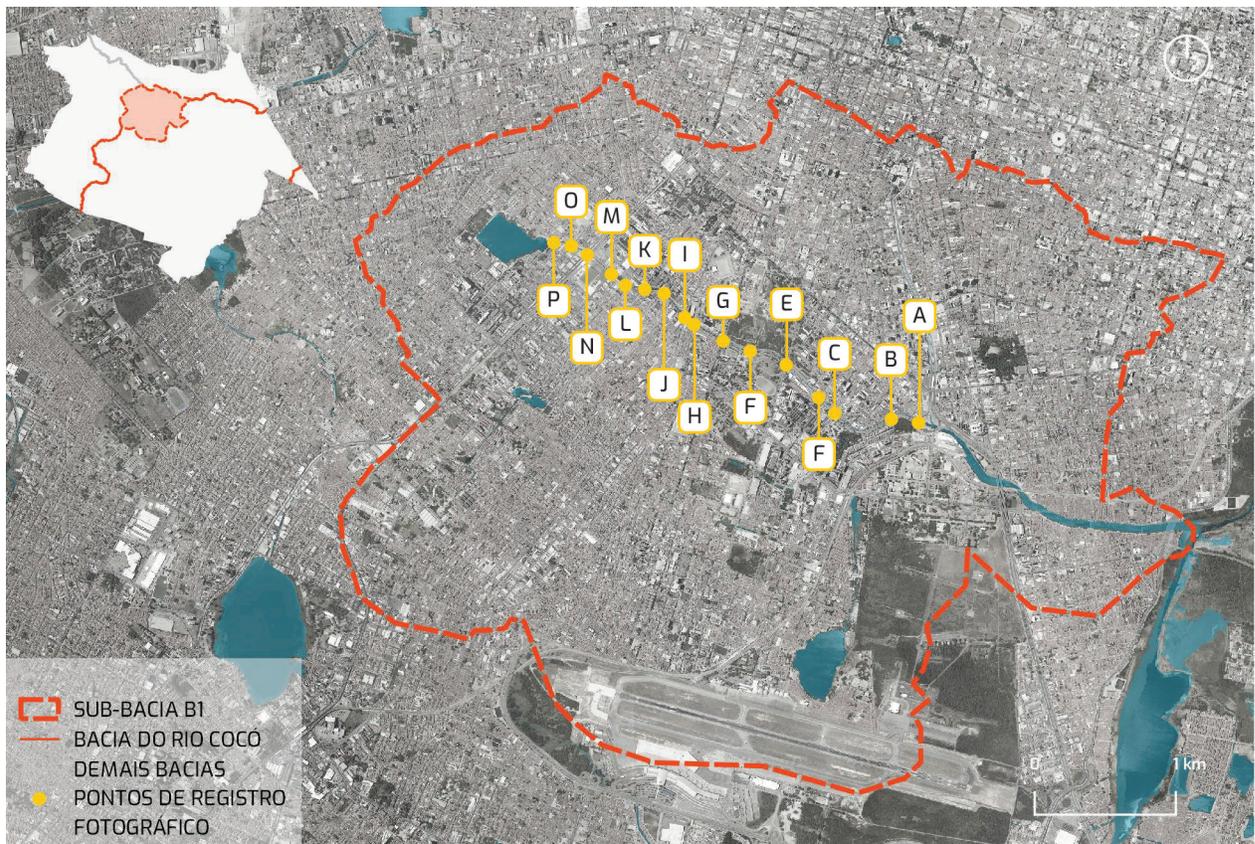


Fonte: G1CE (2022)

O presente trabalho pretende utilizar como objeto de estudo o Riacho Tauape, conhecido como Canal do Tauape (Canal da Av. Eduardo Girão), integrante da sub-bacia B1 da bacia hidrográfica do Rio Cocó (Figura 08). Ele se estende do Rio Cocó até a Lagoa do Porangabussu, representando 31% da totalidade do ecossistema hídrico

da sub-bacia. Recebe contribuições do Canal do Jardim América, Riacho Parreão e do Canal da Aguanambi (ARAÚJO, 2012). O Riacho está severamente antropizado e apresenta as piores condições ambientais da sub-bacia (ASTEUF et al., 2003). É um corpo hídrico poluído¹, com fontes poluidoras tanto pontuais² quanto difusas³. A sua localização central no município faz com que ele seja alvo de forte especulação imobiliária, agravando ainda mais a poluição no riacho, uma vez que o aumento da impermeabilização do solo aumenta a velocidade de escoamento, ocasionando o crescimento nos níveis de poluição difusa.

Figura 08 - Localização da Sub-Bacia B1. Em amarelo, pontos de registro fotográfico do Riacho Tauape, com observação realizada a montante



Fonte: G1CE (2022)

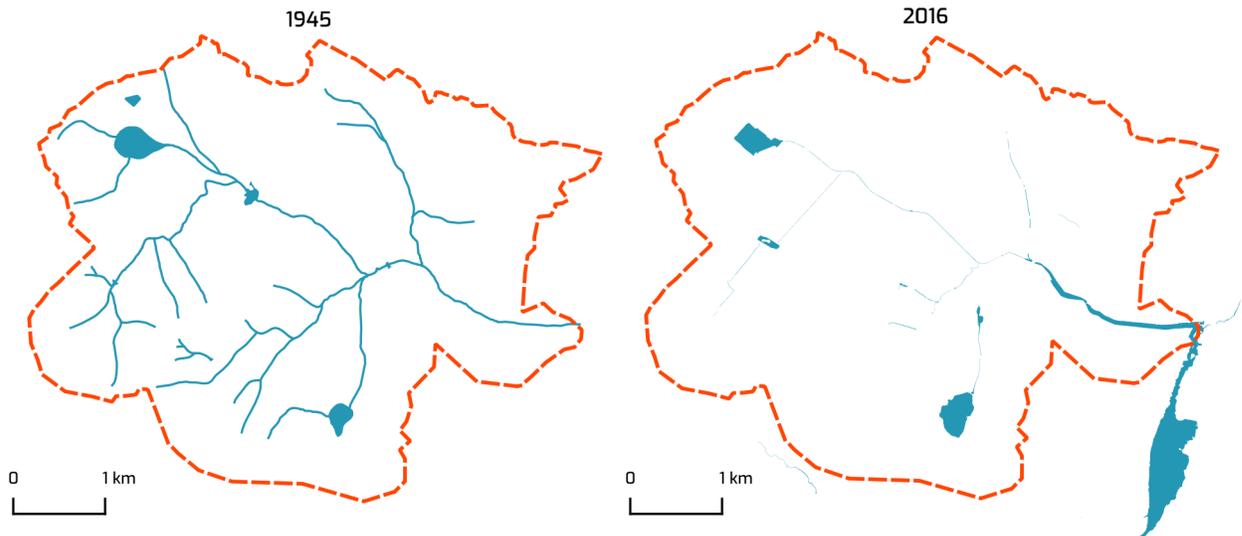
1. Poluição, segundo a Lei 6938 (BRASIL, 1981), é “a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.
2. Fontes pontuais de poluição são o tipo de “fonte passível de ser caracterizada e rastreada” (ALENCAR, 2017)
3. Fontes não pontuais de poluição são “aquelas geradas de forma distribuída ao longo da bacia contribuinte, sendo elas produzidas por inúmeros agentes poluidores, que afluem aos corpos d’água por ocasião dos eventos de chuvas”. (ALENCAR, 2017)

Figura 09 - Imagens da situação atual do Riacho Tauape



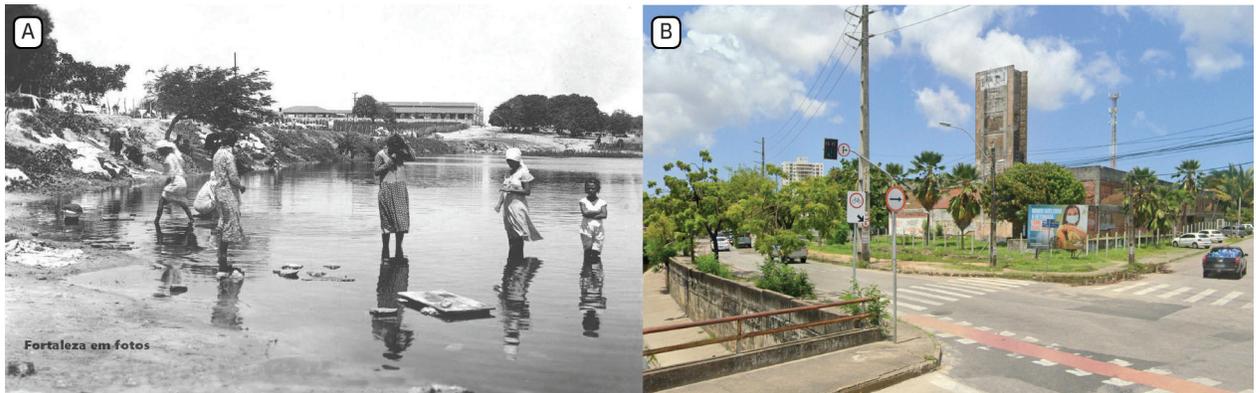
Fonte: Google Earth Street View (2023).

Figura 10 - Desaparecimento dos rios na sub-bacia B1



Fonte: Desenvolvido pela autora a partir de dados da SEIFN (2016) e da Carta de Fortaleza e Arredores desenvolvida pelo Serviço Geográfico do Exército (1945).

Figura 11 - Lagoa do Tauape na década de 1940 (A) e em 2022 (B).

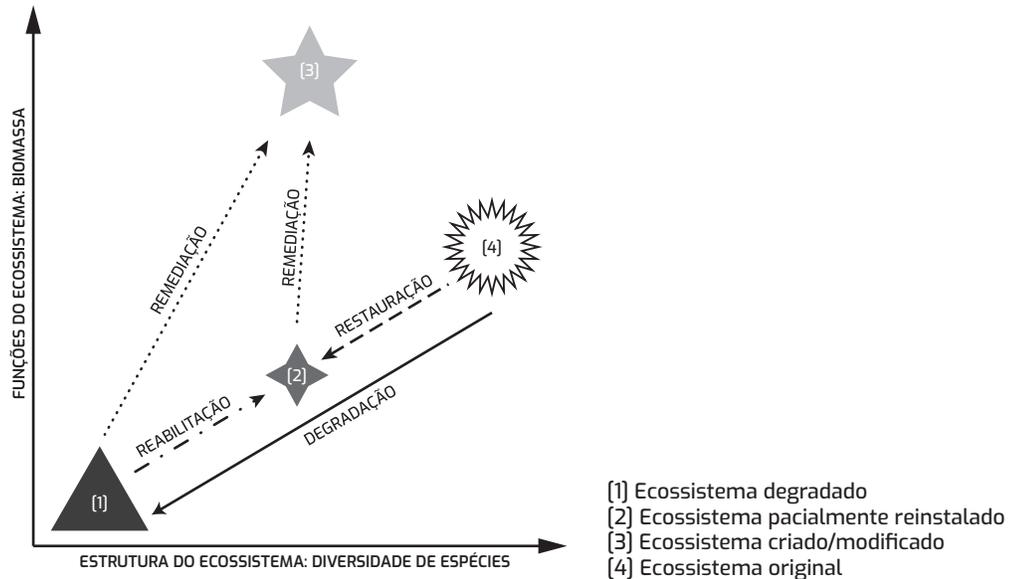


Fonte: Paiva (2012), Google Earth Street View (2023).

Findlay e Taylor (2006) identificaram três tipos de intervenções em corpos d'água visando sua melhoria: restaurações (naturalizações), reabilitações (recuperações) e remediações (Figura 12). Restaurações tem como finalidade o retorno à condição natural ou o mais próximo a isso; reabilitações descrevem uma melhoria do ecossistema, retornando alguns elementos do sistema natural. Remediações são as mais viáveis para a maioria dos rios urbanos - elas visam o desenvolvimento de um ecossistema diferente, promovendo sua melhoria por meio do aumento da diversidade de funções e espécies. Nesse trabalho, a estratégia utilizada é a de reabilitação do Riacho Tauape, recuperando alguns de seus elementos naturais de forma que ele faça parte do sistema de drenagem, mas ainda assim seja ecologicamente viável, funcional, atraente ao público e capaz de

proporcionar lazer, tornando-o parte integrante do ecossistema urbano. Isso porque considera-se que, no estágio de urbanização em que a área se encontra, é extremamente improvável que o Riacho Tauape e seu entorno retornem às suas condições originais.

Figura 12 - Digrama esquemático mostrando a diferença entre restauração, reabilitação e remediação.



1.4 Objetivos

1.4.1 Geral

Identificar os melhores lugares de implantação de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) utilizando parâmetros relacionados a água a fim de reabilitar o Riacho Tauape por meio da adoção de uma abordagem sistêmica multidisciplinar para a gestão do volume de escoamento.

1.4.2 Específicos

- Caracterizar os elementos e seus níveis sistêmicos;
- Identificar as relações ordenadoras entre os elementos;
- Identificar os elementos constituintes do sistema;
- Definir a cadeia de correlações entre elementos dentro do sistema;
- Identificar indicadores e estabelecer métricas avaliativas;
- Simular cenários de desenvolvimento da área, de acordo com os indicadores, relações e parâmetros encontrados.

1.5 Metodologia

1.5.1 Visão geral

Para o desenvolvimento da pesquisa, será empregada a abordagem do Geodesign, através do framework proposto por Carl Steinitz (STEINITZ, 2016). Ela é uma abordagem multidisciplinar e colaborativa que se utiliza de Sistemas de Informações Geográficas (SIG/GIS), a fim de integrar profissionais de projeto, as ciências geográficas, tecnologias da informação e as pessoas do lugar para o desenvolvimento de um plano para um território por meio de um processo de cocriação (Figura 13). Ele adota o pensamento sistêmico para análise ambiental, sendo o ambiente compreendido como a junção entre os recursos e características físicas do local, a demanda humana e seus impactos. Para isso, inicialmente é feita a definição da escala de aplicação, a dimensão do projeto e os objetivos a serem alcançados. Esses elementos influenciam no nível de detalhamento das informações apresentadas, o nível de entendimento público, de complexidade científica, os riscos, o grau de centralização das decisões e o tipo de estratégias que serão utilizadas (Figuras 14, 15 e 16). Um estudo de Geodesign requer a realização de um workshop, no qual os participantes irão apresentar e avaliar propostas após a análise das informações apresentadas. Nessa abordagem, não existe uma solução ideal, mas sim a solução mais satisfatória, resultado da negociação entre os envolvidos (que possuem, muitas vezes, interesses conflitantes).

Figura 13 - Esquema da colaboração entre as profissões de projeto, ciências geográficas, tecnologias de informação e pessoas do lugar



Fonte: Steinitz (2016).

Figura14 - Em função das dimensões dos projetos de geodesign, são inversamente proporcionais o grau de conhecimento do território por parte da população local e o risco existente



Fonte: Steinitz (2016)

Figura15 - Em função das dimensões dos projetos de geodesign, são inversamente proporcionais o grau de conhecimento do território por parte da população local e a complexidade científica.



Fonte: Steinitz (2016)

Figura 16. Em função das dimensões dos projetos de geodesign, são inversamente proporcionais as decisões centralizadas e as descentralizadas.

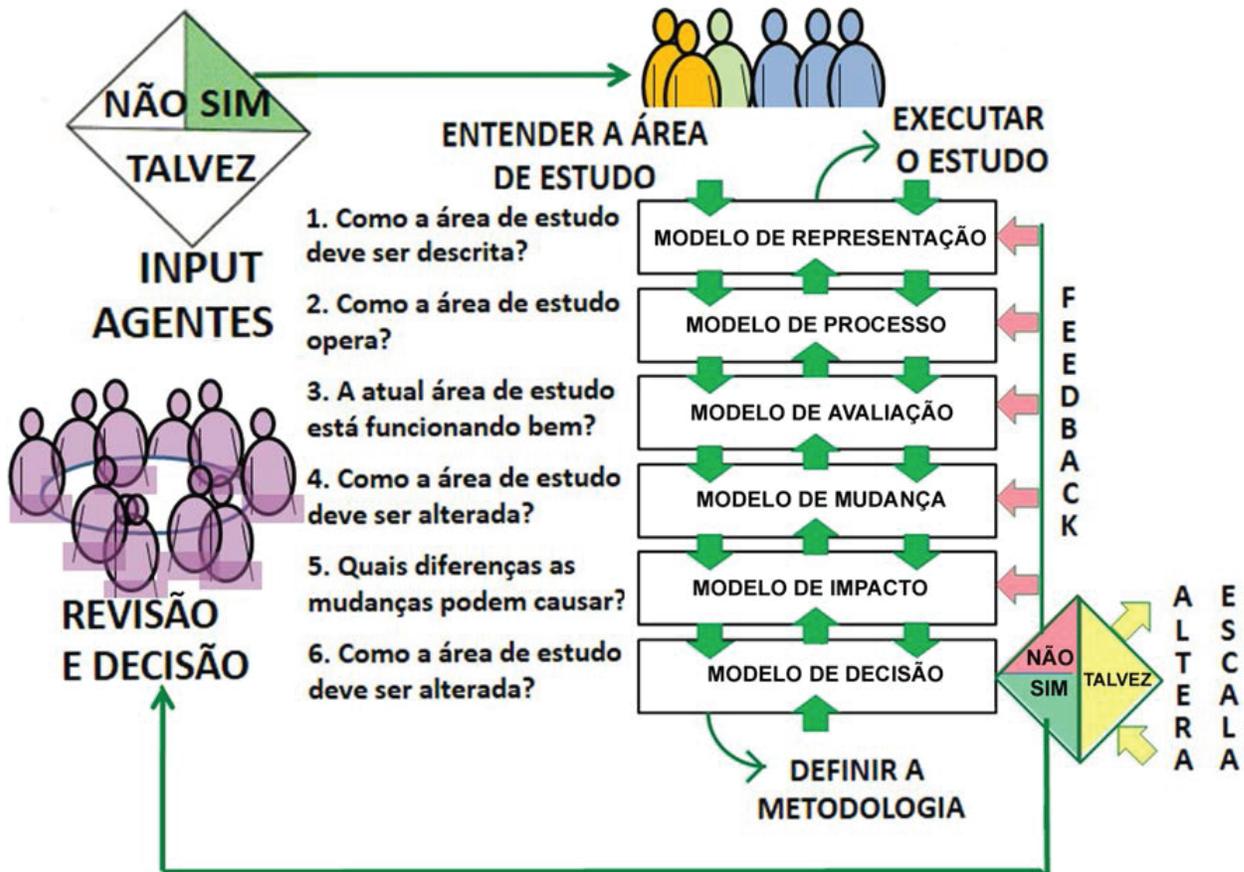


Fonte: Steinitz (2016)

O framework utilizado é composto de seis questões-chave que podem ser

modificadas à medida que o estudo avança, mas que foram desenvolvidas para resolver um problema específico. A resposta às questões levantadas são modelos, que têm seu conteúdo, especificidade e parâmetros de acordo com o estudo conduzido (Figura 17), e permite o desenvolvimento de diversos feedbacks, adaptando os resultados ao objetivo geral.

Figura 17 - Os atores, a equipe e o framework para o Geodesign



Fonte: Steinitz (2016)

Uma vez estruturadas as questões, o framework propõe três iterações nas quais todas as questões apresentadas devem ser respondidas, de forma direta ou subentendida. Durante a primeira iteração, busca-se responder as “perguntas por que” a fim de que a área, o escopo e a motivação do estudo possam ser compreendidos. Nessa iteração as perguntas devem ser feitas para a equipe na ordem de 1 a 6. Como o objetivo do framework é a realização de um workshop envolvendo as pessoas do lugar, a primeira iteração pode ser considerada uma etapa desenvolvida internamente pela equipe, a fim de testar as informações iniciais que serão apresentadas no workshop.

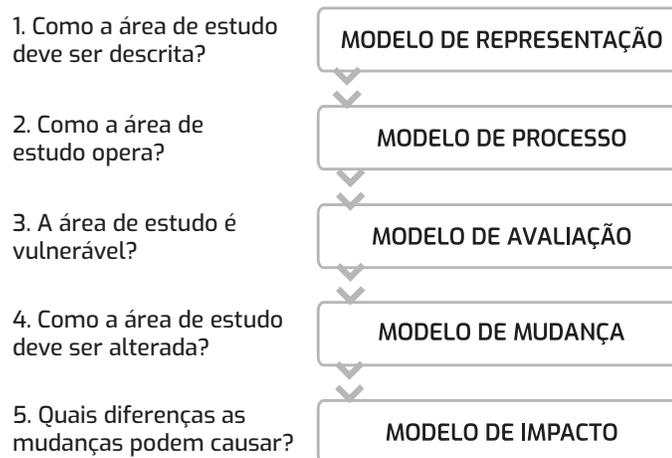
A segunda iteração serve para escolher o método de estudo, como ele será

feito. Para isso, as questões são feitas na ordem inversa, de 6 para 1. Assim, os dados são revisados, são definidas métricas, como as informações serão apresentadas, identificados os melhores métodos, o que será desconsiderado, etc. A realização dessa etapa faz com que o framework passe a ser guiado por decisões, em vez de somente por dados. Após a definição do método, é realizada a terceira iteração, na qual é de fato executado o estudo, ou seja, realizado o workshop. Nessa fase, são respondidas questões acerca do quando, onde e como as alterações serão feitas. As 6 perguntas voltam a ser feitas em sua ordem original (de 1 para 6), e os modelos que as respondem serão produzidos. Ao final desse processo, podem surgir três respostas possíveis: sim, não e talvez. Quando difere do sim, o processo é retomado até que seja encontrado uma solução aceita pela equipe, que então é levada para os agentes envolvidos. A proposta então é avaliada, podendo ser aceita (resposta sim) ou rejeitada (total ou parcialmente). Somente quando a proposta é aceita pelos tomadores de decisão ela é implantada.

1.5.2 - Adequação do método ao estudo

O framework apresentado sofrerá algumas adaptações para ser aplicado na pesquisa. Nesse caso, não será conduzido um workshop - o estudo aqui apresentado corresponde a fase preparatória para a primeira iteração, concentrando-se na coleta de dados, definição de parâmetros e avaliação e modificação do território segundo esses parâmetros. De forma a orientar a elaboração da pesquisa, a metodologia foi executada até a questão 5 (modelo de impacto) e sua resposta correspondente (Figura 18).

Figura 18 - Framework adaptado para o estudo



Fonte: Autora (2022).

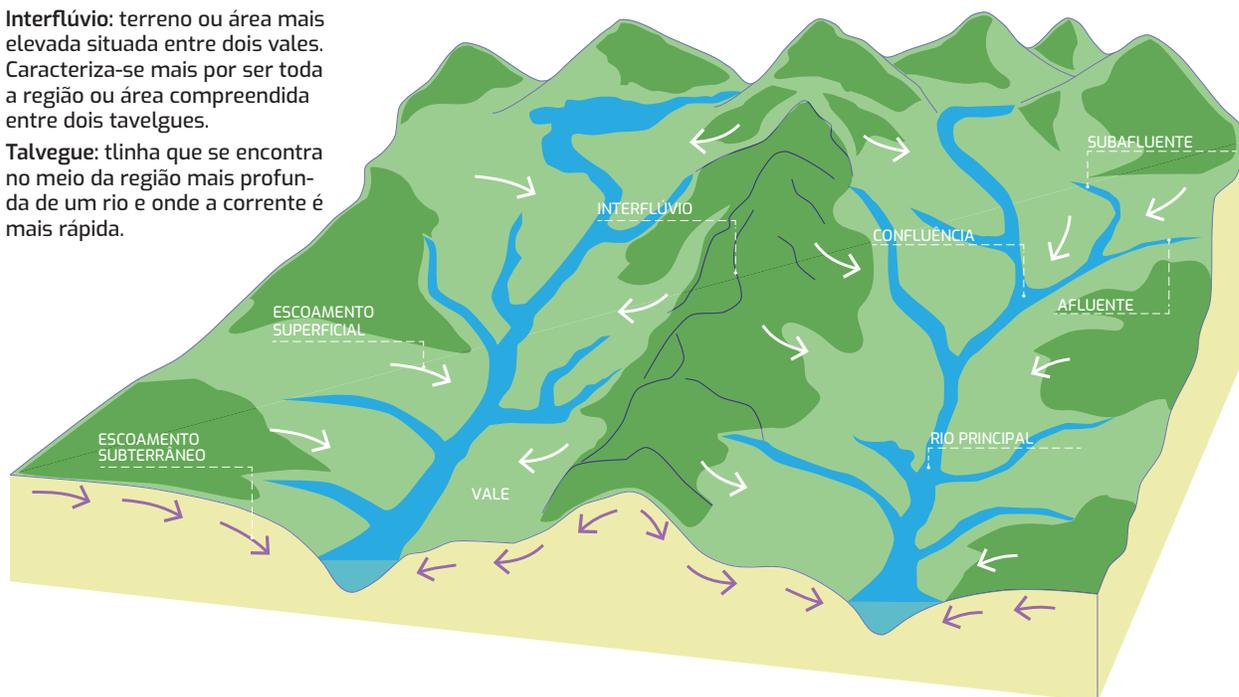
Uma vez definido o objetivo da pesquisa, foi necessário determinar a escala em que seria realizada. Conforme apontado anteriormente, recursos hídricos funcionam

como um sistema interrelacionado e interconectado, portanto, apesar de o objeto ser o Riacho Tauape, será considerado para estudo toda a sub-bacia B1 na qual ele está inserido. Isso porque uma sub-bacia é uma área drenada por um curso d'água menor de uma bacia hidrográfica (Figura 19), definida por Júnior (2012), como um "(...) sistema físico que coleta a água proveniente da precipitação e a faz convergir para uma seção de saída, denominada seção exutória, foz ou desembocadura". É uma área natural de captação de água para seu escoamento que, quando alterada, tem impacto em todos seus elementos e suas relações. Para o processamento dos dados em modelos, foi utilizado o software SIG QGIS. As informações utilizadas foram obtidas de órgãos, secretarias, institutos e fundações públicas, e foram interpretados (direta ou indiretamente) utilizando a água como parâmetro-chave.

Figura 19 - Bacia hidrográfica e interflúvios

Interflúvio: terreno ou área mais elevada situada entre dois vales. Caracteriza-se mais por ser toda a região ou área compreendida entre dois talvegues.

Talvegue: linha que se encontra no meio da região mais profunda de um rio e onde a corrente é mais rápida.



Fonte: Prefeitura Municipal de Fortaleza (2015).

2 CONCEITOS TEÓRICOS

O enfoque utilizado nesse trabalho requer o entendimento de alguns termos. Uma vez que a mudança de paradigma é algo relativamente novo, muitas vezes os autores não apresentam um consenso sobre o significado das ideias utilizadas, podendo haver variação na compreensão do que está sendo dito de acordo com a formação ou experiência do leitor. Essas definições servem para que a ideia seja distinta, não apresentando nada que não seja claro (PEIRCE, 1878), fazendo com que o leitor a perceba como algo realizável. De acordo com o que será apresentado, podemos reescrever o objetivo geral do trabalho como: restabelecer Serviços Ecossistêmicos (item 2.1) prestados pelo Riacho Tauape através da recuperação de seu Capital Natural (item 2.2) por meio do uso de Soluções Baseadas na Natureza (item 2.3) utilizando uma abordagem que busca a Adaptação Baseada nos Ecossistemas (item 2.4) para identificar os melhores locais de implantação de Infraestruturas Verdes (item 2.5). Para que isso faça sentido, porém, os termos apresentados necessitam de clareza - precisam ser compreendidos de forma a não serem mais confundidos com outros (PEIRCE, 1878) -, e isso foi atingido através de uma revisão teórica que resultou nas definições aqui apresentadas.

2.1 Serviços Ecossistêmicos

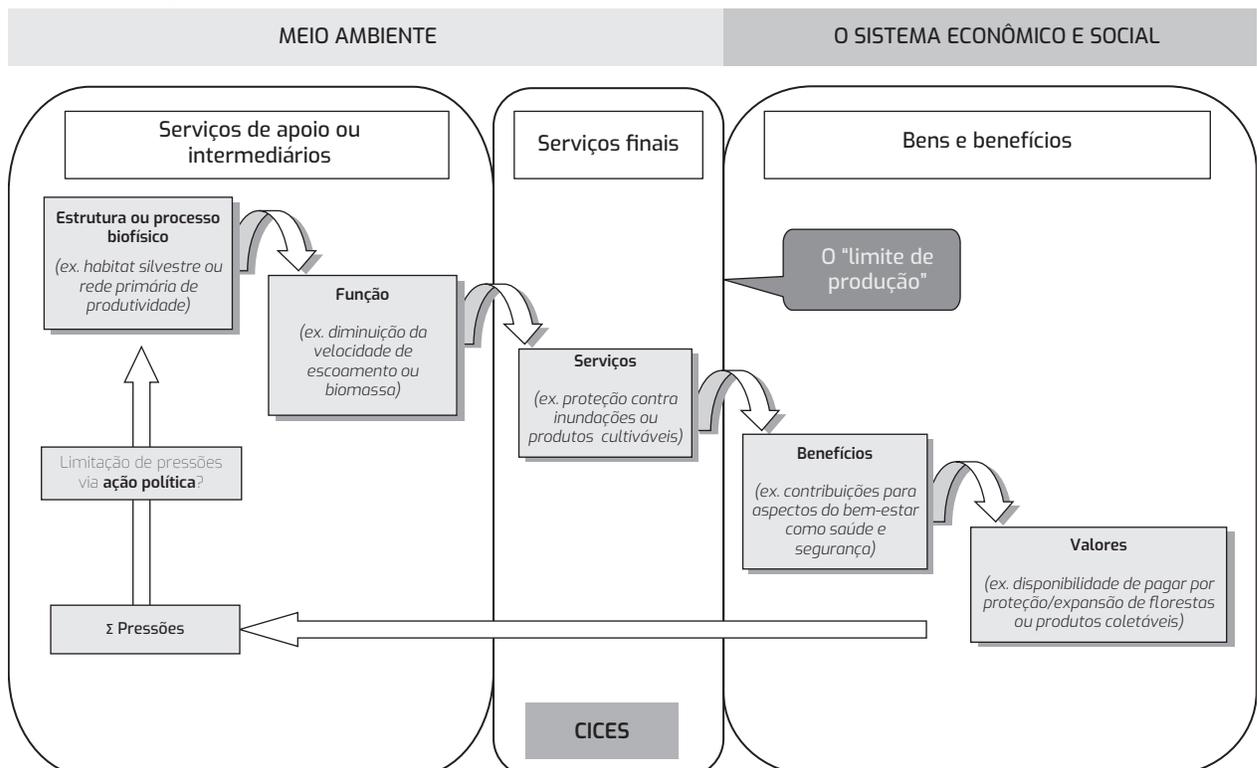
A história do conceito de Serviços Ecossistêmicos (SE) tem sua origem em um fracasso: percebeu-se que o reconhecimento e debates sobre a importância de medidas de proteção e conservação ficaram restritos a profissionais e interessados na área. Buscando tornar as discussões sobre a natureza relevante para o público geral, no final dos anos 1970, foi adotada uma perspectiva utilitarista acerca dos benefícios que os ecossistemas poderiam proporcionar, dando origem ao conceito de SE. A preservação da biodiversidade, sob essa perspectiva, tinha como intuito servir ao bem-estar humano. Colocar o homem como peça-chave serviu para chamar atenção da sociedade, fazendo com que as pessoas entendessem que são parte de um grande ecossistema com o qual estão intrinsecamente interrelacionados por meio de fatores biológicos, climáticos e sociais (GÓMEZ-BAGGETHUN et al., 2010).

O Millenium Ecosystem Assessment representou um marco no tema com a publicação de um relatório que trazia a estrutura conceitual utilizada pelo grupo de trabalho. No relatório intitulado “Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment” (MA) (DOUGLAS, 2017), SE são entendidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, e são distribuídos em quatro categorias diferentes: serviços de

suporte (aqueles necessários para a produção de outros serviços), serviços de provisão (aqueles que fornecem produtos), serviços de regulação (aqueles que regulam os processos dos ecossistemas) e serviços culturais (benefícios não-materiais). Essa conceituação foi tão bem sucedida que conseguiu ultrapassar os limites acadêmicos, inserindo-se em políticas governamentais e no setor privado. Nos anos subsequentes à publicação do MA, foram desenvolvidas pesquisas empíricas, conceituais, e elaborados frameworks que buscavam identificar tanto os SE quanto as possibilidades e resultados de suas alterações para os seres humanos. Porém, a pluralidade de definições gerou uma confusão na identificação dos SE e nos benefícios por eles gerados (LA NOTTE et al., 2017).

Para facilitar a compreensão acerca do tema, Potschin e Haines-Young (2018) desenvolveram o modelo cascata (Figura 20), que buscava identificar as propriedades, características e relações dos sistemas e o caminho para o fornecimento dos SE. Ele representa um fluxo que se inicia em um elemento (estrutura ou processo biofísico) que possui características ou comportamentos (funções) e fornecem serviços (contribuições), gerando produtos ou benefícios passíveis de valoração. O entendimento simplificado das relações intrínsecas aos ecossistemas funciona como ponto de partida nas discussões ao facilitar a compreensão de como a natureza é capaz de influenciar o bem-estar humano.

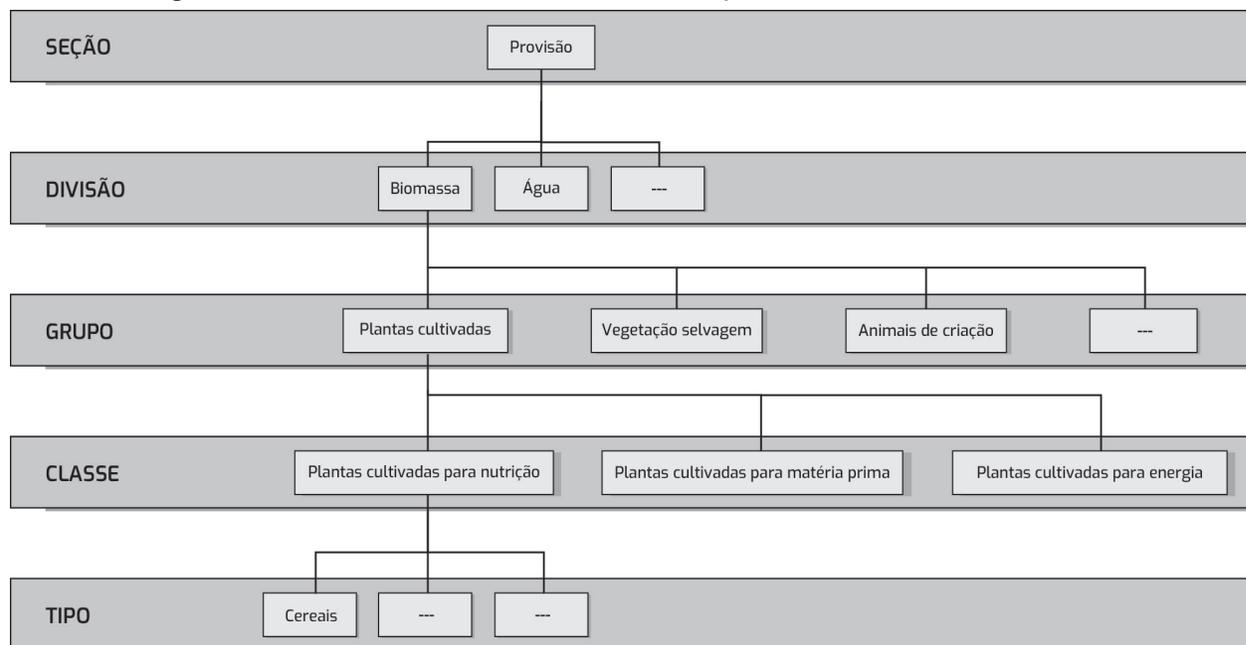
Figura 20 - Modelo cascata



Fonte: Adaptado de Potschin e Haines-Young (2018)

Utilizando o modelo cascata como estrutura básica e a nomenclatura apresentada pelo MA como ponto de partida, a *European Environment Agency* (EEA) desenvolveu a *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES) (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018) que tinha como objetivo identificar os SE. Eles foram organizados em uma estrutura hierárquica capaz de identificar o serviço prestado com o grau de detalhamento mais adequado requerido para sua identificação, aplicação e comparação (Figura 21). Os níveis mais abrangentes da estrutura hierárquica, as seções, compreendem 3 das 4 categorias utilizadas pelo MA – provisão, regulação e manutenção e cultural - que podem ser bióticas ou abióticas. Os serviços de suporte presentes no MA não fazem parte do CICES pois foi compreendido que tais serviços seriam melhor descritos como uma estrutura ou processo de outros serviços. Assim, a partir dessas categorias gerais, os serviços vão sendo decompostos em níveis mais específicos, mantendo o vínculo entre eles.

Figura 21 - Estrutura de análise utilizada pelo CICES



Fonte: Adaptado de Potschin e Haines-Young (2018).

Atualmente em sua versão 5.1, o documento passa por uma nova revisão, com previsão de ser publicado em 2023. Entender as contribuições que os ecossistemas fornecem para a humanidade é de crucial importância para entendermos os impactos das nossas ações. Por isso, os SE têm sido muito utilizados como métrica de avaliação de projetos. Ao propor uma intervenção em uma área, avalia-se os SE prestados pelos elementos daquela área e compara-se com os SE que serão mantidos, criados ou otimizados. Isso permite que tomemos uma decisão consciente acerca das trocas que fazemos,

e abre a possibilidade de participação de múltiplos agentes de diferentes setores nessas tomadas de decisão.

2.2 Capital Natural

Em linhas gerais, capital pode ser entendido como um “estoque de informações ou materiais que existem em um determinado momento do tempo” (COSTANZA et al., 1997). Esse termo vem da economia e tem sido utilizado por ambientalistas, ecologistas e outros profissionais que intervêm na paisagem como uma forma de dialogar com pessoas habituadas a uma perspectiva econômica. Ele é utilizado para salientar a compreensão de que o capital natural é um ativo, assim como o capital produzido (bens ou recursos gerados), o capital humano (habilidades e conhecimento), o capital financeiro (posse do controle do capital físico), e o capital social (cultura e valores de uma comunidade) (GÓMEZ-BAGGETHUN et al., 2010). Portanto, capital natural é definido como um “(...) estoque de recursos naturais renováveis e não renováveis que produzem um fluxo de benefícios para as pessoas” (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2021a) – são a fauna, a flora, a água, a atmosfera, etc. Ele é essencial para o desenvolvimento por ser tanto a matéria prima das outras formas de capital quanto por ser complementar a elas.

O modelo econômico adotado atualmente enxerga o capital natural como algo que pode ser indefinidamente compensado pelo avanço tecnológico, por isso a sociedade moderna percebe uma dependência menor da natureza do que sociedades primitivas (LELE et al., 2013). Devido ao acesso facilitado a serviços, residentes de áreas urbanizadas têm uma visão mais limitada da importância dos ecossistemas e de como os seres humanos e a natureza interagem, adotando um padrão de pensamento mais simplificado das relações socioecológicas. Isso acaba refletindo em ações contraproduzidas para a utilização e manutenção do capital natural existente, e um baixo reconhecimento de sua real importância em processos de tomada de decisão, resultando em seu constante declínio (AMINPOUR et al., 2022; BARBIER, 2019; COSTANZA et al., 1997).

