

Jardins Filtrantes de Sobral

Avaliação de Impacto Socioambiental e Potencialidades

Jardins Filtrantes de Sobral

Avaliação de Impacto Socioambiental e Potencialidades

GEASA certare engenharia e consultoria CAF BANCO DE DESENVOLVIMENTO DA AMÉRICA LATINA E CARIBE SOBRAL PREFEITURA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ LED

EQUIPE TÉCNICA — 6

APRESENTAÇÃO — 10

RESUMO — 12

CAPÍTULO 1 — 18

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA DE GESTÃO DAS ÁGUAS

1. CONCEITO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA-SBN — 20

2. IMPORTÂNCIA DAS SBN NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS — 23

3. INFRAESTRUTURA VERDE: SBN DE GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS — 25

4. JARDINS FILTRANTES: CONHECENDO A TECNOLOGIA DOS ALAGADOS CONSTRUÍDOS — 29

CAPÍTULO 2 — 32

JARDINS FILTRANTES DE SOBRAL

1. A CIDADE DE SOBRAL — 36

2. OS JARDINS FILTRANTES DO RIACHO PAJEÚ — 60

3. ROTINA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO NO PARQUE DA CIDADE — 114

4. OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO NO PARQUE PAJEÚ — 119

CAPÍTULO 3 — 120

AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DOS JARDINS FILTRANTES

1. IMPACTO NA QUALIDADE DA ÁGUA — 124

2. IMPACTO NA BIODIVERSIDADE — 156

CAPÍTULO 4 — 164

PERCEPÇÃO SOCIOAMBIENTAL E DO RETORNO ECONÔMICO DOS JARDINS FILTRANTES

1. AVALIAÇÃO DO PARQUE E GRAU DE CONHECIMENTO — 176

2. IMPACTOS SOCIAIS — 180

3. IMPACTOS AMBIENTAIS — 187

4. SEGURANÇA E FUNCIONALIDADE — 194

5. IMPACTOS ECONÔMICOS — 197

6. GESTÃO PÚBLICA E PLANEJAMENTO — 202

7. MELHORIAS DESEJADAS PELOS USUÁRIOS ENTREVISTADOS — 204

8. ÍNDICE DE IMPACTO SOCIOAMBIENTAL E ECONÔMICO (USAE) — 206

9. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES PARA OS ODS — 210

CAPÍTULO 5 — 212

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA SBN NO DISTRITO SEDE DE SOBRAL

1. MÉTODO DA ANÁLISE DE ADEQUABILIDADE — 216

2. UNIDADES DE ANÁLISE — 218

3. MÉTODO PARA IMPLANTAÇÃO DE INFRAESTRUTURA VERDE-AZUL — 224

4. MAPAS TEMÁTICOS — 227

CONCLUSÃO — 274

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA — 276

EQUIPE TÉCNICA

Prefeitura Municipal de Sobral – CE

Ivo Ferreira Gomes
Prefeito Municipal de Sobral

David Gabriel Ferreira Duarte
Chefe de Gabinete da Prefeitura

Marília Gouveia Ferreira Lima
Secretária de Urbanismo, Habitação e Meio Ambiente

Úrsula Priscyla Santana Nóbrega
Superintendente da Agência Municipal do Meio Ambiente

Fernanda Elias Fernandes
Coordenadora Geral do Prodesol

Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe – CAF

Carlota Real Ruiz
Coordenação Técnica
Especialista em Água e Saneamento

Diego Vettori
Executivo
Responsável pelo Programa PRODESOL

Organizadoras
Maitê Bueno Pinheiro
Nicole Saidler Bandeira

Autores
Maitê Bueno Pinheiro
Nicole Bandeira
Renata Codas
Natália Assumpção
Newton Becker
Tainah Carvalho
Gabriela Appleyard
João Pedro Deodato

Projeto Gráfico
João Godoi
José Lucas Queiroz
Nicole Saidler Bandeira
Patrícia Alves

Ilustrações e Mapas
Nicole Saidler Bandeira
Tainah Carvalho
Gabriela Appleyard
João Pedro Deodato
Patrícia Alves
Barbara Buso
Karina Sá Oliveira

Revisão Ortográfica
Thiago Borges

Jardins Filtrantes de Sobral: Avaliação de Impacto Socioambiental e Potencialidades. [organizadoras Maitê Bueno Pinheiro e Nicole Saidler Bandeira]. Realizadores Consórcio CERTARE-GEASA, formado pelas empresas Certare Engenharia e Consultoria LTDA e Geasa Engenharia LTDA. Programa de Desenvolvimento Socioambiental de Sobral – PRODESOL/Secretaria do Urbanismo, Habitação e Meio Ambiente – SEUMA. Prefeitura Municipal de Sobral e o Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe (CAF), 2024.

Vários autores
250 il.

1. Desenvolvimento urbano sustentável - Sobral (CE) 2. Soluções baseadas na Natureza (SbN) 3. Jardins Filtrantes

Coordenação Geral

Engenheiro Civil Filipe Ribeiro Viana

Engenheiro Civil Diego Bastos De França

Engenheiro Civil Marcus Vinicius Teixeira de Oliveira

Engenheiro Civil Makey Nondas Maia

Engenheiro Químico José Orlando Paludetto Silva

Engenheiro Civil Ricardo Lazzari Mendes

Engenheiro Civil Vicente Luís Moreira da Rocha

Apoio à Coordenação Geral

Engenheiro Ambiental Felipe Oliveira

Coordenação Técnica

Bióloga Maitê Bueno Pinheiro

Engenheira Civil Beatriz Benitez Codas

Especialista

Arquiteta Urbanista Nicole Saidler Bandeira

Advogada Renata Villela Benitez Codas

Socióloga Natalia Oliari

Engenheira Ambiental e Sanitária Nathalia Assumpção Geasa

Engenheira Civil Ana Bárbara Campos Freitas

Arquiteto Urbanista Newton Becker de Moura

Arquiteta Urbanista Maria Gabriela Appleyard

*Arquiteto Urbanista J*oão Pedro Deodato

Arquiteta Urbanista Tainah Frota Carvalho

Arquiteta Urbanista e Paisagista Ecológica Patrícia Alves

Engenheira Civil Especialista em Orçamentos Brenda Oliveira

Arquiteta Urbanista Beatriz Nascimento Ko Fontenele

Arquiteta Urbanista Maiara Lacerda Paiva

Engenheira Civil Thais Reis Paiva Viana

Processamento de Dados Quantitativos

Gustavo Kremer e Carolina Fontenla

Processamento de Dados Qualitativos

Giovanna Bonnamin

Coordenação de Operativo de Campo Pesquisa Quantitativa

Irene Cristina da Costa Maciel e Tiller Santos Marinho

Equipe Campo Pesquisa Quantitativa

Ana Letice dos Santos

Anne Larissa Lima Sousa

Benedita Lidiane Porfírio Ricardo

Francisco Roni da Silva de Vasconcelos

Juliana Braga Mesquita

Maria Cleiciane Lima Felix

Wladia Martins Edição

Equipe Técnica de Apoio

Arquiteta Urbanista Barbara Buso

Engenheiro Civil M.Sc. Bernardo Nogueira de Codes

Arquiteta Urbanista Thaís Matos Moreno

Arquiteta Urbanista Maria Eduarda Cândido

Arquiteta Urbanista Débora Maria Gomes Braga Monte

Arquiteta Urbanista Paisagista Karina Sá Oliveira

Engenheira Civil Lara Maria de Sousa Barroso

Engenheira Civil Luana Viana de Paula Cabral

Advogada Mariana Cordeiro Aragão

Engenheiro de Telecomunicações Renan Rabelo Soeiro

Administrativo e Financeiro Thaianny Silva Oliveira

Equipe Técnica - Prefeitura Municipal de Sobral – CE

Yvo Gabriel Sousa Galvão
Coordenador de Monitoramento e Controle UGP-PRODESOL

Maria Eduarda Sousa Cavalcante
Coordenadora de Monitoramento e Controle do PRODESOL

Jefferson Sousa Rocha
Coordenador de Saneamento UGP-PRODESOL

Lívia Alves de Souza
Coordenadora Socioambiental UGP-PRODESOL

Cícera Sarah Moura Farias
Gerente de Biodiversidade Agência Municipal de Meio Ambiente

Camila da Silva Carneiro
Técnica em Geoprocessamento da Supervisão Técnica Consórcio COMOL/CERTARE

APRESENTAÇÃO

A publicação apresenta a avaliação do impacto socioambiental dos jardins filtrantes implantados em Sobral entre os anos de 2018 e 2020 no Parque da Cidade e Parque Pajeú com o objetivo de melhorar a qualidade das águas do riacho Pajeú que desaguam na Lagoa da Fazenda. O trabalho apresentado foi realizado pelo Consórcio Certare-Geasa, constituído pelas empresas Certare Engenharia e Consultoria Ltda, Geasa Engenharia Ltda, com participação do Laboratório de Experiência Digital (LED) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará (UFC), através de Chamada Pública Nº CH23001-SEUMA. A avaliação de impacto dos jardins filtrantes é fruto do Programa de Desenvolvimento Socioambiental de Sobral – PRODESOL, da Secretaria do Urbanismo, Habitação e Meio Ambiente de Sobral (SEUMA), pactuado entre a Prefeitura Municipal de Sobral e o Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe (CAF) pelo Contrato de Empréstimo Nº CFA 10569. O PRODESOL reúne um conjunto de intervenções voltadas para o desenvolvimento socioambiental do município e tem como objetivo principal, melhorar a qualidade dos serviços públicos através de investimentos em saneamento básico e ambiental, gestão socioambiental e requalificação da infraestrutura urbana. O trabalho que se apresenta aqui, teve início em abril de 2024 e foi concluído em dezembro desse mesmo ano com acompanhamento da Comissão Técnica Municipal – CTM, composta por servidores SEUMA e da Agência Municipal do Meio Ambiente - AMA, devidamente indicados e mediante formalização da PORTARIA N° 27/2024 - SEUMA.