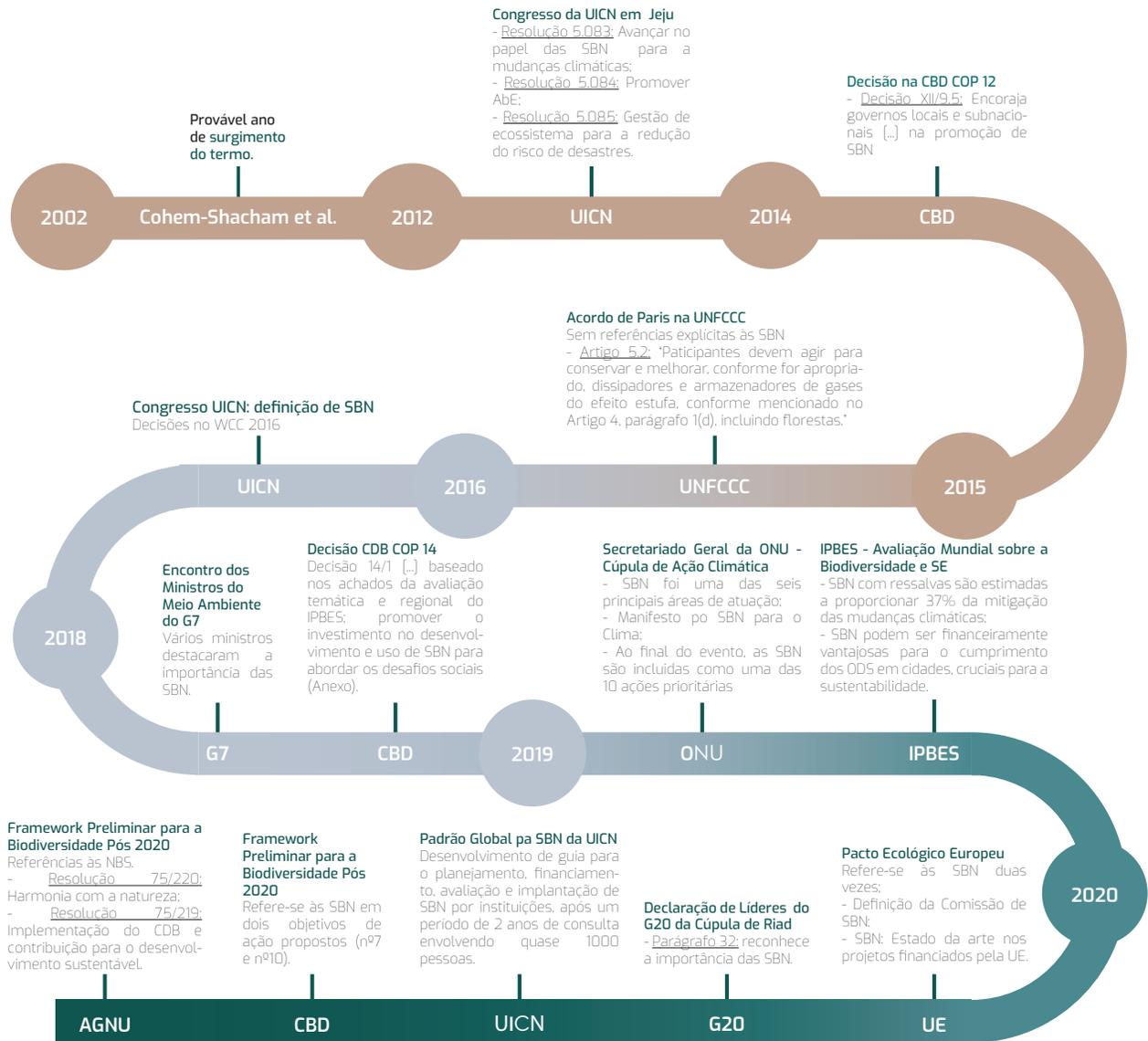
A problemática do contínuo decréscimo de capital natural no planeta foi reconhecido já em 1987 (BRUNDTLAND, 1987) através da definição do conceito de desenvolvimento sustentável, descrito como “(...) aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”. Para isso, segundo o relatório, deveriam ser identificados e respeitados os limites ambientais em termos populacionais e de uso de recursos. Posteriormente, em 2009, a abordagem dos limites planetários avançou na identificação e delimi-

tação desses marcos. Ela teve origem na constatação de que agora a humanidade é a principal impulsionadora das mudanças climáticas, devendo ser identificados os limites operacionais de segurança (o espaço seguro) para a ocorrência de suas atividades. Isso visa evitar que o crescimento das ações humanas desestabilize o ecossistema global e desencadeie mudanças climáticas abruptas ou irreversíveis que comprometam a vida no planeta (HOLDEN; LINNERUD; BANISTER, 2017; STEFFEN et al., 2015). Essa abordagem está diretamente relacionada com o conceito de capital natural, uma vez que a questão agora passa a ser: como adquirir os benefícios gerados sem esgotar ou degradar o capital natural existente?

2.3 Soluções Baseadas na Natureza

O termo “soluções baseadas na natureza (SBN)” tem sido desenvolvido ao longo dos anos, refletindo o trabalho realizado por muitas organizações internacionais, governos e instituições. A definição adotada pela International *Union for Conservation of Nature* (IUCN), entende as SBNs como “ações [estruturais e não estruturais] para proteger, gerenciar de maneira sustentável e restaurar ecossistemas modificados que tratam mudanças sociais de maneira eficaz e adaptativa, enquanto propiciam bem-estar humano e benefícios à biodiversidade.” A *European Commission* (EC) apresenta outra definição. Segundo eles, SBN são “soluções que são inspiradas e apoiadas na natureza, que são financeiramente vantajosas, ao mesmo tempo que propiciam benefícios ambientais, sociais, econômicos e ajudam a desenvolver a resiliência.” De uma forma geral, podemos entender SBN como um conceito guarda-chuva, que abrange soluções que se utilizam da natureza ou de processos naturais para a obtenção de benefícios. A grande diferença entre as duas definições é que, enquanto a IUCN considera o gerenciamento sustentável ou a restauração de ecossistemas como elemento central, a EC tem uma compreensão mais ampla do tema, enfatizando uso de soluções que não apenas usem a natureza, mas que também a mimetizem. O surgimento do termo representa uma mudança de perspectiva, colocando as pessoas como responsáveis por proteger, gerenciar e restaurar ativamente os ecossistemas nos quais estão inseridos (BROWDER et al., 2019; WALTERS; JANZEN; MAGINNIS, 2016). Nesse trabalho foi utilizado o conceito da IUCN. Entendeu-se que ele aborda de forma mais tangível a possibilidade de adaptação dos ambientes modificados, representando um grande potencial para cooperação entre os múltiplos agentes envolvidos.

Figura 22 - Adoção do termo SBN por instituições internacionais ao longo dos anos.



Fonte: Adaptado de United Nations Environment Programme (2021b)

As SBNs têm ganhado importância cada vez maior por apresentarem uma grande gama de alternativas, sendo soluções abrangentes para resolver diversos tipos de desafios (mudanças climáticas, eventos críticos, segurança hídrica e alimentar), indo muito além de um problema específico (Figura 23). Segundo relatório do Banco Mundial (BROWDER et al., 2019), a utilização das SBNs serve tanto para melhorar a infraestrutura quanto para gerar benefícios sociais e ambientais. A adoção eficiente dessas soluções elas devem envolver 8 características básicas: (i) utilização de normas e princípios de proteção e conservação da natureza; (ii) possibilidade de implantação independente ou em conjunto com outras soluções para o combate de desafios sociais; (iii) definição por

contextos naturais e culturais locais; (iv) produção de benefícios sociais ao promoverem uma maior transparência e ampla participação popular; (v) manutenção da diversidade biológica e cultural, fazendo com que os ecossistemas consigam evoluir ao longo do tempo; (vi) aplicação na escala da paisagem (microescala); (vii) reconhecimento das concessões necessárias entre benefícios econômicos, desenvolvimento e produção de serviços ecossistêmicos; e (viii) obrigatoriedade de sua presença na elaboração de políticas, medidas e ações para o enfrentamento de desafios específicos.

Figura 23 - Benefícios de uso de SBN e suas estratégias



Fonte: Adaptado de United Nations Environment Programme (2021a).

Em relatório desenvolvido pela IUCN (WALTERS; JANZEN; MAGINNIS, 2016), foram identificadas cinco categorias de abordagens diferentes, conforme explicitadas na Tabela 01. Apesar de possuírem muitas similaridades, elas representam condutas diferentes perante os desafios apresentados pelas mudanças climáticas. A abordagem adotada por esse trabalho será melhor esclarecida no item 2.4.

No entanto, uma observação deve ser feita: apesar de serem baseadas na natureza e utilizarem princípios de conservação ambiental, as SBNs não devem ser interpretadas como uma forma de substituir esforços de conservação e restauro dos elementos naturais. Tampouco tais esforços devem ser compreendidos automaticamente como SBNs. Para isso, deve-se ter em mente que as SBNs são escolhas deliberadas para o enfrentamento de um problema social, que frequentemente priorizam a prestação de um serviço ecossistêmico específico para a obtenção de um benefício (muito embora sejam obtidos múltiplos cobenefícios).

Tabela 01 - Categorias e exemplos de abordagens de SBN

CATEGORIA DE ABORDAGEM DE SBN	EXEMPLOS
De restauro dos ecossistemas	Restauro ecológico Engenharia ecológica Restauro da paisagem florestal
Específicas de um problema relacionado aos ecossistemas	Adaptação baseada em ecossistemas Mitigação baseada em ecossistemas Serviços de adaptação ao clima Redução de risco de desastres baseada em ecossistemas
Relacionadas à infraestrutura	Infraestrutura natural Infraestrutura verde
Baseadas na gestão dos ecossistemas	Gestão integrada da zona costeira Gestão integrada dos recursos hídricos
De proteção dos ecossistemas	Abordagens baseadas na conservação de uma área, incluindo a gestão de área protegida

Fonte: Adaptado de Novotny; Ahern e Brown (2010).

2.4 Adaptação Baseada em Ecossistemas

Segundo (WORONIECKI; WAMSLER; BOYD, 2019), adaptação pode ser entendida como processo através do qual a pessoas reduzem suas vulnerabilidades. Adaptação baseada em ecossistemas (AbE) é uma categoria de abordagem de SBN que foi definida em 2009 pelo Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CDB) (2009 apud CHONG, 2014) como “o uso de biodiversidade e serviços ecossistêmicos para ajudar as pessoas a se adaptarem aos impactos adversos das mudanças climáticas”. Ela tem seu foco nas pessoas e objetiva tanto a redução da vulnerabilidade de grupos em risco quanto a criação de um ambiente mais resiliente. O principal elemento diferenciador dessa abordagem é o propósito final de adaptação social, que faz com que ela possa gerar resultados potencialmente mais sustentáveis (CHONG, 2014; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2021a).

As AbE estão inseridas em uma estratégia adaptativa global, e são fortemente influenciadas pelo dinamismo do contexto socioeconômico no qual estão inseridas (MCVITTIE et al., 2015). As soluções adotadas pela AbE dependem de infraestrutura verde (ver item 2.5), e relacionam-se a conservação, restauração, criação e/ou gestão sustentável dos ecossistemas. As medidas podem ser classificadas de acordo com o tipo

ou alvo; de acordo com o ecossistema, infraestrutura, estrutura da qual dependem; de acordo com seu potencial mitigador; ou de acordo com os múltiplos benefícios a serem fornecidos (ZÖLCH; WAMSLER; PAULEIT, 2018).

Devido sua natureza dinâmica e multidisciplinar, a AbE estimula o desenvolvimento de diálogo inter e transdisciplinar que envolve não somente acadêmicos, mas também tomadores de decisão, a comunidade local e os conhecimentos tradicionais, partindo de uma abordagem mais holística dos ecossistemas e sistemas sociais. (AMINPOUR et al., 2022; CHONG, 2014; MCVITTIE et al., 2015; WALKER; SALT, 2006). Essas características da AbE as interrelacionam com o conceito de resiliência, definido por Walker e Salt (2006) como a “capacidade de um sistema de absorver perturbações e ainda reter suas funções e estruturas básicas”. Esse conceito é baseado na teoria do não-equilíbrio, no qual as paisagens são aceitas como elementos heterogêneos, que possuem um regime de perturbação com tipo, frequência e intensidade, capazes de serem alterados por causas conhecidas e desconhecidas (NOVOTNY; AHERN; BROWN, 2010). Walker e Salt (2006) apontam como uma das razões para o desenvolvimento insustentável a falta de compreensão das dinâmicas ambientais, que reside não apenas na quantidade de informação disponível, mas também na interpretação que damos a elas. O paradigma atual, de otimização e eficiência dos sistemas, não funciona, uma vez que considera que o elemento está isolado (não pode ser influenciado por outros elementos ou variáveis) e que as mudanças serão sempre incrementais, mantendo apenas aquilo que está sendo imediatamente benéfico. O objetivo é atingir e manter um estado “ideal” especificado, algo impossível de ser alcançado (por ecossistemas, sistemas sociais ou até mesmo pelo mundo). No pensamento resiliente há a compreensão e aceitação de que os sistemas são complexos e sujeitos a ciclos de mudanças - elas passam a ser aceitas como características inevitáveis dos sistemas ou processos em planejamento. Dessa forma, a resiliência é a nova forma de se pensar a sustentabilidade.

A AbE utiliza-se do planejamento resiliente, que requer uma abordagem mais estratégica, baseada na identificação de processos e eventos que ocorrem em um meio urbano específico, suas forças motivadoras e frequências, integrando essas informações com as múltiplas escalas conectadas para constituir estratégias adaptativas (AHERN, 2011). Para Novotny, Ahern e Brown (2010), o planejamento urbano estratégico “(..) requer uma mistura particular e integração entre conhecimento, visão, criatividade e habilidades políticas” e só pode ser considerado dessa forma quando tenta compreender e gerenciar as causas das mudanças em vez de encontrar uma forma de reagir aos impactos causados por elas. Os autores destacam cinco estratégias para o planejamento e design urbano que servem para abordar a incerteza intrínseca das cidades (Tabela 02). A

adoção dessas estratégias tenta equilibrar a necessidade de estabilidade e segurança da sustentabilidade e a constante necessidade de adaptação e modificação dos sistemas.

Tabela 02 - Estratégias para o desenvolvimento de resiliência urbana

ESTRATÉGIA	ATRIBUTOS/CARACTERÍSTICAS
Praticar multifuncionalidade	Espacialmente eficiente; Economicamente eficiente; Estimula o apoio sociopolítico
Praticar redundância e modularização	Dissolve riscos; Reforça a funcionalidade; Metassistêmico; Descentralizados, adaptável; Consegue “conter” perturbações; Flexível, adaptável; Segregado espacialmente.
Promover (bio)diversidade e heterogeneidade	Respostas diferentes a perturbações, estresses e oportunidades; Biblioteca biológica de memória/conhecimento; Existência de funções complementares.
Desenvolver e restaurar redes e conectividade.	Metassistêmico; Interconectado e redundante; Dissolve riscos; Desenhado para estimular fluxos e funções.
Construir a capacidade adaptativa	Ações como oportunidades para experimentação e inovação; “Aprender fazendo”; “Seguro para falhar”.

Fonte: Adaptado de Novotny; Ahern e Brown (2010).

Assim, a abordagem adaptativa mostra-se como a mais adequada para intervenções no meio urbano que visem o desenvolvimento de um ambiente resiliente, uma vez que o planejamento agora passa a incorporar a ocorrência de perturbações a fim de mitigar ou até mesmo evitar seu impacto.

2.5 Infraestrutura Verde

Define-se infraestrutura como o “estoque de funcionalidades, serviços e instalações necessário para o funcionamento de uma sociedade” (WALTERS; JANZEN; MA-

GINNIS, 2016). De acordo com essa definição, podemos compreender as cidades como um conjunto de redes de infraestruturas e serviços. Essas redes foram desenvolvidas tradicionalmente através da construção de estruturas físicas e equipamentos mecânicos, – também conhecidos como infraestrutura cinza (BROWDER et al., 2019) - e quando o assunto era recurso hídrico, a canalização e o tamponamento tornaram-se os meios pelos quais a administração pública lidou com tais atributos naturais presentes na paisagem urbana (PEREIRA et al., 2021).

Nos anos 1990, o termo infraestrutura verde apareceu em um relatório da Comissão de Greenways, da Flórida, que defendia a relevância dos sistemas naturais perante a infraestrutura tradicional. Eles foram apontados como tão ou mais importantes que as infraestruturas convencionais devido à falta de capacidade destas de se adaptarem aos desafios crescentes da urbanização em massa, seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento (BONZI, 2017; NOVOTNY; AHERN; BROWN, 2010). Essa mudança de paradigma representou uma nova perspectiva sobre a natureza, que deixou de ser vista apenas como um espaço lúdico ou de conservação, passando a ser encarado como um fornecedor de múltiplos benefícios para a humanidade. Apesar de parecer uma grande novidade, no entanto, as origens do termo estão ligadas aos cinturões verdes do Reino Unido e às redes de espaços públicos urbanos norte-americanos dos anos 1850.

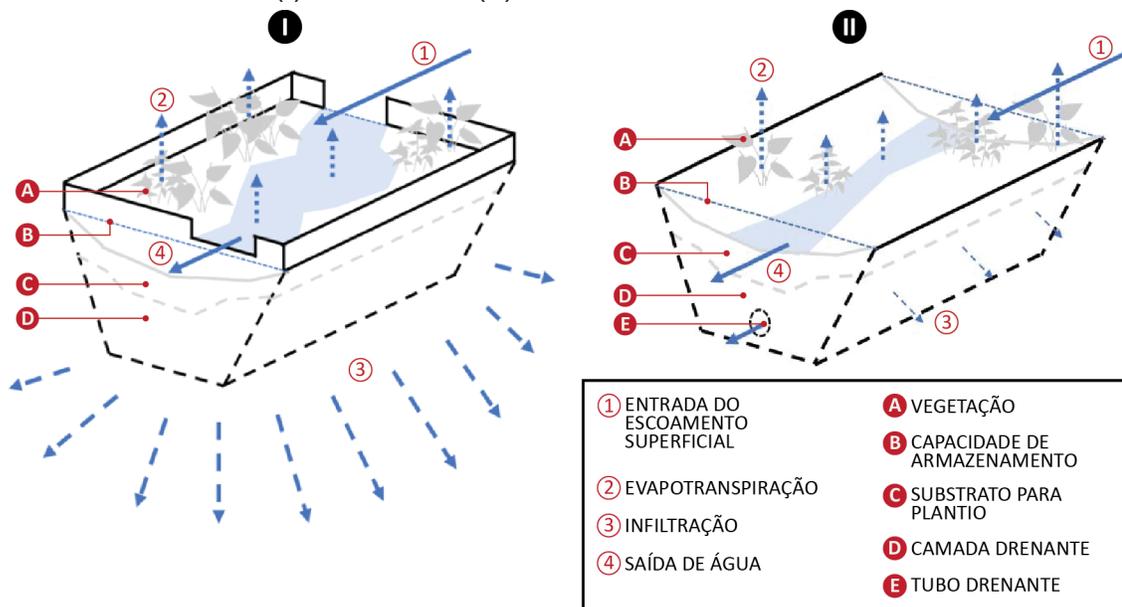
A definição de IV utilizada aqui será a mesma adotada por Bonzi (2017), que se aproxima da expressão “medidas verdes” presente na publicação “*A Catalogue of Nature-based Solutions for Urban Resilience*” (WORLD BANK, 2021), definida como “um conjunto de produtos, tecnologias e práticas que usam sistemas naturais ou planejados que imitam processos naturais para melhorar a qualidade ambiental geral e fornecer serviços.” Por abordar a necessidade urgente de ambiente urbanos mais sustentáveis e resilientes, ela é vista como um elemento estratégico do planejamento adaptativo.

No entanto, a IV não será entendida apenas como um conjunto de medidas duras que, devido a sua natureza, são mais cultivadas do que construídas (BONZI, 2017). Devido a abordagem de AbE utilizada, ela será entendida também como um sistema integrado de soluções que visam proteger as paisagens existentes e melhorar a resiliência urbana. Portanto, dentre os requisitos básicos para o uso dessas soluções de forma que elas possam ser consideradas táticas para a AbE estão a conectividade – tanto entre as IVs quanto entre as IV e infraestruturas cinzas –, a multifuncionalidade e a adequação ao contexto no qual estão inseridas. Dessa forma, além de apoiar as funções urbanas essenciais ainda fornecem benefícios mensuráveis.

Neste trabalho, o tipo de IV utilizada foi a célula de biorretenção – “regiões pequenas, com depressão topográfica e compostas de material drenante em sua base,

substrato de plantio com superfície vegetada e cobertura de serrapilheira” (PEREIRA et al., 2021). Elas representam uma alternativa complementar ao sistema de drenagem tradicional, auxiliando na gestão da qualidade e quantidade de escoamento superficial a partir do tratamento da água por mecanismos naturais. Dentre os tipos mais representativos estão os jardins de chuva, canteiros pluviais e biovaletas (Figura 24), que têm em comum a tarefa de reter e tratar a água escoada por meio da presença da vegetação. No entanto, enquanto os dois primeiros têm como função principal a infiltração da água escoada (mudando basicamente apenas a dimensão dos elementos), a biovaleta possui como função primária a condução da água de um ponto ao outro. Conforme mencionado anteriormente, o correto planejamento dessas soluções depende de características locais (físicas, políticas, econômicas e sociais), devendo as diferentes células serem implementadas de forma integrada, a fim de formar uma rede de amortecimento e tratamento de água.

Figura 24 - Esquema simplificado da estrutura dinâmica hídrica de jardim de chuva (I) e biovaleta (II)

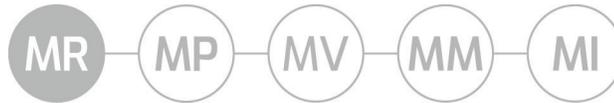


Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2021).

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Modelos de representação

Figura 25 - Localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign

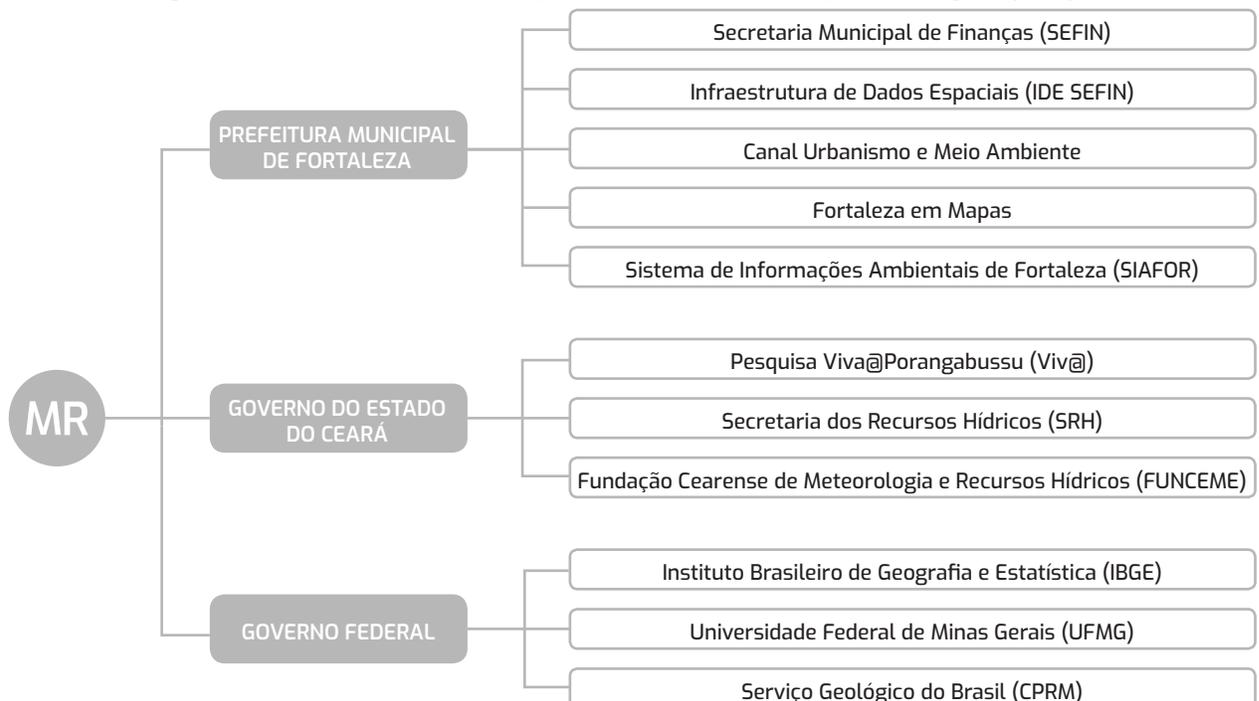


MR - Modelo de Representação, MP - Modelo de Processo; MV - Modelo de Avaliação; MM - Modelo de Mudança; MI - Modelo de Impacto.

Fonte: Autora (2023)

Modelos de representação são respostas para a pergunta “Como a área de estudo deve ser descrita?”. Dentre as questões relacionadas à pergunta estão a definição e delimitação da área de estudo, a identificação dos dados necessários e a determinação da escala adequada para sua utilização. Em virtude de ter sido utilizada a escala da sub-bacia, os dados coletados extrapolam às áreas diferentes aos limites administrativos estabelecidos pelo município. Dessa forma, foram consultados vários nichos de informação, a fim de permitir o processo de modelagem mais adequado para representação. Características do comportamento hídrico da área foram essenciais, pois foram utilizadas tanto para caracterização quanto para análise do local.

Figura 26 - Dados coletados para o Modelo de Representação (MR)



Fonte: Autora (2023)

Foram consultados dados provenientes das esferas Municipal (SEFIN, IDE SEFIN, canal Urbanismo e Meio Ambiente, Fortaleza em Mapas, SIAFOR), Estadual (Pesquisa Viva@Porangabussu; SRH; FUNCEME) e Federal (CPRM, IBGE, UFMG) (Figura 26). O objetivo desta fase é identificar a base de dados disponíveis para a área de forma a viabilizar o estudo. Com os dados coletados, eles foram examinados para que fosse definida a forma de representação e processamento mais adequada.

3.2 Modelos de processo

Figura 27 - Localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign



MR - Modelo de Representação, MP - Modelo de Processo; MV - Modelo de Avaliação; MM - Modelo de Mudança; MI - Modelo de Impacto.

Fonte: Autora (2023)

Nessa fase, o principal objetivo é entender como funciona a área. Para isso, os dados coletados foram espacializados para identificar “o que” e “onde”, e agrupados nos seguintes modelos temáticos: geomorfológico (Figura 28), administrativo (Figura 29), de morfologia urbana (Figura 30). de características socioeconômicas (Figura 31) de planejamento (Figura 32). Além dos mapas temáticos, as informações coletadas permitiram a elaboração de um modelo e de dinâmica hídrica (Figura 81).

Figura 28 - Conjunto de modelos geomorfológicos

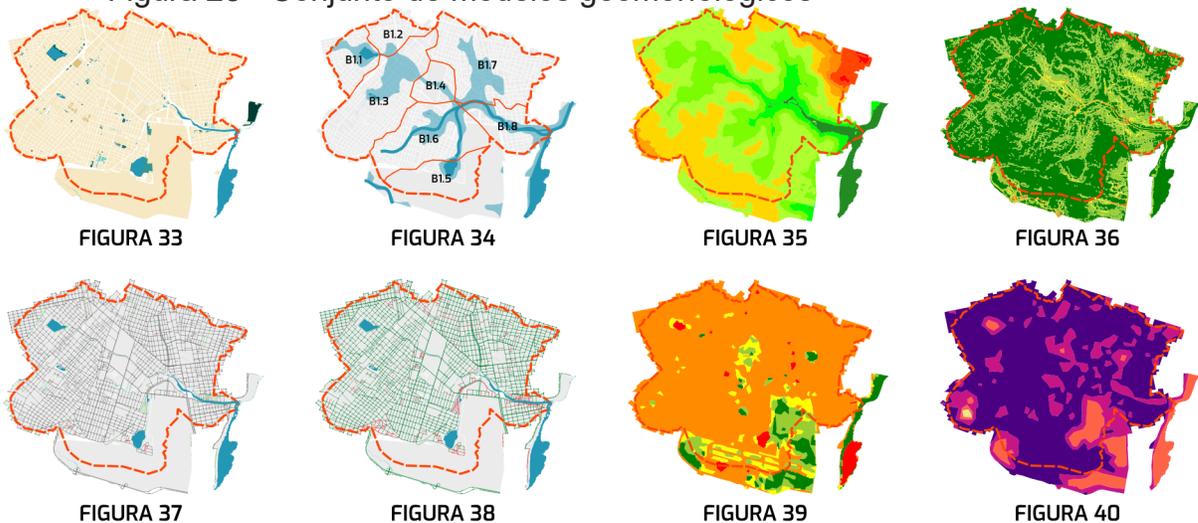


Figura 33: Tipos de solo; Figura 34: Hidromorfologia; Figura 35: Altimetria; Figura 36: Declividade; Figura 37: Permeabilidade do recobrimento das vias; Figura 38: Presença de vegetação nas vias; Figura 39: NDVI; Figura 40: Temperatura de superfície.

Fonte: EMBRAPA (1979); CPRM (2015); SEFIN (2016, 2017); COURB, SEUMA (2018); Fortaleza 2040 (2019, 2020); UFMG (2020).

Figura 29 - Conjunto de modelos administrativos

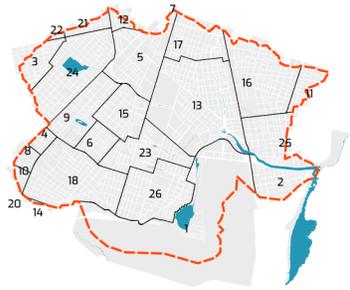


FIGURA 41

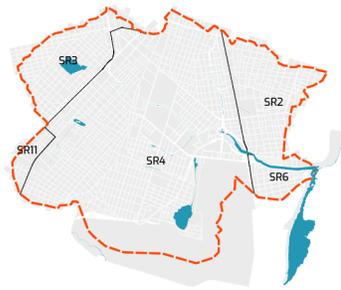


FIGURA 42



FIGURA 43

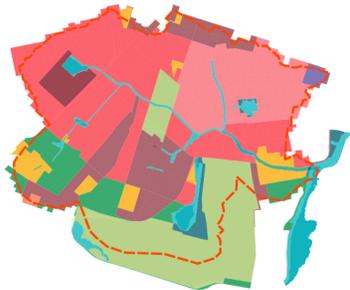


FIGURA 44



FIGURA 45A



FIGURA 45B



FIGURA 45C



FIGURA 45D



FIGURA 45E



FIGURA 45F

Figura 41: Limites dos bairros; Figura 42: Limites das Secretarias Executivas Regionais (SER); Figura 43: Área de Preservação Permanentes (APP); Figura 44: Macrozoneamento Urbano e Ambiental; Figura 45A: Espacialização da taxa de permeabilidade proposta pela LC 236/2017; Figura 45B: Espacialização da taxa de ocupação proposta pela LC 236/2017; Figura 45C: Espacialização da área mínima do lote proposta pela LC 236/2017; Figura 45D: Espacialização da altura máxima da edificação proposta pela LC 236/2017; Figura 45E: Espacialização do índice de aproveitamento máximo proposto pela LC 236/2017; Figura 45F: Espacialização do índice de aproveitamento básico proposto pela LC 236/2017.

Fonte: Lei 12651 (2012); SEFIN (2016, 2017); LC 236 (2017); IPLANFOR (2019).

Figura 30 - Conjunto de modelos de morfologia urbana



FIGURA 46

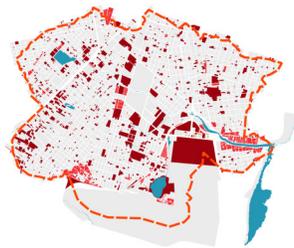


FIGURA 47

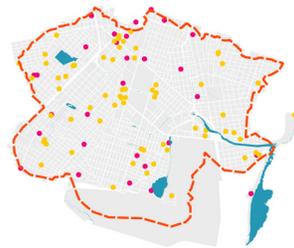


FIGURA 48

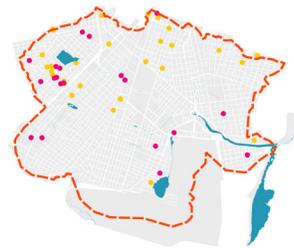


FIGURA 49



FIGURA 50



FIGURA 51



FIGURA 52



FIGURA 53



FIGURA 54

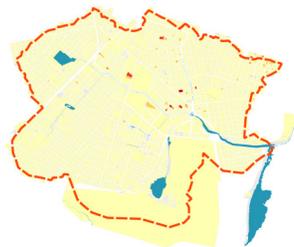


FIGURA 55

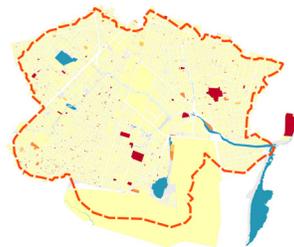


FIGURA 56

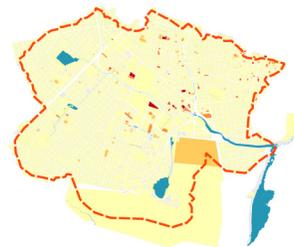


FIGURA 57

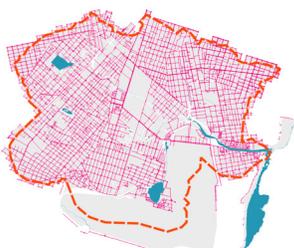


FIGURA 58

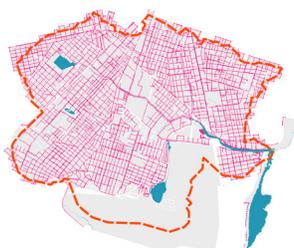


FIGURA 59

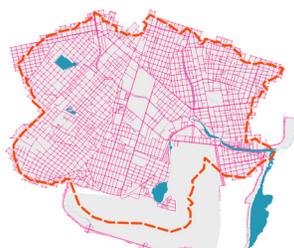


FIGURA 60



FIGURA 60

Figura 46: Usos dos lotes; Figura 47: Ocupação dos lotes; Figura 48: Equipamentos de educação, cultura e lazer; Figura 49: Equipamentos de assistência social e de assistência à saúde; Figura 50: Presença de modais presentes na área; Figura 51: Mapa ciclovitário; Figura 52: Integração viária; Figura 53: Permeabilidade visual das fachadas; Figura 54: GSI/Taxa de ocupação do lote; Figura 55: FSI/Índice de aproveitamento dos lotes; Figura 56: OSR; Figura 57: Altura das edificações; Figura 58: Infraestrutura de água; Figura 59: Infraestrutura de esgoto; Figura 60: Iluminação Pública; Figura 61: Infraestrutura de drenagem.

Fonte: SEFIN (2016); PLHISFOR (2012); Pesquisa Viva@Porangabussu (2020); Google (2021); SEUMA (2019); Plano Fortaleza 2040; (2019); Mais Ação (2020); PAITT (2020); ETU-FOR (2018); METROFOR/IPLANFOR (2018); CAGECE (2019).

Figura 31 - Conjunto de modelos socioeconômicos

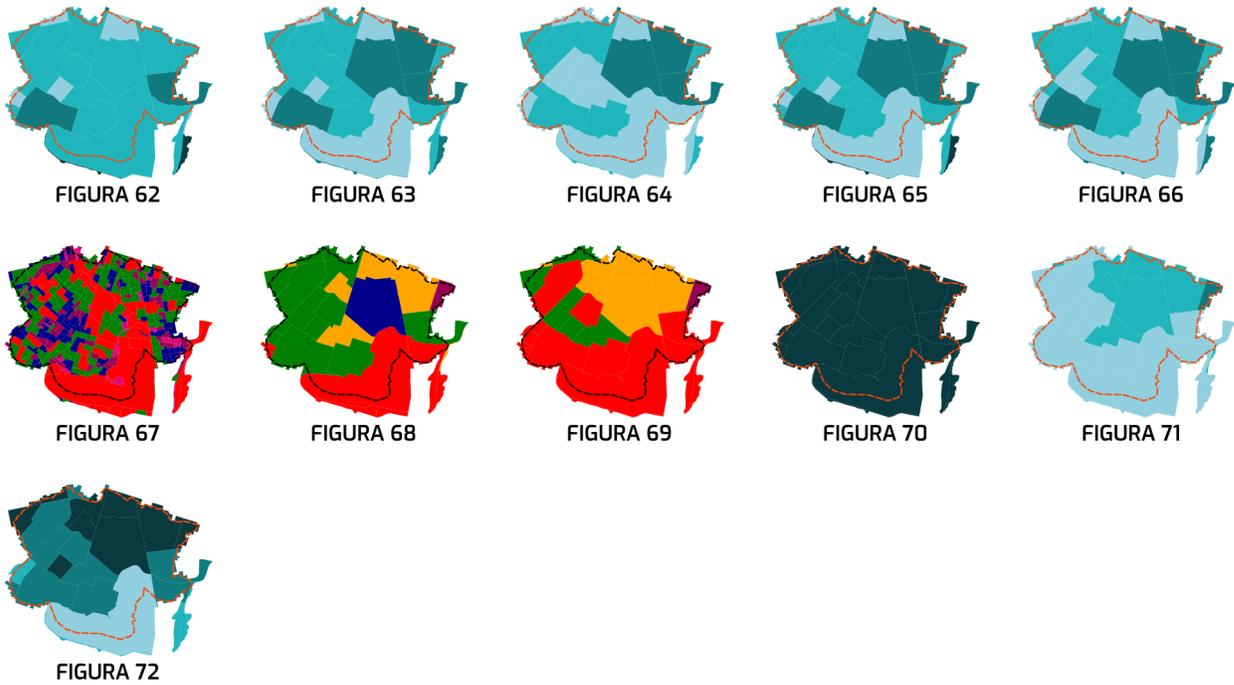


Figura 62: População de crianças e adolescentes; Figura 63: População adulta; Figura 64: População idosa; Figura 65: População masculina; Figura 66: População feminina; Figura 67: Densidade populacional por setor censitário (hab/Km²); Figura 68: Renda média (em salários mínimos); Figura 69: Classificação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); Figura 70: IDH - Educação; Figura 71: Renda - IDH; Figura 72: IDH - Longevidade.
 Fonte: IBGE (2010); SDE/IBGE (2010); IPLANFOR (2018); PMF/SMS/COVIS/CEVEPI (2021-2022).

Figura 32 - Conjunto de modelos de planejamento

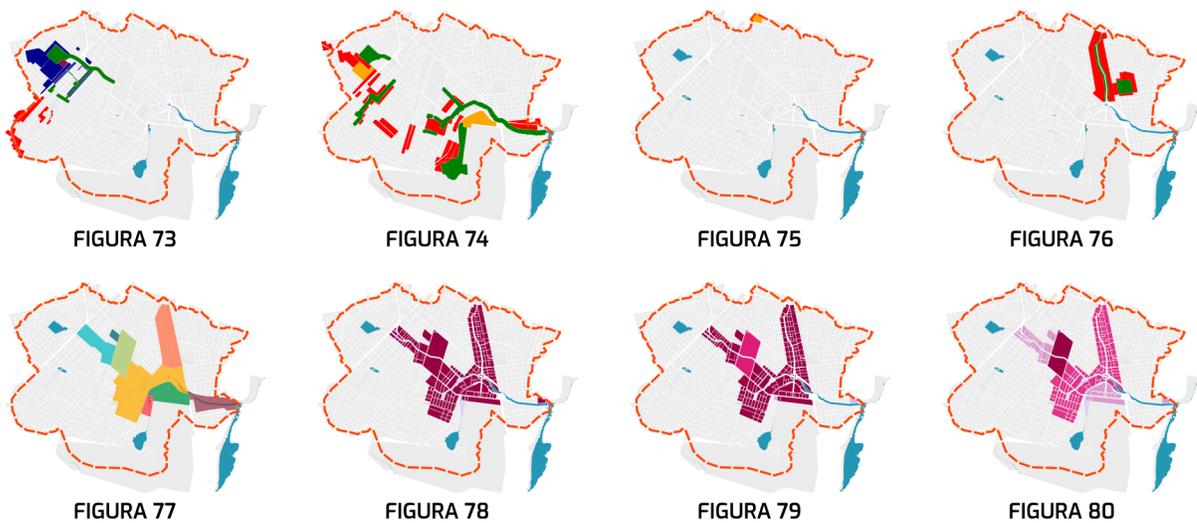
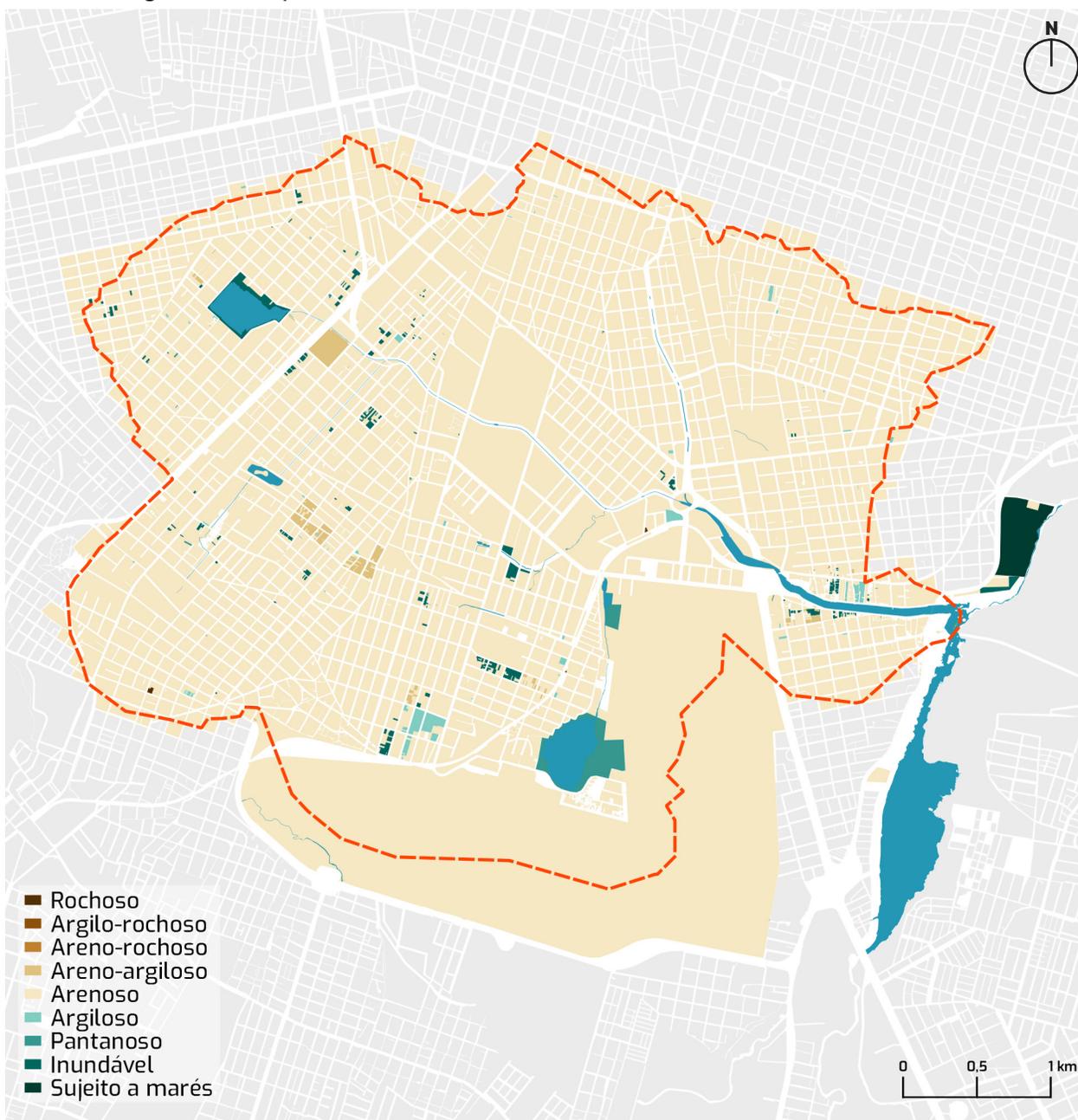


Figura 73: PEP Metrô Sul; Figura 74: PEP Futuro Metrô Orbital; Figura 75: PEP Centro Expandido; Figura 76: Aguanambi; Figura 77: Zonamento - OUC Aguanambi; Figura 78: Altura máxima - OUC Aguanambi; Figura 79: Taxa de ocupação (%) - OUC Aguanambi; Figura 80: Índice de aproveitamento máximo - OUC Aguanambi.
 Fonte: LUOS (2017); IPLANFOR (2018); PL 86 (2019); SEFIN (2016).

3.2.1 Modelos geomorfológicos

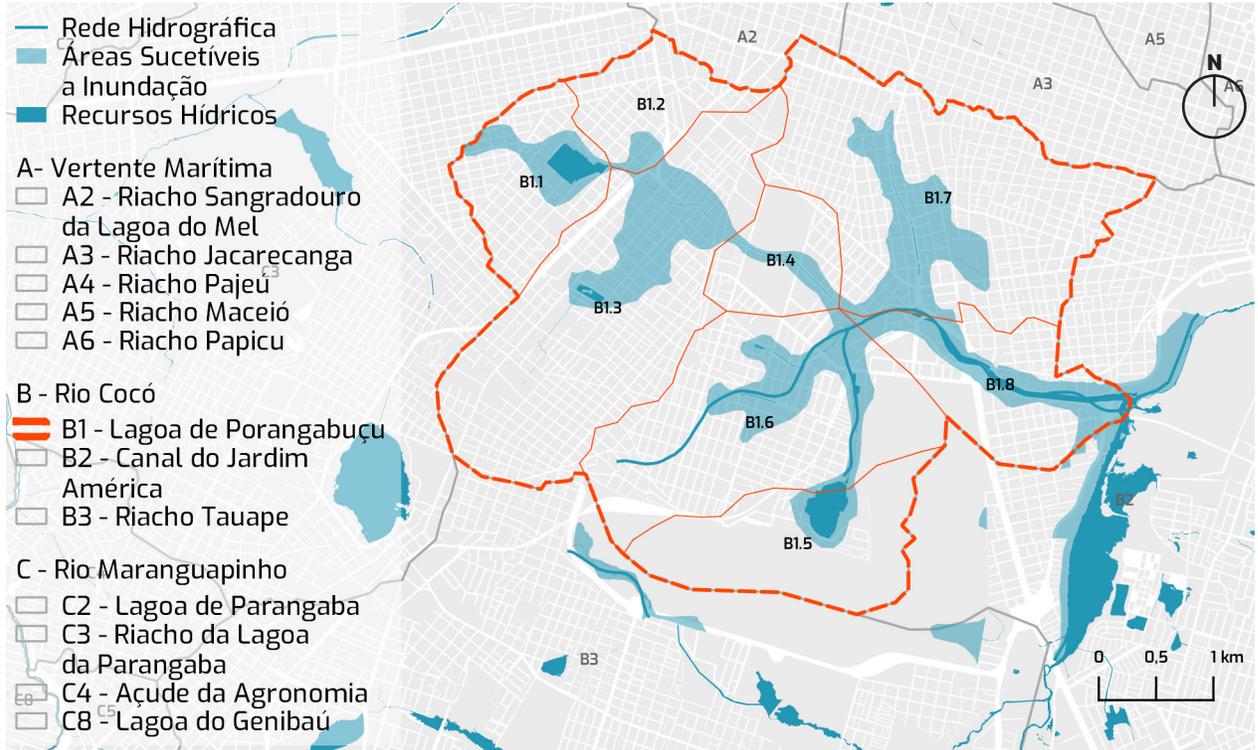
Os mapas temáticos desse modelo foram desenvolvidos para ilustrar as características geofísicas ambientais do local. A observação desses mapas busca compreender suas relações e interdependências. Dessa forma, foram utilizadas informações acerca dos recursos hídricos, da topografia, do tipo de solo, da vegetação e das vias.

Figura 33 - Tipos de solo



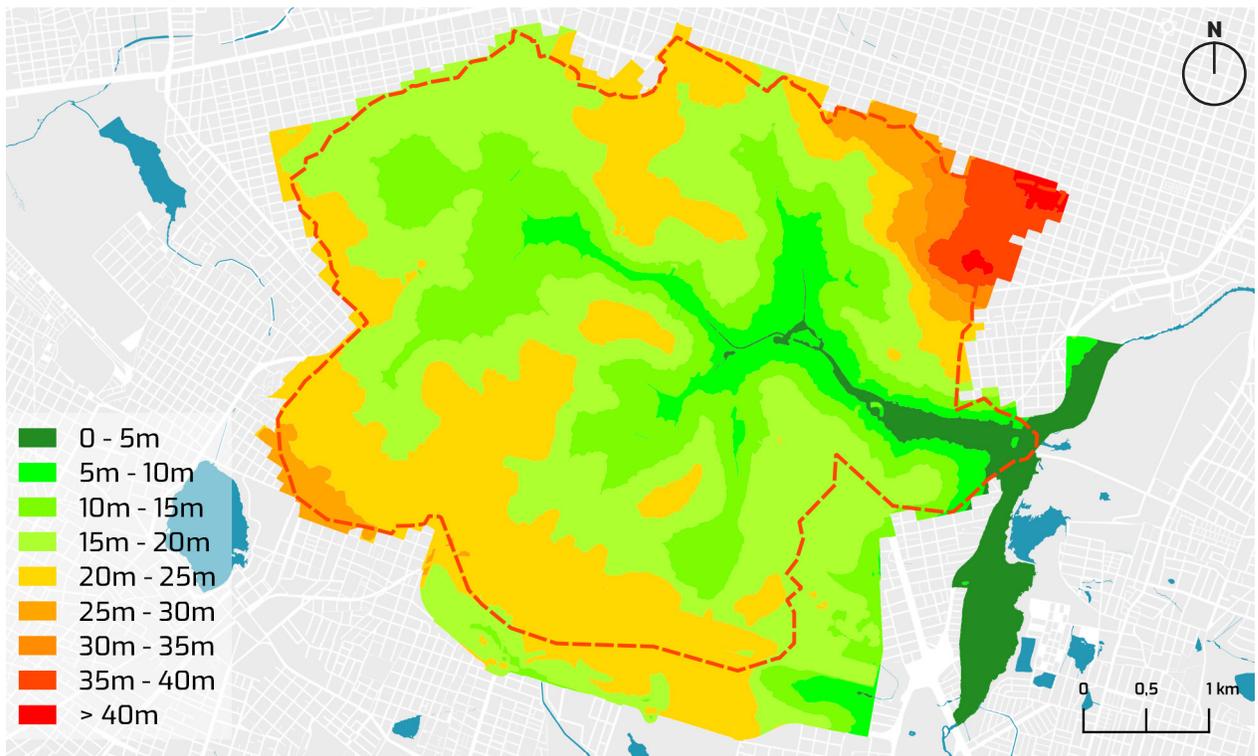
Fonte: SEFIN (2016); Fortaleza 2040 (2019).

Figura 34 - Hidromorfologia



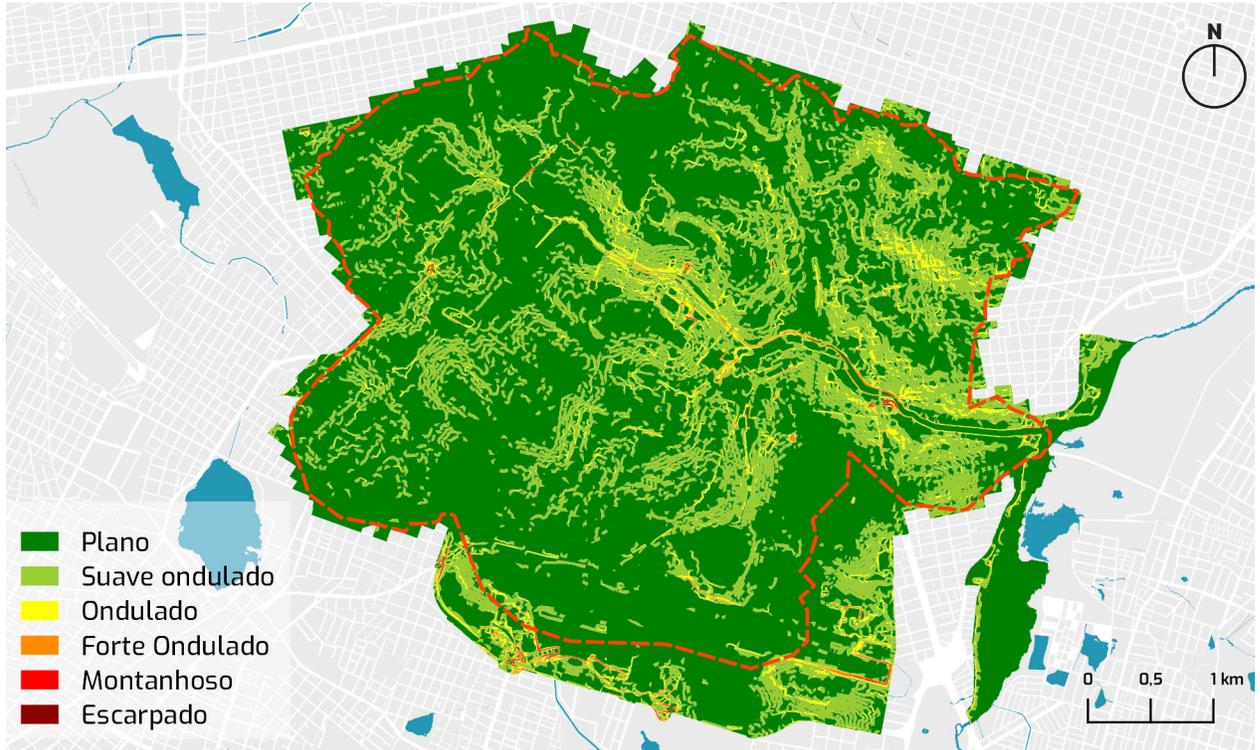
Fonte: CPRM (2015); COURB, SEUMA (2018); SEFIN (2016); Fortaleza 2040 (2020).

Figura 35 - Altimetria



Fonte: SEFIN (2016).

Figura 36 - Declividade



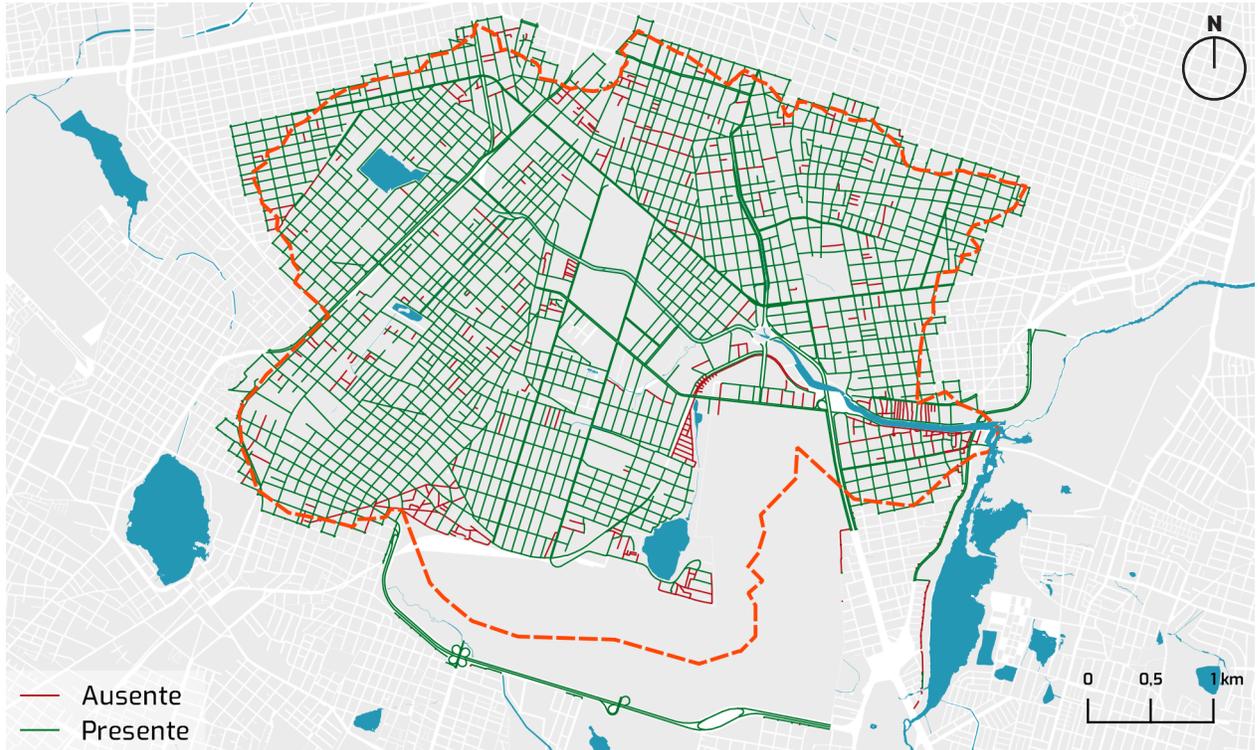
Fonte: SEFIN (2016); EMBRAPA (1979).

Figura 37 - Permeabilidade do recobrimento das vias



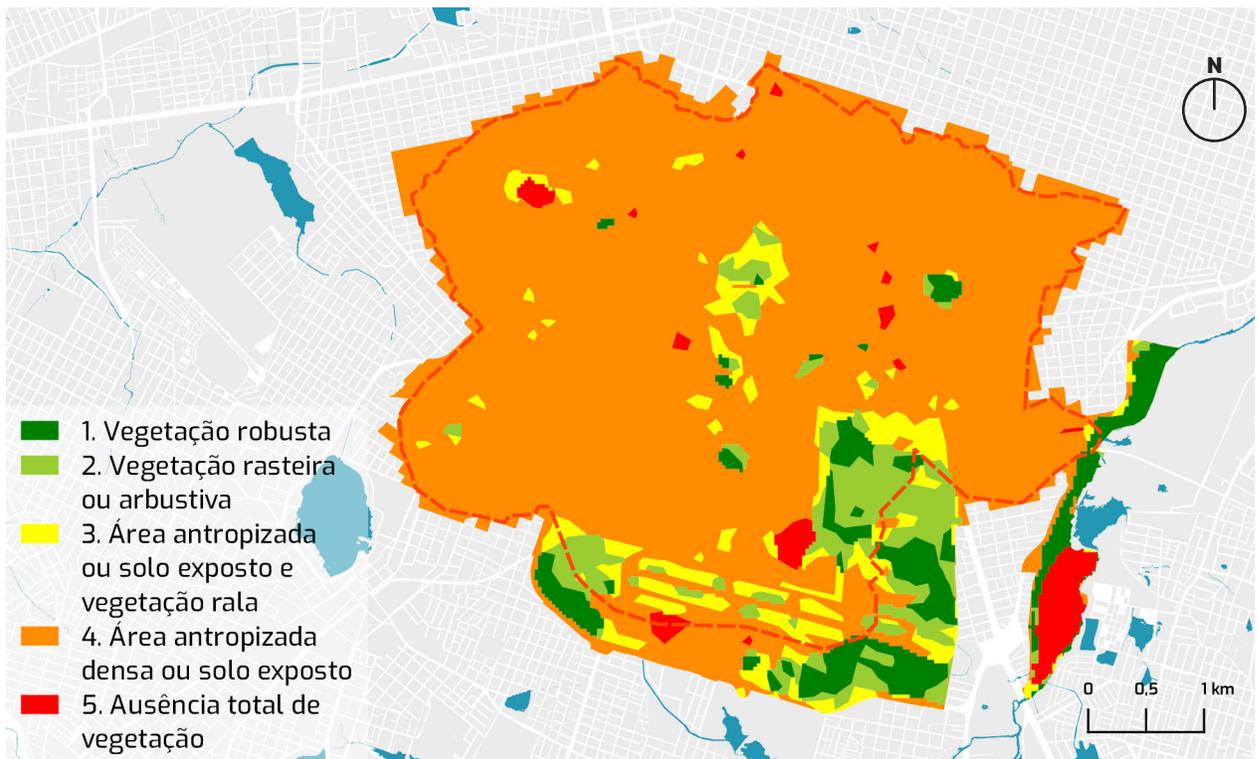
Fonte: SEFIN (2017).

Figura 38 - Presença de vegetação nas vias.



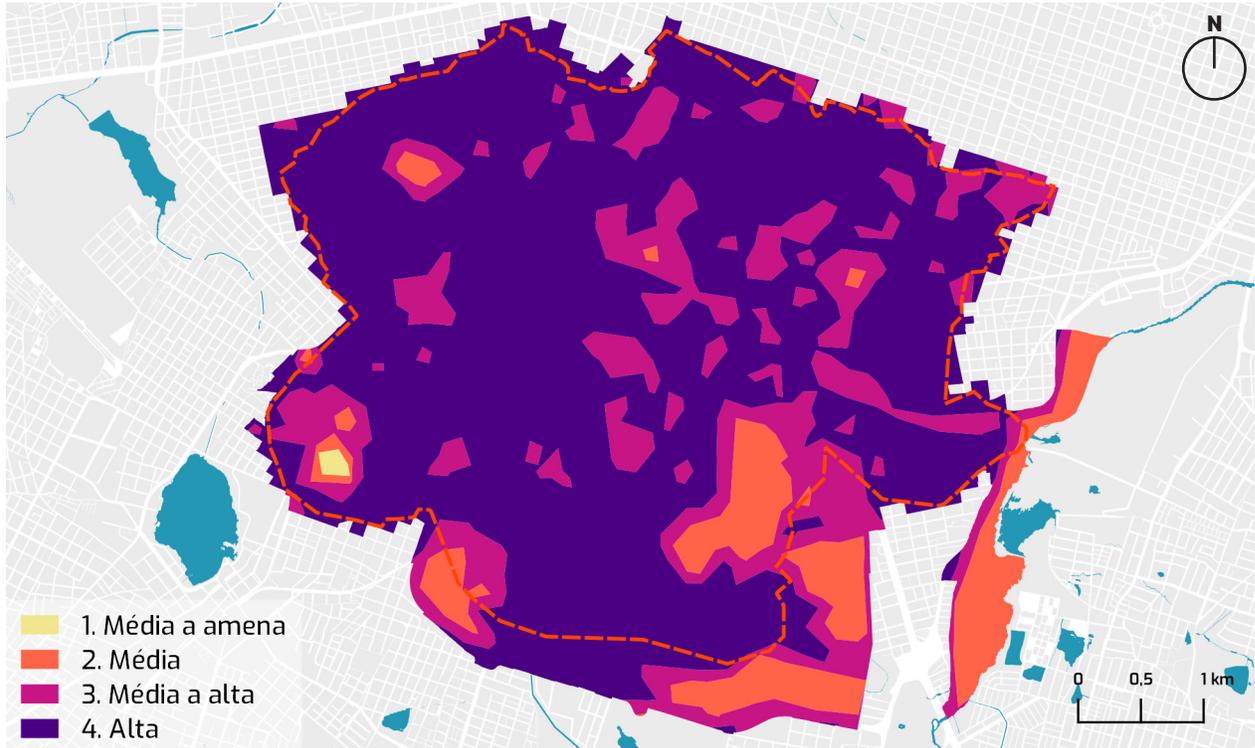
Fonte: SEFIN (2017).

Figura 39 - Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI)



Fonte: UFMG (2020), SEFIN (2016).

Figura 40 - Temperatura de superfície



Fonte: UFMG (2020), SEFIN (2016).

Com área de 20,92Km², a sub-bacia B1. possui topografia plana (Figura 31), apresentando cota máxima de 43m. Observa-se a concentração das áreas suscetíveis a inundação nos pontos de cota mais baixa (Figuras 29, 30). O solo dos lotes (Figura 28) é predominantemente arenoso (90% da área da sub-bacia), e as vias são quase em sua totalidade impermeáveis (Figura 32). Apesar da presença de vegetação nas vias (Figura 33), o mapa de NDVI (Figura 34) aponta intensa antropização do local. Além disso, a temperatura de superfície é alta (Figura 35), sendo os pontos mais amenos próximos aos corpos hídricos. A temperatura elevada pode ser relacionada ao tipo de recobrimento e à insuficiência de vegetação nas ruas.

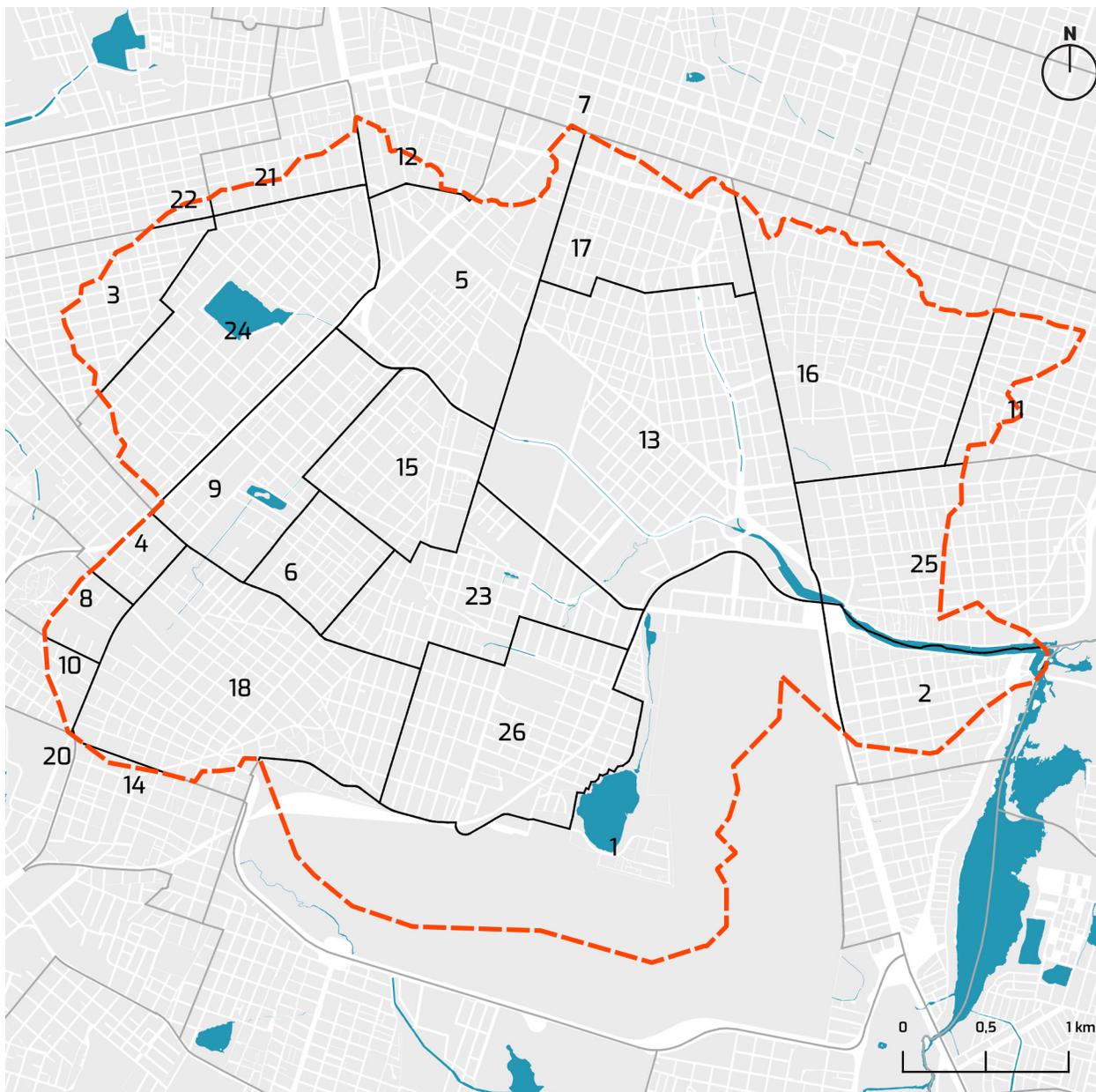
3.2.2 Modelos administrativos

Esses mapas foram desenvolvidos para caracterizar como o município administra essa região, e quais as legislações incidentes ali. Destaca-se que a área de estudo não corresponde aos limites administrativos municipais. Esses limites tampouco correspondem às microbacias presentes na área.

Foram identificados 26 bairros (Figura 41) geridos por 5 Secretarias Executivas Regionais (SER) diferentes (Figura 42). Elas têm como finalidade “[...]implantar

a Política de Acolhimento ao cidadão, articulando ações intersetoriais com os diversos órgãos e entidades da Administração Municipal e executando intervenções e serviços relacionados ao cuidado com os espaços urbanos e equipamentos públicos [...]” e são divididas segundo características populacionais, culturais e referentes a geografia e uso de equipamentos da região.

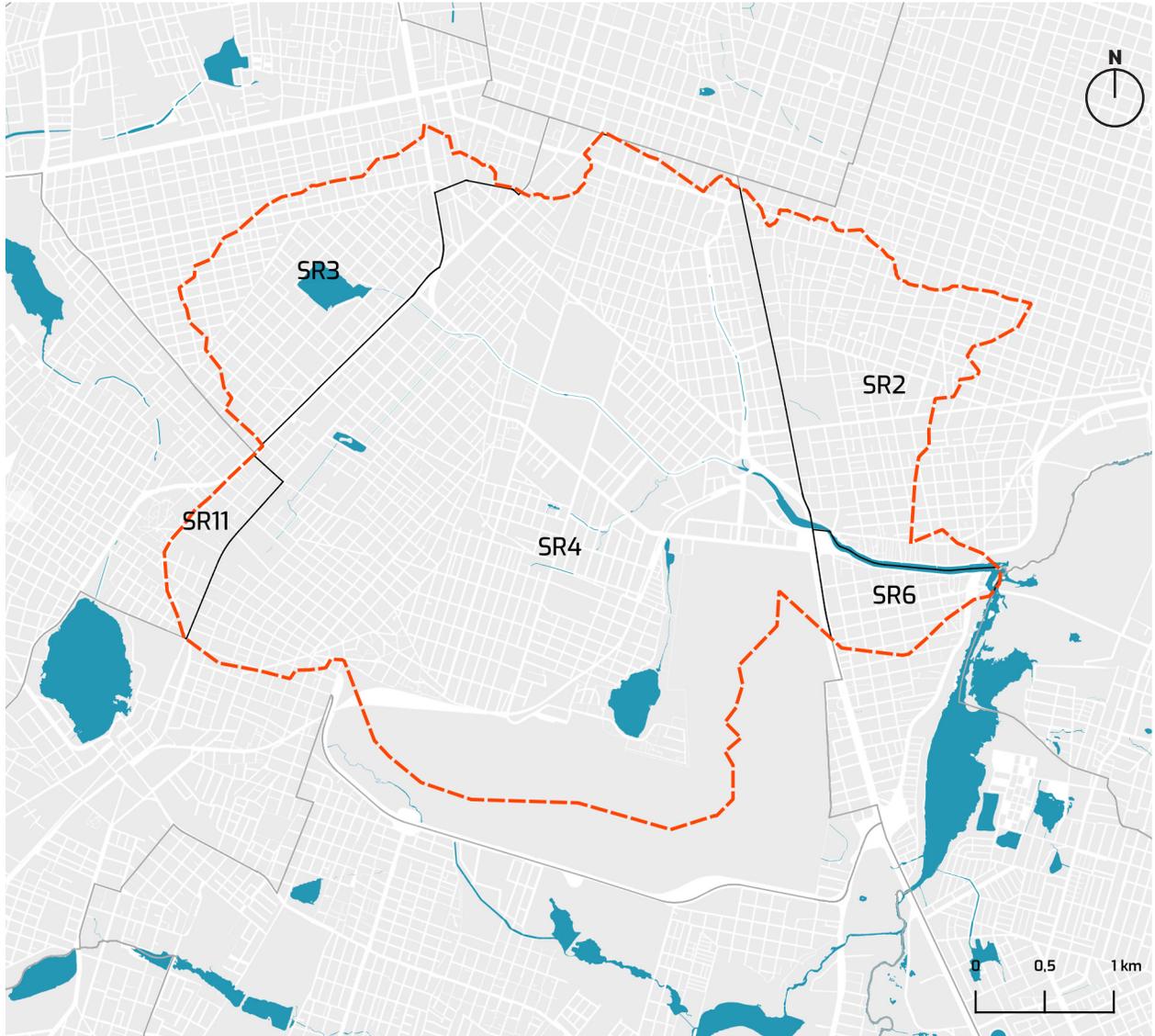
Figura 41 - Limites dos bairros



1. Aeroporto;
2. Aldeota;
3. Amadeu Furtado;
4. Bela Vista;
5. Benfica;
6. Bom Futuro;
7. Centro;
8. Couto Fernandes;
9. Damas;
10. Demócrito Rocha;
11. Dionísio Torres;
12. Farias Brito;
13. Fátima;
14. Itaoca;
15. Jardim América;
16. Joaquim Távora;
17. José Bonifácio;
18. Montese;
19. Panamericano;
20. Parangaba;
21. Parque Araxá;
22. Parquelândia;
23. Parreão;
24. Rodolfo Teófilo;
25. Tauape;
26. Vila União.

Fonte: IPLANFOR (2019).

Figura 42 - Limites das Secretarias Executivas Regionais (SER)

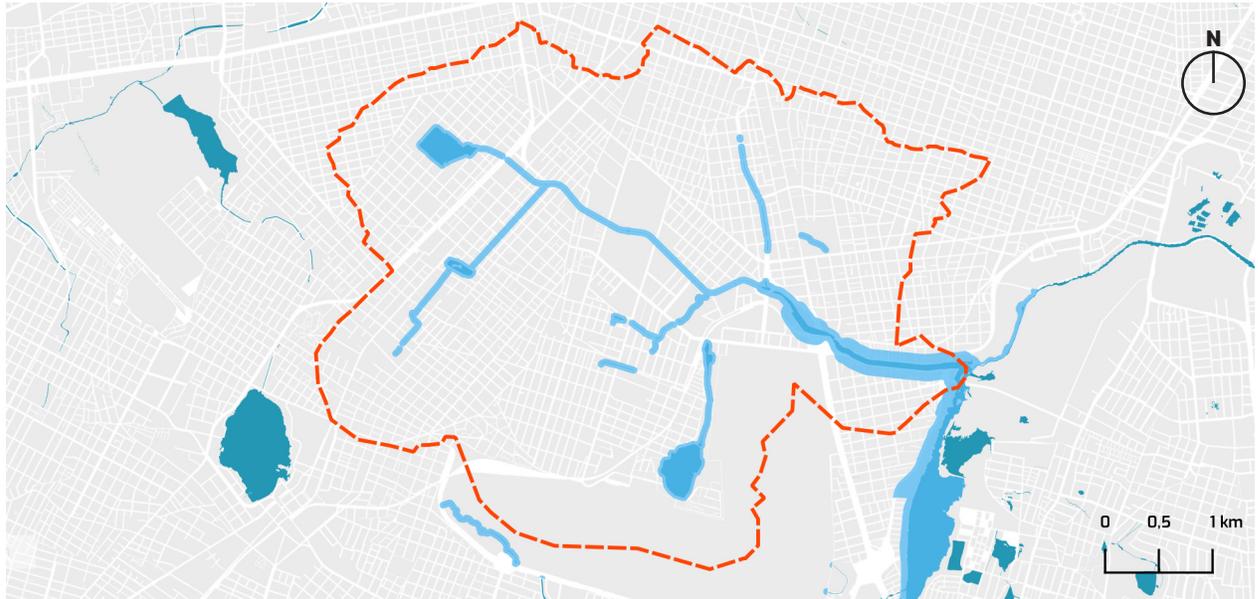


SER2 - Secretaria Executiva Regional 2; SER3 - Secretaria Executiva Regional 3; SER4 - Secretaria Executiva Regional 4; SER6 - Secretaria Executiva Regional 6; SER11 - Secretaria Executiva Regional 11.

Fonte: IPLANFOR (2019)

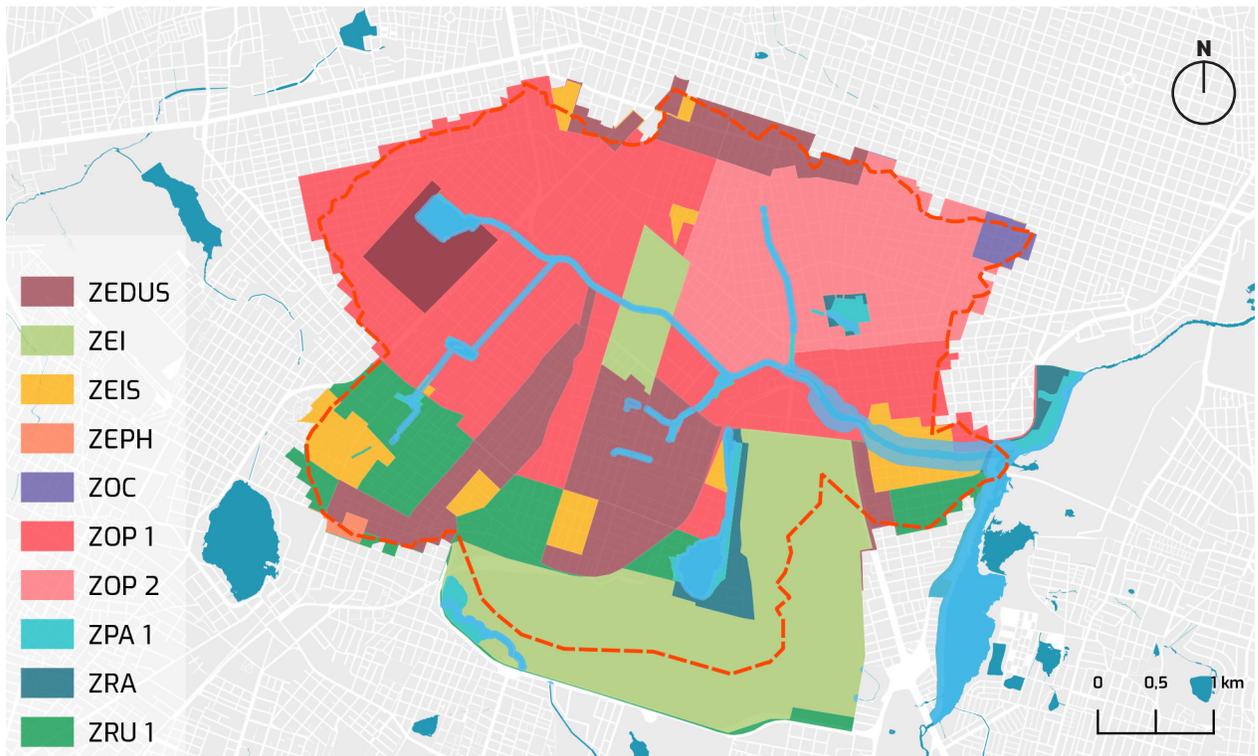
Na escala federal, a legislação concernente a essa área é a Lei 12.651 de 2012 (Figura 43). Ela traz o conceito de Área de Preservação Permanente (APP), definidas no art. 3º, item III como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Na escala municipal, o Macrozoneamento Urbano e Ambiental dividiu a área em 10 macrozonas (Figura 44). No entanto, essa diversidade de zonas não se reflete nos índices urbanos adotados (Figura 45).

Figura 43 - Área de Preservação Permanente (APP)



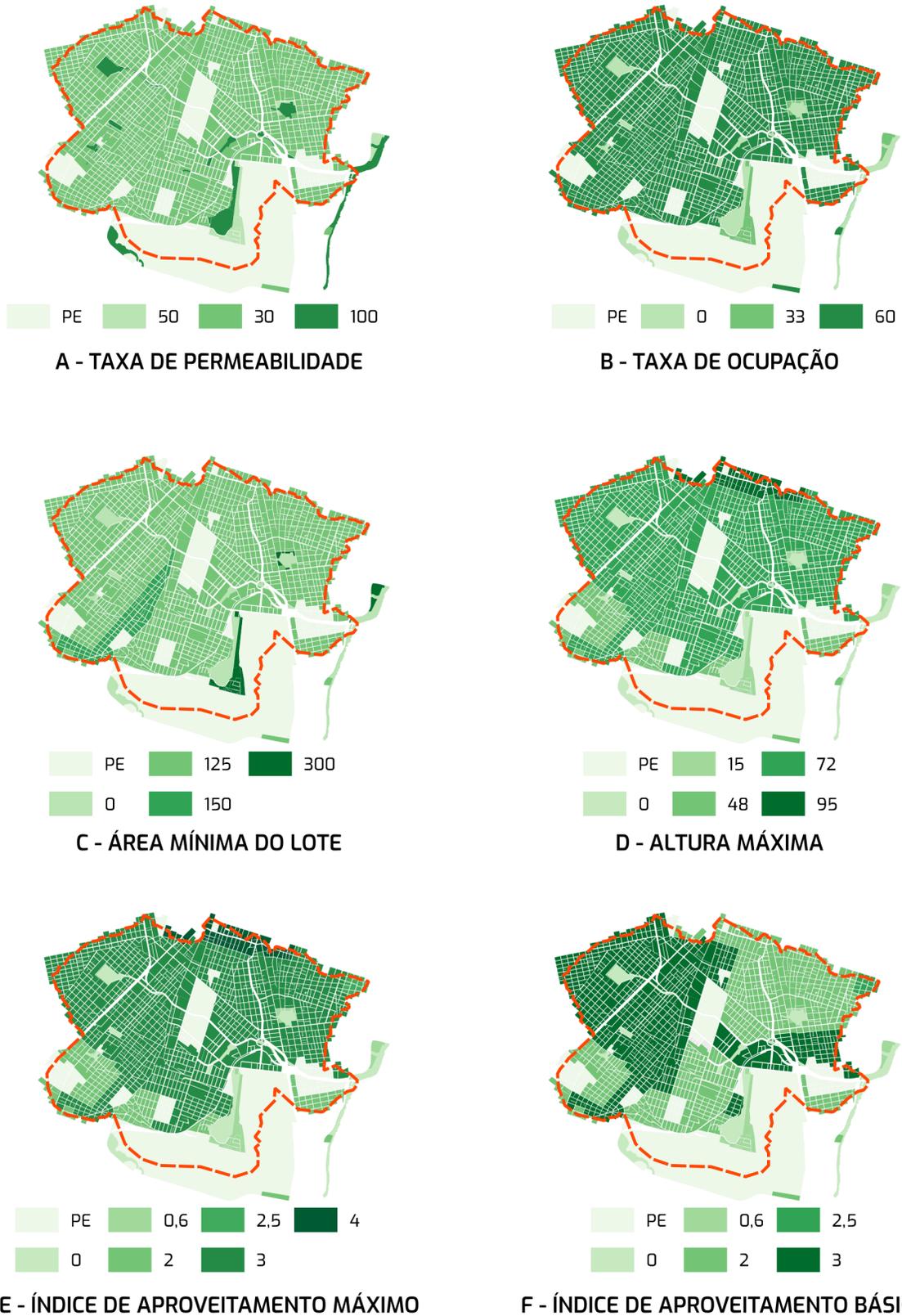
Fonte: Desenvolvido pela autora com base na Lei 12651/2012 (2022)

Figura 44 - Macrozoneamento Urbano e Ambiental



ZEDUS - Zona Especial de Dinamização Urbanística e Socioeconômica; ZEI - Zona Especial Institucional; ZEIS - Zona Especial de Desenvolvimento Social; ZEPH - Zona Especial de Preservação do Patrimônio Paisagístico, Histórico, Cultural e Arqueológico; ZOC - Zona de Ocupação Consolidada; ZOP 1 e 2 - Zona de Ocupação Preferencial 1 e 2; ZPA 1 - Faixa de Preservação Permanente dos Recursos Hídricos; ZRA - Zona de Recuperação Ambiental; ZRU 1 - Zona de Requalificação Urbana 1.
Fonte: LUOS (2017).