A publicação Jardins Filtrantes de Sobral: Avaliação de Impacto Socioambiental e Potencialidades tem como objetivo apresentar de forma resumida e acessível os principais resultados.

Os jardins filtrantes são Soluções baseadas na Natureza aplicadas para tratamento da qualidade das águas superficiais, tratamento de efluentes sanitários e industriais, amortecimento de cheias, regulação do microclima, criação de habitats para a biodiversidade e de áreas com oportunidades para realização de atividades culturais em contato com a natureza. São SbN aplicadas há pelo menos cinco décadas e incentivadas para o enfrentamento dos desafios relacionados às mudanças climáticas, a segurança hídrica e a perda de biodiversidade.

Com sede na cidade de São Paulo, a Geasa Engenharia é uma empresa que atua desde 2001 em todo território nacional na gestão e elaboração de projetos engenharia, saneamento e meio ambiente e de tecnologias sustentáveis. Com reconhecida formação acadêmica e amplo expertise de seus sócios, dispõe de equipe permanente de profissionais doutores, mestres, técnicos e consultores de alta qualificação. Na área do desenvolvimento urbano sustentável, entre 2021 e 2024, a Geasa Engenharia desenvolveu 47 projetos com tecnologias de Infraestrutura Verde e Soluções baseadas na Natureza (SbN), sempre visando à melhoria da qualidade de vida das pessoas, à preservação e à restauração dos serviços ambientais e ecossistêmicos.

Fundada em outubro de 2011, a Certare é uma empresa de engenharia e consultoria especializada em diversas áreas, incluindo projetos de infraestrutura, planejamento e design urbano, estudos de mobilidade e sustentabilidade ambiental, engenharia de tráfego, segurança viária, arquitetura, urbanismo e paisagismo, gerenciamento de projetos, supervisão e execução de obras, mineração e inovação tecnológica. Com equipe diversificada, composta por engenheiros civis, arquitetos e urbanistas, engenheiros de produção, assistentes administrativos e jurídicos, além de técnicos especializados em várias disciplinas. Com sede em Fortaleza e escritórios em seis estados brasileiros, a Certare tem atuação nacional abrangente e em seus 12 doze anos de existência ganhou reconhecimento em todo o Brasil.

A publicação contextualiza os jardins filtrantes nas chamadas Soluções baseadas na Natureza (SbN), apresenta suas propriedades técnicas e científicas. Apresenta a caracterização da área de estudo, por meio da síntese do diagnóstico socioambiental da cidade de Sobral, com ênfase no Distrito Sede e o projeto as built dos jardins filtrantes. Discute os principais resultados da avaliação de impacto dos jardins filtrantes na redução da carga poluente do riacho Pajeú e na biodiversidade local. Apresenta a avaliação da percepção socioambiental e do retorno econômico da implementação dos jardins filtrantes. Mostra o potencial do Distrito Sede para as Soluções baseadas na Natureza usando indicadores de segurança hídrica e qualidade ambiental para mapeamento da adequabilidade e prioridade de implantação. Por fim, são apresentadas as conclusões sobre os estudos realizados que visam apoiar esta política pública, e outras mais, voltadas às Soluções baseadas na Natureza, de Sobral, do Ceará e do Brasil.

RESUMO

Os jardins filtrantes implantados no Parque da Cidade e no Parque Pajeú em Sobral são tecnologias denominadas como alagados construídos ou wetlands, reconhecidas mundialmente como Soluções baseadas na Natureza (SbN), utilizadas no tratamento das águas residuárias e superficiais por processos naturais de fitorremediação. As SbN são ações para proteger ou restaurar ecossistemas naturais e modificados, que imitam os processos da natureza para mitigação de impactos socioambientais. Entre os anos de 2018 e 2020, a Prefeitura Municipal de Sobral implantou uma caixa de areia e 20 jardins filtrantes com fluxo do tipo superficial horizontal, sendo 15 unidades no Parque da Cidade e 5 no Parque Pajeú, para o tratamento da qualidade das águas do riacho Pajeú poluídas principalmente por esgoto doméstico. Esse conjunto de SbN foi denominado como Sistemas de Alagados Construídos – SACs e possui área total de 6.772 metros quadrados.

A primeira etapa de tratamento das águas servidas que desaguam no riacho através de galeria de drenagem acontece na caixa de areia instalada no Parque da Cidade. Após passar pela caixa de areia o efluente é distribuído em dois ramais hidráulicos que alimentam os jardins filtrantes.

O projeto as built realizado mostrou que o abastecimento dos SACs do Parque da Cidade ocorre por operação manual e tem funcionamento hidráulico diferente dos SACs do Parque Pajeú, onde o abastecimento é apenas por fluxo gravitacional. Para avaliação do impacto dos SACs no tratamento da qualidade das águas do riacho Pajeú, foram realizadas coletas de amostras de água da caixa de areia, da zona de raízes dos jardins filtrantes, do riacho Pajeú, do deságue final dos SACs no riacho Pajeú.

A análise dos dados considerou 16 parâmetros de qualidade conforme a Resolução Conama 257/2005. Esses dados foram compilados aos dados de monitoramento da qualidade da água realizado pela Prefeitura Municipal de Sobral entre os anos de 2021 e 2023 e foram interpretados para os 16 parâmetros analisados. A análise mostrou que para o tratamento de 100% da carga poluidora do riacho Pajeú são necessários 73.365 metros quadrados de área de tratamento por jardins filtrantes, ou seja, os jardins filtrantes têm 9% da área requirida para tratar toda a carga poluidora.

Embora o impacto na qualidade das águas não seja muito expressivo, os jardins filtrantes causaram impacto positivo para a biodiversidade e são visitados por pelo menos 25 espécies da fauna nativa, sendo 18 espécies de aves, 2 de insetos (borboletas), 4 espécies de lagartos e 1 espécie de serpente.

A pesquisa sobre a percepção socioambiental e retorno econômico da implantação dos jardins filtrantes entrevistou 400 pessoas e mostrou que 7 em cada 10 pessoas classificaram os impactos de forma positiva. Das pessoas entrevistadas, 75% notaram melhorias significativas na biodiversidade, e 66% afirmaram que aumentaram a prática de atividades físicas nos parques após a implantação dos jardins filtrantes. O Índice de Impacto Socioambiental e Econômico (ISAE) consolidou essas percepções ao quantificar os efeitos dos Jardins Filtrantes nas dimensões social, ambiental, econômica, funcionalidade e segurança. E mostrou que o impacto social foi o mais valorizado, representando a maior parte do índice, devido à relevância das melhorias nas áreas de lazer e ao fortalecimento da coesão comunitária.

A funcionalidade e a segurança dos parques obtiveram uma avaliação moderada, com menções positivas à acessibilidade e à infraestrutura, mas com sugestões de melhorias em iluminação e segurança noturna. O impacto ambiental, embora registrado como positivo, ainda precisa de avanços em termos de qualidade da água e controle de vetores, enquanto o impacto econômico destacou-se pela percepção da valorização imobiliária e pela movimentação econômica nas áreas próximas aos parques.

Se tratando do potencial de replicação das SbN em unidades definidas como nanobacias hidrológicas, o estudo revelou que no Distrito Sede de Sobral 35% da área total de nanobacias possui alta prioridade de implantação de SbN. Dessas áreas, foram mapeadas no território o grau de adequação para implantação das SbN jardins filtrantes, biovaletas, canteiros pluviais, alagados construídos e corredores verdes, colaborando com o planejamento urbano da infraestrutura verde-azul da cidade.

O estudo evidencia o potencial da cidade de Sobral para uma política urbana de desenvolvimento de baixo impacto, que prioriza as SbN em benefício dos serviços ambientais, sociais e econômicos, favorecendo a mobilidade e o fluxo gênico, a regulação do microclima, o tratamento da qualidade da água e do ar e o bem-estar e saúde da população, e colaborando com as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas.

O trabalho demonstrou que apesar dos desafios enfrentados na implementação de políticas públicas focadas em SbN a avaliação de impacto indica que a cidade possui potencial para replicação dos jardins filtrantes e de outras SbN, sendo os jardins filtrantes de Sobral um exemplo de uma política pública desafiadora e inovadora necessária para o enfrentamento de desafios ambientais urbanos complexos e o desenvolvimento sustentável.

RESUMEN

Los jardines filtrantes instalados en el Parque da Cidade y el Parque Pajeú, en Sobral, son tecnologías conocidas como humedales artificiales o wetlands, reconocidas internacionalmente como Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN). Estas soluciones son empleadas para tratar aguas residuales y superficiales mediante procesos naturales de fitorremediación. Las SbN son intervenciones diseñadas para proteger o restaurar ecosistemas naturales o modificados, imitando los procesos de la naturaleza para mitigar impactos socioambientales.

Entre 2018 y 2020, el Municipio de Sobral implementó una caja de arena y 20 jardines filtrantes de flujo superficial horizontal, distribuidos en 15 unidades en el Parque da Cidade y 5 en el Parque Pajeú. El objetivo principal fue mejorar la calidad del agua del arroyo Pajeú, contaminado principalmente por aguas residuales domésticas. Este conjunto de SbN, denominado Sistemas de Humedales Construidos (SACs), abarca una superficie total de 6.772 metros cuadrados.

La primera etapa del tratamiento de las aguas residuales, que desembocan en el arroyo a través de una galería de drenaje, se realiza en la caja de arena instalada en el Parque da Cidade. El efluente tratado se distribuye posteriormente en dos ramales hidráulicos que alimentan los jardines filtrantes.