Figura 45 - Índices Urbanísticos propostos pelo Macrozoneamento Urbano e Ambiental.



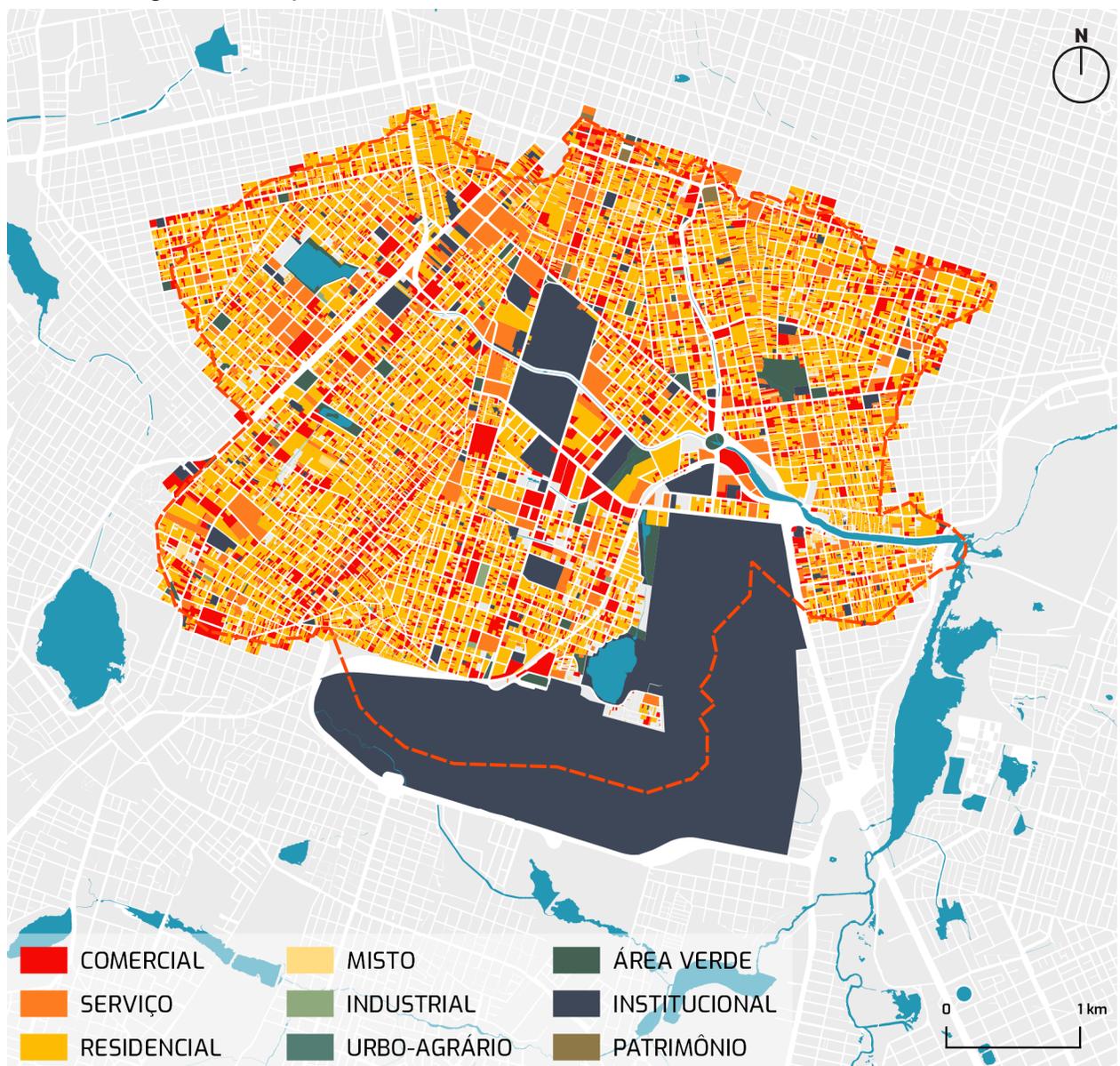
Fonte: Espacializado pela autora com baseado na LUOS (2017) e nos dados da SEFIN (2016).

3.2.3 Modelos de morfologia urbana

As informações acerca do uso, ocupação, equipamentos, infraestrutura e mobilidade foram reunidas sob esse tema.

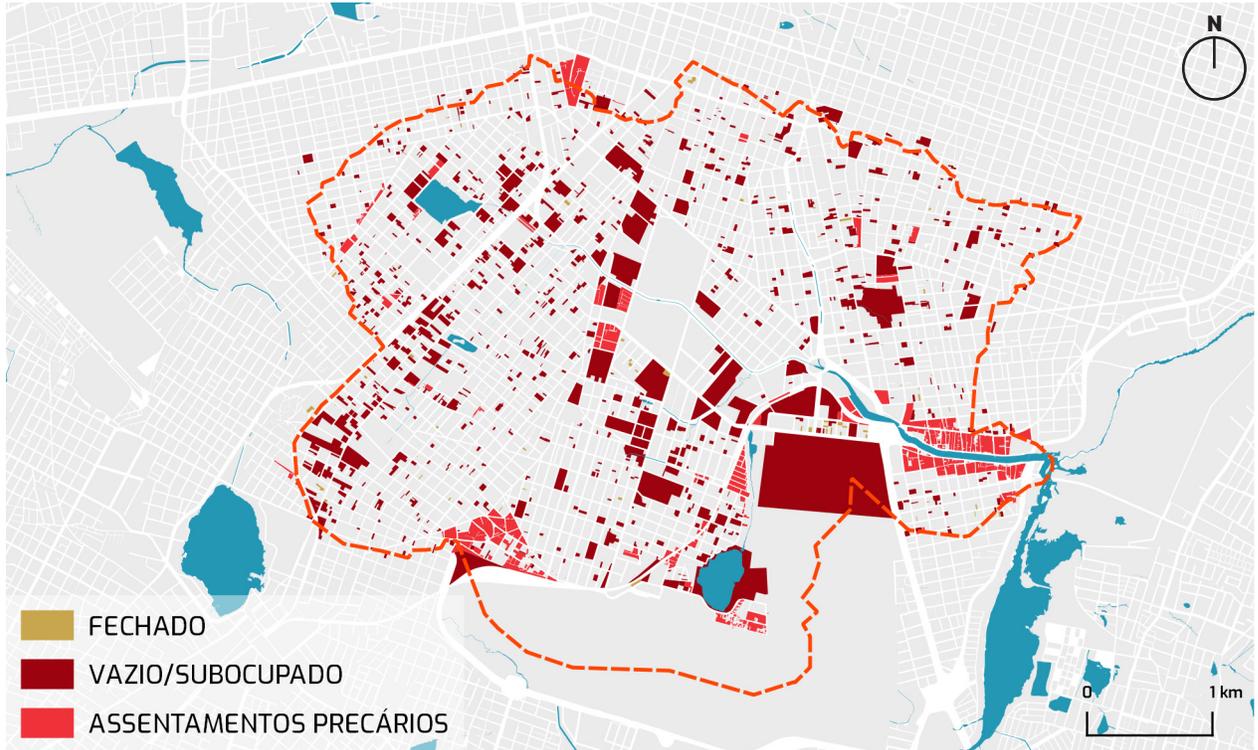
Verifica-se que a área apresenta um uso predominantemente residencial (Figura 46), sendo 11% dos lotes classificados como assentamentos precários (Figura 47). Verificou-se a concentração de equipamentos de lazer e saúde nas proximidades dos lotes de uso institucional (Figuras 48 e 49). Além disso, apresenta uma grande disponibilidade de modais de transporte (Figuras 50 e 51).

Figura 46 - Tipos de usos dos lotes



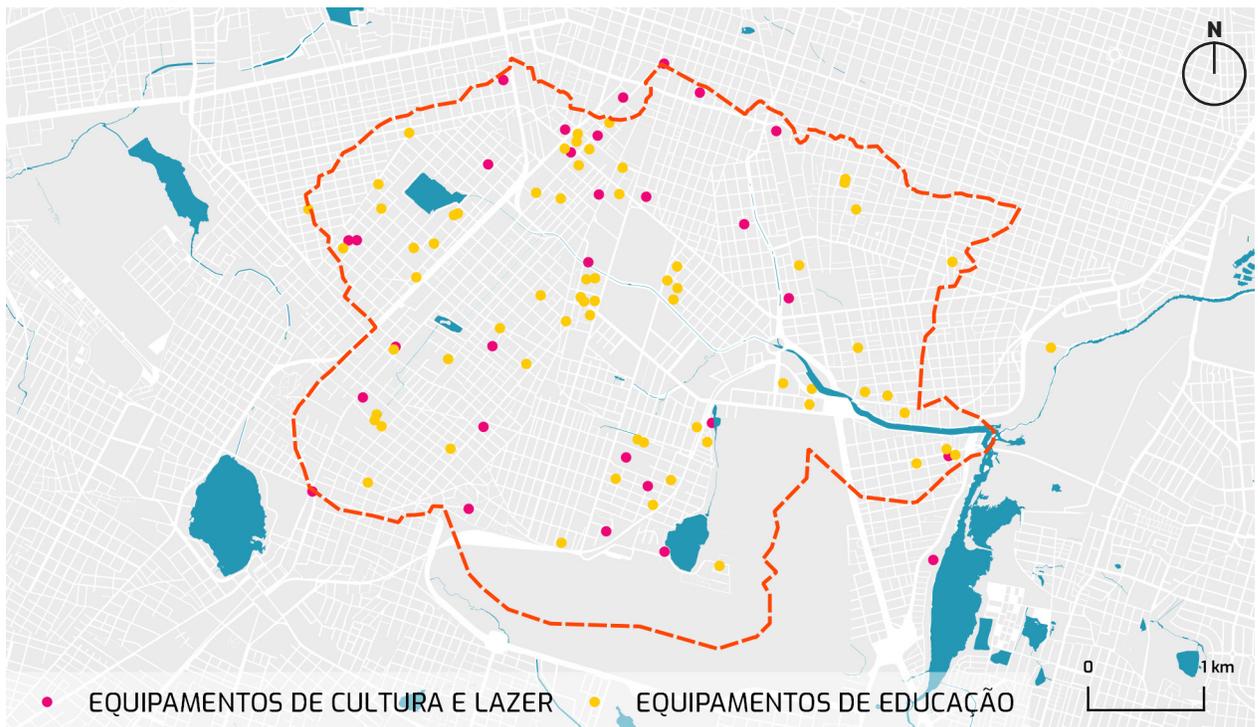
Fonte: SEFIN (2016); PLHISFOR (2012); Pesquisa Viva@Porangabussu (2020); Google (2021).

Figura 47 - Tipos de ocupação presentes na área



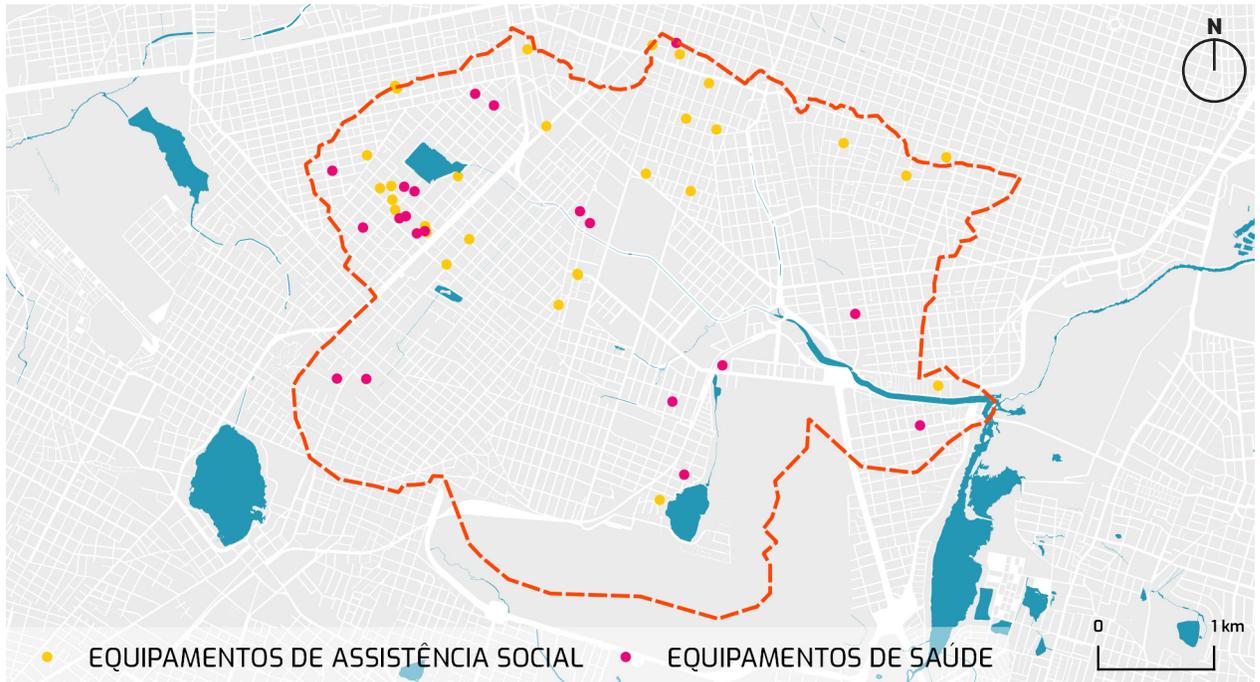
Fonte: SEFIN (2016); PLHISFOR (2012); Pesquisa Viva@Porangabussu (2020); Google (2021).

Figura 48 - Presença de equipamentos de educação, cultura e lazer



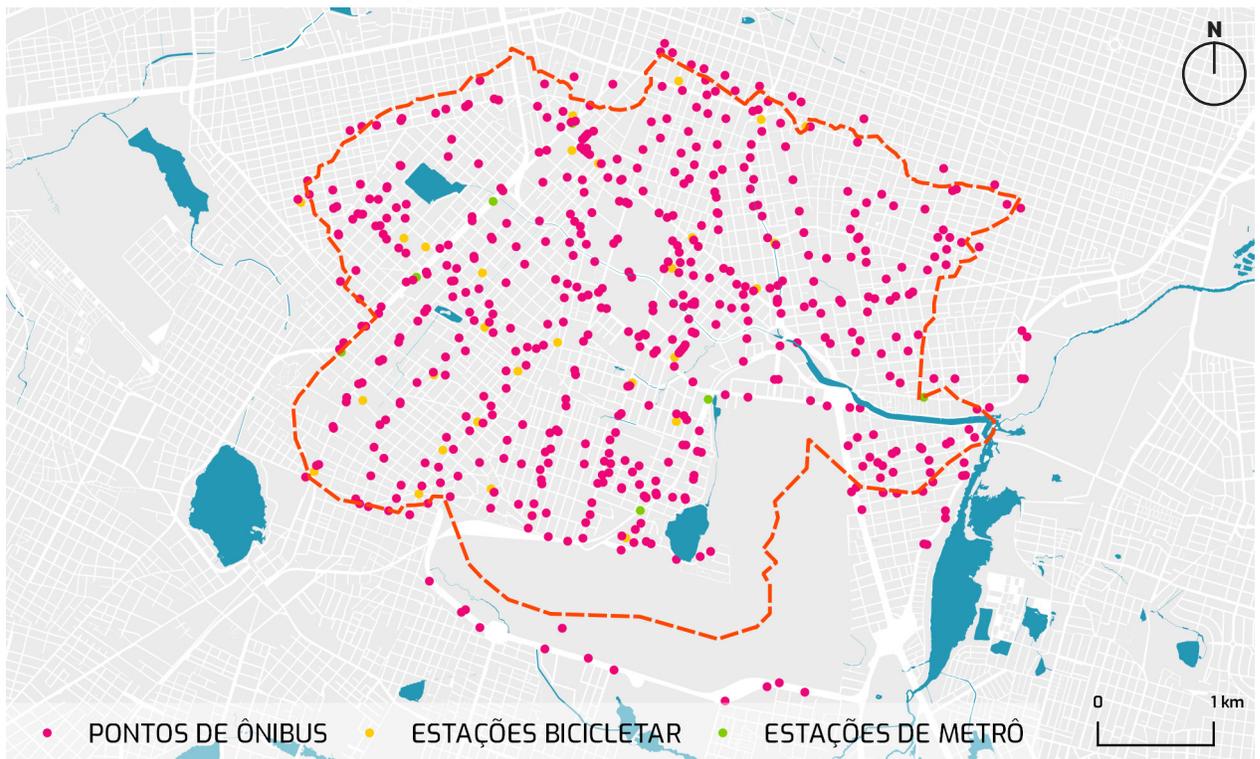
Fonte: SEUMA (2019); Plano Fortaleza 2040 (2019); Mais Ação (2020); Pesquisa Viva@Porangabussu (2020); SME (2020); Google (2022).

Figura 49 - Presença de equipamentos de assistência social e de assistência à saúde



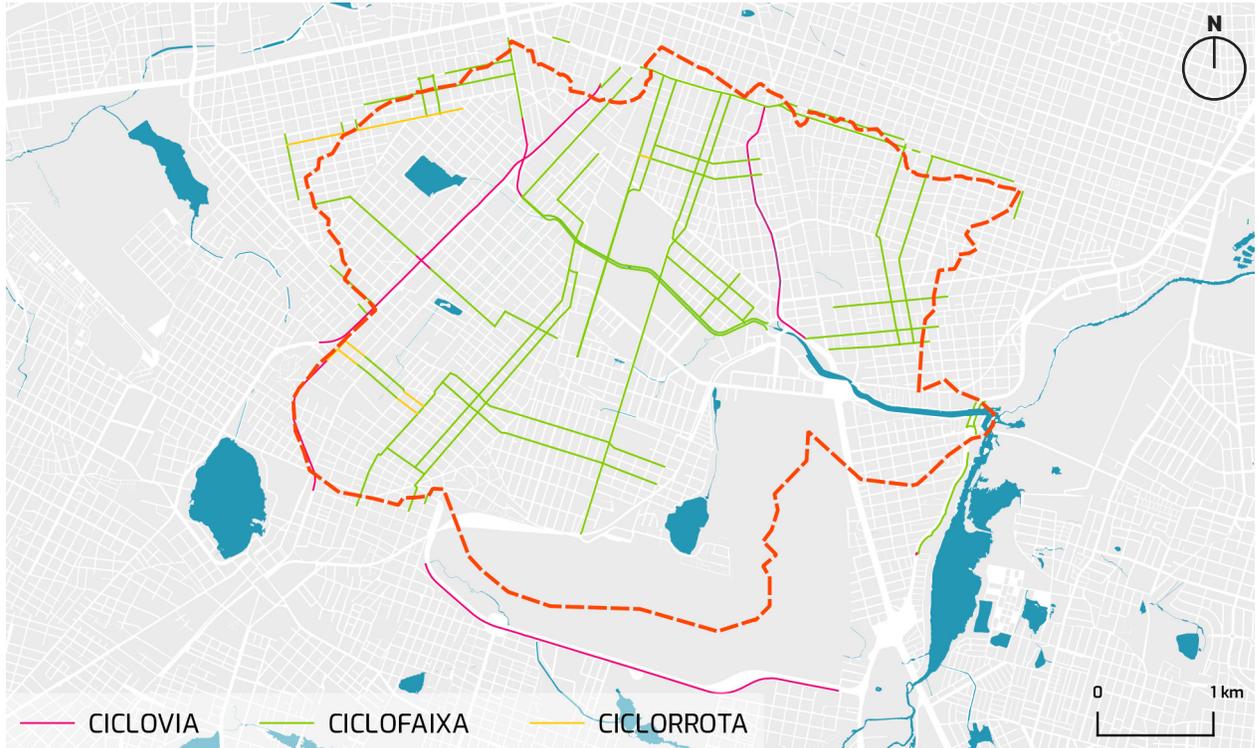
Fonte: SDHS (2019); SMS (2018, 2020); SEUMA (2019); Plano Fortaleza 2040 (2019); Mais Ação (2020); Pesquisa Viva@Porangabussu (2020).

Figura 50 - Presença de modais de transporte na área



Fonte: PAITT (2020); ETUFOR (2018); METROFOR/IPLANFOR (2018).

Figura 51 - Mapa cicloviário



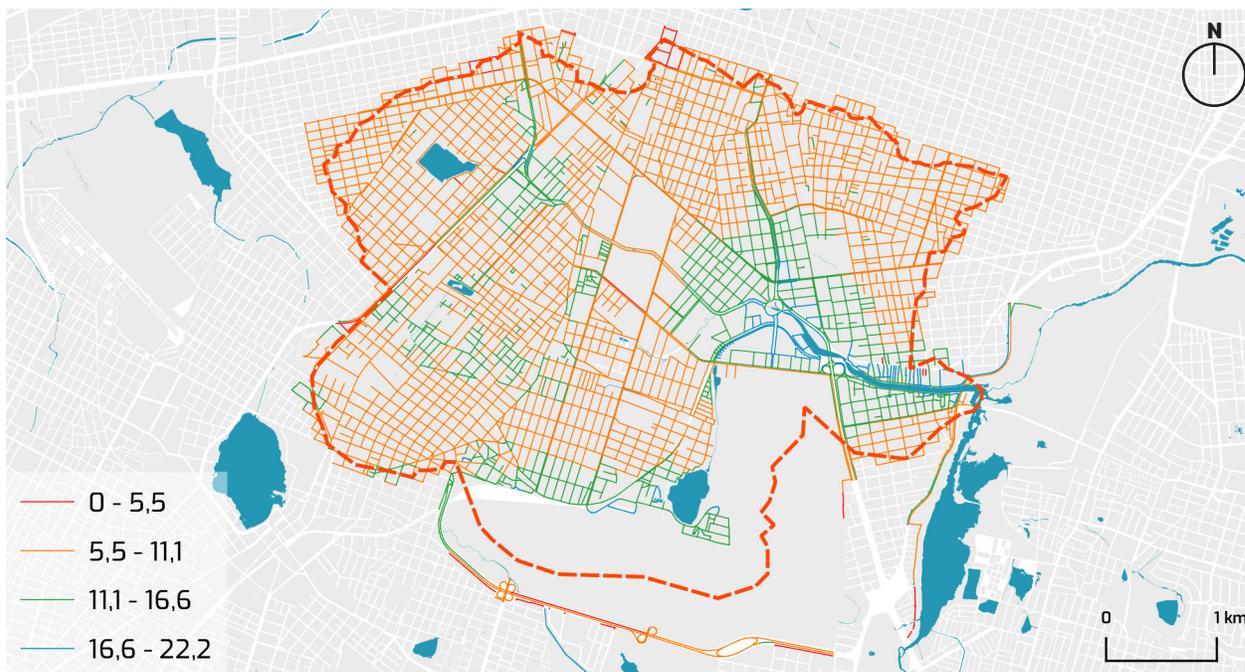
Fonte: PAITT (2020); ETUFOR (2018); METROFOR/IPLANFOR (2018).

Verificou-se também o nível de integração de rede (Figura 52). Esse é um conceito da sintaxe espacial, que tem como objetivo para identificar as vias mais integradas a partir da distância topológica. Para a análise foi utilizado o plugin PST fornecido pelo Spatial Morphology Group (SMOG), que analisa o número de percursos topológicos a partir de um determinado segmento considerando um raio de integração de 1250m - equivalente a uma distância de 15 minutos percorrida a uma velocidade de 5 Km/h (GEHL, 2013; WENG et al., 2019). Segundo Hillier e Hanson (1984 apud SABOYA, 2007), valores de integração acima de 1,67 equivalem a áreas altamente integradas e valores abaixo de 1 representam áreas segregadas. Dessa forma, pode-se concluir que, considerando a escala do pedestre, a área é altamente integrada.

Além disso, foi examinado também a atividade visual das fachadas, um parâmetro utilizado pelo IdeCam (ITDP BRASIL, 2019) para compor o indicador de atração, que avalia atributos que podem ter impacto no uso do espaço por pedestres. Aqui, foram feitas as seguintes abstrações: fachadas com fechamento de muro/madeira foram consideradas com atividade visual insuficiente; com gradil e alambrado foi considerado com boa atividade visual e sem fechamento em seu limite frontal foi considerado atividade visual ótima. A disseminada presença de muros faz com que as fachadas da região sejam, em sua maioria, visualmente inativas. Constata-se dessa forma, que apesar de a

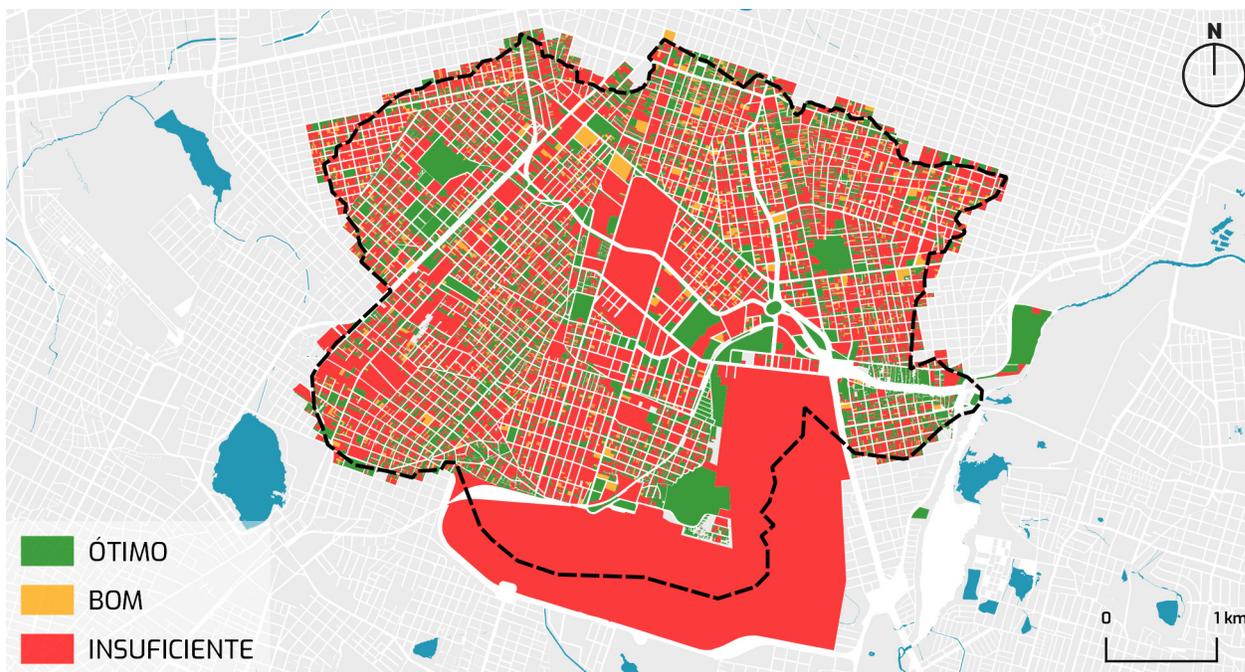
área apresentar uma grande diversidade de usos, ser bastante integrada e proporcionar e muitas alternativas de transporte, a mobilidade de pedestres é prejudicada devido a presença de fachadas com pouca permeabilidade visual (Figura 53).

Figura 52 - Mapa de integração viária



Fonte: Elaborado com base nos dados da SEFIN (2016).

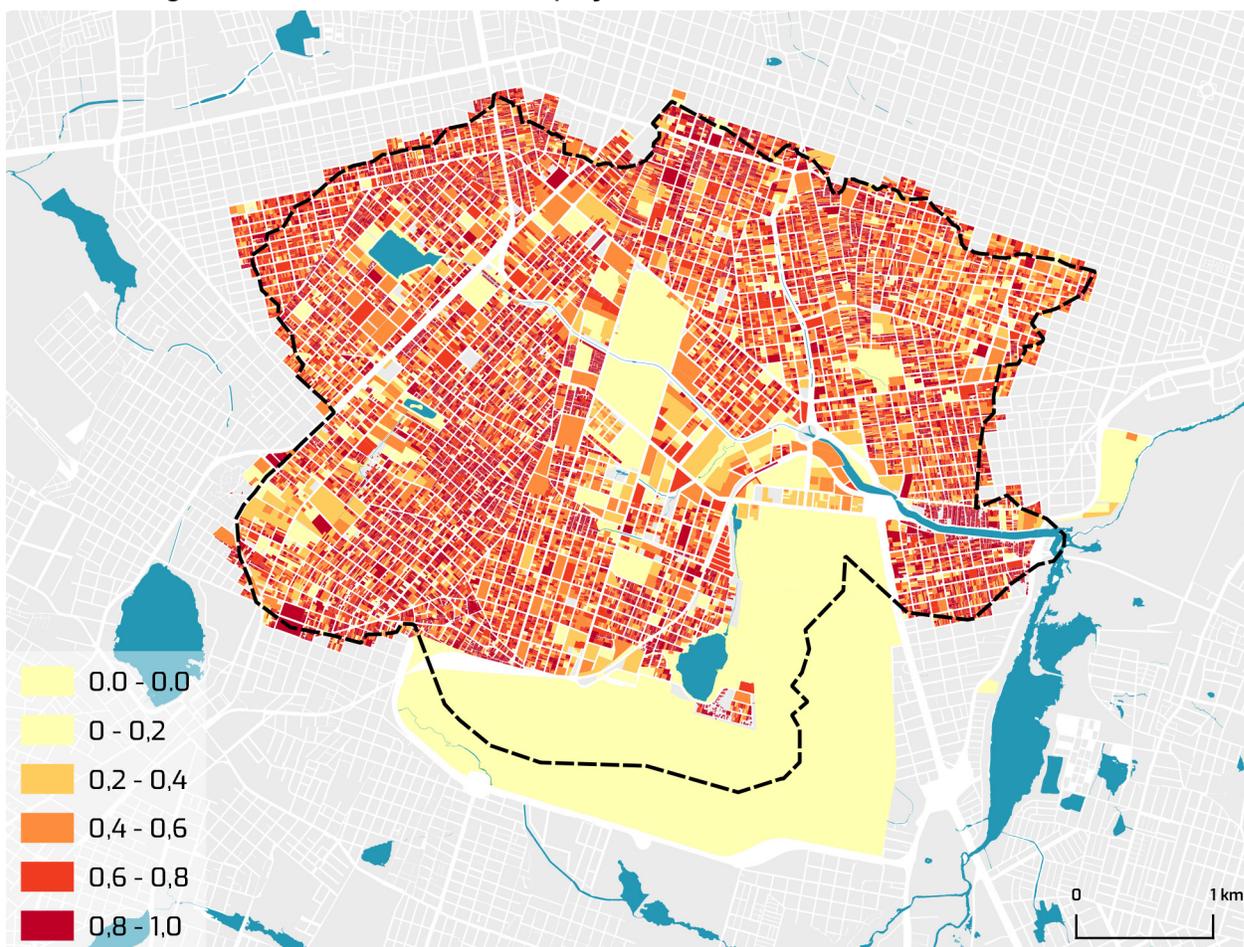
Figura 53 - Permeabilidade visual das fachadas



Fonte: Elaborado com base nos dados da SEFIN (2016) e do ITDP BRASIL(2019).

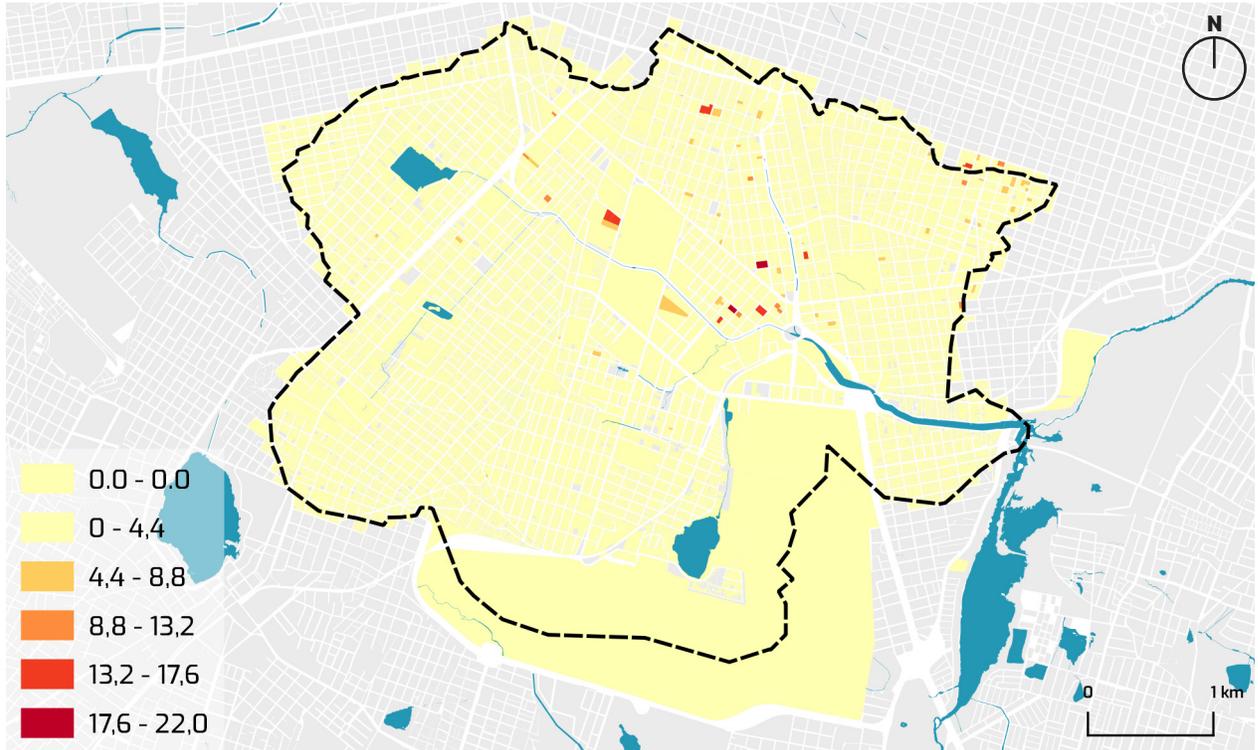
Para entender a ocupação no local, foram utilizados alguns indicadores apresentados no livro “Spacematrix: space, density and urban form” (BERGHAUSER PONT; HAUPT; D’LAINE, 2010). O GSI representa a relação entre a área construída e não construída e equivale a taxa de ocupação (Figura 54). O FSI reflete a intensidade da construção (Figura 55), sendo calculado pelo somatório das áreas dos pavimentos dividido pela área do lote, correspondendo ao índice de aproveitamento. O OSR (Figura 56) é calculado pela quantidade de espaço não construído no nível do solo dividida pelo somatório da área de todos os pavimentos – um OSR baixo significa uma grande quantidade de pessoas utilizando esse espaço livre. Além deles foi utilizado também a altura da edificação (Figura 57) para verificação do grau de verticalização. Com esses índices, foi constatado que a área é predominantemente horizontal, com uma alta taxa de ocupação do lote, pouca área livre e com baixo aproveitamento. De forma complementar a esses índices, foi verificada a existência de infraestrutura (Figura 58, 59, 60, 61) que demonstrou o grau de consolidação da área.

Figura 54 - GSI / Taxa de ocupação dos lotes.



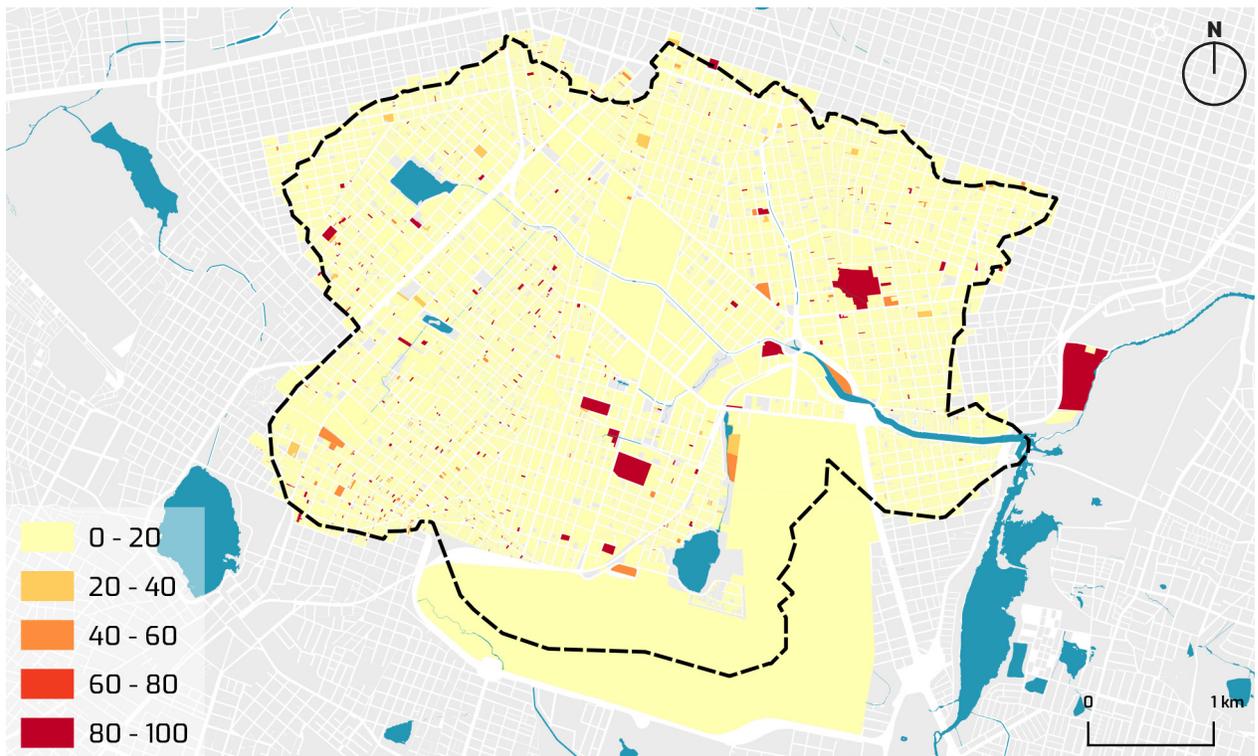
Fonte: Desenvolvido pela autora com base nos dados da SEFIN (2016).

Figura 55 - FSI / Índice de aproveitamento dos lotes.



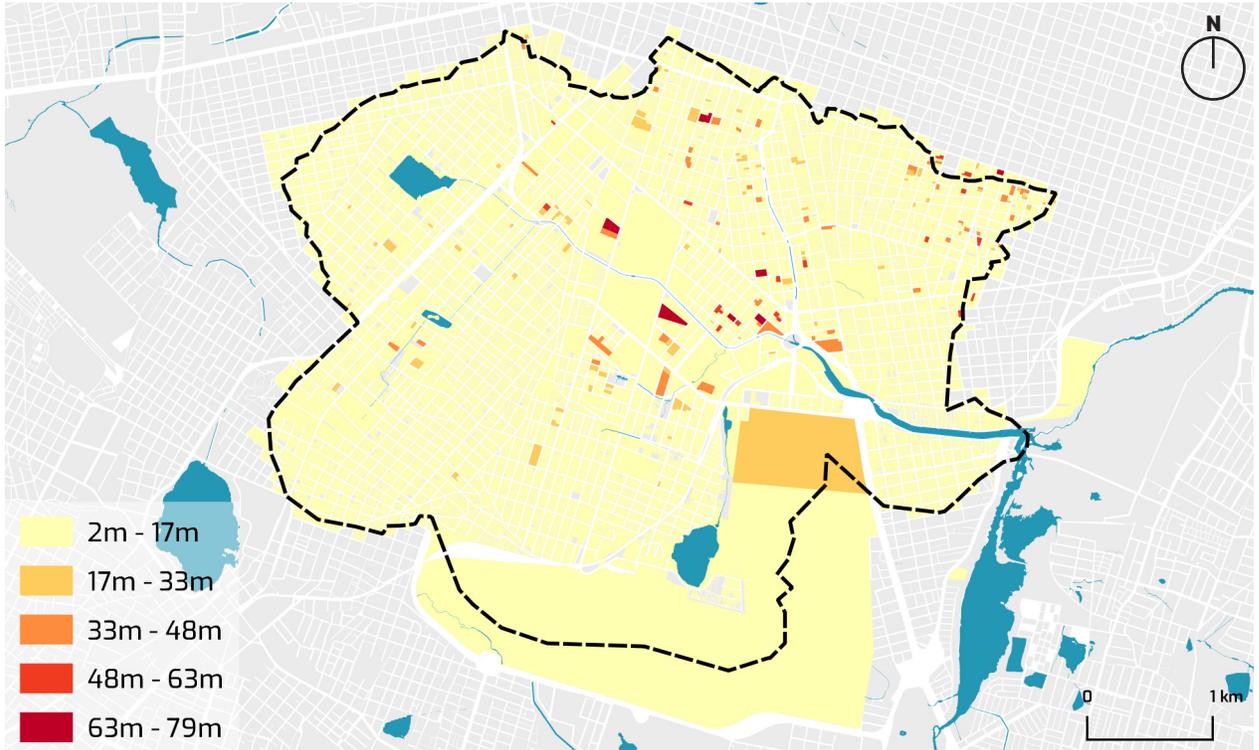
Fonte: Desenvolvido pela autora com base nos dados da SEFIN (2016).

Figura 56 - OSR.



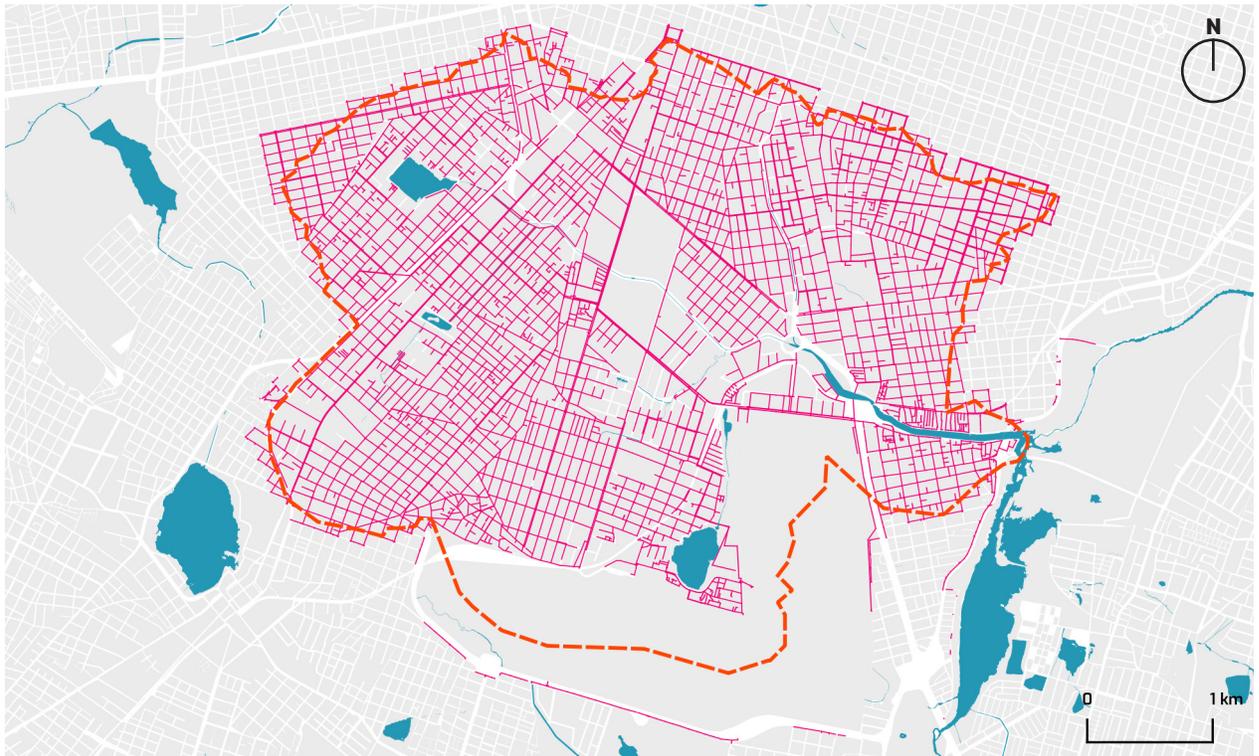
Fonte: Desenvolvido pela autora com base nos dados da SEFIN (2016).

Figura 57 - Altura das edificações



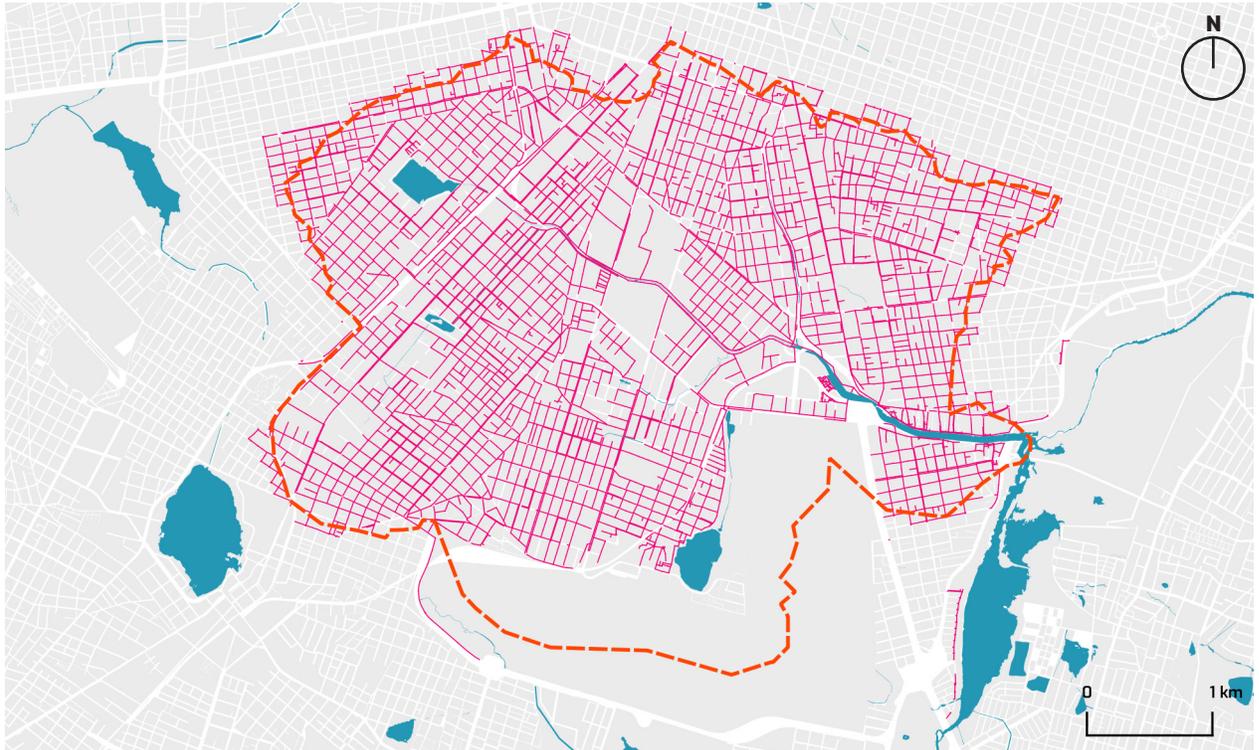
Fonte: Desenvolvido pela autora com base nos dados da SEFIN (2016).

Figura 58 - Existência de infraestrutura de água



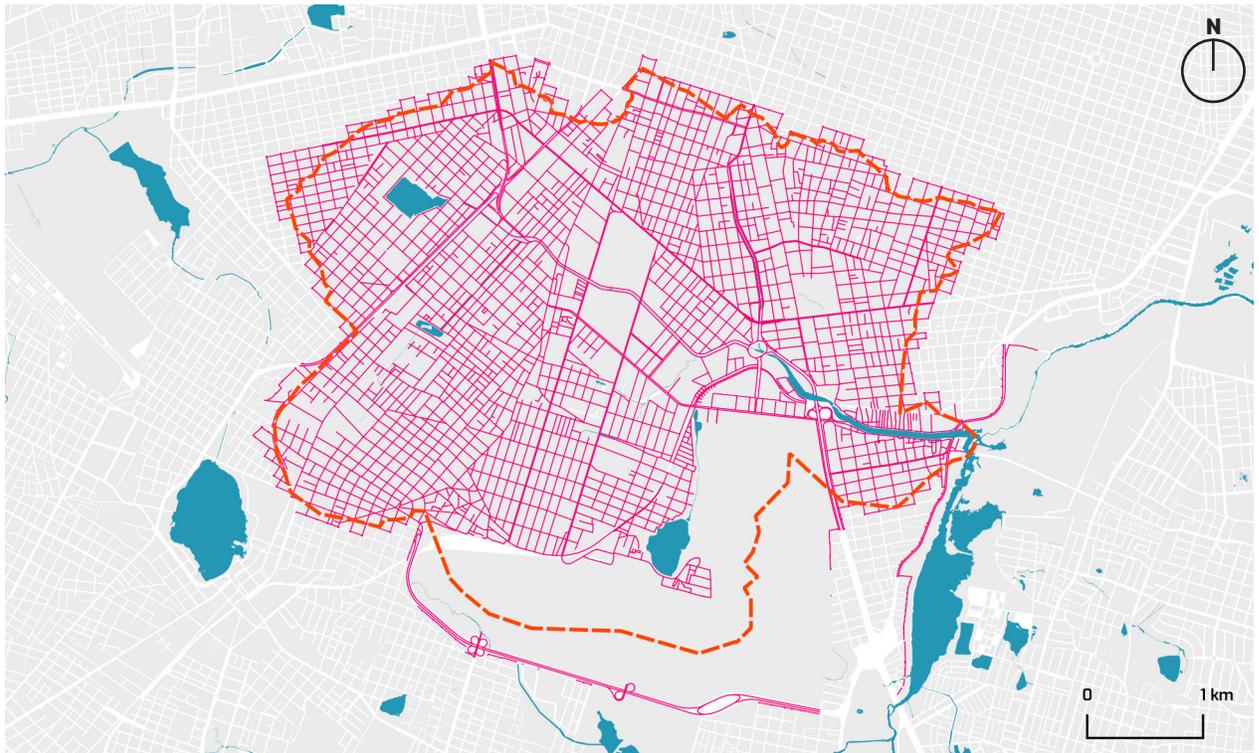
Fonte: CAGECE (2019).

Figura 59 - Existência de infraestrutura de esgoto



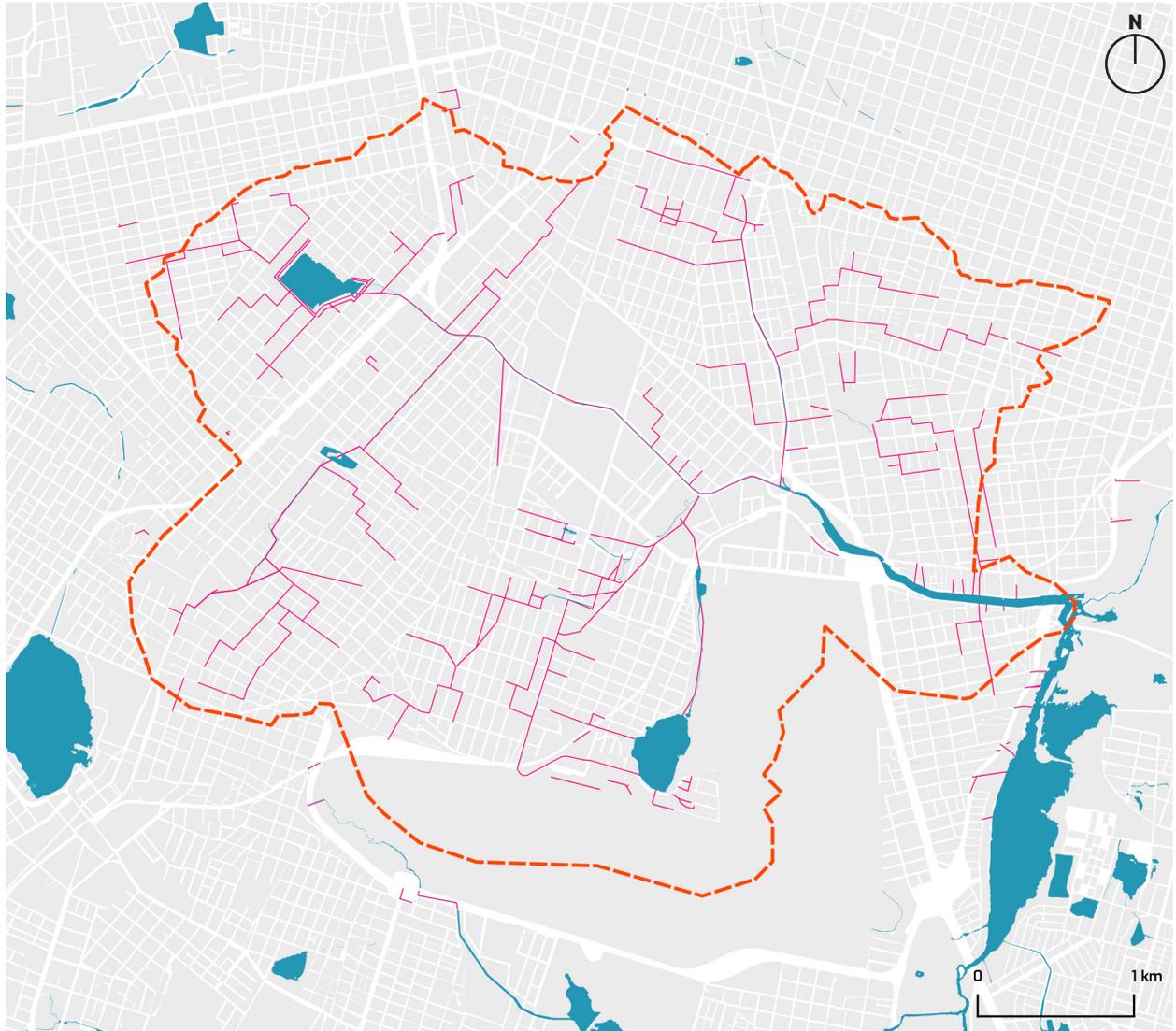
Fonte: CAGECE (2019).

Figura 60 - Existência de iluminação pública



Fonte: Pesquisa Viva@Porangabussu (2020).

Figura 61 - Existência de infraestrutura de drenagem



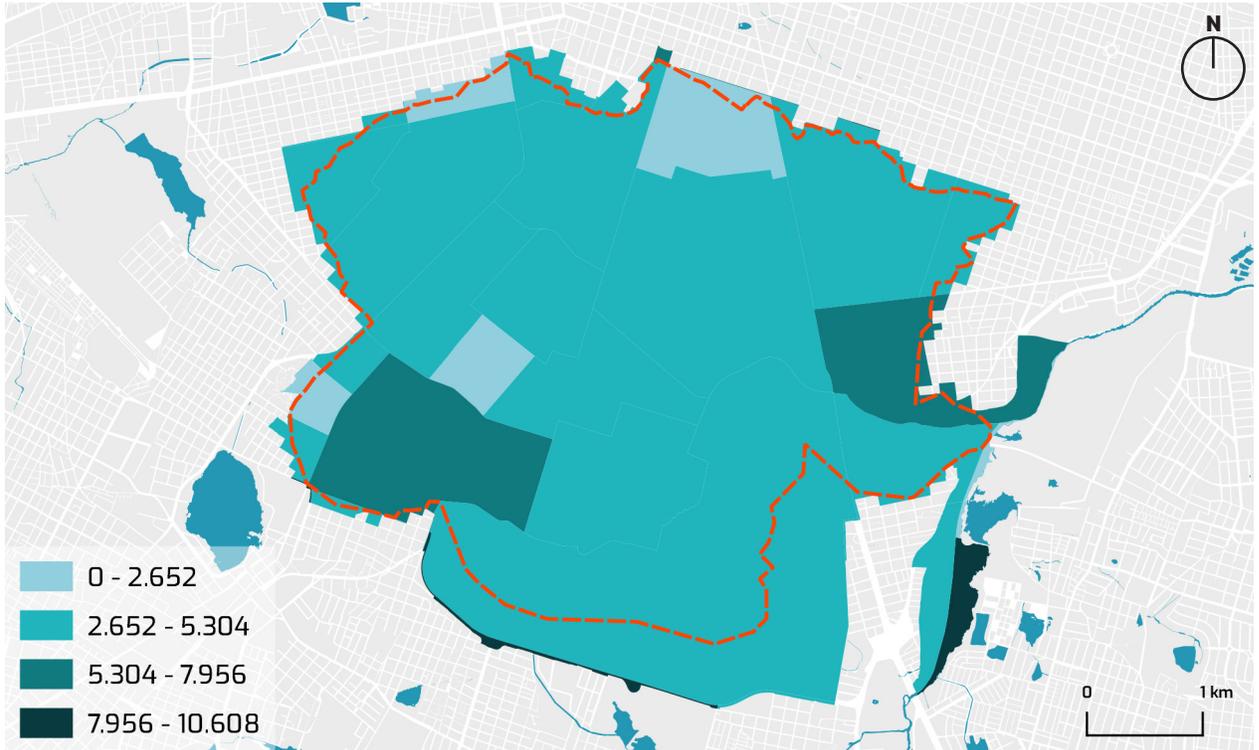
Fonte: SEINF (2020).

3.2.4 Modelos socioeconômicos

Intervenções no espaço que não contem com a participação social não são bem sucedidas. Entender as características populacionais são o primeiro passo crucial para esse tipo de estudo. Elas refletem a dinâmica social que ocorre em um lugar, e é o tema mais volátil a ser analisado.

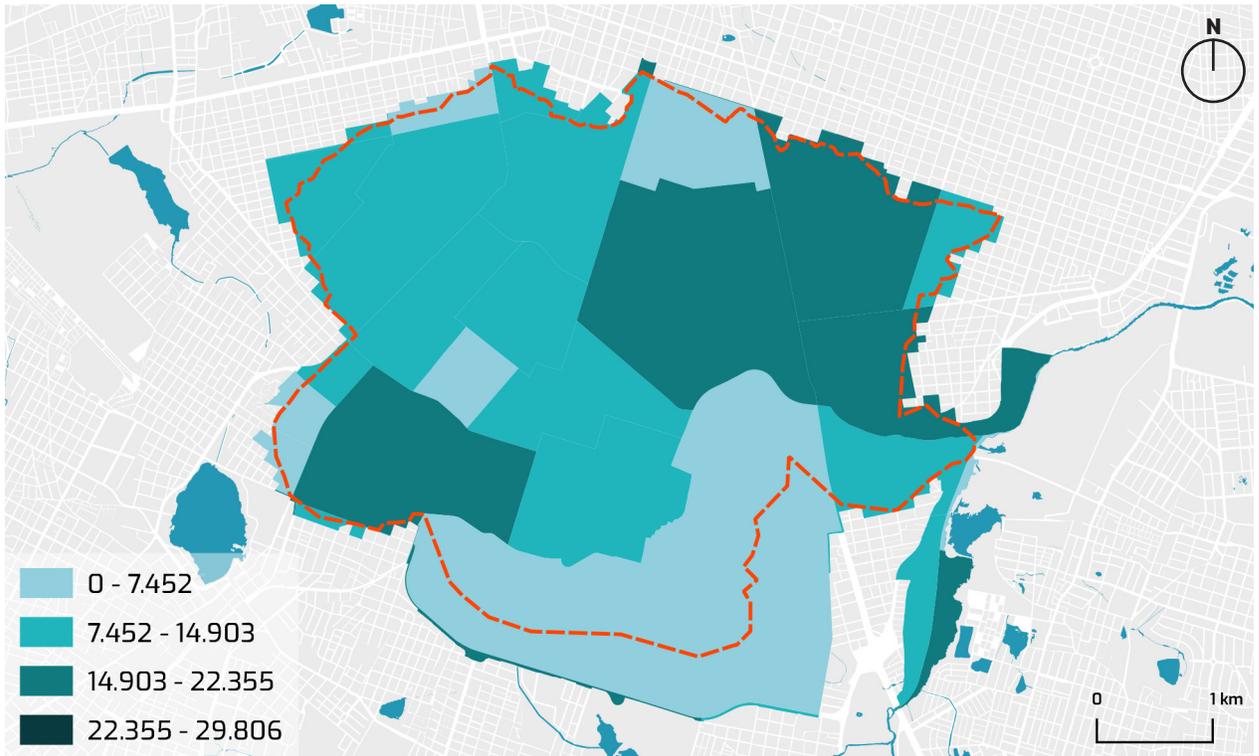
Constatou-se que a área possui uma alta densidade, com população predominantemente adulta e feminina (Figuras 63 e 66). A área apresenta um IDH muito baixo - apesar de a população apresentar altos índices de educação, isso não teve rebatimento na renda (de até 3 salários mínimos). Observa-se a tendência de envelhecimento da população devido ao alto índice de longevidade. (Figuras 69,70,71 e 72).

Figura 62 - População de crianças e adolescentes



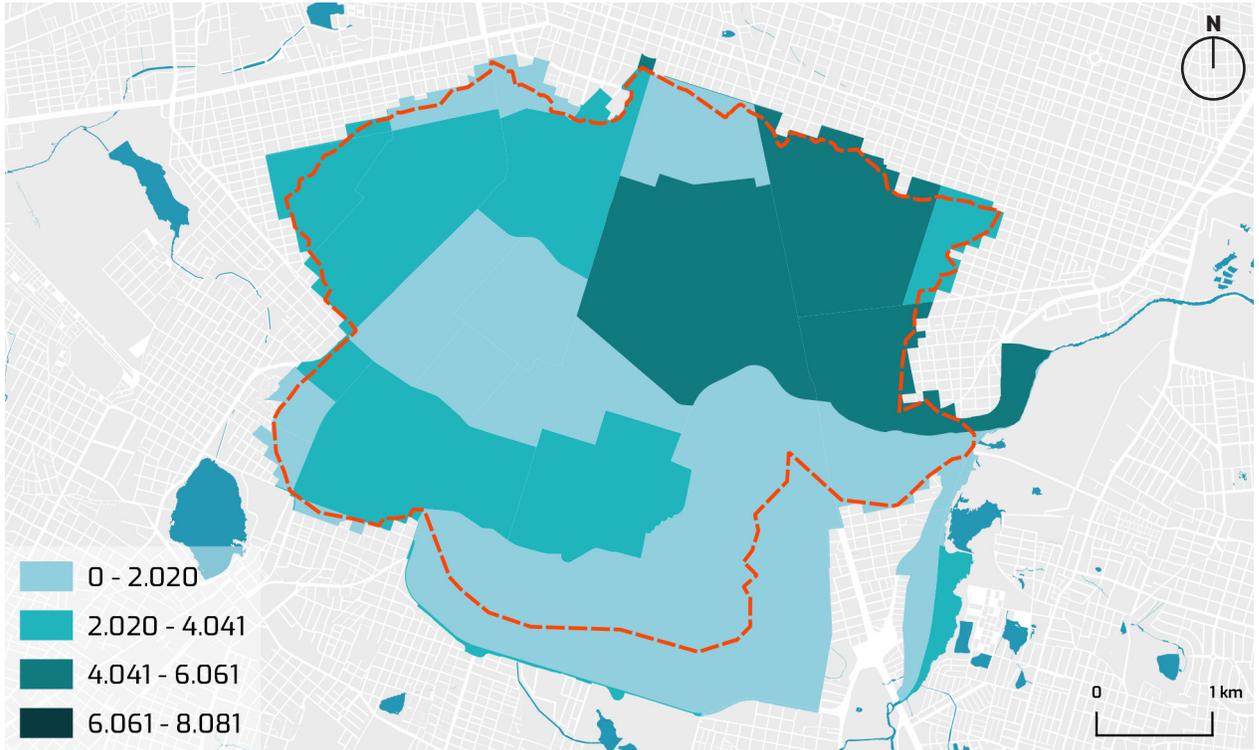
Fonte: PMF/SMS/COVIS/CEVEPI (2021-2022).

Figura 63 - População adulta



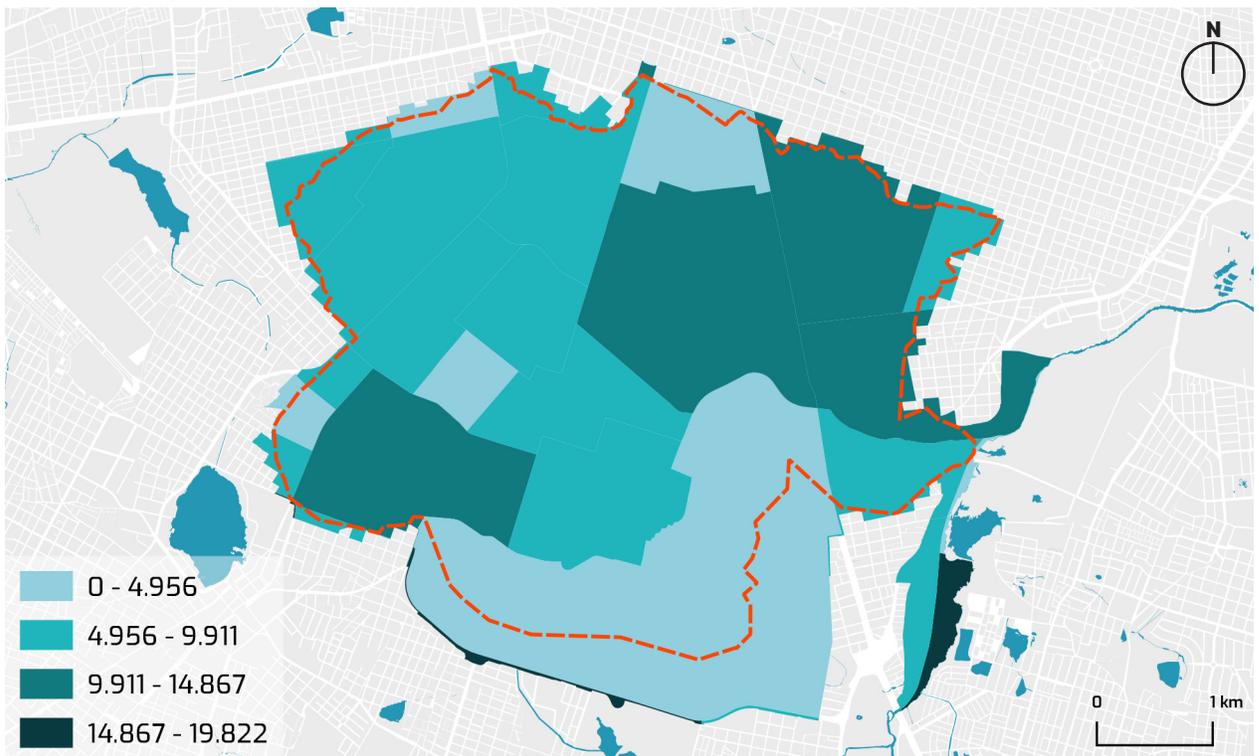
Fonte: PMF/SMS/COVIS/CEVEPI (2021-2022).

Figura 64 - População idosa



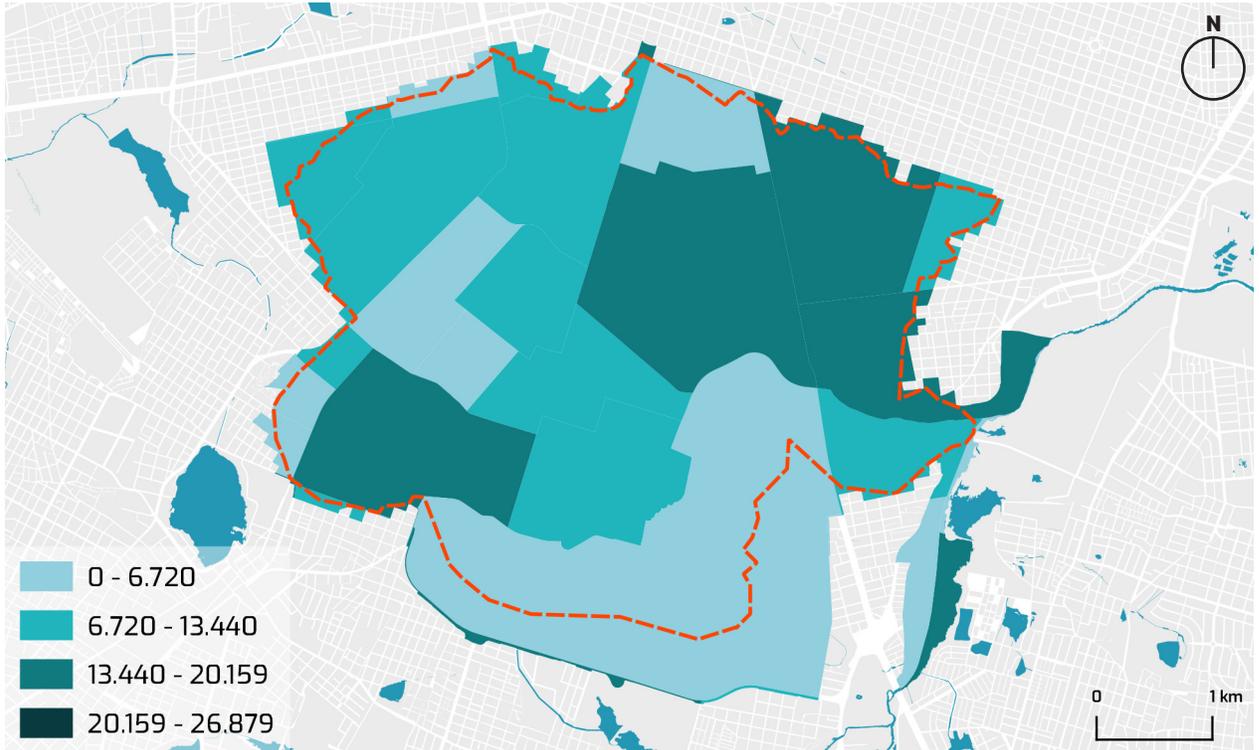
Fonte: PMF/SMS/COVIS/CEVEPI (2021-2022).

Figura 65 - População masculina



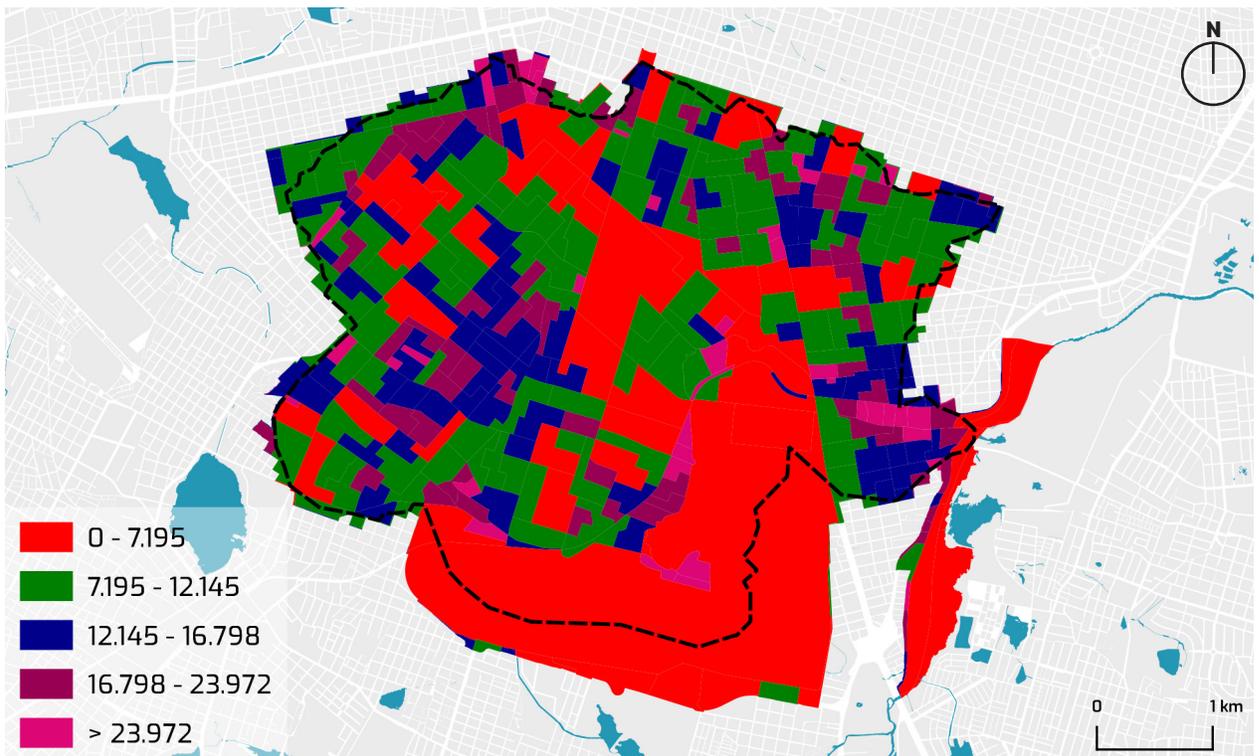
Fonte: PMF/SMS/COVIS/CEVEPI (2021-2022).

Figura 66 - População feminina



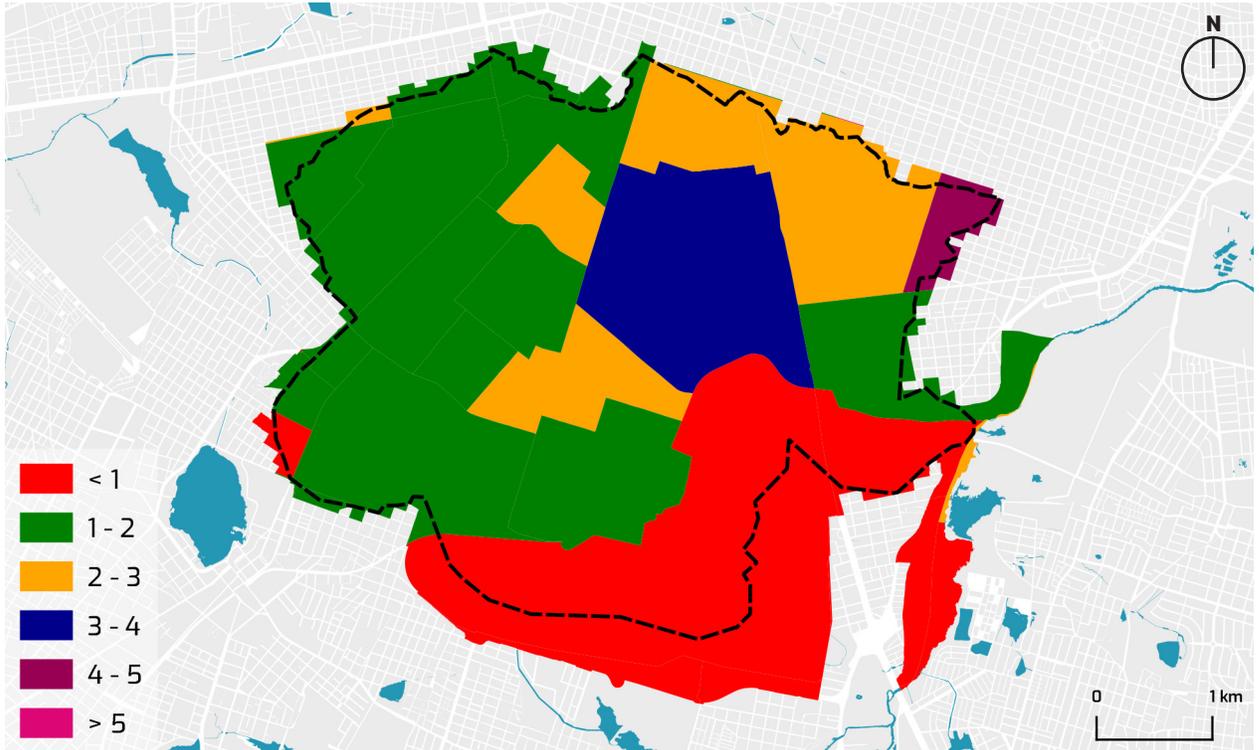
Fonte: PMF/SMS/COVIS/CEVEPI (2021-2022).

Figura 67 - Densidade populacional por setor censitário (hab/Km²)



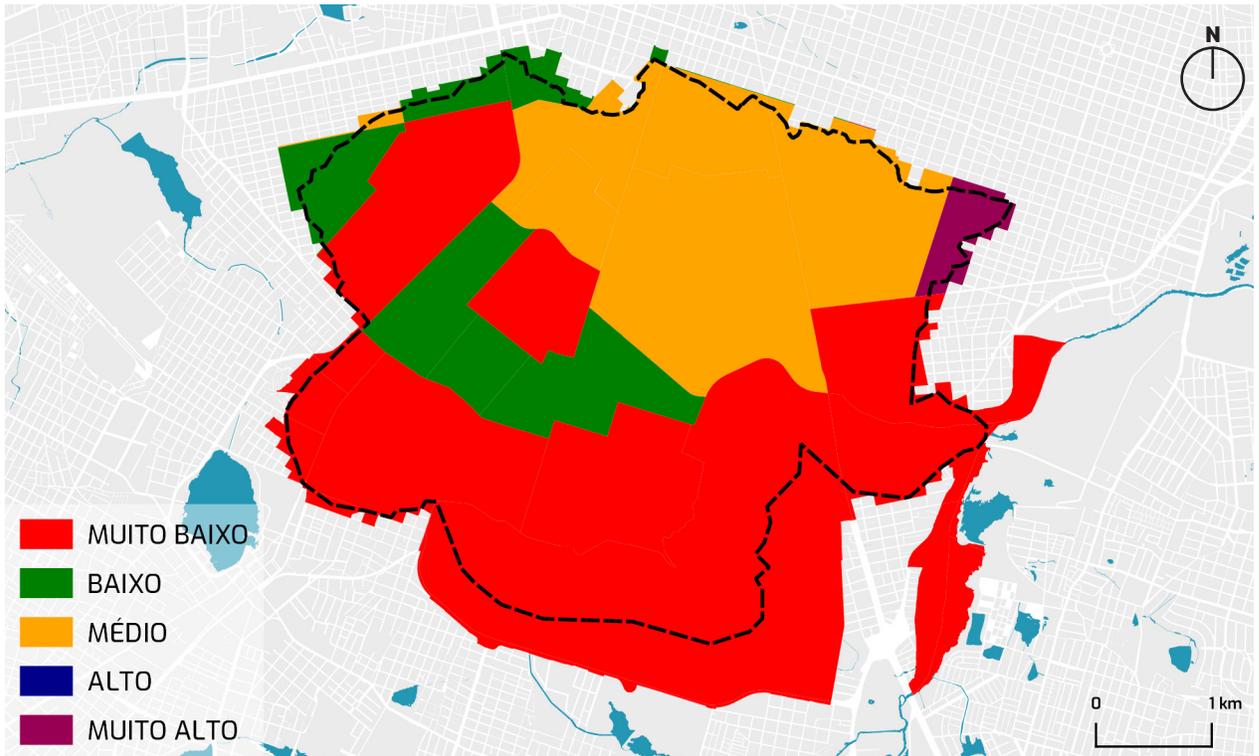
Fonte: IPLANFOR (2018).

Figura 68 - Renda média (em salários mínimos)



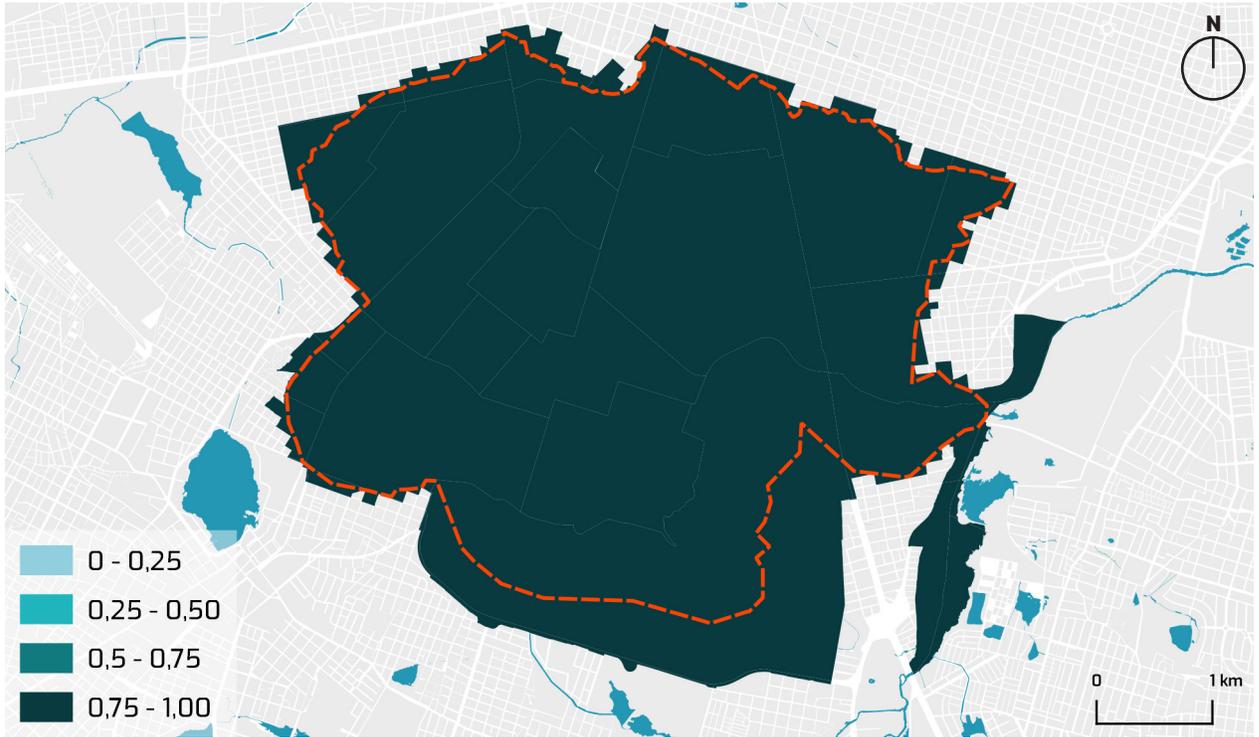
Fonte: IBGE (2010).