El proyecto as-built reveló diferencias en el funcionamiento de los SACs entre los dos parques: mientras que en el Parque da Cidade el suministro es manual, en el Parque Pajeú opera exclusivamente por flujo gravitacional. Para evaluar el impacto de los SACs en la calidad del agua del arroyo Pajeú, se tomaron muestras de agua en cuatro puntos: la caja de arena, la zona de raíces de los jardines filtrantes, el arroyo Pajeú y el punto de descarga final de los SACs en el arroyo.

Los datos recolectados se analizaron utilizando 16 parámetros de calidad establecidos por la Resolución 257/2005 del Conama. Estos resultados se integraron con el monitoreo de calidad del agua realizado por el municipio entre 2021 y 2023, considerando los mismos 16 parámetros. El análisis indicó que para tratar el 100% de la carga contaminante del arroyo Pajeú se requerirían 73.365 metros cuadrados de jardines filtrantes; sin embargo, la superficie actual cubre solo el 9% de esta demanda.

Aunque el impacto en la calidad del agua no es significativo, los jardines filtrantes han tenido un efecto positivo en la biodiversidad. Han sido visitados por al menos 25 especies de fauna nativa, incluyendo 18 especies de aves, 2 de insectos (mariposas), 4 de lagartos y 1 de serpiente.

Una encuesta sobre la percepción del impacto socioambiental y económico de los jardines filtrantes, realizada a 400 personas, reveló que 7 de cada 10 calificaron los impactos de manera positiva. El 75% de los encuestados percibió mejoras significativas en la biodiversidad, y el 66% afirmó haber incrementado su actividad física en los parques tras la implementación de estas infraestructuras.

El Índice de Impacto Socioambiental y Económico (ISAE) consolidó estas percepciones al cuantificar los efectos de los jardines filtrantes en dimensiones sociales, ambientales, económicas, funcionales y de seguridad. Los resultados mostraron que el impacto social fue el más valorado, gracias a las mejoras en las áreas de ocio y al fortalecimiento de la cohesión comunitaria. La funcionalidad y seguridad de los parques recibieron evaluaciones moderadas, destacando menciones positivas sobre accesibilidad e infraestructura, aunque se sugirieron mejoras en iluminación y seguridad nocturna.

El impacto ambiental, aunque positivo, requiere avances adicionales en la mejora de la calidad del agua y el control de vectores. En cuanto al impacto económico, se destacó la percepción de una revalorización inmobiliaria y un aumento en la actividad económica en las áreas circundantes.

El estudio también exploró el potencial de replicar las SbN en nanocuencas hidrológicas. Se determinó que el 35% del área total de estas nanocuencas en el distrito sede de Sobral tiene alta prioridad para la implementación de SbN. Estas áreas fueron mapeadas para identificar su grado de adecuación a jardines filtrantes, biovalletas, lechos pluviales, humedales artificiales y corredores verdes, contribuyendo a la planificación urbana de la infraestructura verde-azul de la ciudad.

El estudio resalta el potencial de Sobral para desarrollar una política urbana de bajo impacto que priorice las SbN, generando beneficios ambientales, sociales y económicos. Estas acciones promueven la movilidad y el flujo genético, regulan el microclima, mejoran la calidad del agua y el aire, y favorecen el bienestar y la salud de la población, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

En conclusión, a pesar de los desafíos en la implementación de políticas públicas centradas en SbN, la evaluación de impacto demuestra el potencial de la ciudad para replicar jardines filtrantes y otras SbN. Los jardines filtrantes de Sobral son un ejemplo innovador y esencial de política pública para enfrentar los complejos desafíos ambientales urbanos y avanzar hacia el desarrollo sostenible.

ABSTRACT

The constructed wetlands implemented in Parque da Cidade and Parque Pajeú in Sobral represent a technology internationally recognized as Nature-Based Solutions (NbS). These systems utilize natural phytoremediation processes to treat wastewater and surface water. NbS initiatives aim to protect or restore natural and modified ecosystems, emulating natural processes to mitigate socio-environmental impacts. Between 2018 and 2020, the Municipality of Sobral installed a grit chamber and 20 horizontal surface-flow constructed wetlands —15 in Parque da Cidade and 5 in Parque Pajeú—to improve water quality in the polluted Pajeú stream, primarily contaminated by domestic sewage. This suite of NbS was named Constructed Wetland Systems (SACs) and spans a total area of 6,772 square meters.

The first treatment stage occurs in the grit chamber at Parque da Cidade, where the wastewater entering the stream via drainage galleries is intercepted. After the grit chamber, the effluent is directed into two hydraulic distribution pipes that supply the SACs. An as-built analysis revealed that the SACs in Parque da Cidade rely on manual operation for water distribution, while those in Parque Pajeú function through gravitational flow alone. To evaluate the impact of the SACs on Pajeú stream's water quality, water samples were collected from the grit chamber, the root zones of the constructed wetlands, the Pajeú stream, and the final SAC outflow into the stream. The analysis considered 16 water quality parameters following Conama Resolution 257/2005.

These findings were integrated with water quality monitoring data from 2021 to 2023 by the Municipality of Sobral, covering the same parameters. The results showed that treating 100% of the Pajeú stream's pollutant load would require 73,365 square meters of constructed wetlands area. Current SACs represent 9% of the area needed to treat the entire load. While the water quality improvements were not substantial, the constructed wetlands systems positively impacted biodiversity, attracting at least 25 native fauna species, including 18 bird species, 2 insect species (butterflies), 4 lizard species, and 1 snake species.

A socio-environmental perception and economic return survey involving 400 participants revealed that 7 out of 10 rated the impacts positively. Of those surveyed, 75% noted significant biodiversity improvements, and 66% reported increased physical activity in the parks following the SACs installation. The Socio-Environmental and Economic Impact Index (ISAE) consolidated these perceptions, quantifying the effects of the filtering gardens across social, environmental, economic, functional, and safety dimensions. Social impact ranked highest due to the improvements in leisure spaces and enhanced community cohesion. Functionality and safety received moderate evaluations, with positive mentions of accessibility and infrastructure, alongside suggestions for better lighting and nighttime security.

Although environmental impact was deemed positive, further progress is needed in water quality and vector control. Economically, the constructed wetlands contributed to perceived property value increases and economic activity near the parks. Regarding the replication potential of NbS in nano-watershed, the study identified that 35% of Sobral's urban area has high priority for NbS implementation. These areas were mapped to assess suitability for NbS interventions, including bioswales, rain gardens, curb extensions/planter box, constructed wetlands, and green streets, contributing to the city's green-blue infrastructure planning.

The study highlights Sobral's potential for a low-impact urban development policy prioritizing NbS for environmental, social, and economic benefits. These include enhancing mobility and genetic flow, regulating microclimates, improving water and air quality, and promoting public health and well-being, aligning with the United Nations' Agenda 2030 Sustainable Development Goals. Despite challenges in implementing NbS-focused public policies, the impact assessment underscores Sobral's capacity to replicate filtering gardens and other NbS. Sobral's filtering gardens serve as a challenging, yet innovative example of public policy aimed at addressing complex urban environmental challenges and fostering sustainable development.



CAPÍTULO 1

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA DE GESTÃO DAS ÁGUAS

1. CONCEITO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA-SBN
2. IMPORTÂNCIA DAS SBN NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICA
3. INFRAESTRUTURA VERDE: SBN DE GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS
4. JARDINS FILTRANTES: CONHECENDO A TECNOLOGIA DOS ALAGADOS CONSTRUÍDOS



1. CONCEITO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA-SBN

De acordo com a União Internacional de Conservação para a Natureza (UICN), as Soluções baseadas na Natureza (SbN) são ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados. As SbN abordam os desafios sociais – mitigação e adaptação à mudança climática, redução de riscos de desastres, desenvolvimento social e econômico, segurança alimentar, segurança hídrica, degradação da Terra e perda da biodiversidade – de forma eficaz e adaptativa, enquanto simultaneamente proporcionam o bem-estar humano e benefícios da biodiversidade. Conforme a Comissão Europeia (EC), são economicamente viáveis e fornecem, simultaneamente, serviços ambientais, sociais e econômicos (Marques et. al., 2023).

No contexto urbano, as SbN trazem mais natureza e um maior número de elementos e processos naturais para as cidades, criando resiliência e apoiando os mecanismos de resolução dos desafios das mudanças climáticas, da perda de biodiversidade e da degradação da Terra (EC, 2015 apud Marques et. al., 2023). As SbN são diversificadas e adaptadas ao contexto local, oferecem qualidade paisagística e podem ser aplicadas em escalas micro (ruas e lotes), meso (bairro) ou macro (bacias hidrográficas).

As SbN são um conceito guarda-chuva que abrange uma diversidade de ferramentas de restauração, planejamento estratégico e espacial, gestão, proteção, infraestrutura e engenharia (Marques et. al. 2023).



Figura 1 - Dimensões das Soluções baseadas na Natureza (SbN). Adaptado de UICN (2020).

Soluções baseadas na Natureza (SbN) – **conceito guarda-chuva**

Comissão Europeia (CE)	**Dimensão Estratégica**	**Dimensão de Planejamento Espacial**	**Dimensão de Engenharia**	**Dimensão de Desempenho**	
	Adaptação baseada em Ecossistema (AbE)	Infraestrutura Verde (IV)	Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SuDS)	Serviços Ecossistêmicos	
	Redução de Riscos de Desastres baseada em Ecossistema (Eco-RRD)	Infraestrutura Verde-Azul (IVA)	Engenharia Ecológica (EE)		
	Plano de Ação Climática (PLAC)	Infraestrutura Natural (IN)	Melhores Práticas de Manejo (BMP)		
		Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)			
União Internacional de Conservação para a Natureza (UICN)	**Restauração**	**Tema-específico**	**Infraestrutura**	**Gestão**	**Proteção**
	Restauração Ecológica (RE)	Adaptação baseada em Ecossistema (AbE)	Infraestrutura Verde (IV)	Gestão Integrada de Recursos Hídricos	Sistema de Unidades de Conservação (SINUC)
	Engenharia Ecológica (EE)	Serviços de Adaptação ao Clima (SAC)	Infraestrutura Verde-Azul (IVA)	Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)	Outras Medidas Efetivas de Conservação baseadas em área (OMEC)
	Restauração de Paisagens Florestais (RPF)	Redução de Riscos de Desastres baseada em Ecossistema (Eco-RRD)	Infraestrutura Natural (IN)	Planejamento Ambiental	

Quadro 1 - Conceito guarda-chuva de Soluções baseadas na Natureza – SbN. Adaptado de Marques (et al, 2023).