Figura 69 - Classificação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).



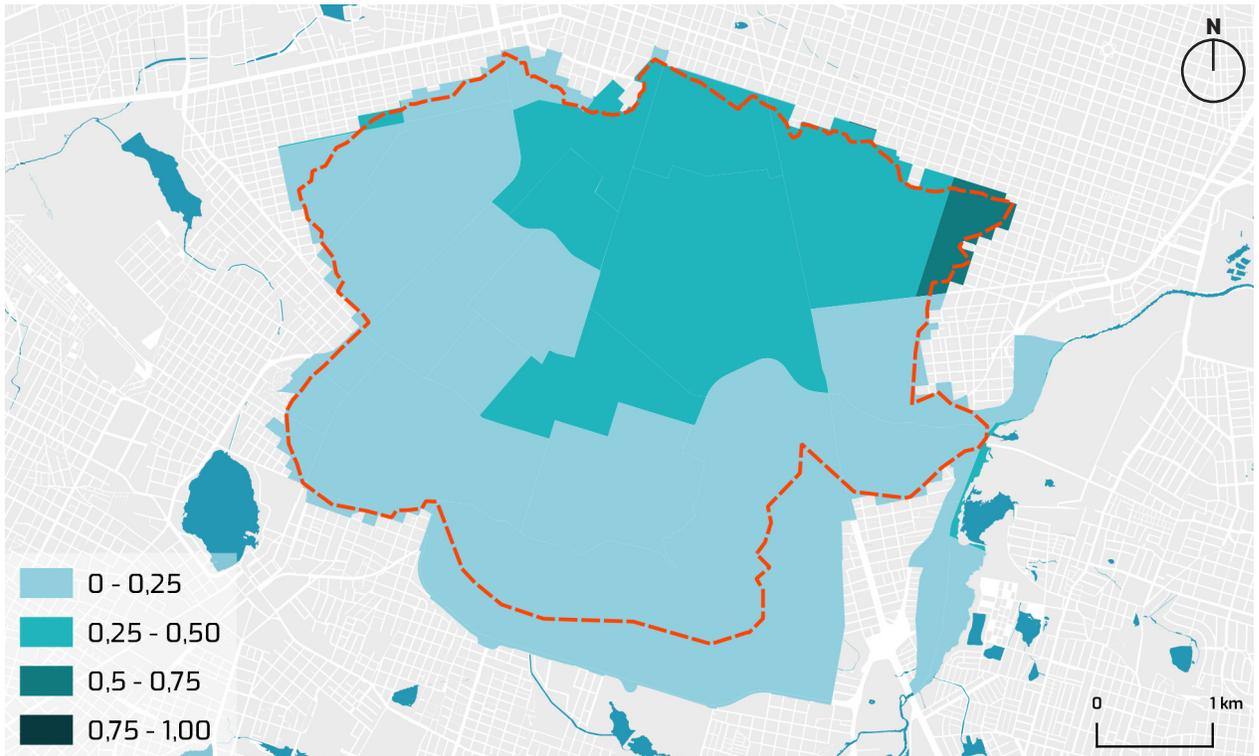
Fonte: SDE/IBGE (2010).

Figura 70 - Componente educação do IDH



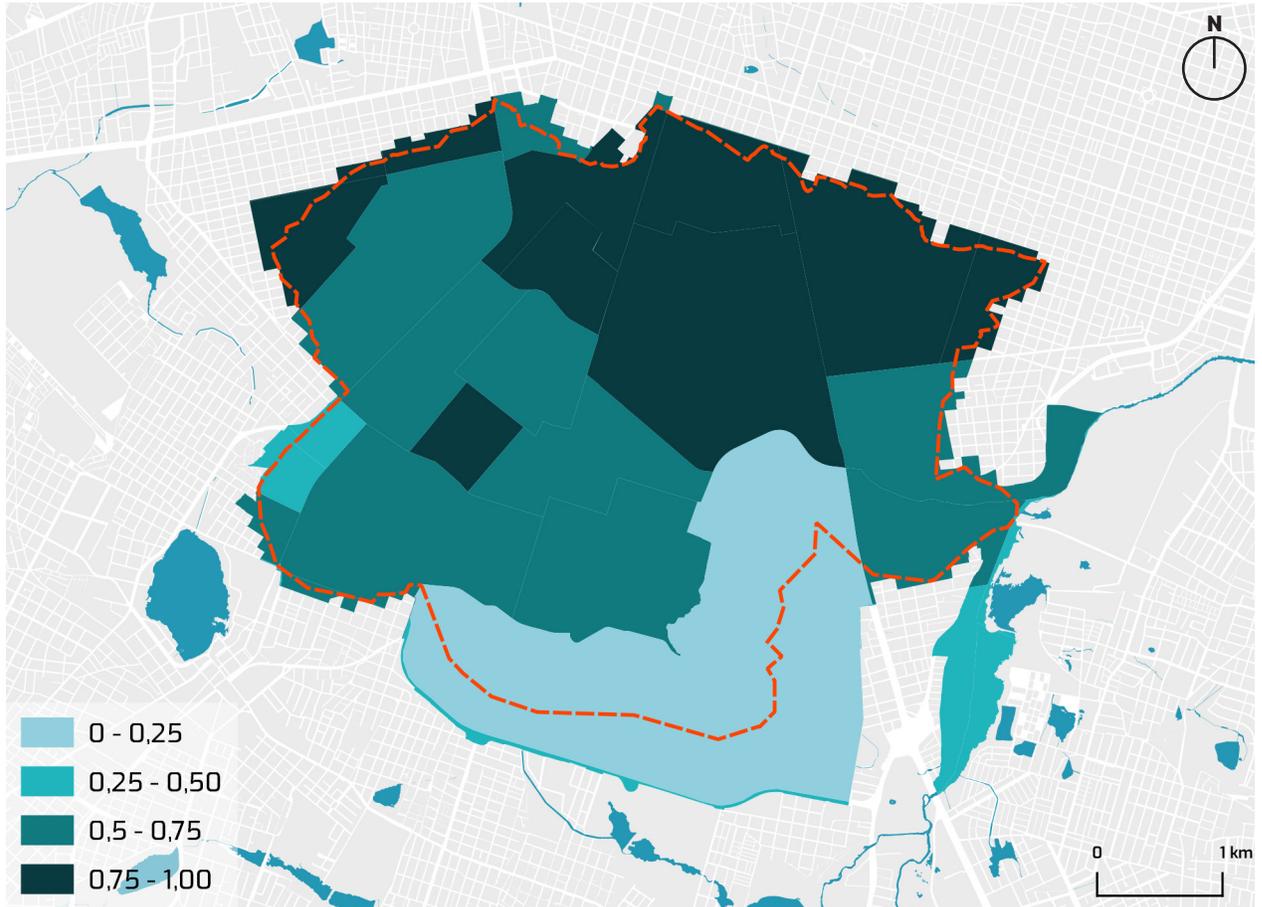
Fonte: SDE/IBGE (2010).

Figura 71 - Componente renda do IDH



Fonte: SDE/IBGE (2010).

Figura 72 - Componente longevidade do IDH

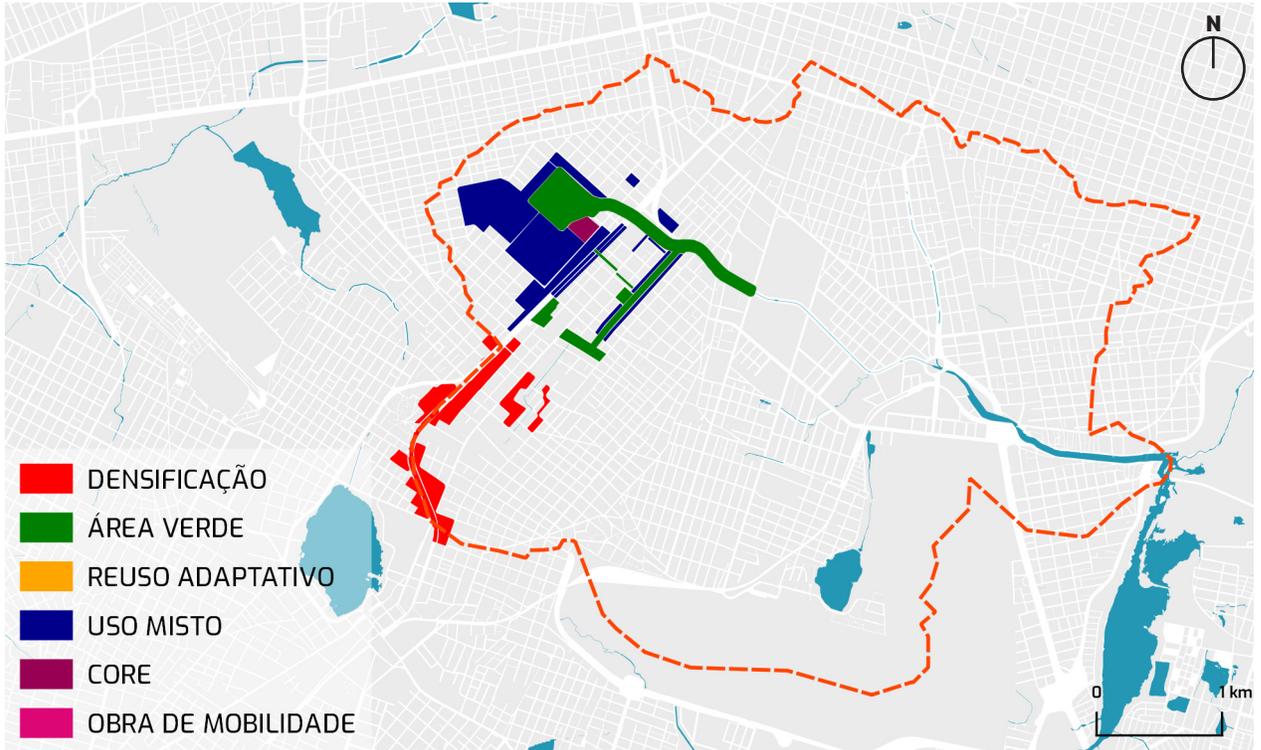


Fonte: SDE/IBGE (2010).

3.2.5 Modelos de planejamento

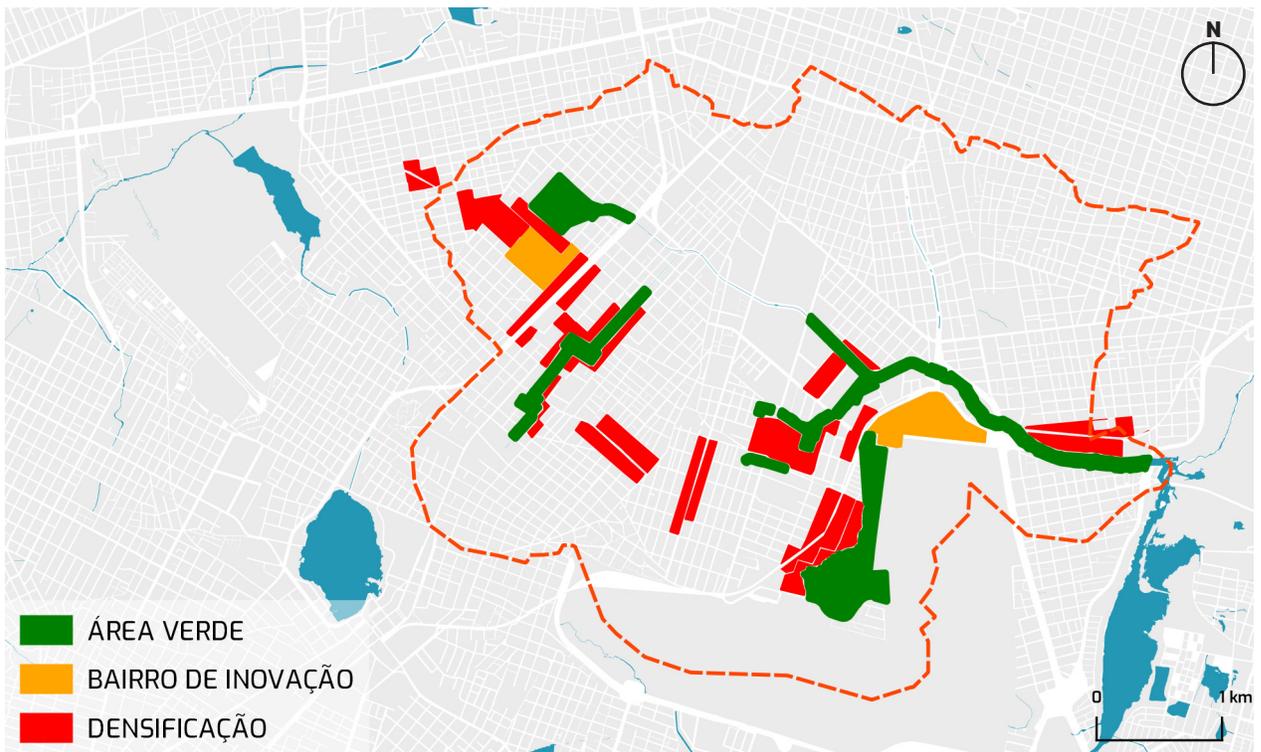
O planejamento municipal está em constante modificação para se adequar as demandas locais. Os mapas temáticos desenvolvidos nessa etapa servem para ilustrar como a administração interpreta a área e como pretende alterá-la. Assim, foram incorporados na pesquisa projetos municipais oriundos do Plano Fortaleza 2040 (PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, 2019), um projeto de longo prazo que “tem como principal objetivo a transformação de Fortaleza em uma cidade mais acessível, justa e acolhedora; o incremento da oferta de oportunidades apoiadas pela boa ordenação da rede de conexões de seus espaços públicos e privados; e a obtenção de controle eficiente do seu crescimento econômico”. Ele conta com 32 Planos Específicos Prioritários (PEP), dos quais 4 têm repercussão na área (Figura 73, 74, 75 e 76). De uma forma geral, embora as propostas proponham a geração de áreas verdes nas proximidades dos corpos hídricos, e a dinamização de usos, foi identificada uma predominância de propostas de densificação da área, principalmente nas proximidades de eixos de mobilidade urbana.

Figura 73 - Planos Específico Prioritário Metrô Sul



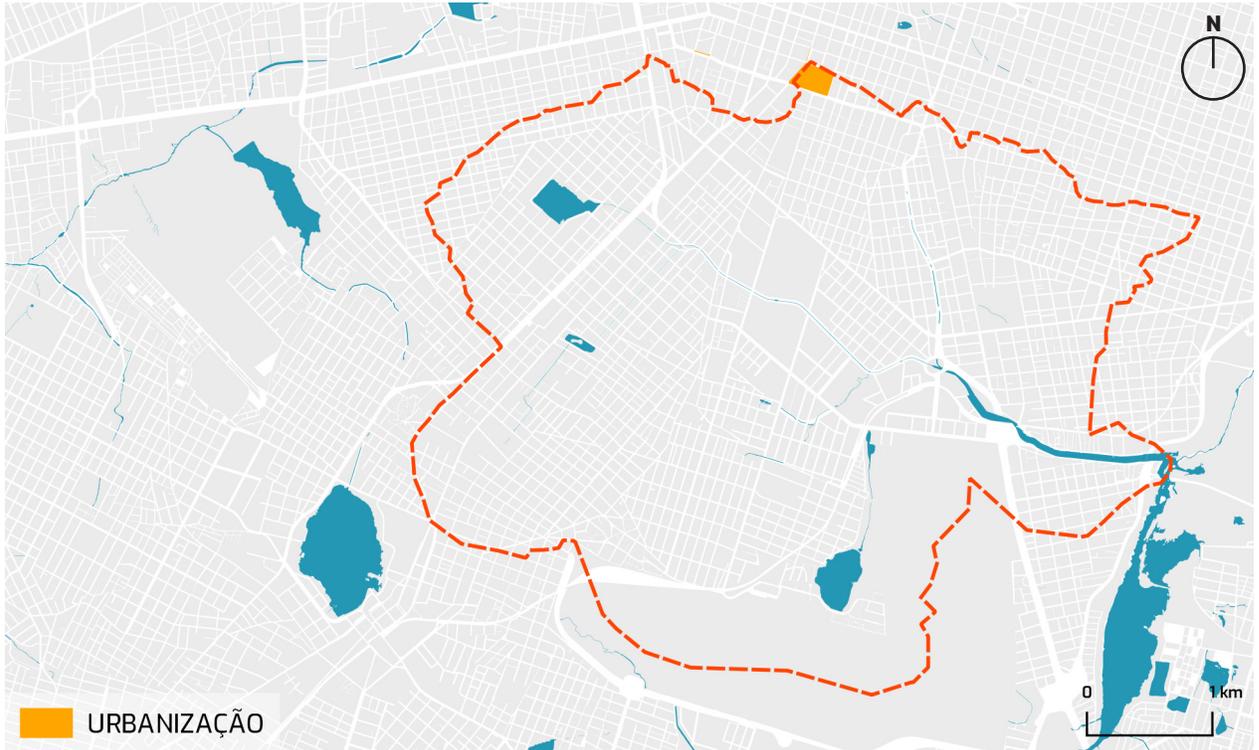
Fonte: IPLANFOR (2018).

Figura 74 - Planos Específico Prioritário Futuro Metrô Orbital



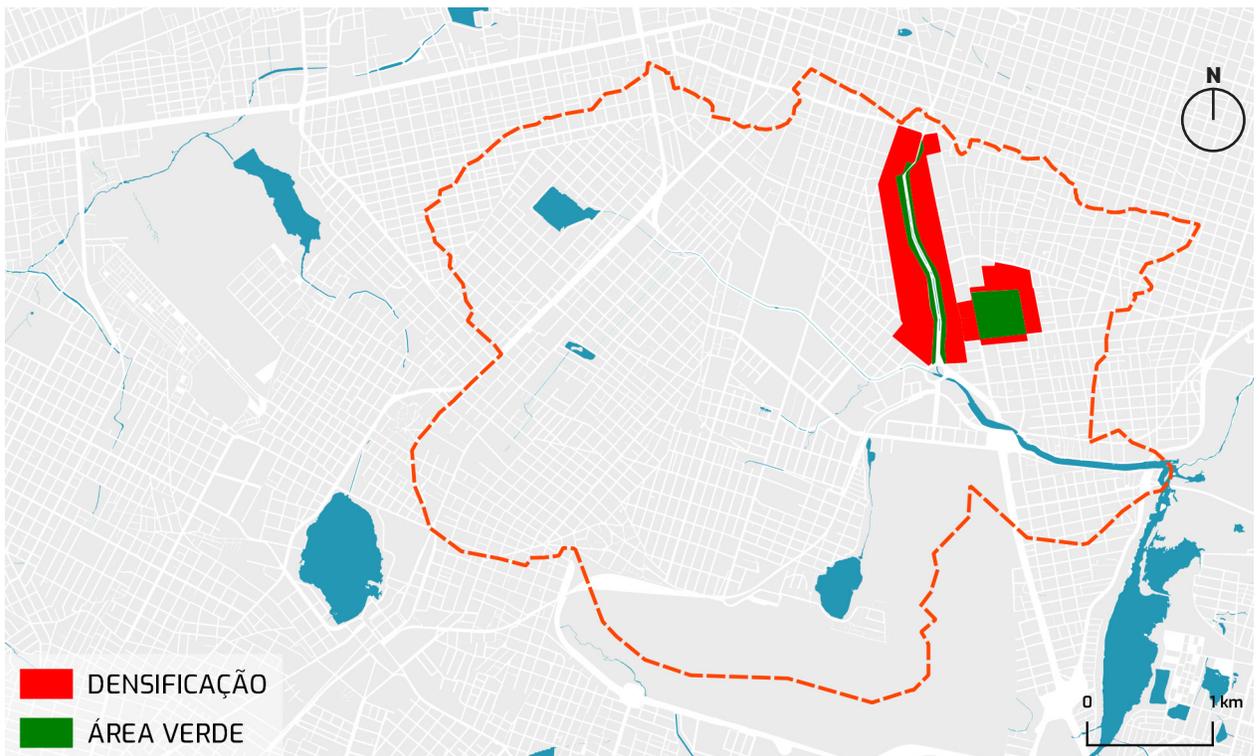
Fonte: IPLANFOR (2018).

Figura 75 - Planos Específico Prioritário Centro Expandido



Fonte: IPLANFOR (2018).

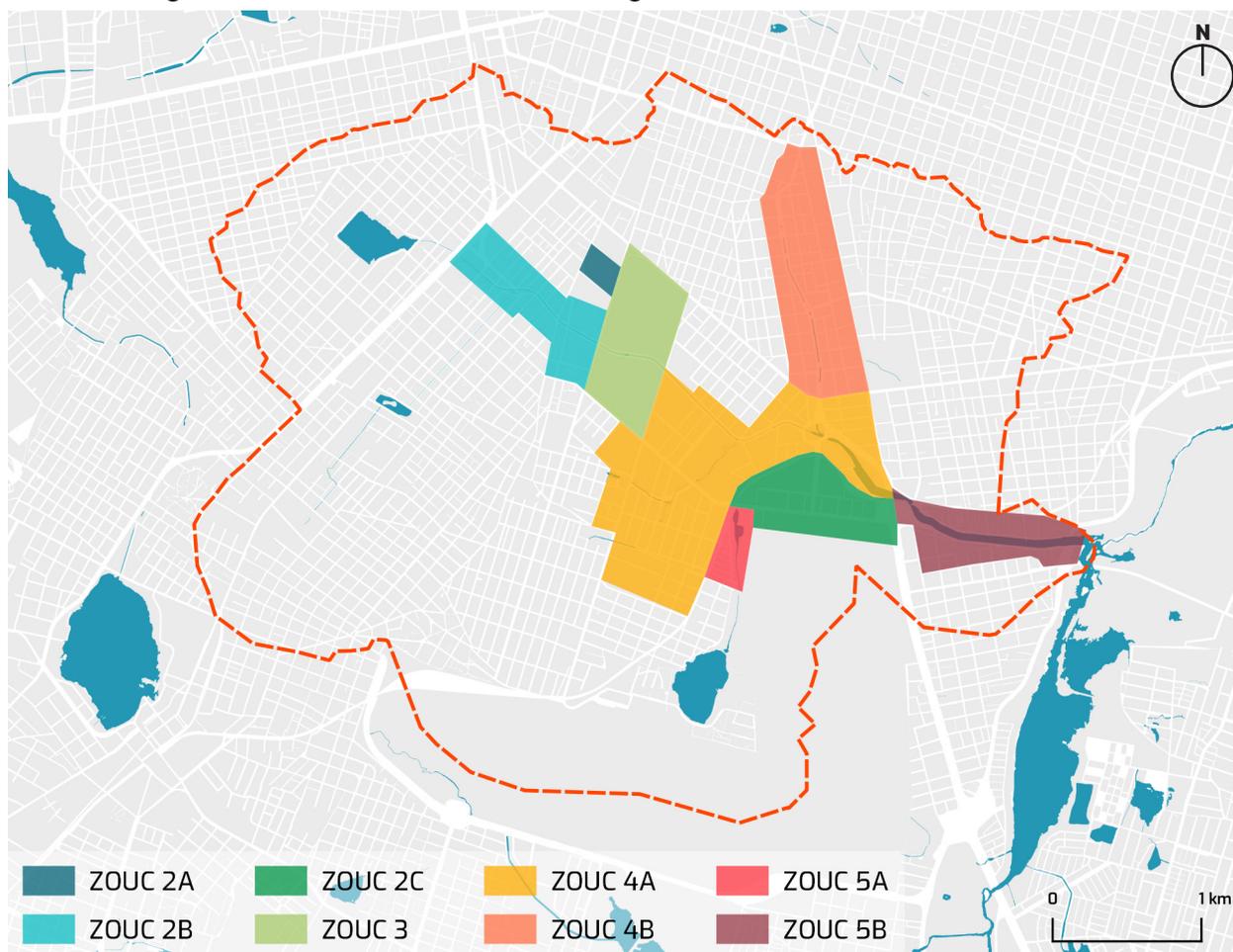
Figura 76 - Planos Específico Prioritário Aguanambi



Fonte: IPLANFOR (2018).

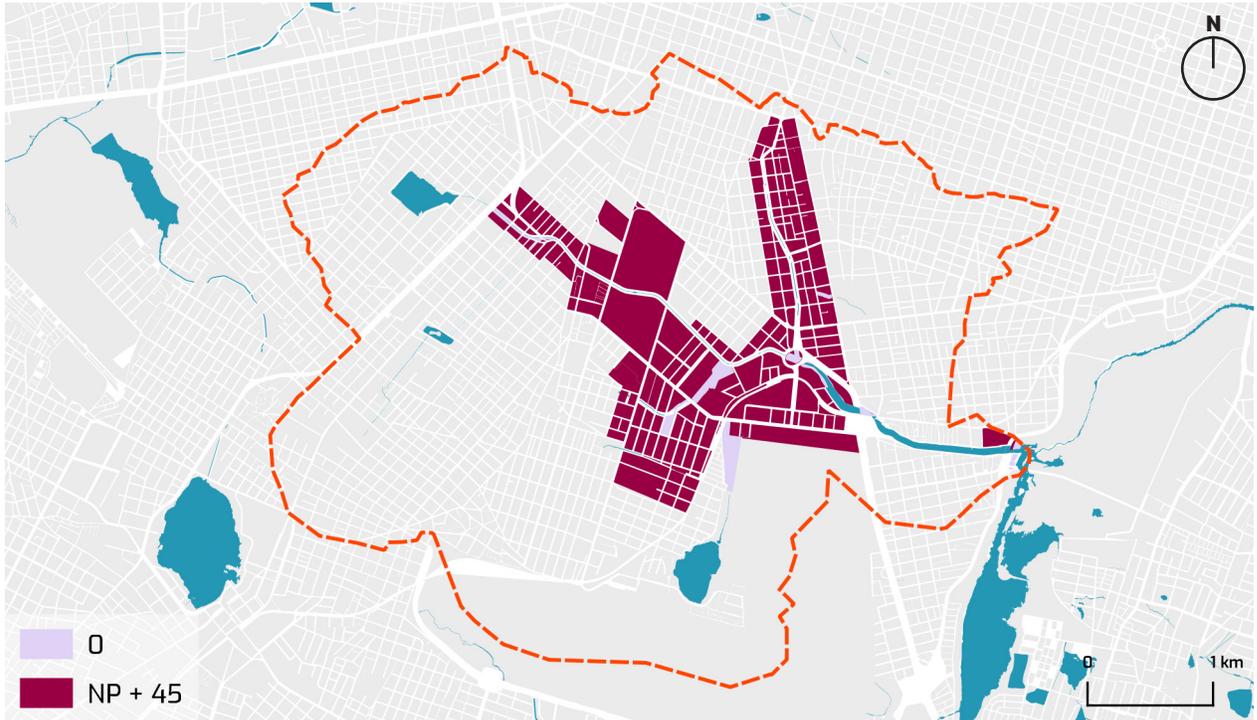
Além desses planos, foi encontrado o Projeto de Lei 086 (FORTALEZA, 2019) que estabelece diretrizes para a realização de uma Operação Urbana Consorciada (OUC) para a área, a OUC Aguanambi. Segundo o Plano Diretor Participativo de Fortaleza (FORTALEZA, 2009), OUC é o “o conjunto de intervenções e medidas coordenadas pelo Município, com a participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados, com o objetivo de promover a ocupação adequada de áreas específicas de acordo com o cumprimento das funções sociais da cidade e a requalificação do ambiente urbano.” Ela é um instrumento urbanístico que viabiliza as parcerias público-privadas para transformar social, ambiental e economicamente áreas degradadas. Para a OUC Aguanambi foram listados como principais objetivos da OUC requalificação ambiental, inclusão social, aprimoramento da mobilidade urbana e desenvolvimento econômico sustentável. No entanto, ao observar os parâmetros propostos, verifica-se uma proposição voltada à verticalização da área com aumento da impermeabilização do solo (Figuras 77, 78, 79 e 80).

Figura 77 - Zoneamento da OUC Aguanambi



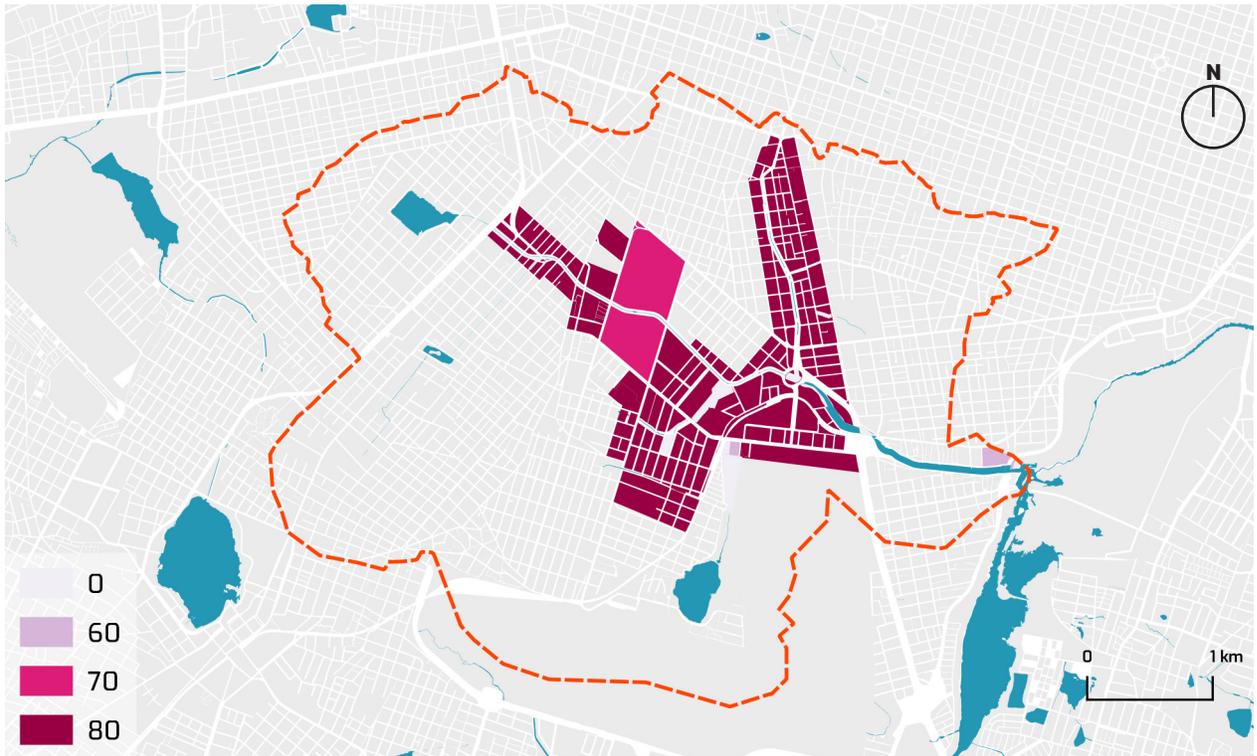
Fonte: PL 86 (2019); LUOS (2017); SEFIN (2016).

Figura 78 - Altura máxima da edificação na OUC Aguanambi



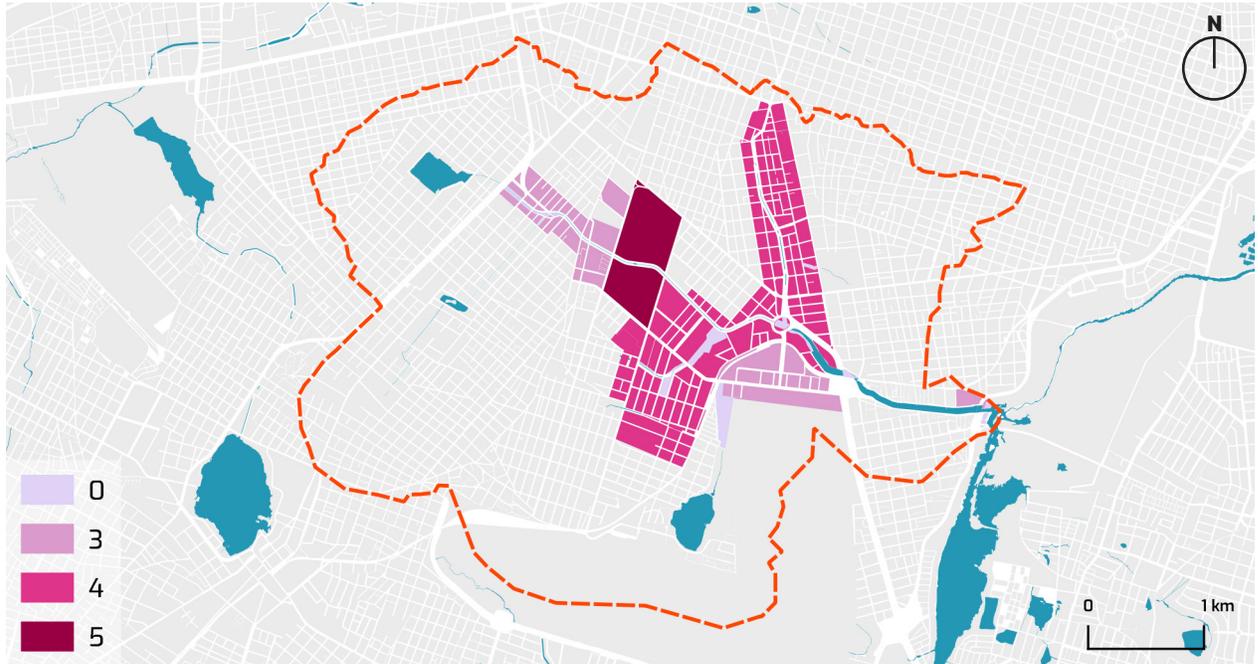
NP - nível da pista.
Fonte: PL 86 (2019); LUOS (2017); SEFIN (2016).

Figura 79 - Taxa de ocupação (%) na OUC Aguanambi



Fonte: PL 86 (2019); LUOS (2017); SEFIN (2016).

Figura 80 - Índice de aproveitamento máximo na OUC Aguanambi

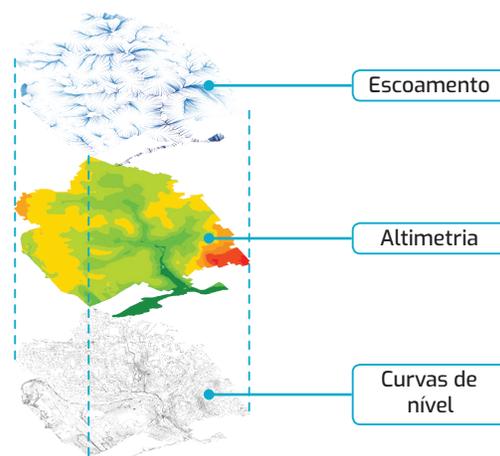


Fonte: PL 86 (2019); LUOS (2017); SEFIN (2016).

3.2.6 Modelo de escoamento

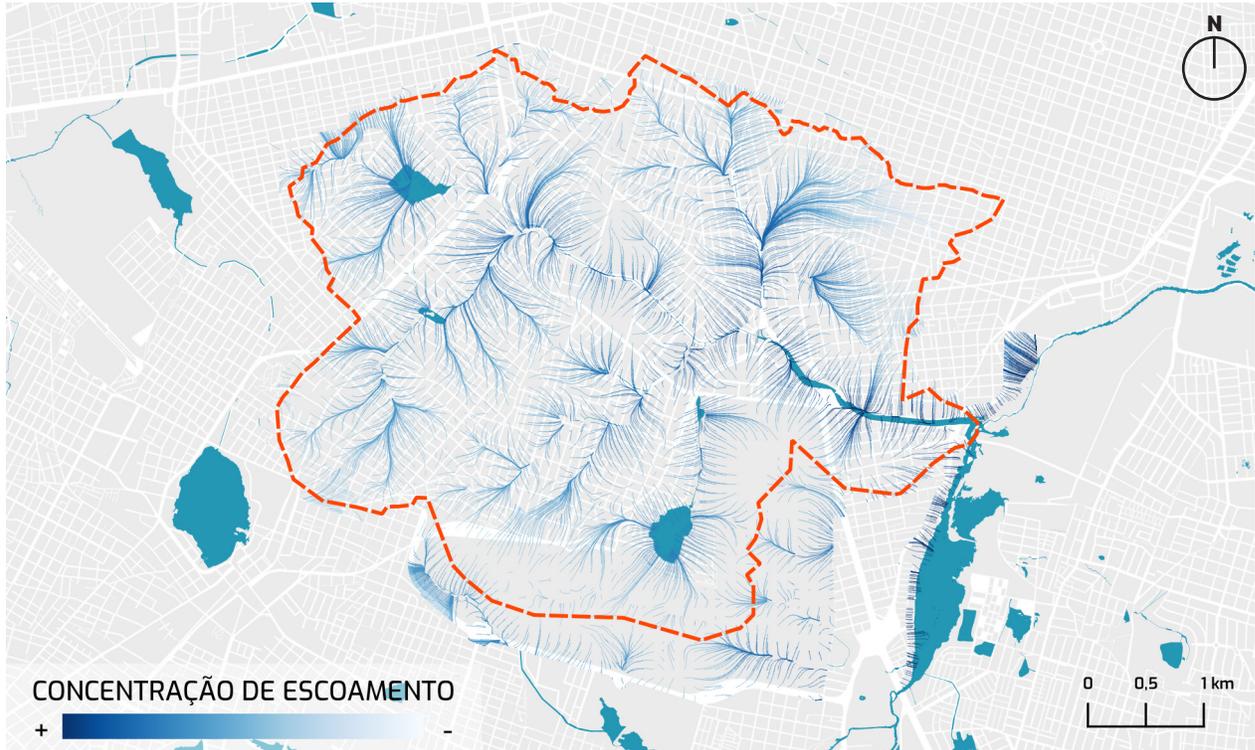
Para que fosse possível compreender o fluxo da água em eventos de precipitação Foi feita uma simulação do escoamento na área. Essa simulação foi feita utilizando um algoritmo desenvolvido por um projeto de Iniciação Científica (IC) da Universidade Federal do Ceará (Figura 81). O resultado produzido ajuda a identificar os locais onde esses fluxos se concentrarão. (Figura 82).

Figura 81 - Sobreposição de camadas que resultam na simulação do escoamento na área.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023) com base nos dados do IPLANFOR (2018).

Figura 82 - Simulação do fluxo de escoamento na sub-bacia B1



Fonte: Desenvolvido por IC com base nos dados da pesquisa (2023).

3.2.7 Como a área funciona?

A quantidade de mapas ilustra a complexidade da área em questão e a quantidade de informações processadas para uma correta caracterização. A área é consolidada, com o ambiental natural bastante modificado. Ela é bastante integrada, com grande diversidade de modais e infraestrutura. No entanto, verifica-se um subaproveitamento do potencial construtivo, com baixos índices de aproveitamento e pouca verticalização.

A legislação municipal proposta para o local não parece ter considerado os atributos ambientais e sociais para sua elaboração. O que se verifica, é uma legislação local mais permissiva à impermeabilização do solo e à densificação da área, aumentando a pressão da especulação imobiliária. Os planos municipais elaborados para o local continuam a ignorar as questões específicas do local, estimulando o adensamento, o aumento da impermeabilização e a verticalização.

A simulação de escoamento permitiu visualizar questões que não seriam facilmente percebidas. A impermeabilização de áreas inundáveis sugere uma tendência de alagamentos, agravada pela existência de vias predominantemente impermeabilizadas que aumentam a velocidade de escoamento e reduzem drasticamente a infiltração no

solo. Quando utilizados em conjunto com outros mapas, reflete falta de compreensão da interação homem-meio ambiente, desencadeando impactos sociais maiores, alterando o ambiente e impactando em sua funcionalidade.

3.3 Modelo de avaliação

Figura 83 - Localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign.



MR - Modelo de Representação, MP - Modelo de Processo; MV - Modelo de Avaliação; MM - Modelo de Mudança; MI - Modelo de Impacto.

Fonte: Autora (2023).

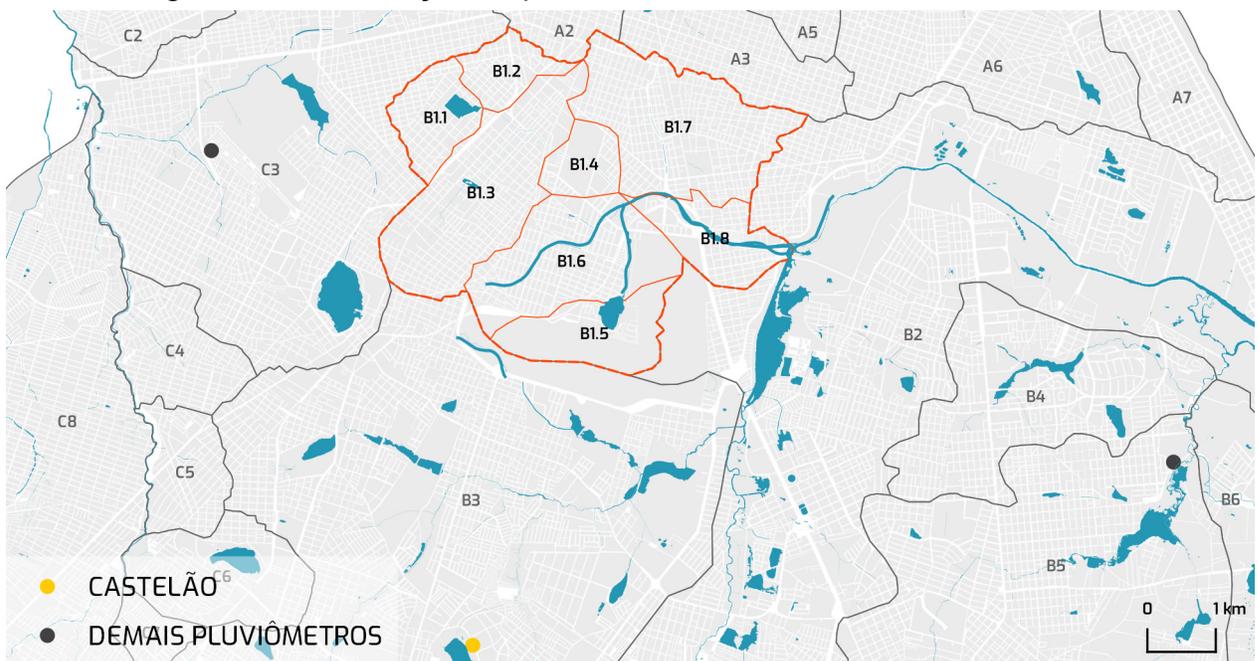
Uma vez que o foco do trabalho é a reabilitação hídrica do Riacho Tauape o modelo de avaliação utilizado terá basicamente um objetivo: identificar se a área está vulnerável. A verificação de vulnerabilidade será feita através da análise da capacidade de infiltração da sub-bacia. A impermeabilização reduz a capacidade de absorção do solo que, além de reduzir a capacidade de recarga dos lençóis freáticos, resulta em uma sobrecarga de volume de chuva a ser escoado pelo sistema de drenagem. Quando esse sistema não consegue dar vazão ao escoamento produzido, o resultado é o surgimento de alagamentos, que causam prejuízos urbanos, financeiros e socioambientais.

O aumento de área impermeabilizada está diretamente relacionado com parâmetros o uso e ocupação do solo, portanto, a análise conduzida usou as informações acerca dos lotes da sub-bacia. Isso porque considerou-se que o sistema de drenagem existente deveria ser capaz de escoar pelo menos o excedente de volume produzido pela impermeabilização das vias. Dessa forma, foram utilizadas informações acerca da precipitação e da capacidade de infiltração dos lotes em dois cenários: no existente (3.3.1.1), e no legal (3.3.1.2). Posteriormente, foi necessário a criação de um terceiro cenário - o existente adaptado (3.3.1.3) - para que pudesse ser feita uma comparação adequada entre os resultados encontrados nos dois primeiros cenários. Para fins de cálculo, foi adotado que o solo da área de estudo é todo arenoso, uma vez que esse tipo de solo corresponde a 90% da sub-bacia B1. A partir dessa premissa, foi a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) foi usado como parâmetro, uma vez que ela determina a velocidade em que a lâmina de água vai penetrar no solo. Para a sub-bacia B1, a VIB adotada foi de 137,5 mm/h - média da VIB de solos arenosos (BERNARDO et al., 2006).

A primeira etapa da avaliação teve como finalidade encontrar os Tempos de Retorno (TR) da área. TR é o tempo médio em anos para que um evento hidrológico

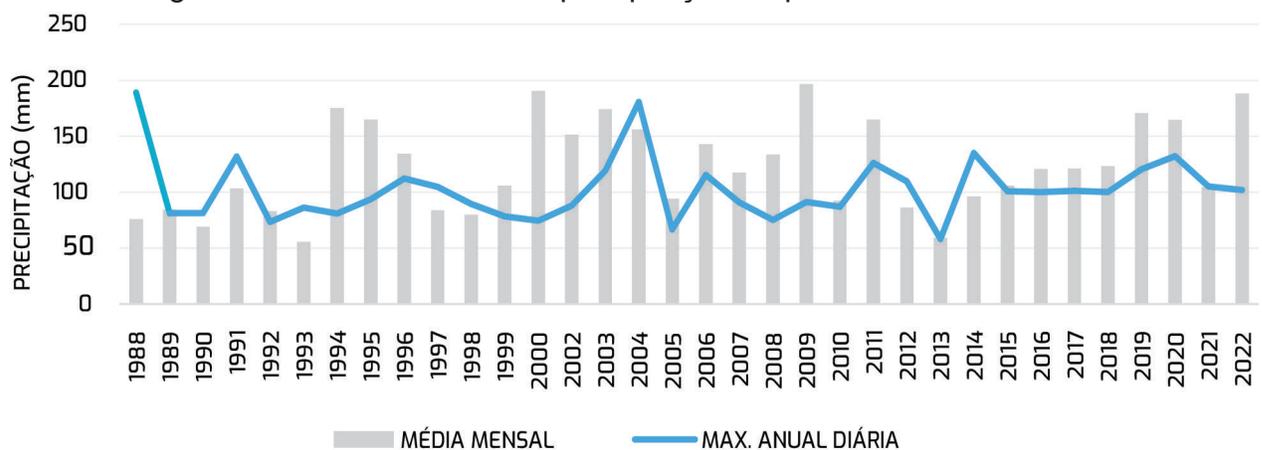
seja igualado ou superado (JÚNIOR, 2012), e é uma variável comumente utilizada para o dimensionamento de infraestruturas de drenagem. Aqui, foram calculados os TR de 10, 25, 50 e 100 anos a partir da série histórica obtida a partir do pluviômetro da FUNCEME localizado no Castelão. Esse pluviômetro foi selecionado por estar localizado na bacia hidrográfica na qual a área de estudo está inserida, estando a jusante da sub-bacia que está sendo estudada (Figura 84). A série histórica utilizada considerou o período de 1988 a 2022 (Figura 85), tendo sido descartado o ano de 2001 devido a insuficiência dos dados para o período. O cálculo foi feito utilizando a distribuição de Gumbel (Figura 81).

Figura 84 - Localização do pluviômetro do Castelão



Fonte: FUNCEME (2022).

Figura 85 - Série histórica de precipitação do pluviômetro Castelão



Fonte: FUNCEME (2023).

Figura 86 - Fórmula da distribuição de Gumbel

$$P(\text{TR}) = ((-\ln(-\ln(1/F)))^{\beta}) + \alpha$$

$$\begin{aligned} \alpha &= (\mu - 0,577 \cdot \beta) \\ \beta &= 6^{0,5} \cdot S / \pi \\ T &= 1/p \\ p &= m/(n+1) \end{aligned}$$

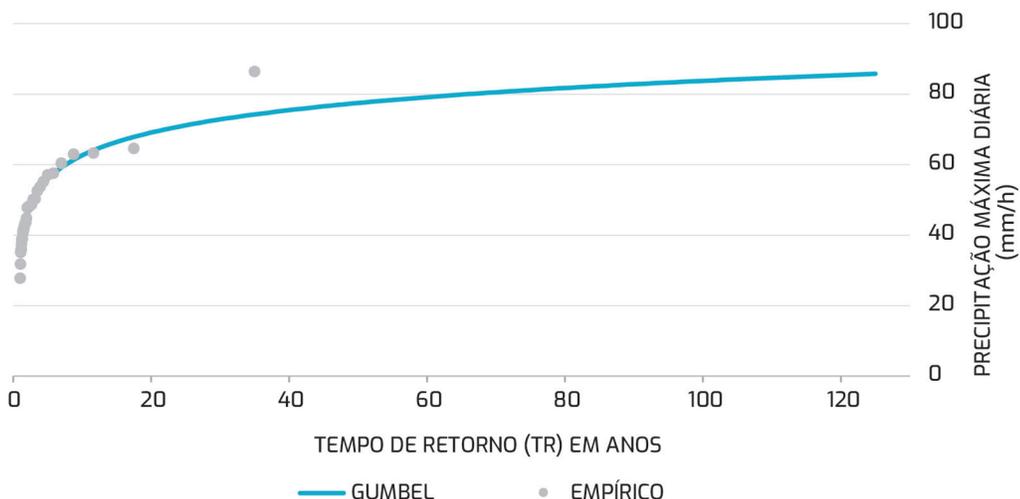
Em que:

- TR = Tempo de retorno
- P = Precipitação
- p = probabilidade acumulada
- S = Desvio padrão
- μ = média
- m = ordem;
- n = número de elementos da amostra

Fonte: Righeto, apud Tomaz (2002).

A partir a precipitação máxima diária encontrada pela distribuição de Gumbel (Figura 87) foi calculado o volume chovido em uma hora. Para isso, foram utilizados os índices de desagregação fornecidos pelo DAEE/CETESB (1980, apud SOUZA et al., 2012) (Tabela 03). Identificar o volume precipitado em um determinado período de tempo é o primeiro passo para compreender a vulnerabilidade de uma área. Segundo Moura, Pellegrino e Martins (2014), alterações na frequência e intensidade de chuvas já foram detectadas, - eventos extremos já são realidade em algumas regiões – tornando necessárias adaptações no sistema de drenagem. Normalmente, planos de drenagem adotam como solução a remoção das águas da chuva o mais rapidamente possível (HORNE; TORTAJADA; HARRINGTON, 2018), logo, o aumento da intensidade das chuvas é um indicador da necessidade de desenvolvimento de novas abordagens, representando um desafio no planejamento de infraestruturas de drenagem urbana.

Figura 87 - TR das precipitações máximas diárias (azul) a partir de dados empíricos (cinza)



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 03 - Coeficiente de desagregação da chuva de 24 h de duração

DURAÇÃO	COEF	DURAÇÃO	COEF.
24h 24h ⁻¹	1,14	30min h ⁻¹	0,74
12h 24h ⁻¹	0,85	25min 0,5h ⁻¹	0,91
10h 24h ⁻¹	0,82	20min 0,5h ⁻¹	0,81
8h 24h ⁻¹	0,78	15min 0,5h ⁻¹	0,70
6h 24h ⁻¹	0,72	10min 0,5h ⁻¹	0,54
1h 24h ⁻¹	0,42	5min 0,5h ⁻¹	0,34

Fonte: DDAEE/CETESB (1980, apud SOUZA et al., 2012).

3.3.1 Análise de vulnerabilidade

3.3.1.1 Cenário existente

Nesse cenário, foi utilizado como base para o cálculo a taxa de ocupação dos lotes (Figura 54). A verificação da permeabilidade da sub-bacia seguiu as seguintes etapas:

I. A partir da taxa de ocupação (GSI/TO), foi encontrado a área não ocupada, considerada pelo estudo como área completamente permeável (AP). No caso de não existir edificação no lote, a área foi considerada como completamente permeável.

$$AP = (1 - GSI)$$

II. A área permeável (AP) foi multiplicada pela VIB do solo, nos fornece o volume capaz de ser infiltrado (VI) pelo lote em um determinado período de tempo.

$$VI = AP * VIB$$

III. A área do lote (AL), foi usada para calcular os volumes precipitados neles nos respectivos TR(10, 25, 50 e 100) .

$$VP = AL * TR(10, 25, 50 e 100)$$

IV. O volume capaz de ser infiltrado (VI) foi reduzido do volume precipitado (VP) a fim de que se descobrisse a capacidade de permeabilidade de solo (CP)

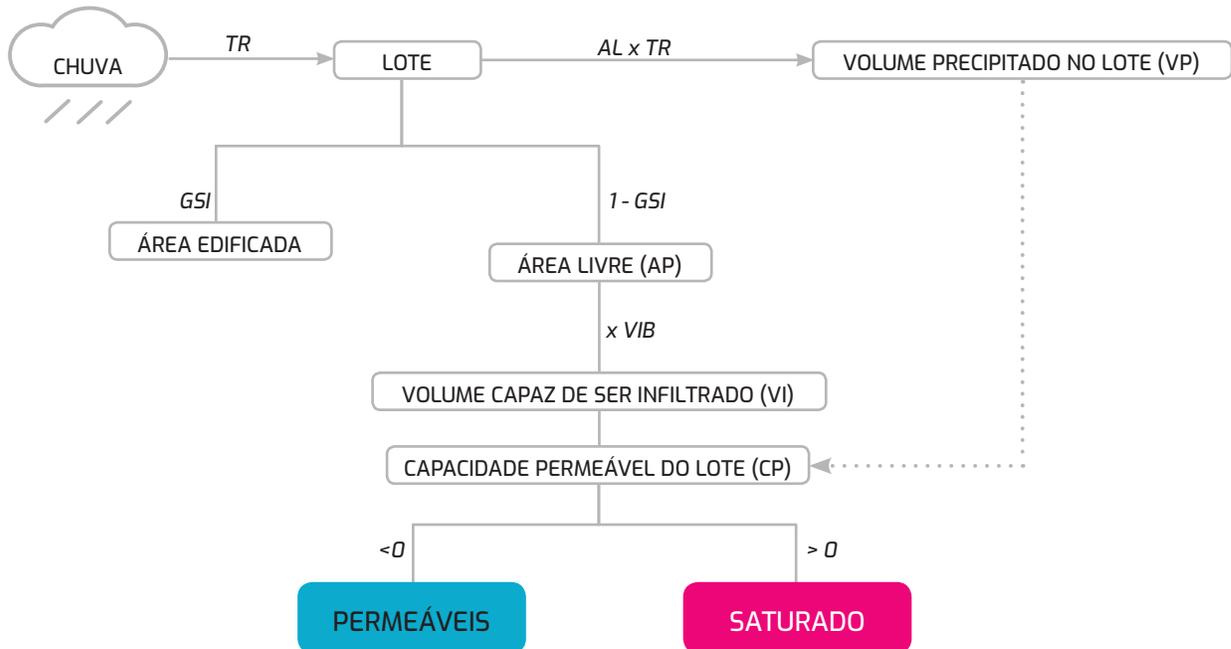
$$CP = VP - VI$$

V. Os resultados foram então classificados da seguinte forma:

- a. $CP < 0$: a área permeável possui capacidade de infiltrar acima do que foi precipitado naquele TR(x). Tais lotes receberam a legenda de permeáveis.
- b. $CP > 0$: a área permeável (AP) não é capaz de absorver o que foi preci-

pitado naquele $TR(x)$, gerando um volume excedente que escoará e será conduzido para o sistema de drenagem. Tais lotes receberam a legenda de saturados.

Figura 88 - Fluxograma explicativo das etapas de cálculo



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 04 - Volume total produzido nos TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente

VOLUME TOTAL PRODUZIDO (ℓ)	
TR10	-306.070.819,88
TR25	-106.995.321,94
TR50	38.861.973,57
TR100	184.719.269,09

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 05 - Percentual de lotes permeáveis e saturados TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente

	SATURADO	PERMEÁVEL
TR10	80,3%	19,7%
TR25	84,7%	15,3%
TR50	87,4%	12,6%
TR100	88,8%	11,2%

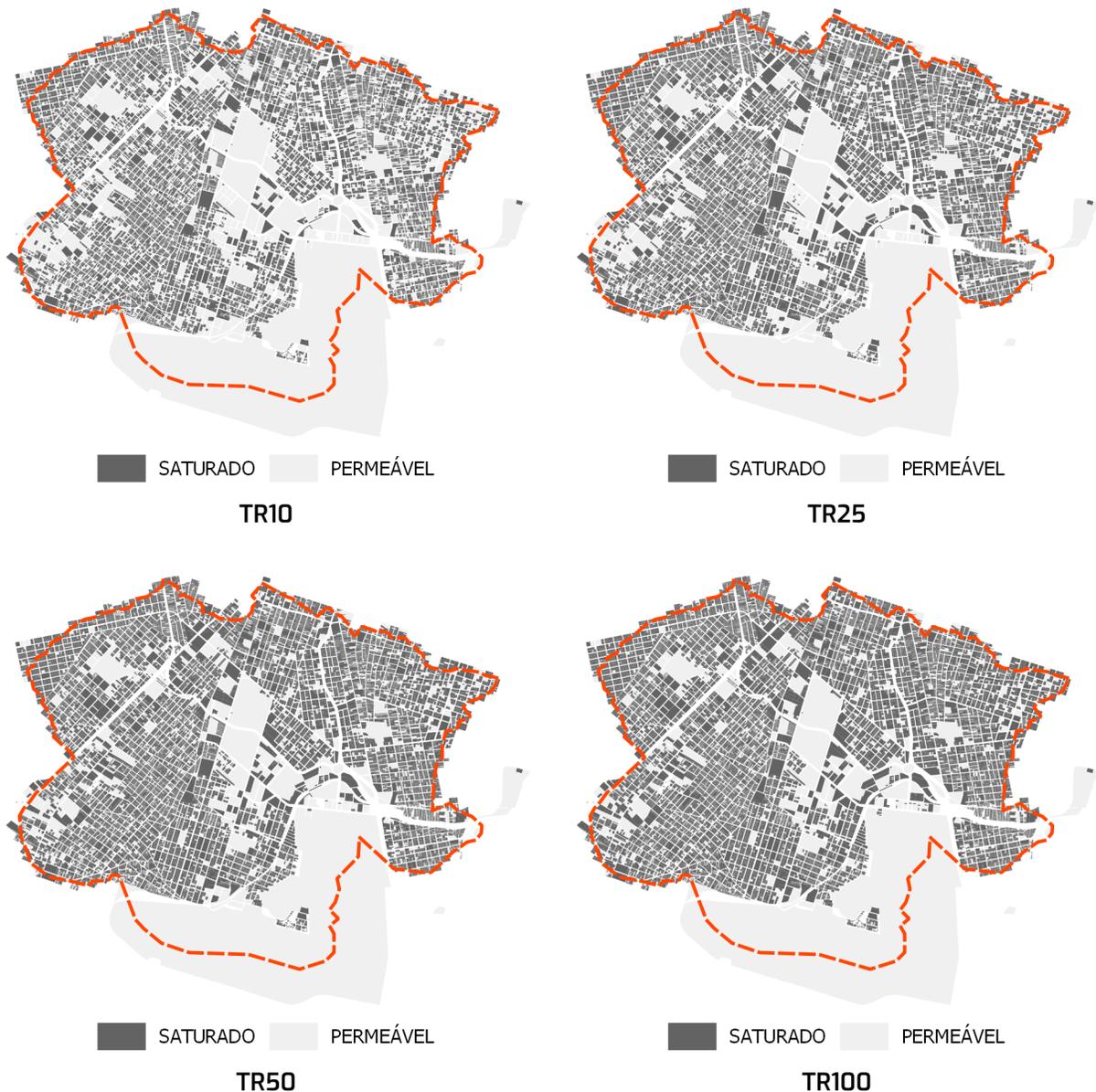
Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 06 - Proporção das áreas dos lotes permeáveis e saturados nos TR de 10, 25, 20 e 100 anos no cenário existente

	SATURADO	PERMEÁVEL
TR10	43,1%	56,9%
TR25	48,9%	51,1%
TR50	53,0%	47,0%
TR100	55,4%	44,6%

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Figura 89 - Análise de infiltração de precipitações com TR 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Os resultados demonstraram que a área, com suas características atuais de ocupação, é capaz de suportar os eventos com TR10 e TR25, não sendo capaz de resistir eventos com TR50 e TR100 (Tabela 04). Viu-se, no entanto, que nas em todas as 4 situações analisadas, acima de 80% dos lotes eram classificados como extravasantes (Tabela 05). Observando esses percentuais juntamente com o volume total produzido, podemos concluir que a capacidade de infiltrar concentra-se em poucos lotes, que ocupam uma grande área (Tabela 06).

3.3.1.2 Cenário legal

Para verificação da vulnerabilidade da cenário legal, foram adotados a taxa de ocupação e a taxa de permeabilidade incidentes no lote previstas pela legislação incidente na sub-bacia B1 (Figura 45). Verificou-se, no entanto, a existência de lotes com parâmetros especiais de ocupação (PE). Esses lotes requerem projetos específicos que devem ser analisados caso a caso pelo órgão avaliador. Nesse caso, como não possuem taxas de ocupação e permeabilidade específicas, tais lotes foram desconsiderados (um total de 3.521 lotes, que representavam 32% da área de estudo) para o cálculo. Com isso, considerou-se que os lotes usariam completamente os índices estabelecidos por lei ao máximo - eles seriam ocupados o máximo possível, tornando toda essa área ocupada impermeável, e a área livre seria 100% permeável (completamente utilizada para infiltração). O cálculo seguiu o fluxo geral da Figura 88, através do seguinte passo a passo:

I. A partir da área do lote (AL) e da taxa de permeabilidade (TP), foi encontrada a área não ocupada, considerada pelo estudo como área completamente permeável (AP).

$$AP = AL * TP$$

II. A área permeável (AP) foi multiplicada pela VIB do solo, nos fornece o volume capaz de ser infiltrado (VI) pelo lote em um determinado período de tempo.

$$VI = AP * VIB$$

III. Baseado na área do lote (AL), foram calculados os volumes precipitados nos respectivos lotes nos respectivos TR(10, 25, 50 e 100);

$$VP = AL * TR(x)$$

IV. O volume capaz de ser infiltrado (VI) foi reduzido do volume precipitado (VP) a fim de que se descobrisse a capacidade de permeabilidade do (CP)

$$CP = VP - VI$$

V. Os resultados foram então interpretados da seguinte forma:

- a. $CP < 0$: a área permeável possui capacidade de infiltrar acima do que foi precipitado naquele TR(x). Tais lotes receberam a legenda de permeáveis.
- b. $CP > 0$: a área permeável (AP) não é capaz de absorver o que foi precipitado naquele TR(x), gerando um volume excedente que será escoado para além dos limites do lote e será conduzido para o sistema de drenagem. Tais lotes receberam a legenda de saturados.

O novo cálculo demonstrou que os índices propostos para a área, se fossem adotados, tornariam a área incapaz de resistir a eventos extremos todos os TR propostos, gerando volume excedente (Tabela 7) e expondo a população da sub-bacia em situação de vulnerabilidade frente a esses eventos. Nessa situação, acima de 98% dos lotes foram classificados como extravasantes (Tabela 8), o que representava mais de 90% da área analisada (Tabela 9).

Tabela 07 - Volume total produzido nos TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário legal

VOLUME TOTAL PRODUZIDO (ℓ)	
TR10	224.524.411,25
TR25	359.426.327,79
TR50	458.265.355,75
TR100	557.104.383,70

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 08 - Percentual de lotes permeáveis e saturados TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário legal

	SATURADO	PERMEÁVEL
TR10	98,0%	2,0%
TR25	98,5%	1,5%
TR50	98,5%	1,5%
TR100	98,5%	1,5%

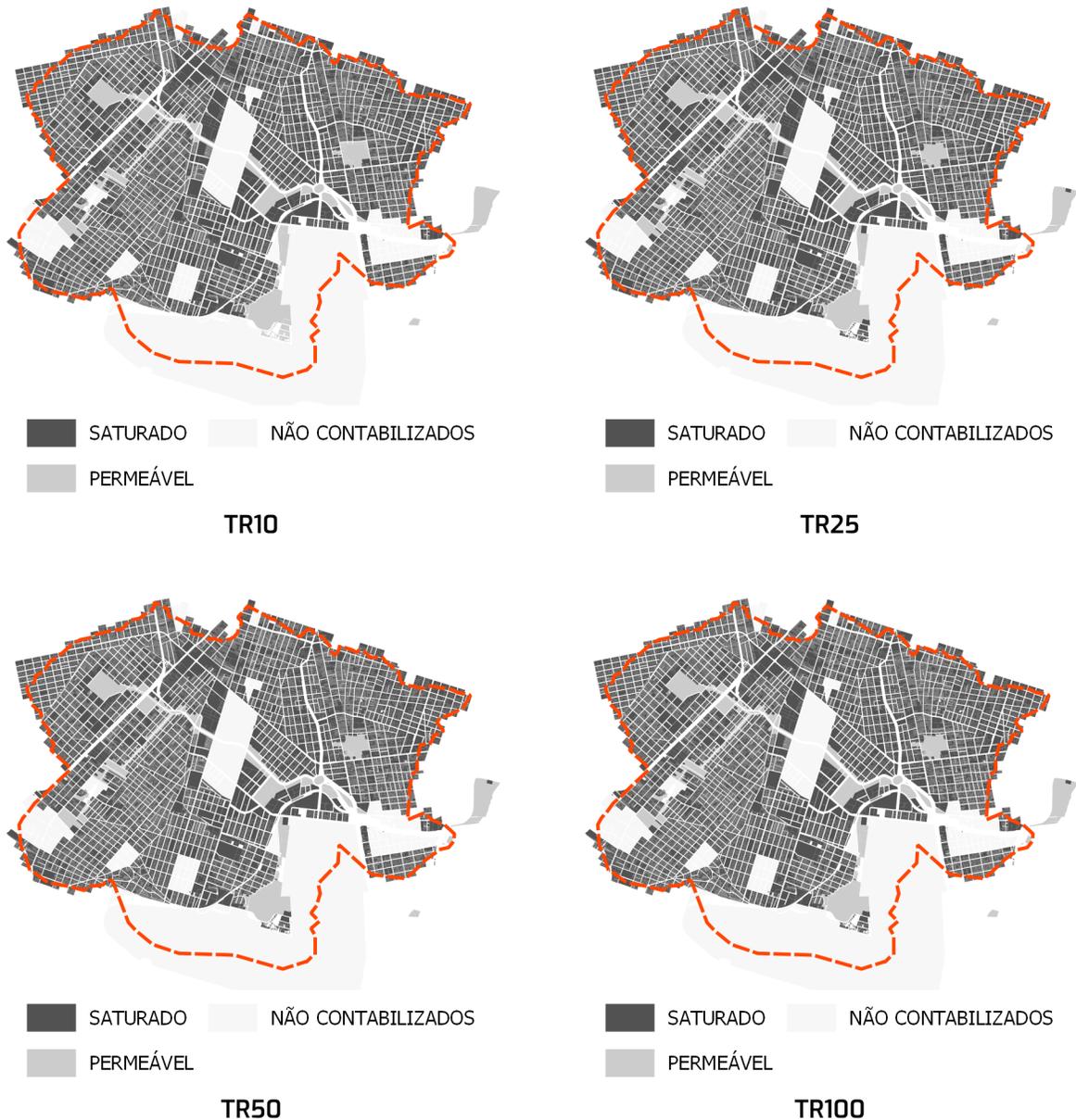
Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 09 - Proporção das áreas dos lotes permeáveis e saturados nos TR de 10, 25, 20 e 100 anos no cenário legal

	SATURADO	PERMEÁVEL
TR10	90,5%	9,5%
TR25	91,1%	8,9%
TR50	91,1%	8,9%
TR100	91,1%	8,9%

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Figura 90 - Análise de infiltração de precipitações com TR 10, 25, 50 e 100 anos no cenário legal



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

3.3.1.3 Cenário existente adaptado

A necessidade de “descarte” de lotes no cálculo da situação existente exigiu que a situação existente fosse recalculada para que assim o cenário existente e o legal pudessem ser adequadamente comparados. Dessa forma, foram aferidos os mesmos lotes, alterando-se apenas os parâmetros de permeabilidade. O cálculo utilizado foi o mesmo descrito pelo item 3.3.1.1, excluindo apenas os lotes que apresentam, segundo a

legislação, parâmetros especiais (PE) para o seu desenvolvimento.

Os resultados do cenário existente indicaram que ele apresentam uma situação mais favorável do que o cenário legal. Essa nova análise comprovou essa hipótese. Houve geração de volume excedente em todos os quatro TR propostos (Tabela 10), no entanto, esse volume foi inferior ao resultante no cenário legal. A quantidade de lotes extravasantes manteve-se acima dos 80% em todos os casos (Tabela 11). A área proporcional demonstra que, apesar de os lotes infiltrantes representarem representarem menos de 20% dos lotes analisados (Tabela 12), eles representam mais de 1/5 da área infiltrante.

Tabela 10 - Volume total produzido nos TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente adaptado

VOLUME TOTAL PRODUZIDO (ℓ)	
TR10	39.347.728,52
TR25	174.249.645,06
TR50	273.088.673,02
TR100	371.927.700,98

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 11 - Percentual de lotes permeáveis e saturados TR de 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente adaptado

	SATURADO	PERMEÁVEL
TR10	80,4%	19,6%
TR25	84,8%	15,2%
TR50	87,4%	12,6%
TR100	88,7%	11,3%

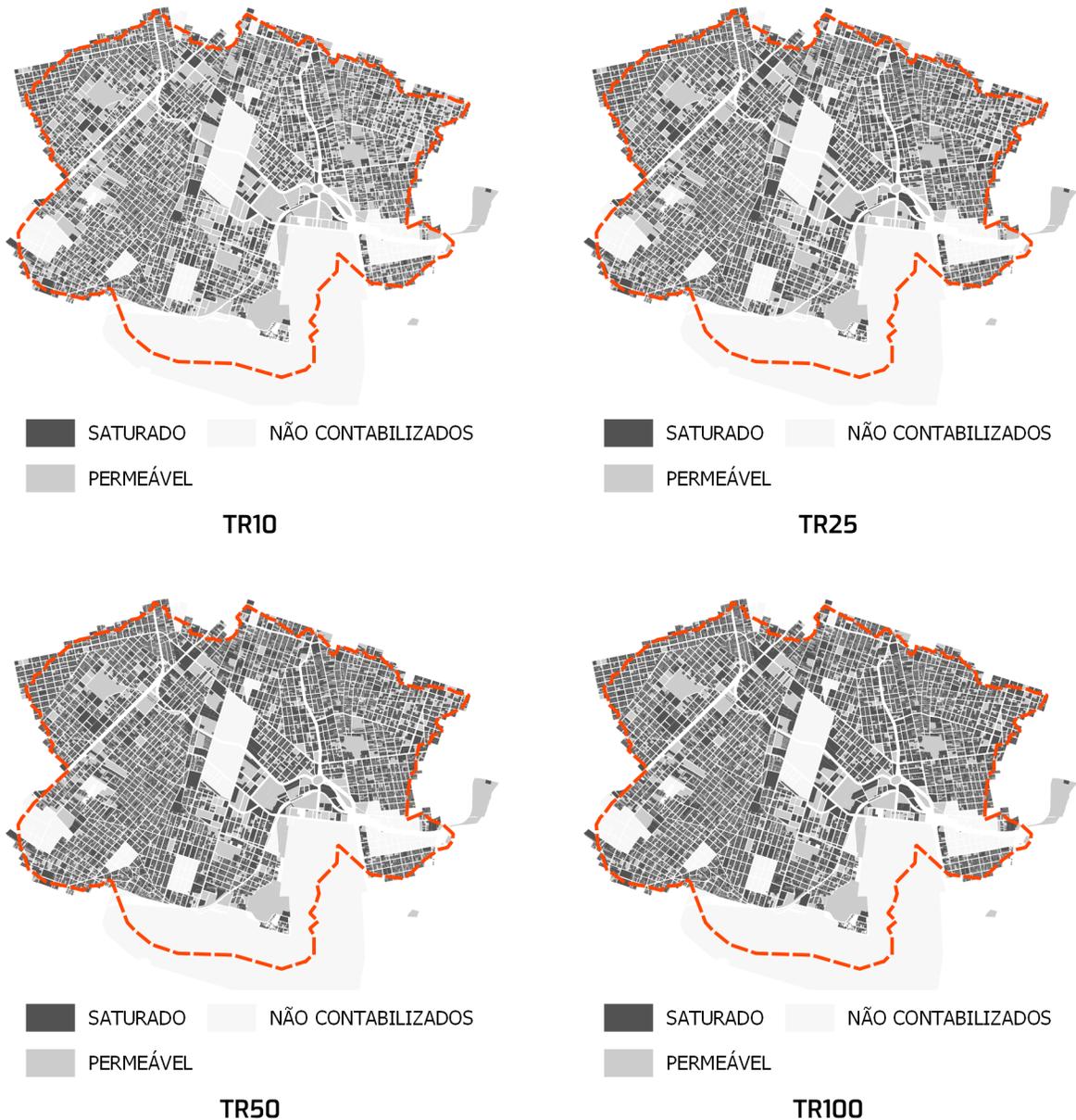
Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 12 - Proporção das áreas dos lotes permeáveis e saturados nos TR de 10, 25, 20 e 100 anos no cenário existente adaptado

	SATURADO	PERMEÁVEL
TR10	59,4%	40,6%
TR25	67,4%	32,6%
TR50	72,9%	27,1%
TR100	76,1%	23,9%

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Figura 91 - Análise de infiltração de precipitações com TR 10, 25, 50 e 100 anos no cenário existente adaptado.



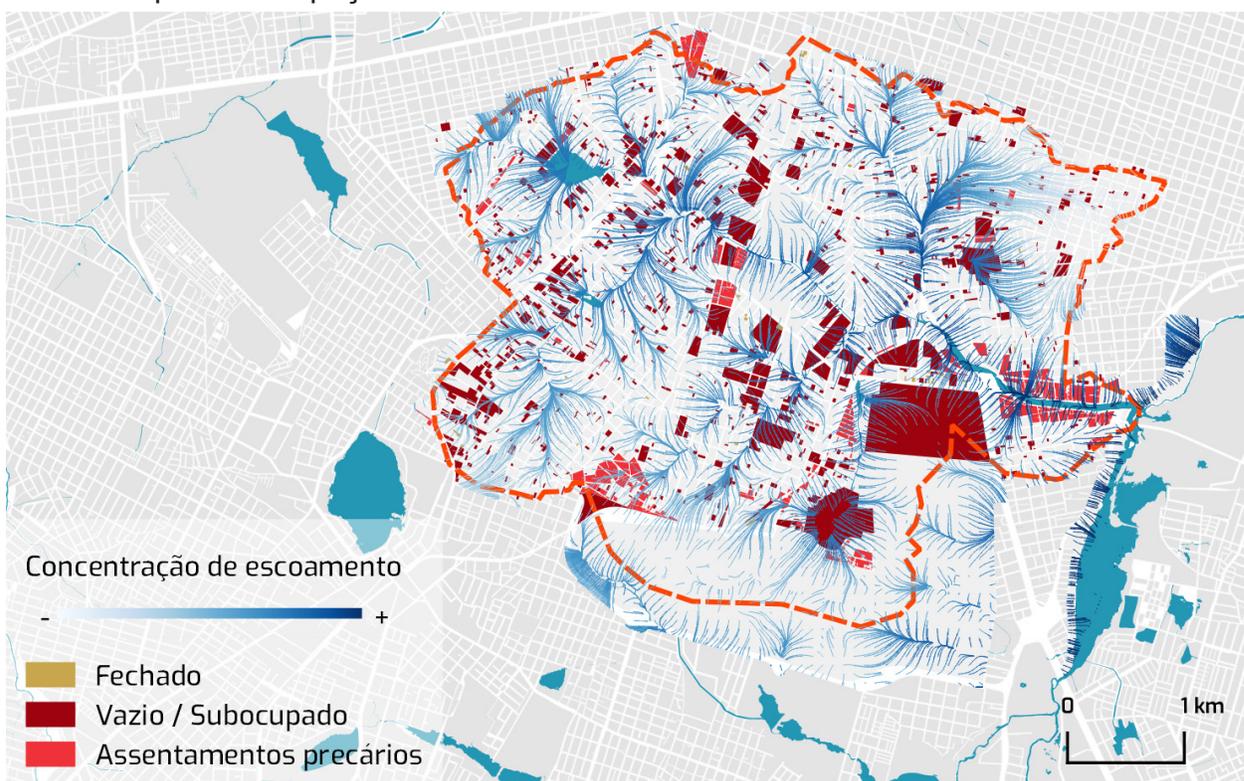
Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

3.3.2 A área é vulnerável?

A construção dos três cenários foi extremamente importante para responder a pergunta colocada. Viu-se que, a situação atual é capaz de resistir a chuvas com TR de 10 e 25 anos - foi o cenário mais positivo encontrado. No entanto, o cenário legal demonstrou que há uma tendência de piora das condições da sub-bacia, uma vez que os índices propostos pela legislação permitem uma impermeabilização mais intensa no local.

Os resultados encontrados quando observados em conjunto com a simulação de escoamento ajudam a confirmar o grau de vulnerabilidade. É importante destacar que, mesmo nos casos em que a área ainda se mantém permeável, somente o dado em absoluto pode levar a uma interpretação enganosa. Isso porque o excedente não é direcionado uniformemente pela área, mas sim de acordo com a topografia, havendo pontos de concentração desse fluxo. Quando combinado com o mapa de ocupação (Figura 92), por exemplo, tem-se uma percepção mais realista de como isso ocorreria, e de quem seria mais afetado. Dessa forma, analisando conjuntamente as informações produzidas, é possível afirmar que sim, a área é vulnerável.

Figura 92 - Combinação da simulação de escoamento com o mapa de tipos de ocupação dos lotes



Fonte: FUNCEME (2022).

3.4 Modelo de Mudança

Figura 93 - Localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign



MR - Modelo de Representação, MP - Modelo de Processo; MV - Modelo de Avaliação; MM - Modelo de Mudança; MI - Modelo de Impacto.

Fonte: Autora (2023).

No modelo de mudança busca-se responder à questão “como a área de estudo pode ser alterada?”, tendo em vista o objetivo estabelecido. Como nesse trabalho busca-se investigar as potencialidades de reabilitação do Riacho Tauape utilizando uma abordagem sistêmica, serão utilizados como elementos de mudança células de biorretenção (CBio). Eles foram selecionados, conforme abordado anteriormente, por serem elementos de IV que servem como um complemento ao sistema de drenagem tradicional, tratando tanto a quantidade quanto a qualidade da água. Além disso, possuem dimensões versáteis, o que permitem sua adaptação para a implantação em espaços livres de uso público. O espaço livre selecionado para implantação foi o sistema viário - vias, canteiros e calçadas -, onde o poder público tem mais autonomia para modificações. A implantação dessas soluções na microbacia tem como benefícios previstos o controle da qualidade da água e gestão de sedimentos, a redução de risco de inundações, redução da poluição difusa, o aumento do sequestro de carbono na área, da consciência ambiental e da biodiversidade, a redução de temperatura no local, além do estímulo de interações sociais por meio da recuperação ambiental do local (WORLD BANK, 2021).

Uma vez estabelecidos os elementos que seriam utilizados para a mudança da área, uma análise de adequabilidade semelhante aos moldes propostos por McHarg (1969) foi realizada. Os mapas com as características relevantes foram separados em temas e reclassificados, a fim de que pudesse ser produzido ao final um mapa de mudança que sinalizasse os melhores locais para implantação das CBio. A reclassificação foi feita em duas etapas: uma que traduzia as características do território, e outra que traduzia os requisitos das IV e do local de implantação.

3.4.1 Modelo do território

O modelo do território foi elaborado por meio da combinação de mapas-sínteses temáticos: geomorfológicos, socioeconômicos, e de morfologia urbana e do sistema viário. Os mapas eram o resultado da combinação de modelos de processo, que representavam características analisadas para a modificação da área. Os modelos foram reclassificados segundo a atribuição de um índice de prioridade (IP), feita de forma arbitrária, tendo sempre em mente o maior benefício social e o objetivo do trabalho. O menor valor de IP era atribuído a uma característica do mapa de processo considerada menos adequada a intervenção. Os IPs mais baixos eram representados por cores mais escuras, e o valor iria crescendo de acordo com a quantidade de categorias nas quais as camadas foram divididas (p.ex. o mapa de altimetria foi classificado em 8 categorias, o IP ia de 1 a 8; o mapa de NDVI foi classificado em X categorias, então o IP ia de 1 a X, etc.)