A União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2020) defende que as SbN atendam a um padrão de qualidade, baseado em oito princípios:

DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA	
Soluções Baseadas na Natureza são ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais e modificados de maneiras que abordem de forma eficaz os desafios sociais, proporcionando simultaneamente benefícios para o bem-estar humano e a biodiversidade.	
PRINCÍPIOS	
Princípio 01	As SBN adotam normas e princípios de conservação da natureza.
Princípio 02	As SBN podem ser implementadas sozinhas ou de maneira integrada com outras soluções para desafios sociais.
Princípio 03	As SBN são determinadas por contextos naturais e culturais específicos de cada local (incluindo conhecimento tradicional, local e científico).
Princípio 04	As SBN produzem benefícios sociais de maneira justa e equitativa, promovendo transparência e participação ampla.
Princípio 05	As SBN mantêm a diversidade biológica e cultural e a capacidade dos ecossistemas de evoluir ao longo do tempo.
Princípio 06	As SBN são aplicadas em escala de paisagem.
Princípio 07	As SBN reconhecem e abordam as compensações entre a produção de benefícios econômicos imediatos para o desenvolvimento e o futuro fornecimento de toda a gama de serviços ecossistêmicos.
Princípio 08	As SBN são parte integrante do design geral de políticas, medidas ou ações para abordar um desafio específico.

CRITÉRIOS PADRÃO
1. Responder a um desafio social.
2. Responder à escala geográfica, ecológica, social e econômica do problema.
3. Garantir a sustentabilidade ambiental com ganhos para a biodiversidade e integridade dos ecossistemas.
4. Garantir a viabilidade econômica.
5. Garantir a equidade social, por meio de processos de governança inclusivos e transparentes.
6. Equilibrar a realização dos seus objetivos principais e a prestação contínua de múltiplos benefícios (as compensações entre os benefícios de curto e longo prazo).
7. Garantir que sejam geridas de forma adaptativa, com base em evidências.
8. Aumentar a sustentabilidade por meio da integração das SbN na política e metas nacionais de compromissos internacionais com contexto jurisdicional apropriado.

Quadro 2- Link entre princípios e critérios de SbN. Adaptado da União Internacional para a Conservação da Natureza – IUCN

2. IMPORTÂNCIA DAS SBN NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

De acordo com o Relatório Mundial de Gestão de Recursos Hídricos (UN Water, 2018), a atenção conferida às SbN tem aumentado significativamente nos últimos anos em vários setores, incluindo as políticas públicas de gestão dos recursos hídricos.

A preservação dos recursos hídricos é essencial para a vida na Terra. E, devido principalmente ao crescimento da população mundial, ao desenvolvimento econômico e às mudanças nos padrões de consumo humano, a demanda por água tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 1% por ano, e continuará a aumentar de forma significativa durante as próximas duas décadas, principalmente em países com economias emergentes ou em desenvolvimento, como o Brasil.

Isso ocorre em um momento em que o ciclo hídrico mundial está se alterando em consequência da mudança climática, com a tendência de regiões já úmidas ou secas apresentarem situações cada vez mais extremas, acendendo o alerta para riscos de insegurança hídrica.

Com relação às consequências da mudança climática sobre os recursos hídricos, em 2020, o Relatório Mundial de Gestão de Recursos Hídricos (UN Water, 2020) chamou atenção para os seguintes riscos:

- Aumento da frequência e da magnitude de eventos extremos, covde calor, chuvas sem precedentes, tempestades e eventos de marés ciclônicas;
- Degradação da qualidade da água em decorrência das temperaturas mais elevadas e redução do oxigênio dissolvido, reduzindo a capacidade de autodepuração dos corpos de água doce;
- Riscos adicionais de poluição hídrica e contaminação patogênica causados por inundações ou por concentrações mais altas de poluentes durante os períodos de seca.

Esses impactos se retroalimentam pela degradação dos ecossistemas, especialmente florestas e zonas úmidas, que não somente acarretará a perda de biodiversidade, mas afetará também a prestação de serviços ecossistêmicos relacionados à água, como a sua depuração, a captura e o armazenamento de carbono e a proteção natural contra inundações, bem como a provisão de água para a agricultura, a pesca e o lazer (UN Water, 2020).

Frente a esses desafios, as SbN merecem destaque, pois usam, ou simulam, processos naturais a fim de contribuir para o aperfeiçoamento da gestão da água. Nesse sentido, o planejamento da paisagem influencia diretamente a qualidade das águas e a forma como ela se movimenta através do sistema, assim como a formação do solo, a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos – todos fatores que podem ter grande influência na hidrologia (UN Water, 2018).

Na hidrologia, o tipo de cobertura do solo desempenha um papel importantíssimo: os solos são essenciais para o controle do armazenamento, da movimentação e da transformação da água. E os ecossistemas naturais têm importante influência no ciclo das precipitações, desde a escala local até continental. A vegetação nativa é recicladora de água e, em âmbito mundial, até 40% da precipitação terrestre é gerada pela evapotranspiração (transpiração vegetal somada à evaporação do solo), sendo as decisões relativas ao uso do solo bastante significativas para os recursos hídricos, as pessoas, a economia e o meio ambiente (UN Water, 2018).

As SbN são capazes de melhorar a segurança hídrica geral, pois melhoram os processos naturais de infiltração, filtragem e reciclagem da água, aumentando a disponibilidade e a qualidade da água e, ao mesmo tempo, reduzindo os riscos de desastres relacionados à água e gerando cobenefícios sociais, econômicos e ambientais (op. cit.).

De acordo com a UNESCO (op. cit.), a infraestrutura verde voltada para os recursos hídricos é uma SbN que oferece opções de gestão da água com benefícios que são equivalentes ou similares à tradicional infraestrutura hídrica cinza (construída/física). E, nas áreas urbanas, nota-se que esses multibenefícios das SbN se ampliam quando essas infraestruturas, verde e cinza, trabalham em conjunto.

3. INFRAESTRUTURA VERDE: SBN DE GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS

A Infraestrutura Verde é uma Solução baseada na Natureza (SbN) de planejamento espacial para o desenvolvimento urbano sustentável que se baseia na criação de uma rede de espaços verdes-azuis, de múltiplas escalas e funções, que adaptam a infraestrutura existente ou planejada aos processos naturais da paisagem para minimizar os impactos da urbanização sobre a permeabilidade do solo, as chuvas, a qualidade da água e do ar, o clima, a biodiversidade e a qualidade de vida das pessoas.

Através de uma organização espacial pautada em indicadores socioambientais, ela proporciona o desenvolvimento das atividades sociais, culturais e econômicas, fornecendo simultaneamente aos Serviços Ambientais e Serviços Ecossistêmicos.



Figura 2 – Planejamento urbano-ambiental a partir do conceito de Infraestrutura Verde. Fonte: Geasa Engenharia, 2024.

A Infraestrutura Verde abarca paisagens naturais e paisagens modificadas (Cormier; Pellegrino, 2008):

- Paisagens naturais e assim caracterizadas, áreas de conservação públicas e privadas, áreas trabalhadas com valores de conservação (áreas que agregam valor ambiental e social de caráter excepcional ou de importância crítica, por exemplo uma floresta) e outros espaços abertos protegidos;
- Espaços abertos tratados com soluções de design apoiadas pela natureza, como jardins de chuva, biovaletas, telhados verdes, canteiros pluviais, alagados construídos e bacias de infiltração, que adaptam as infraestruturas convencionais especialmente aos processos de associados ao ciclo hidrológico – detenção, infiltração, evaporação e eva potranspiração e demais processos naturais, subsidiando principalmente o sistema de microdrenagem e macrodrenagem no reconhecimento e aproveitamento dos serviços ecossistêmicos nas cidades.



Figura 3 - Elementos que compõem uma Infraestrutura Verde. Para cada estrutura, foram identificados os possíveis constituintes de uma rede. Fonte: Adaptado de Moura (2013) e Hansen et. al (2017)

Para o planejamento da paisagem a Infraestrutura Verde admite três elementos principais: polo, conexão e fragmento (Benedict e McMahon, 2006 apud Moura. 2013 p. 49):

- **Polos:** elementos de ancoragem da Infraestrutura Verde que provêem espaço para fauna e flora nativas, assim como origem e destino para vida selvagem, pessoas e processos ecológicos que se movem através do sistema. Podem ocorrer em diversas formas e tamanhos, de grandes reservas e parques estaduais a áreas verdes de vizinhança, desde que as características e os processos naturais estejam protegidos ou recuperados;
- **Conexões:** são as amarrações que mantêm a coesão do sistema, a vitalidade dos processos ecológicos, a saúde e a biodiversidade da vida natural. Essas ligações, especialmente quando longas e largas, fornecem espaço suficiente para o desenvolvimento de plantas e animais, ao mesmo tempo que protegem sítios históricos e oportunidades de uso recreativo. Essas conexões ou corredores de conservação – tais como rios, córregos e várzeas – servem como condutores da vida silvestre, enquanto corredores e cinturões verdes (greenways/greenbelts) criam uma estrutura para desenvolvimento e preservação dos ecossistemas nativos, além de prover espaços para trilhas, bicicletas ou simplesmente para fruição da natureza;
- **Fragmentos:** são menores do que os polos e não necessariamente estão conectados a grandes sistemas de conservação, mas, assim como os outros elementos da Infraestrutura Verde, podem contribuir com valores ecológicos e sociais ao oferecer áreas embasadas na natureza para recreação, convívio e relaxamento.