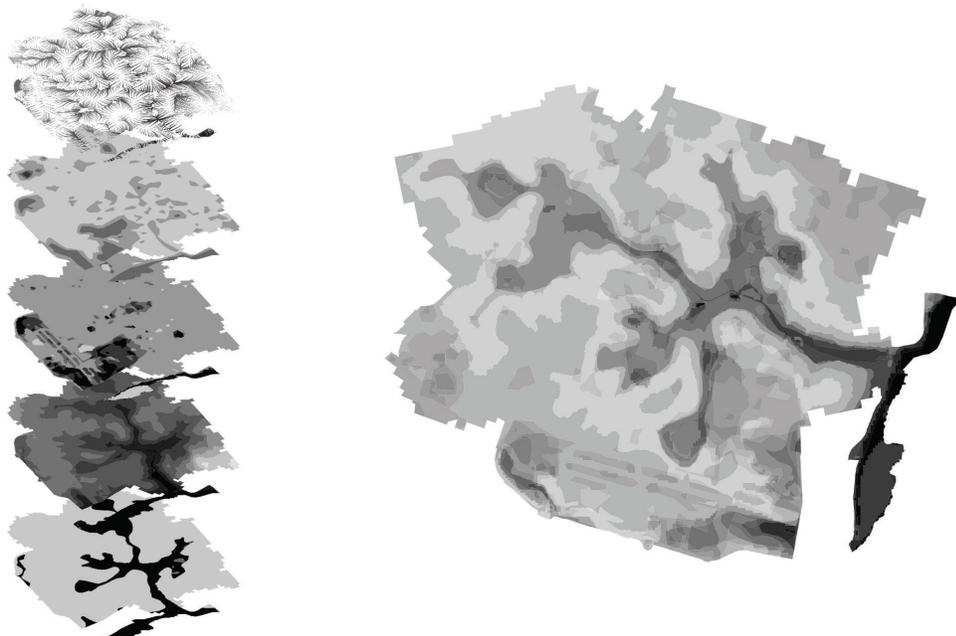
(Tabelas 13, 14 e 15). Ao final, as áreas onde eram mais indicadas execução da intervenção apresentavam IPs maiores, e tinham aparência mais clara, enquanto as áreas menos recomendadas para a implantação de CBio tinham IPs menores e tinham aparência mais escura (Figuras 94, 95, 96 e 97).

Tabela 13 - Mapas de processo utilizados para a geração do mapa-síntese geomorfológico e os critérios adotados para sua reclassificação

FIGURA	TEMA	IP MÍNIMO	CRITÉRIO
29	Suscetibilidade à inundação	Suscetibilidade alta a inundação	Perda de eficiência das IV adotadas em áreas inundáveis Fundos de vale apresentam a
30	Altimetria	Menor cota	tendência de concentração de escoamento
34	NDVI	Vegetação robusta	Prioridade é a melhoria da vegetação no local.
35	Temperatura de superfície	Temperatura amena	Prioridade é reduzir temperaturas altas.
77	Escoamento	Áreas com menos concentração de escoamento	Prioridade é a implantação das IV em locais onde ocorram mais escoamentos, a fim de retê-lo.

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Figura 94 - Mapa síntese geomorfológico e esquema de composição



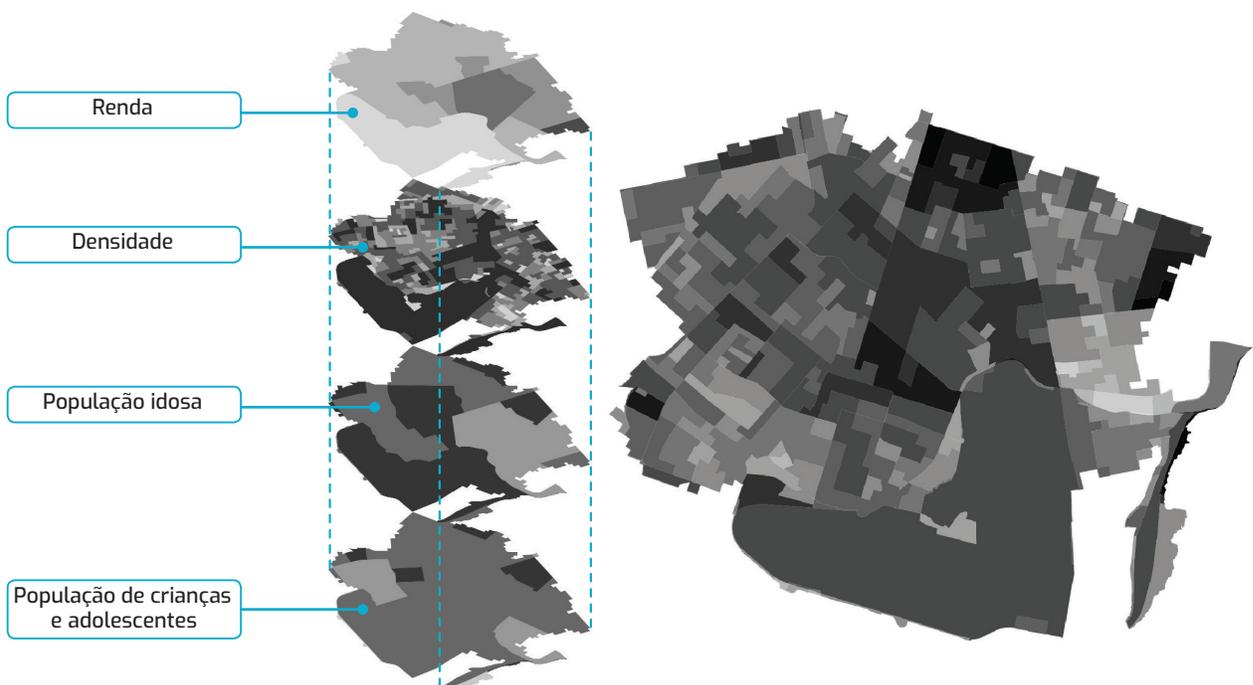
Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 14 - Mapas de processo utilizados para a geração do mapa-síntese socioeconômico e os critérios adotados para sua reclassificação

FIGURA	TEMA	IP MÍNIMO	CRITÉRIO
57	População de crianças e adolescentes	Setores com menor quantidade de população menor de idade	Menos dependentes de proximidade de equipamentos no território
59	População Idosa	Setores com menos população idosa	Pessoas não idosas possuem maior autonomia de locomoção, sendo menos dependentes de proximidade de equipamentos no território
62	Densidade	Densidade mais baixa	Benefício maior em locais com maior densidade, uma vez que mais pessoas seriam afetadas pelos impactos de eventos extremos
63	Renda	Setores com renda mais alta	Pessoas com renda mais alta possuem maior autonomia, sendo menos dependentes de proximidade de equipamentos no território

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Figura 95 - Mapa síntese socioeconômico e esquema de composição



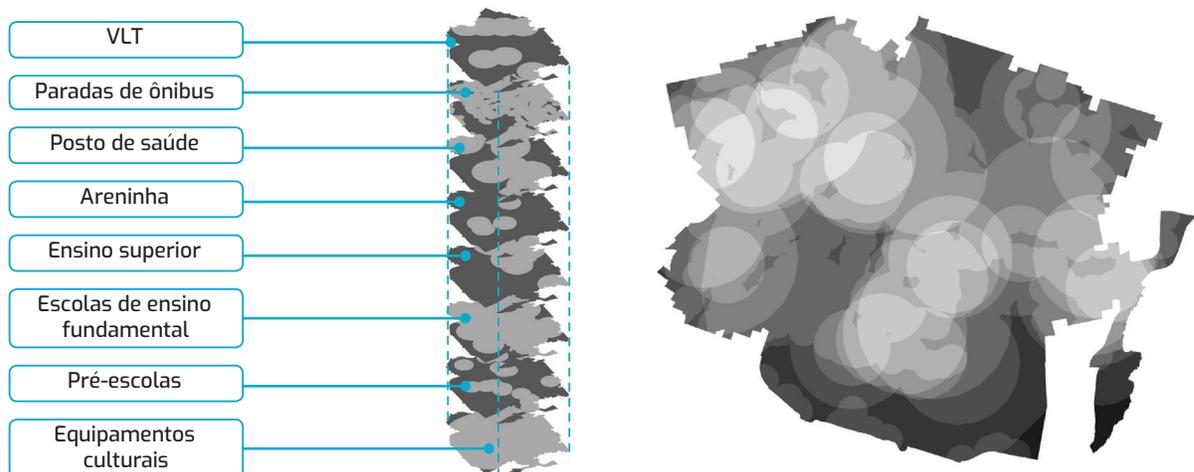
Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 15 - Mapas de processo utilizados para a geração do mapa-síntese de morfologia urbana e os critérios adotados para sua reclassificação

FIGURA	TEMA	IP MÍNIMO	CRITÉRIO
43	Equipamentos culturais	Fora do raio de influência	Raio de influência: 2.500m (GOUVEA, 2008)
43	Pré-escolas	Fora do raio de influência	Raio de influência: 500m (MORETTI, 1997)
43	Escolas de ensino fundamental	Fora do raio de influência	Raio de influência: 800m (MORETTI, 1997)
43	Ensino superior	Fora do raio de influência	Raio de influência: 834m (GEHL; SVARRE, 2018)
43	Areninhas	Fora do raio de influência	Raio de influência: 600m (GOUVEA, 2008)
44	Posto de saúde	Fora do raio de influência	Raio de influência: 1.000m (MORETTI, 1997)
45	Paradas de ônibus	Fora do raio de influência	Raio de influência: 200m (PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, 2015)
45	VLT	Fora do raio de influência	Raio de influência: 800m (PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, 2015)

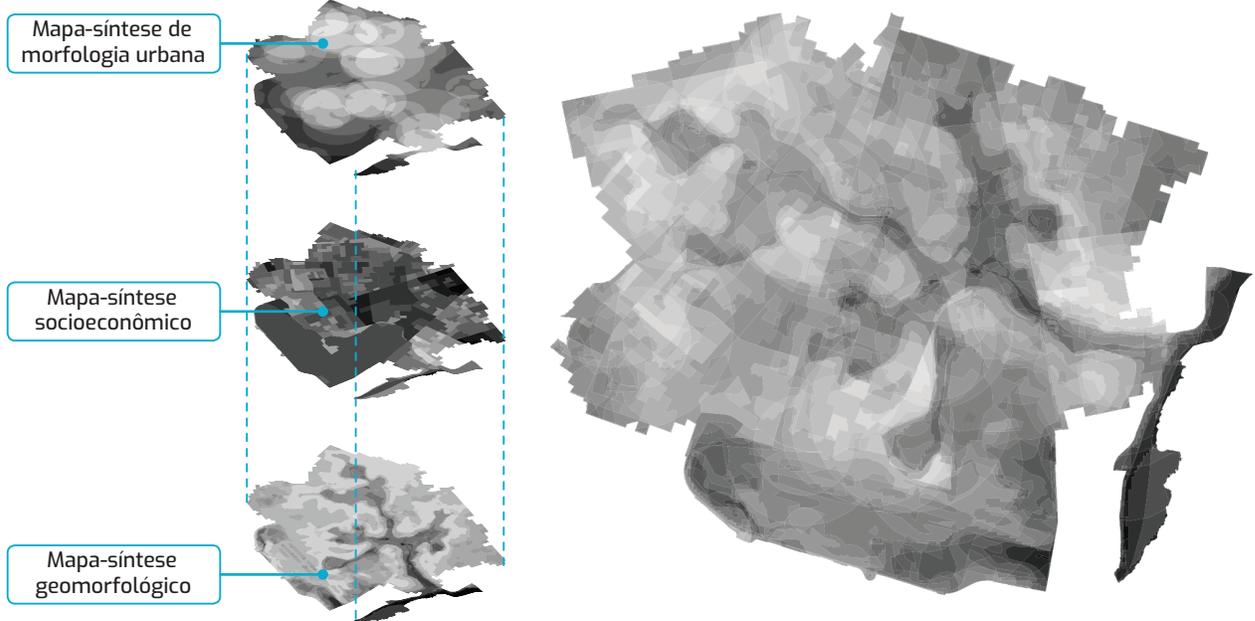
Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Figura 96 - Mapa síntese de morfologia urbana e esquema de composição.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Figura 97 - Mapa-síntese do território e sua composição



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

3.4.2 Requisitos para intervenção

Como foi estabelecido que as intervenções seriam feitas em espaços livres públicos, as vias serviram não somente como um elemento de análise de adequação da área, mas também como uma máscara de recorte, delimitando os locais de implantação das CBio. O mapa-síntese das vias (Figura 98) foi elaborado reclassificando os mapas de processo que possuíam características das vias que foram consideradas relevantes para o processo (Tabela 16).

Tabela 16 - Mapas de processo utilizados para a geração do mapa-síntese de vias

FIGURA	TEMA	IP MÍNIMO	CRITÉRIO
46	Ciclovias	Ausência de ciclovias	A implantação de CBio apresenta como benefício a melhoria das condições ambientais.
56	Drenagem	Presença	Implantar drenagem alternativa em locais que não são contemplados pela infraestrutura tradicional

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Figura 98 - Mapa síntese de vias e sua composição



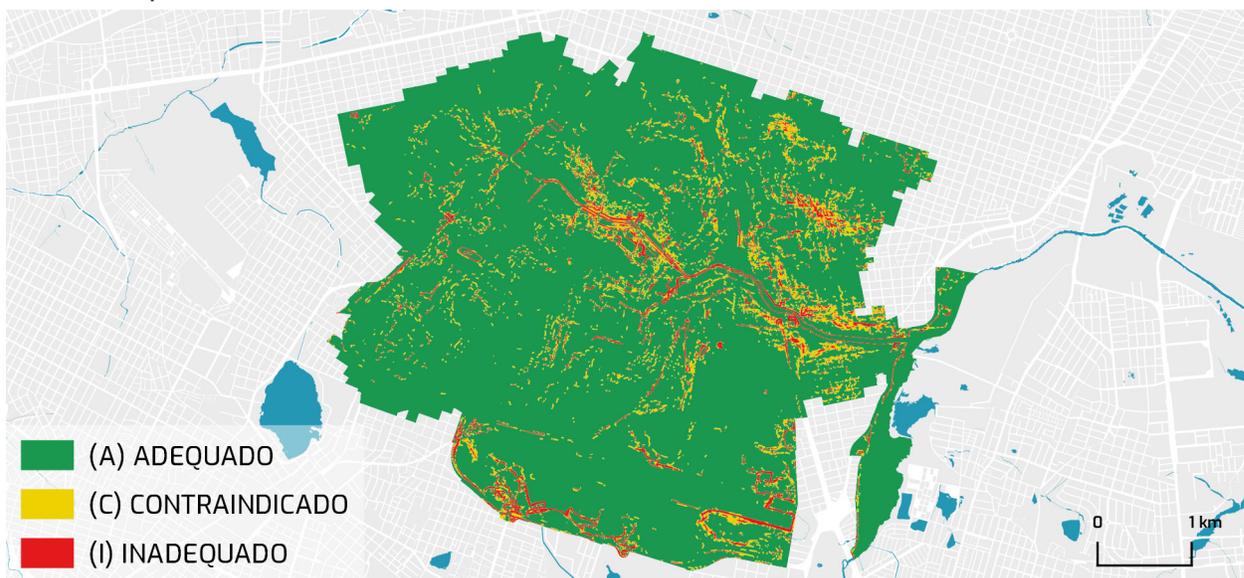
Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Além disso, o Catálogo de Soluções baseadas na Natureza para Espaços Livres (SANDRE et al., 2023) estabelecem um requisito técnico topográfico para execução das CBio: elas devem ser executadas em áreas com inclinação máxima de 5% - acima disso, são necessários ajustes para seu correto funcionamento. Dessa forma, análise de declividade serve como uma restrição para a implantação da solução. Assim, a declividade da sub-bacia foi reclassificada, de forma a considerar inclinações com de até 5% como adequadas (A), de 5% a 8% como contraindicado (C) e acima de 8% como inadequadas (I). (Figura 99).

Os mapas-síntese de território e de vias tiveram seu IPS somados. O resultado dessa soma foi concatenado à classificação de adequação do novo mapa de declividade (Figura 99). Independentemente da prioridade, quando eram considerados contraindicados, e inadequados, os índices de prioridade eram ignorados, e a única classificação mantida era a de adequação. Quando eram considerados adequados, ambas classificações foram mantidas. Ao final, os índices concatenados foram divididos em três grupos – adequado de alta prioridade (A3), adequado de média prioridade (A2) e

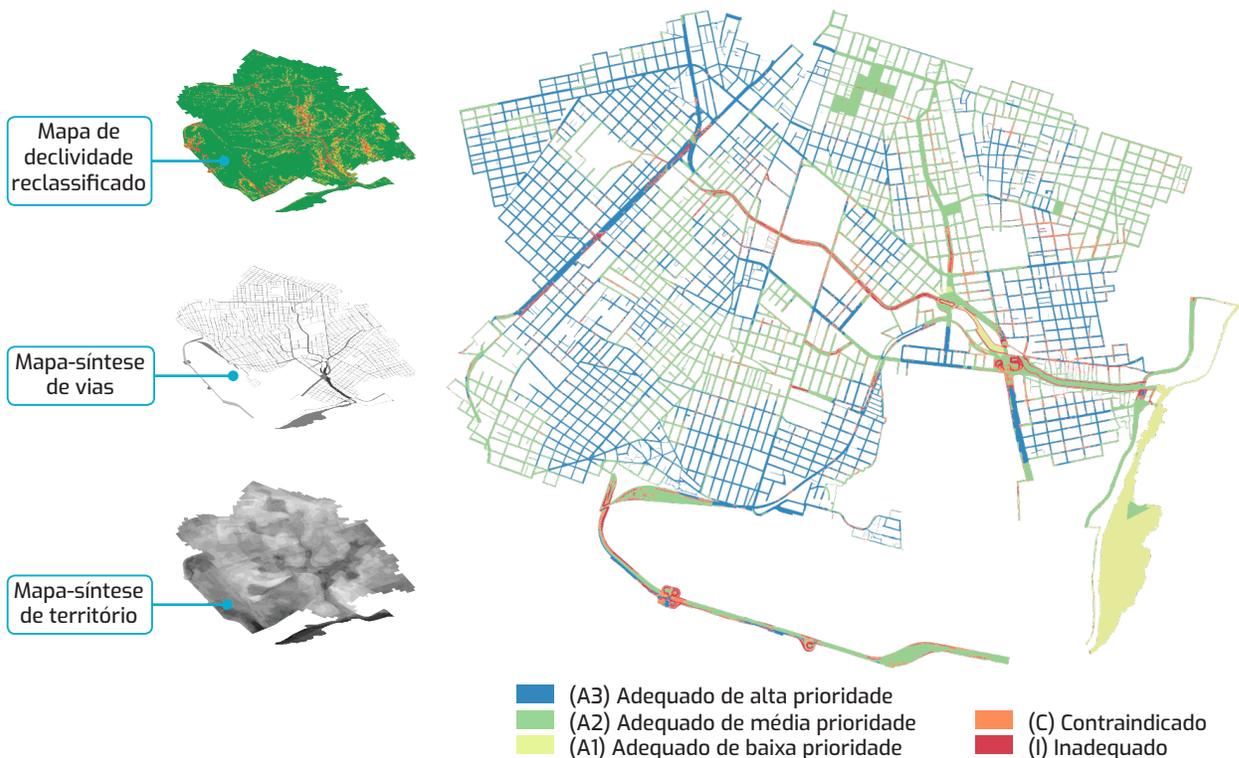
adequado de baixa prioridade (A1) -, gerando o mapa de mudança que sinalizava os melhores lugares para a implantação das CBIO na sub-bacia B1 (Figura 100).

Figura 99 - Mapa de declividade reclassificado de acordo com os requisitos das CBio.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Figura 100 - Modelo de mudança, sinalizando os locais mais adequados para implantação das CBio



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

3.5 Modelo de impacto

Figura 101 - Localização atual da pesquisa no método adaptado do Geodesign



MR - Modelo de Representação, MR - Modelo de Processo; MA - Modelo de Avaliação; MM - Modelo de Mudança; MI - Modelo de Impacto.

Fonte: Autora (2023)

O modelo de impacto tem como objetivo demonstrar os benefícios e custos das mudanças propostas. No projeto em questão, foi verificado o benefício da implantação de CBio na sub-bacia B1. Dessa forma, foi verificado o impacto da quantidade de retenção dessas soluções, ou seja, o quanto elas conseguiriam reter do volume total escoado pelos lotes nas situações examinadas nos modelos de avaliação. A área das CBio foi determinada tendo como base no modelo de mudança (Figura 100), que foi decomposto em 3 partes: canteiros, vias e calçadas. A partir daí, foram feitas as seguintes considerações:

- I. As áreas de vias seriam descartadas para o cálculo de biorretenção, uma vez que são quase todas asfaltadas;
- II. Todos os canteiros foram considerados como áreas biorretentoras;
- III. Somente calçadas com dimensão acima de 1,20m foram consideradas como áreas de biorretenção (ABNT, 2015), pois essa é a dimensão mínima para circulação de pedestres, e deve ser mantida sem nenhum obstáculo.

Como resultado, foi gerado um novo mapa semaforico somente com áreas adequadas para o cálculo do impacto. (Figura 102). Segundo Moura, Pellegrino e Martins (2014), elementos de biorretenção tem a capacidade de reter 470l/m². A partir desse dado, foi calculado a capacidade de retenção das CBio nas áreas em que eram consideradas adequadas, e o resultado foi comparado com os modelos de avaliação elaborados.

Figura 102 - Mapa semafórico somente com áreas adequadas consideradas para o cálculo do impacto.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 17 - Volume retido pelas CBio nos diferentes graus de adequabilidade

	A3	A2	A1
Canteiros (ℓ)	20.288.111,17	41.204.127,95	663.549,86
Calçadas (ℓ)	130.792.332,75	155.639.454,93	12.982.353,86
Volume total retido (ℓ)	151.080.443,91	196.843.582,88	13.645.903,72

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 18 - Volume resultante das chuvas em seus respectivos TR no cenário existente quando utilizadas CBios

	Volume total produzido (ℓ)	A3	A3 + A2	A3 + A2 + A1
TR10	-306.070.819,88	-457.151.263,79	-653.994.846,67	-667.640.750,39
TR25	-106.995.321,94	-258.075.765,85	-454.919.348,74	-468.565.252,46
TR50	38.861.973,57	-112.218.470,34	-309.062.053,22	-322.707.956,94
TR100	184.719.269,09	33.638.825,18	-163.204.757,71	-176.850.661,42

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 19 - Volume resultante das chuvas em seus respectivos TR no cenário legal quando utilizadas CBios

	Volume total produzido (ℓ)	A3	A3 + A2	A3 + A2 + A1
TR10	224.524.411,25	73.443.967,33	-123.399.615,55	-137.045.519,27
TR25	359.426.327,79	208.345.883,87	11.502.300,99	-2.143.602,73
TR50	458.265.355,75	307.184.911,83	110.341.328,95	96.695.425,23
TR100	557.104.383,70	406.023.939,79	209.180.356,91	195.534.453,19

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Tabela 20 - Volume resultante das chuvas em seus respectivos TR no cenário existente adaptado quando utilizadas CBios

	Volume total produzido (ℓ)	A3	A3 + A2	A3 + A2 + A1
TR10	39.347.728,52	-111.732.715,39	-308.576.298,27	-322.222.201,99
TR25	174.249.645,06	23.169.201,15	-173.674.381,73	-187.320.285,45
TR50	273.088.673,02	122.008.229,11	-74.835.353,77	-88.481.257,49
TR100	371.927.700,98	220.847.257,07	24.003.674,19	10.357.770,47

Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Os resultados apresentados demonstram que a utilização de CBio são uma importante ferramenta no controle do impacto dos eventos climáticos extremos. Na situação existente, elas aumentaram a permeabilidade da sub-bacia de forma a torna-la capaz de suportar até mesmo situações pluviométricas com TR de 100 anos quando implantadas em todas as áreas consideradas adequadas. No TR de 10 anos, duplicou a capacidade de absorção, quadruplicando essa capacidade no TR de 25 anos. Nos TR de 50 e 100 anos, as CBio não só tornaram área capaz de absorver o excedente gerado como ainda a tornaram permeável - no TR de 50 anos ela absorveria adicionalmente o equivalente a 8 vezes o excedente gerado, e no TR de 100, absorveria adicionalmente o equivalente a 96% do excedente gerado.

No cenário legal, também constataram-se resultados positivos. Nos TR de 10 e 25 anos, a área tornou-se permeável quando utilizadas todas as CBio adequadas. Nos TR de 50 e 100 anos, o volume excedente produzido foi reduzido em aproximadamente 79% e 65%, respectivamente. Ao comparar os valores do cenário legal com o cenário existente adaptado percebe-se o quanto a legislação existente é danosa para a área. Nesse ultimo cenário, a área manteria-se permeável até precipitações com TR de 50 anos. Na ocorrência de chuvas com TR de 100 anos, o excedente produzido seria re-

duzido em aproximadamente 97%. Dessa forma, pode-se afirmar que a utilização dessas soluções apresenta impactos positivos em todos os cenários examinados.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo identificar os melhores de implantação de SBN a fim de reabilitar o Riacho Tauape por meio da gestão do volume de escoamento. Buscava-se também identificar se a utilização da água enquanto métrica para o planejamento das cidades seria capaz de orientar o desenvolvimento urbano para um rumo mais sustentável, adotando, para isso, um novo paradigma de gestão hídrica. Conduzir um estudo com abordagem sistêmica implica tanto na observação entre múltiplas escalas (requer uma compreensão do objeto, do contexto, de seus elementos e das conexões entre eles), quanto uma mudança de perspectiva do projetista.

O Riacho Tauape foi o objeto escolhido para o desdobramento da pesquisa, e Geodesign foi o método utilizado para estruturá-lo. A nova concepção adotada orientou a reabilitação do Riacho não apenas com intervenções nele, mas por meio da utilização da natureza enquanto infraestrutura para melhorar as condições da sub-bacia como um todo. Isso porque o riacho está localizado em uma área urbana consolidada, e admitiu-se a extrema improbabilidade de a área retornar as suas condições originais. Essas premissas foram cruciais para o direcionamento e interpretação das análises, das soluções e dos critérios utilizados. Foi realizada uma caracterização da sub-bacia na qual o Riacho Tauape, a fim de identificar os elementos que o influenciavam e as relações existentes.

A adoção do Geodesign estimulou o entendimento multi e transdisciplinar do território. Os modelos produzidos durante a elaboração do trabalho proporcionaram a compreensão da complexidade da área. A utilização da água enquanto parâmetro quantitativo na verificação do excedente de escoamento deu uma dimensão da problemática tanto no cenário existente quanto no cenário legal. Foi surpreendente constatar que a condição proposta pela legislação expõe a área a uma maior vulnerabilidade do que a situação atual ao produzir excedente de escoamento nos quatro TR analisados. Isso reflete a miopia do planejamento urbano municipal, que não entende a heterogeneidade e particularidades existentes em seu próprio território. No entanto, apenas uma análise quantitativa não foi suficiente para entender esse dinamismo. A simulação de escoamento na sub-bacia em conjunto com os mapas temáticos e análises desenvolvidas trouxe à tona relações entre os elementos que não poderiam ser compreendidas apenas por análises quantitativas, dando destaque ao potencial da modelagem da informação da paisagem no planejamento territorial.

A adoção de CBio mostrou-se bastante eficiente quando o objetivo foi reduzir a quantidade de escoamento na sub-bacia. Obteve-se resultados positivos em todos os cenários estudados: o cenário existente seria capaz de resistir a precipitações com

TR de 100 anos, e seria reduzido significativamente o excedente produzido nos cenários legal (aproximadamente 65%) e no cenário existente adaptado (aproximadamente 97%), mesmo a análise considerando as CBio apenas em áreas públicas (calçadas e canteiros). Essa eficiência, porém, só pôde ser alcançada após a determinação do local mais adequado para a implantação dessas soluções. A final, constatou-se que os locais mais compatíveis (A3) para a instalação dessas soluções seria nas áreas de cota mais alta - nos topos de vale - evidenciando a característica preventiva da intervenção e destacando a inter-relação entre os elementos do sistema.

Figura 103 - Mapa de áreas adequadas de alta prioridade (A3) para a implantação de CBio.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2023).

Destaca-se aqui a importância dos dados no desenvolvimento da pesquisa, com sua quantidade e qualidade impactando fortemente nos resultados encontrados. Apesar de ter sido processado uma grande quantidade de dados, admite-se que ainda

assim o estudo é limitado, devendo ser encarado como um recorte estático de situações dinâmicas. Foram feitas muitas generalizações e alguns dados possuem mais de 10 anos, havendo a necessidade de informações mais atuais e específicas para o aprimoramento das análises. Não houve a pretensão do desenvolvimento de um estudo exaustivo – conforme apresentado pelo pensamento resiliente, foi admitido que existia uma imperfeição que nunca será completamente sanada porque nunca teremos acesso a todos os dados necessários e/ou mais atuais. Ainda assim essas limitações não inviabilizam a pesquisa - elas representam pontos de aprimoramento para a mudança em direção ao 5º Paradigma de Gestão Hídrica.

A adoção de soluções que busquem a preservação e melhoria das condições ambientais nos centros urbanos está inserido em um contexto mais amplo. Em 23 de julho de 2023, o Secretário Geral da ONU afirmou que “A mudança climática está aqui. É aterrorizante. A era da ebulição global chegou” (DICKIE, 2023). No entanto, se as mudanças climáticas estão em primeiro plano, é porque outras questões têm sido ignoradas, limites têm sido ultrapassados (DAVIS, 2018; STEFFEN et al., 2015). É justamente nesse contexto que este trabalho se insere. Holden, Linnerud e Banister (2017), argumentam que o desenvolvimento sustentável é um conjunto de restrições às atividades humanas baseado em três imperativos: atender as necessidades humanas, garantir a equidade social e respeitar os limites ambientais. Esses imperativos não são negociáveis, e são declarações éticas e morais do que deveria ser feito. Aqui, a utilização da água enquanto parâmetro orientador do planejamento nos permitiu identificar limites para o desenvolvimento e guiou a escolha do tipo e localização das soluções adotadas, tendo impacto em múltiplas escalas, podendo funcionar como um indicador para o desenvolvimento sustentável. Respeitar os limites planetários é um imperativo para mitigar o impacto das mudanças climáticas, e esse trabalho demonstrou incorporar a água no planejamento pode ajudar a desenvolver um espaço seguro e justo para a humanidade (RAWORTH, 2012).

Como desdobramento futuro, propõe-se a utilização da pesquisa como base para a condução de um workshop de Geodesign para a validação dos procedimentos e resultados. Além disso, o estudo demonstrou potencial de ser utilizado como método para a concepção de diretrizes para o desenvolvimento urbano de novas áreas, uma vez que os cálculos elaborados para os modelos de avaliação, mudança e impacto podem ser replicados. Utilizá-los para esse fim seria viabilizar um planejamento territorial orientado pela água.

REFERÊNCIAS

AHERN, J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, v. 100, n. 4, p. 341–343, 2011.

ALENCAR, Juliana. **Potencial de corpos d'água em bacias hidrográficas urbanizadas para renaturalização, revitalização e recuperação**: um estudo da bacia do Jaguaré. 2017. 310 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

AMINPOUR, P. et al. Urbanized knowledge syndrome—erosion of diversity and systems thinking in urbanites' mental models. *npj Urban Sustainability*, v. 2, n. 1, p. 1–10, 2022.

ARAÚJO, L. H. S. DE. **Diagnóstico Georreferenciado do Uso e Ocupação do Solo nas Áreas de Preservação Permanente (APP) da Sub-Bacia B1, Bacia do Rio Cocó**, Fortaleza-Ce. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2015. 148 p.

ASTEF et al. **Inventário Ambiental de Fortaleza**. Fortaleza: [s.n.], 2003.

BARBIER, E. B. The concept of natural capital. *Oxford Review of Economic Policy*, v. 35, n. 1, p. 14–36, 2019.

BERGHAUSER PONT, M.; HAUPT, P.; D'LAINE, C. **Spacematrix**: space, density and urban form. 1. ed. [s.l.] nai010, 2010.

BERNARDO, S. et al. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.

BONZI, R. S. Paisagem como infraestrutura. In: PELLEGRINO, P.; MOURA, N. B. (Eds.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri: Manole, 2017. p. 1–24.

BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. [S.l.].

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. . [S.l.],

BROWDER, G. et al. **Integrating Green and grey**: Creating Next Generation Infrastructure. Washington: [s.n.].

BROWN, R. R.; KEATH, N.; WONG, T. H. F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. **Water Science and Technology**, v. 59, n. 5, p. 847–855, 2009.

BRUNDTLAND, G. H. **Nosso Futuro Comum**. [s.l.: s.n.].

CAPPS, K. A.; BENTSEN, C. N.; RAMÍREZ, A. Poverty, urbanization, and environmental degradation: Urban streams in the developing world. **Freshwater Science**, v. 35, n. 1, p. 429–435, 2016.

CHONG, J. Ecosystem-based approaches to climate change adaptation: progress and challenges. **International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics**, v. 14, n. 4, p. 391–405, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS. **Prejuízos causados pelas chuvas em todo país entre 2017 e 2022**. Brasília: [s.n.].

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 6630, p. 253–260, 1997.

DAVIS, A. **A Liberdade é uma Luta Constante**. [s.l.: s.n.].

DICKIE, Gloria. 'A era da ebulição global chegou', afirma secretário-geral da ONU: antónio guterres diz que julho deve bater recorde de calor no planeta. **Folha de São Paulo**. 27 jul. 2023.

DOUGLAS, I. **Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment**. [s.l.: s.n.]. v. 1–5

FERREIRA, C. S. S.; WALSH, R. P. D.; FERREIRA, A. J. D. Degradation in urban areas. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 5, p. 19–25, 2018.

FINDLAY, S. J.; TAYLOR, M. P. Why rehabilitate urban river systems? **Area**, v. 38, n. 3, p. 312–325, 2006.

FORTALEZA (Município). Lei Complementar nº 62, de 2 de fevereiro de 2009. Institui o Plano Diretor Participativo do Município de Fortaleza e dá outras providências. Fortaleza, CE,

FORTALEZA (Município). Projeto de Lei nº 86, de 12 de março de 2019. Estabelece diretrizes para a realização da Operação Urbana Consorciada Aguanambi na área que indica, prevendo mecanismos para sua implantação e dá outras providências. . Fortaleza, CE, FORTALEZA (CE).

G1CE. Fortaleza tem diversas ruas alagadas em dia de chuva forte; fotos: balanço parcial aponta chuva de 88 milímetros na capital cearense, maior chuva no estado nesta segun. **G1**. Fortaleza, 28 mar. 2022.

GEHL, J. **Cidade Para Pessoas**. 2. ed. Salvador: Perspectiva, 2013.

GEHL, J.; SVARRE, B. **A vida na cidade**: como estudar. São Paulo: Perspectiva, 2018.

GENELETTI, D.; ZARDO, L. Ecosystem-based adaptation in cities: An analysis of European urban climate adaptation plans. **Land Use Policy**, v. 50, p. 38–47, jan. 2016.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E. et al. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1209–1218, 2010.

GOUVEA, L. A. DE C. **Cidade vida** : Curso de desenho ambiental urbano. São Paulo: Nobel, 2008.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. **Common international classification of ecosystem services (CICES) V5.1 and guidance on the application of the revised structure**. Available from www.cices.eu, n. January, p. 53, 2018.

HASSAN RASHID, M. A. UL; MANZOOR, M. M.; MUKHTAR, S. Urbanization and Its Effects on Water Resources: An Exploratory Analysis. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, v. 15, n. 1, p. 67–74, 29 jan. 2018.

HOLDEN, E.; LINNERUD, K.; BANISTER, D. The Imperatives of Sustainable Development. **Sustainable Development**, v. 25, n. 3, p. 213–226, 2017.

HORNE, J.; TORTAJADA, C.; HARRINGTON, L. Achieving the Sustainable Development Goals: improving water services in cities affected by extreme weather events. **International Journal of Water Resources Development**, v. 34, n. 4, p. 475–489, 2018.

ITDP BRASIL. **Índice de Caminhabilidade 2.0**: Ferramenta. 2. ed. [s.l.] ITDP, 2019.

JÚNIOR, A. R. B. **Elementos de Hidrologia Aplicada**. 1. ed. [s.l.] Blucher, 2012.

LA NOTTE, A. et al. Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. **Ecological Indicators**, v. 74, p. 392–402, 2017.

LELE, S. et al. Ecosystem services: Origins, contributions, pitfalls, and alternatives. **Conservation and Society**, v. 11, n. 4, p. 343–358, 2013.

MARCELO MIGUEZ; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MCHARG, I. L. **Design with Nature**. New York: Wiley, 1969.

MCVITTIE, A. et al. Operationalizing an ecosystem services-based approach using Bayesian Belief Networks: An application to riparian buffer strips. **Ecological Economics**, v. 110, p. 15–27, 2015.

MENDONÇA, F.; MEDEIROS LEITÃO, S. A. Riscos e vulnerabilidade socio-ambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. **GeoTextos**, v. 4, n. 1 e 2, p. 145–163, 9 mar. 2009.

MEYER, J. L.; PAUL, M. J.; TAULBEE, W. K. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, n. 3, p. 602–612, 2005.

MOONEY, H. et al. Biodiversity, climate change, and ecosystem services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 46–54, 2009.

MORETTI, R. DE S. **Normas urbanísticas para habitação de interesse social**: recomendações para elaboração. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1997.

MOURA, N. C. B.; PELLEGRINO, P. R. M.; MARTINS, J. R. S. Transição em infraestruturas urbanas de controle pluvial: uma estratégia paisagística de adaptação às mudanças climáticas. **Paisagem e Ambiente**, n. 34, p. 107–128, 2014.

NASCIMENTO, Thatiany. Av. Bezerra de Menezes vive 10 anos de mudanças, declínio no comércio e evolução no trânsito; relembre: a via é um eixo histórico de deslocamento e conecta fortaleza à região metropolitana. mas, há anos, vive a perda do potencial comercial e a melhoria na mobilidade. **Diário do Nordeste**. Fortaleza. 08 jun. 2022.

NETO, E. F. M. O Abastecimento de água em Fortaleza - CE (1813 –1867) 1. **Espacialidades**, v. 7, n. 1, p. 96–113, 2014.

NOVOTNY, V.; AHERN, J.; BROWN, P. **Water Centric Sustainable Communities**: Planning, Retrofitting, and Building the Next Urban Environment. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2010.

PAIVA, Lúcia. No final da rua da cachorra magra...: junto ao sítio da tia luizinha, havia uma lagoa.... **Da Cadeirinha de Arruar**. 27 jan. 2012.

PEIRCE, C. S. How to Make Our Ideas Clear. **Popular Science Monthly**, v. 12, p. 286–302, 1878.

PELLEGRINO, P. Paisagem como infraestrutura hídrica. In: **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri: Manole, 2017a. p. 25–41.

PELLEGRINO, P. Conclusão. In: PELLEGRINO, P.; MOURA, N. C. B. (Eds.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri: Manole, 2017b. p. 291–308.

PEREIRA, M. C. S. et al. Soluções baseadas na natureza: quadro da ocupação da cidade de São Paulo por células de biorretenção. **Revista LABVERDE**, v. 11, n. 1, p. 95–120, 14 dez. 2021.

POTSCHIN, M.; HAINES-YOUNG, R. Landscapes, sustainability and the

place-based analysis of ecosystem services. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 6, p. 1053–1065, 2013.

POTSCHIN, M.; HAINES-YOUNG, R. Defining and Measuring Ecosystem Services. **Routledge Handbook of Ecosystem Services**, p. 25–44, 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. Padrões de Urbanização. **Revista Fortaleza 2040**, v. 2, n. II, p. 122, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. **Plano Fortaleza 2040**, lplanfor, 2019.

RAWORTH, K. Um espaço seguro e justo para a humanidade **Documentos de discussão da Oxfam**. Oxfam, , 2012.

SABOYA, R. **Sintaxe Espacial**. Disponível em: <<https://urbanidades.arq.br/2007/09/03/sintaxe-espacial/>>. Acesso em: 5 ago. 2021.

SANDRE, A. A. et al. **Catálogo de Soluções Baseadas na Natureza para Espaços Livres**. [s.l: s.n.].

SOUZA, R. O. R. D. M. et al. Intense rainfall equations for the State of Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 999–1005, 2012.

STEFFEN, W. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, 2015.

STEINITZ, C. **Um Framework para o Geodesign**: Alterando a Geografia através do Design. [s.l.] eSRI, 2016.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos Para Obras Municipais**. [S.L]: Navegar, 2002.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Guidelines for Integrating Ecosystem-based Adaptation into National Adaptation Plans**: Supplement to the UNFCCC NAP Technical Guidelines. Nairobi: [s.n.]. Disponível em: <www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **State of Finance for Nature**. Nairobi: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.un.org/Depts/>>.

VIEIRA, J. DE A. Organização e sistemas. **Informática na Educação**, v. 3, n. 1, p. 14, 2000.

WALKER, B.; SALT, D. **Resilience thinking**: sustaining ecosystems and people in a changing world. Washington: Island Press, 2006.

WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. **Nature-based solutions to address global societal challenges**. [s.l.] IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016.

WENG, M. et al. The 15-minute walkable neighborhoods: Measurement, social inequalities and implications for building healthy communities in urban China. *Journal of Transport and Health*, v. 13, n. 129, p. 259–273, 2019.

WORLD BANK. **A Catalogue of Nature-based Solutions for Urban Resilience**. Washington: World Bank Group, 2021.

WORONIECKI, S.; WAMSLER, C.; BOYD, E. The promises and pitfalls of ecosystem-based adaptation to climate change as a vehicle for social empowerment. ***Ecology and Society***, v. 24, n. 2, 2019.

ZÖLCH, T.; WAMSLER, C.; PAULEIT, S. Integrating the ecosystem-based approach into municipal climate adaptation strategies: The case of Germany. ***Journal of Cleaner Production***, v. 170, p. 966–977, 2018.



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