Através desses elementos, a Infraestrutura Verde trabalha todas as escalas do projeto, desde a escala do lote, com a instalação de um jardim de chuva no lote residencial, por exemplo, à escala regional, com a combinação dos três elementos, constituindo uma rede de Infraestrutura Verde composta por telhados verdes, estacionamentos verdes com biovaletas, ruas com canteiros pluviais, praças com jardins de chuva, parques com bacias de infiltração vegetadas, áreas de proteção ambiental com zonas úmidas, áreas alagáveis nas várzeas de corpos hídricos e assim por diante, abrigando toda uma bacia hidrográfica ou mesmo todo um sistema de bacias.

Outro ponto importante é a atribuição de múltiplas funções dada à paisagem pela Infraestrutura Verde, em oposição às infraestruturas convencionais que, em sua maioria, desempenham uma única função, especialmente aquelas relacionadas à mobilidade, drenagem, fornecimento de recursos naturais e proteção contra riscos de desastres naturais.

Essa multifuncionalidade é substancial para a sustentabilidade do ecossistema urbano e resiliência. A respeito disso, afirma Moura (2013, p. 32):

"A multifuncionalidade, portanto, aliada à visão dos espaços naturais em um sistema, consiste no conceito diferencial da Infraestrutura Verde como ferramenta de planejamento e desenho, que a valida como método de compreensão holística das questões urbanas. A

4. ALAGADOS CONSTRUÍDOS: CONHECENDO A TECNOLOGIA DOS JARDINS FILTRANTES

Os alagados construídos, também conhecidos como *wetlands* construídos ou jardins filtrantes, são SbN que mimetizam as funções dos ecossistemas de áreas úmidas naturais, especialmente o tratamento da qualidade das águas. Os ecossistemas alagados são reconhecidos como "rins da terra", pois filtram os poluentes presentes na água que flui através da zona de raízes da vegetação características, as plantas macrófitas.

Os poluentes filtrados na zona de raízes são degradados por de processos naturais das plantas e suas interações com os microrganismos que habitam a rizosfera, denominados como fitorremediação. A rizosfera é uma área que se estende aproximadamente um milímetro (1 mm) ao redor da raiz e encontra-se sobre influência da planta que libera pelas raízes uma variedade de compostos orgânicos derivados da fotossíntese. Estes compoastos, denominados fotossintatos, servem de recursos para fungos heterotróficos e bactérias e são fator substancial de ampliação da área de degradação dos poluentes ao redor da raiz (Pilon-Smits, 2005 apud Pinheiro, 2017).

Além da manutenção da qualidade das águas, os ecossistemas alagados atuam no controle das cheias e da erosão evitando o assoreamento dos rios, na proteção da biodiversidade pois fornecem habitat para os animais selvagens, nichos ecológicos de reprodução e alimentação da fauna terrestre e aquática e na regulação climática (Pinheiro, 2017).

O jardim filtrante, portanto, é uma biotecnologia que imitam os ecossistemas naturais, reconhecida mundialmente como filtro d'água sustentável, pois realiza o tratamento da água com pouquíssimo consumo energético, através da fotossíntese, ao mesmo tempo em que beneficia a biodiversidade, atua regulação hidrológica e microclimática, protege dos recursos hídricos, o contato com a natureza e a educação ambiental.

Os alagados construídos possuem diferentes designs e aplicações e podem ser aplicados in situ ou ex situ. Eles são compostos por plantas macrófitas (plantas aquáticas) fixadas em um meio filtrante que pode ser formado por areia, pedras. Segundo o Catálogo de Soluções baseadas na Natureza para Espaços Livres, (GIZ,2024) essa tecnologia é flexível e pode ser aplicada ao tratamento de diversos tipos de efluentes, como:

- Esgoto residencial;
- Esgoto industrial;
- Efluentes agrícolas;
- Lixiviados de aterros sanitários;
- Lodos;
- Águas pluviais;
- Águas superficiais.

Os alagados construídos são categorizados em dois grupos principais, de acordo com o tipo de fluxo do efluente no meio filtrante.

Alagado Construído de Fluxo Superficial (efluente aparente): Apresenta uma lâmina de água visível, semelhante aos alagados naturais. Este sistema é indicado para efluentes com menor carga poluente, sendo mais recomendado para o tratamento de águas pluviais urbanas, com o objetivo de mitigar a poluição difusa.

Alagado Construído de Fluxo Subsuperficial (efluente não aparente): O efluente escoa abaixo do nível do substrato. Esse tipo de sistema é mais indicado para efluentes com maior carga de poluentes e pode ser classificado em dois subtipos, dependendo da direção do fluxo do efluente no sistema: fluxo vertical conforme Figura 6 e fluxo horizontal conforme Figura 7.

Os processos naturais mimetizados ou favorecidos pelos alagados construídos são o armazenamento de água, a evaporação e evapotranspiração, filtragem da água e do ar, ciclagem de nutrientes e em certos casos a recarga dos aquíferos. E são considerados serviços ambientais desempenhados por esta tipologia, o manejo do escoamento superficial, aumento da umidade do ar, tratamento da poluição, melhora na qualidade do ar, criação de habitats e fornecimento de água de reuso em determinados casos (Bonzi, 2015).

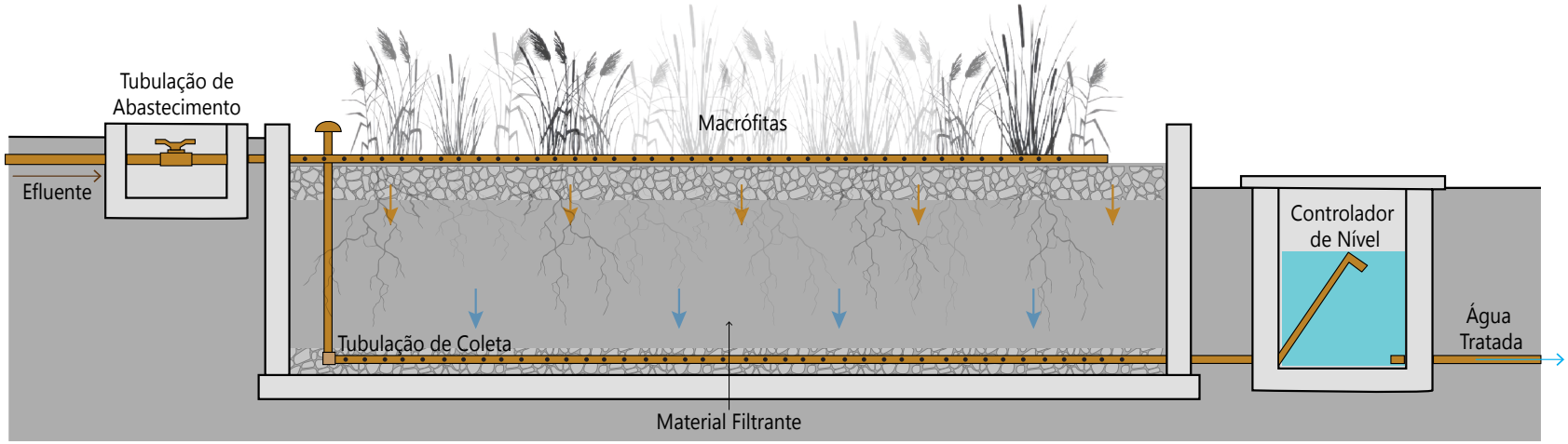


Figura 4 - Alagado Construído de fluxo subsuperficial vertical – Fonte: Geasa Engenharia, 2024 – Adaptado SEZERINO et al (2018).

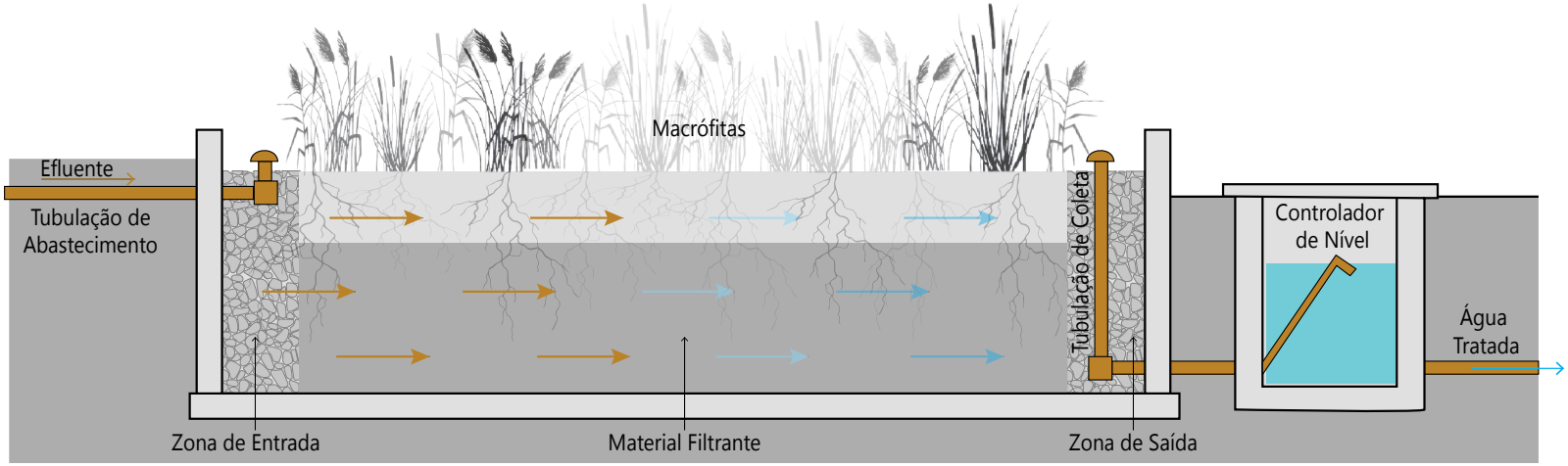


Figura 5 - Alagado Construído de fluxo subsuperficial horizontal – Fonte: Geasa Engenharia, 2024 – Adaptado SEZERINO et al (2018).

CAPÍTULO 2

JARDINS FILTRANTES DE SOBRAL

1. A CIDADE DE SOBRAL
- **1.1** CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA FÍSICA E POLÍTICA
- **1.2** CLIMA
- **1.3** HIDROGRAFIA E RECURSOS HÍDRICOS
- **1.4** BIOMA E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO
- **1.5** DISTRITO SEDE DE SOBRAL

2. OS JARDINS FILTRANTES DO RIACHO PAJEÚ
- **2.1** IMPLANTAÇÃO
- **2.2** SISTEMA HIDRÁULICO
- **2.3** PAISAGISMO

3. ROTINA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO NO PARQUE DA CIDADE
- **3.1** CAIXA DE AREIA
- **3.2** SISTEMA HIDRÁULICO
- **3.3** PODA DA VEGETAÇÃO

4. OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO NO PARQUE PAJEÚ





Jardins Filtrantes
O tratamento da água é realizado nos jardins filtrantes de fluxo subsuperficial, onde as raízes das plantas macrófitas têm a capacidade de tratar a água

Primeira etapa de tratamento
A primeira etapa de tratamento da qualidade das águas acontece na caixa de areia que tem função de retenção de sólidos em suspensão.

Tubulação de Abastecimento
Após passar pela caixa de areia a água é direcionada para as tubulações de abastecimento, bastecendo os 15 jardins do parque da cidade

Tubulação de Desabastecimento
A água que passa por cada um dos jardins filtrantes é conduzida por essas redes de desabastecimento que, ao final do Parque da Cidade, seguem paralelas na margem direita do riacho Pajeú até desaguarem no primeiro jardim filtrante do Parque Pajeú

Caixa de Abastecimento
Técnicos abrem e fecham o registro de abastecimento controlando o fluxo que entra no jardim

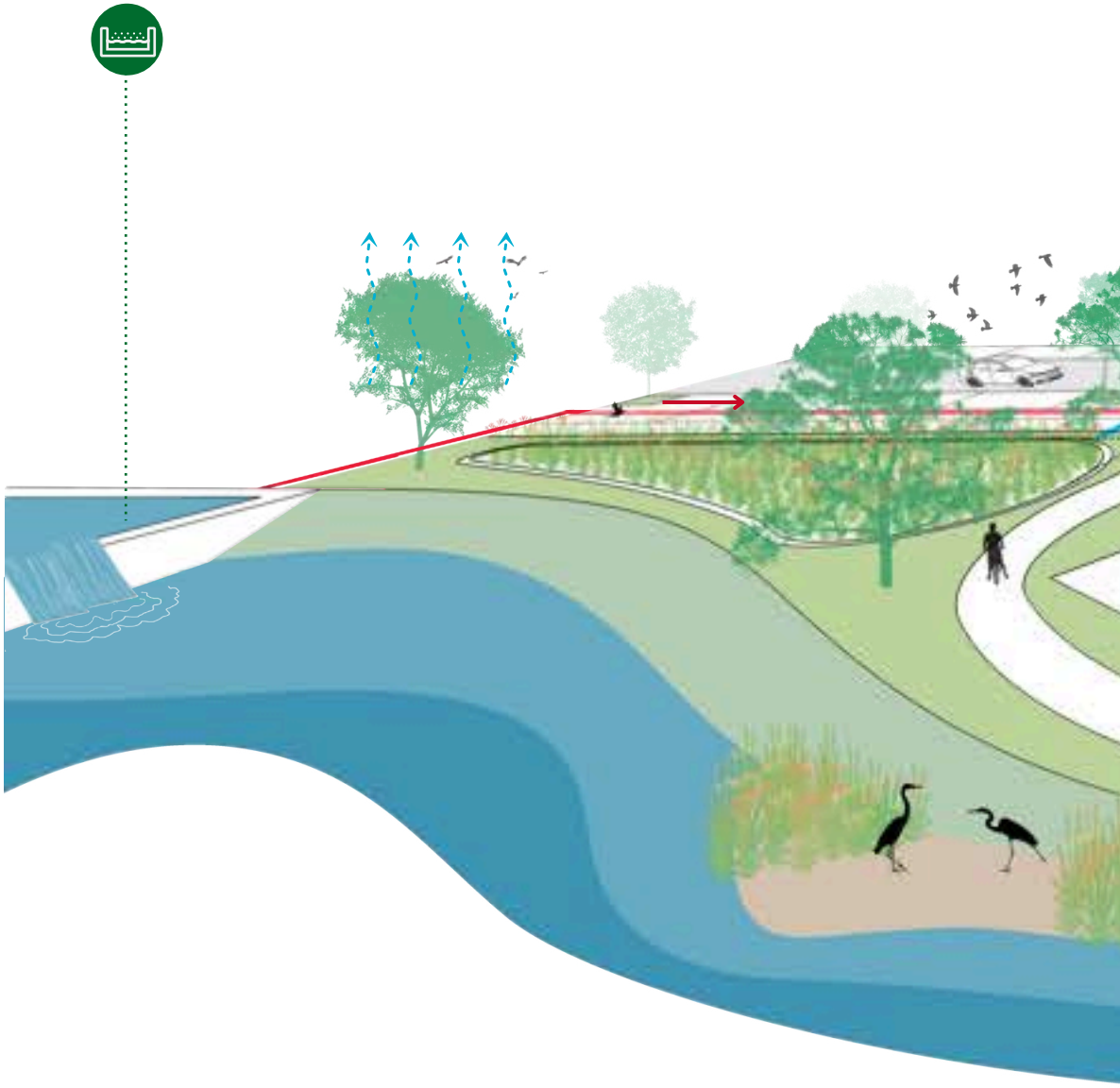
Caixa de Desabastecimento
O registro de desabastecimento dos jardins filtrantes do Parque da Cidade nunca é manipulado, ficando aberto constantemente

Deságue da água tratada
Após passar or 20 jardins filtrantes a água tratada é lançada ao Riacho Pajeú

Paisagismo
Nos jardins filtrantes do riacho Pajeú, a planta mais usada é a espécie Canna glauca, conhecida como cana do brejo, uma macrófita emergente, nativa da flora brasileira

Plantio nas margens
As mudas podadas muitas vezes são replantadas nas margens do Riacho

Manutenção
Jardineiros realizam a poda regular da vegetação para garantir a eficiência do tratamento



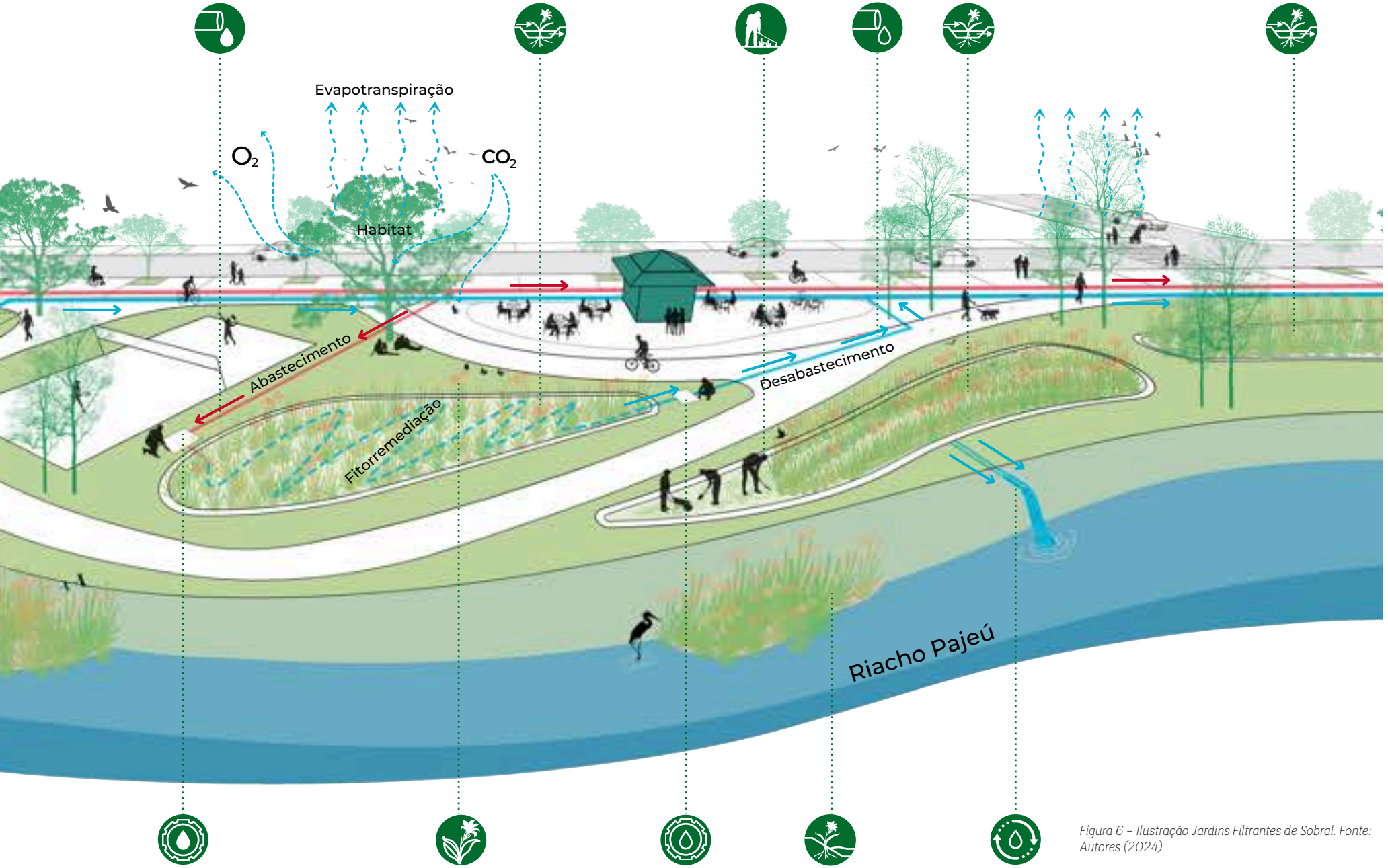


Figura 6 – Ilustração Jardins Filtrantes de Sobral. Fonte: Autores (2024)

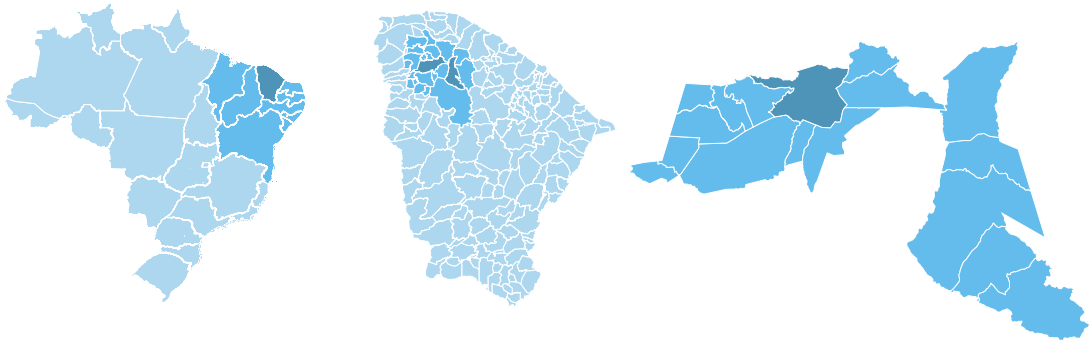
1. A CIDADE DE SOBRAL

1.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA FÍSICA E POLÍTICA

O município de Sobral localiza-se a noroeste do Estado do Ceará, a aproximadamente 230 km de sua capital, Fortaleza, e a 360 km da cidade de Teresina, capital do Estado do Piauí. Conforme o IBGE (2022), o Ceará possui 148.894 km² divididos em 184 municípios. É o oitavo Estado mais populoso do país, com 4,46% da população total do Brasil, totalizando 8.794.957 de pessoas e tendo densidade demográfica de 59,07 habitantes por km².

A Organização Distrital e Perímetros Urbanos do município de Sobral é subdividida em 17 distritos, sendo eles: Distrito Sede (também chamado de Sobral, é o principal distrito do município, onde se concentra quase toda a área urbana e industrial); Aprazível; Aracatiaçu; Baracho; Bilheira; Bonfim; Caioca; Caracará; Jaibaras; Jordão; Patos; Patriarca; Pedra de Fogo; Rafael Arruda; Salgado dos Machados; São José do Torto; e Taperuaba. Cada um desses distritos possui uma sede própria.

Segundo o último censo do IBGE, em 2022, Sobral conta com 203.023 habitantes, o que resulta em uma densidade populacional de 98,15 hab/km². Entretanto, a distribuição populacional é desigual pelo território: a maioria dos habitantes (78,31%) vive no Distrito Sede.



Mapa 1 - Mapa de localização do município de Sobral, no Estado do Ceará, Brasil. Fonte: desenvolvido pelos autores com dados do IBGE, 2024.

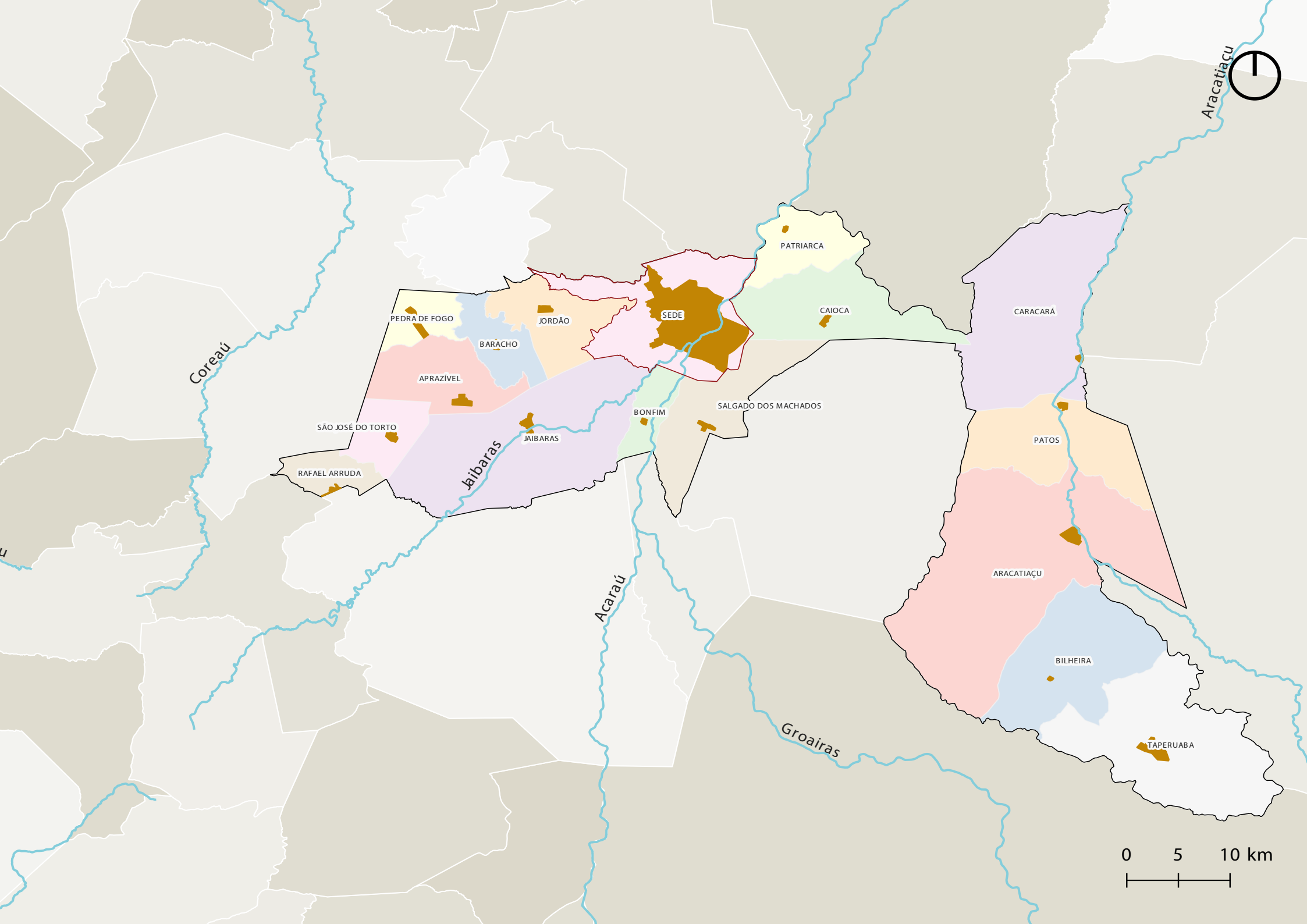
Mapa 2 – Distritos da cidade de Sobral com destaque para suas respectivas sedes urbanas
Fonte: Autores.

Legenda

- Hidrografia
- PERÍMETRO URBANO

Divisão Distrital

- APRAZÍVEL
- ARACATIAÇU
- BARACHO
- BILHEIRA
- BONFIM
- CAIOCA
- CARACARÁ
- JAIBARAS
- JORDÃO
- PATOS
- PATRIARCA
- PEDRA DE FOGO
- RAFAEL ARRUDA
- SALGADO DOS MACHADOS
- SÃO JOSÉ DO TORTO
- SEDE
- TAPERUABA
- DISTRITO SEDE

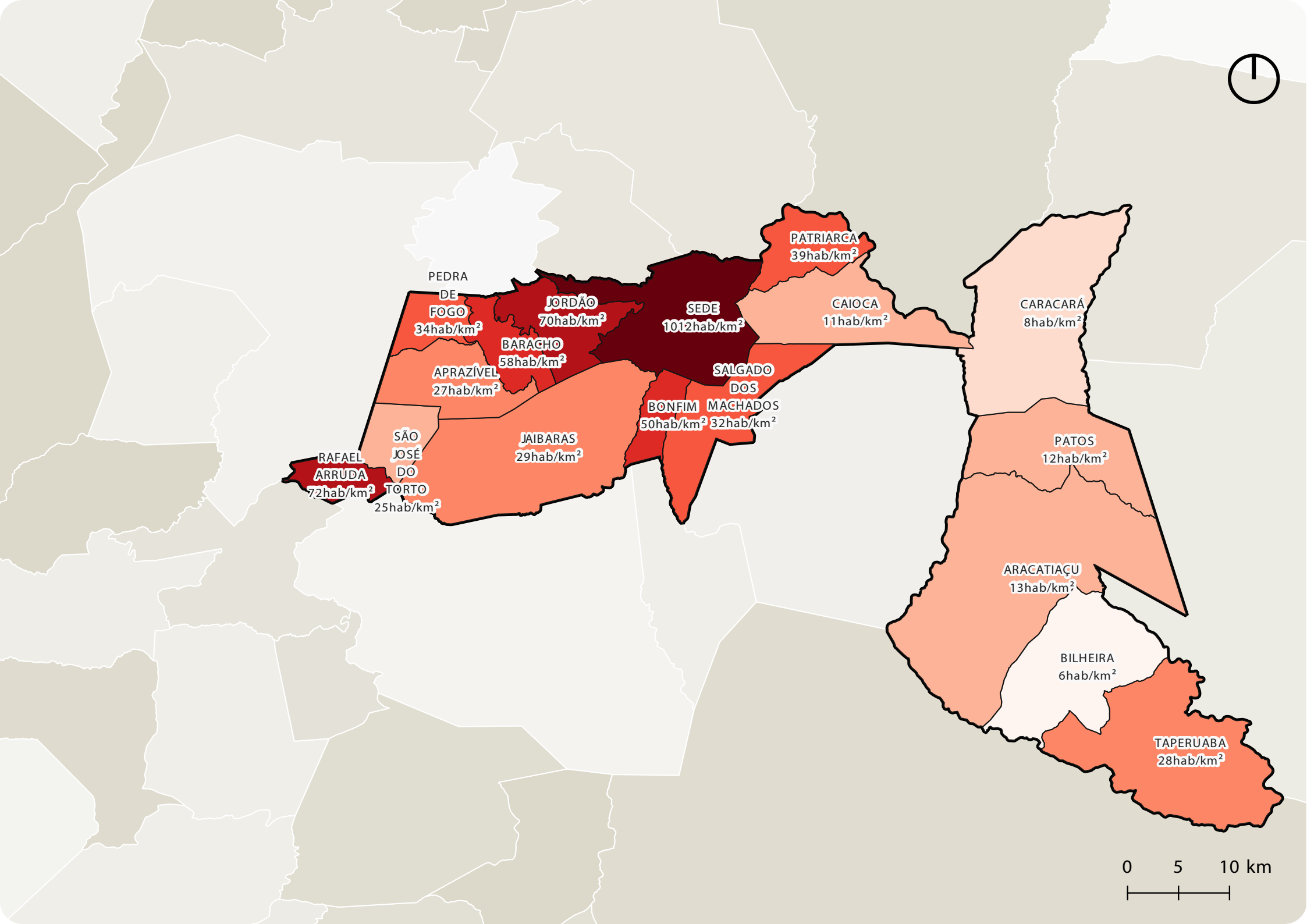

PATRIARCA
CAIOCA
SEDE
CARACARÁ
PEDRA DE FOGO
JORDÃO
BARACHO
APRAZÍVEL
SÃO JOSÉ DO TORTO
JAIBARAS
BONFIM
SALGADO DOS MACHADOS
RAFAEL ARRUDA
PATOS
ARACATIAÇU
BILHEIRA
TAPERUABA
Coreaú
Jaibaras
Acaraú
Groairas
Aracatiaçu
0
5
10 km

Mapa 3 – Densidade demográfica do Município de Sobral.
Fonte: Autores.

Legenda

Densidade Demográfica (Habitantes x Km²)

- **6 - 6**
- **6 - 8**
- **8 - 25**
- **25 - 29**
- **29 - 39**
- **39 - 58**
- **58 - 72**
- **72 - 1012**


PEDRA DE FOGO 34hab/km²
JORDÃO 70hab/km²
SEDE 1012hab/km²
PATRIARCA 39hab/km²
CAIOCA 11hab/km²
CARACARÁ 8hab/km²
BARACHO 58hab/km²
APRAZÍVEL 27hab/km²
SALGADO DOS MACHADOS 32hab/km²
BONFIM 50hab/km²
JAIBARAS 29hab/km²
SÃO JOSÉ DO TORTO 25hab/km²
RAFAEL ARRUDA 72hab/km²
PATOS 12hab/km²
ARACATIAÇU 13hab/km²
BILHEIRA 6hab/km²
TAPERUABA 28hab/km²
0 5 10 km

1.2 CLIMA

O Ceará é caracterizado pela presença de dois tipos de clima: tropical úmido e semiárido, com predominância do segundo. Por estar localizado muito próximo à linha do Equador, o Estado sofre com a ação direta dos ventos alísios, que intensificam o regime eólico na região. Já a porção úmida e subúmida do Estado concentra-se em parte do litoral e nas áreas que registram maior elevação topográfica.

Na cidade de Sobral prevalece o clima semiárido, com apenas uma pequena fração de seu território sob influência do clima tropical quente subúmido. O semiárido é responsável pela grande quantidade de secas periódicas que afetam diretamente a disponibilidade de água para os seres vivos e as atividades humanas, como a agricultura, a pecuária e a indústria. O regime hidrológico característico do semiárido, junto dos efeitos das mudanças climáticas, acende o sinal de alerta para o risco de desertificação e escassez dos recursos hídricos superficiais dos rios, açudes e dos mananciais subterrâneos e lençóis freáticos (Gomes et al., 2010; IPECE, 2024).

A desertificação é um processo de degradação das terras áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de diversos fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas. A irregularidade das chuvas e as longas secas podem levar à perda de vegetação, erosão do solo, redução da capacidade de retenção de água do solo e, por fim, desertificação. Áreas vulneráveis podem rapidamente perder sua produtividade e capacidade de sustentar a vida vegetal e animal, intensificando o processo de desertificação (Brandão, 2014).

Além disso, a desertificação impacta negativamente a biodiversidade local, pela diminuição da diversidade de espécies vegetais e animais, muitas das quais são endêmicas, ou seja, adaptadas às condições semiáridas. A perda da biodiversidade compromete os ecossistemas e sua capacidade de fornecer serviços essenciais, como a purificação da água, a ciclagem de nutrientes e a regulação do clima (Ceará, 2010), retroalimentando os impactos.

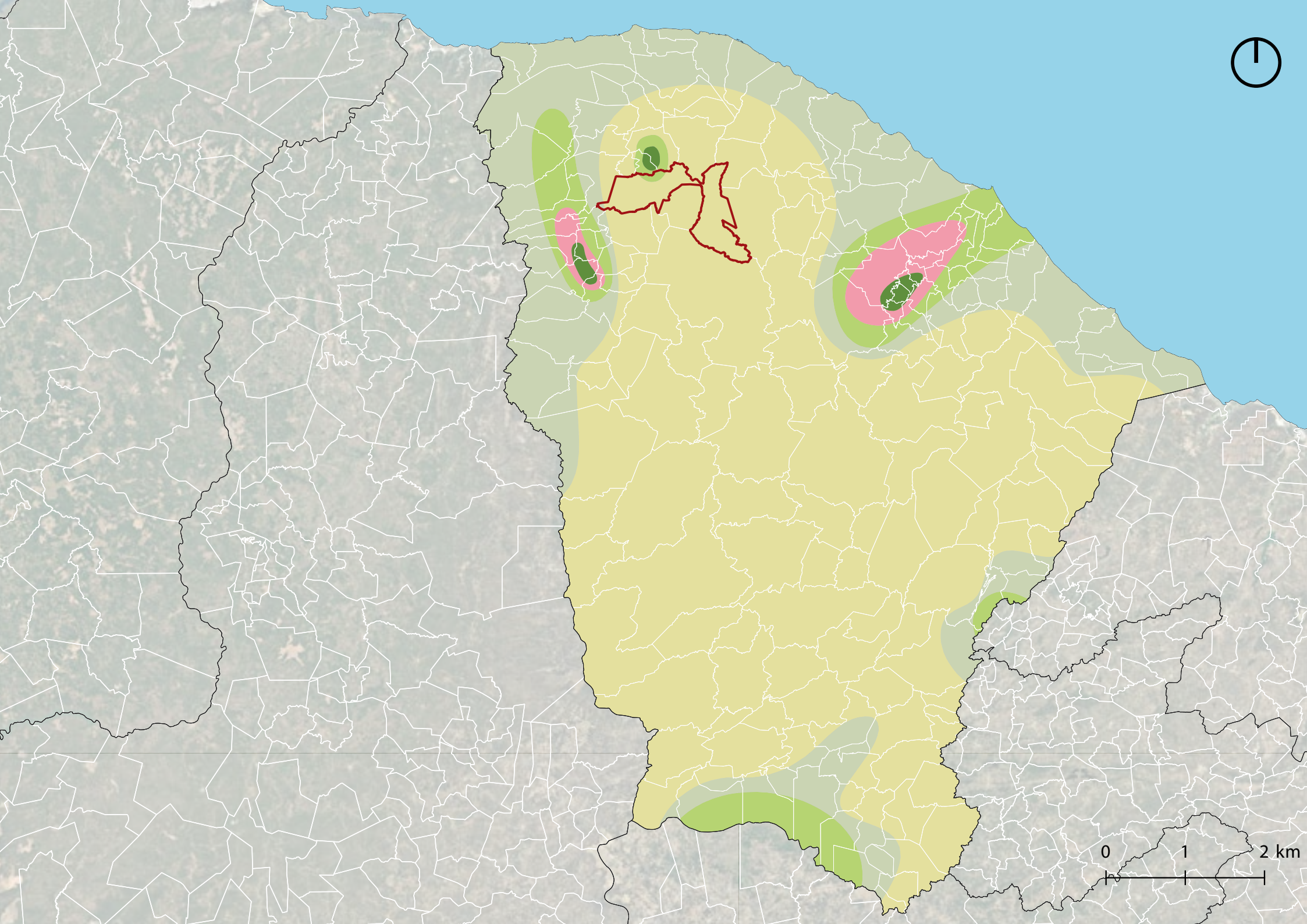
Mapa 4 – Clima do estado do Ceará com destaque para cidade de Sobral. Fonte: Autores.

Legenda

- Município de Sobral
- Limites Municipais

Tipos Climáticos

- Tropical Quente Semi-Árido
- Tropical Quente Semi-Árido Brando
- Tropical Quente Subúmido
- Tropical Quente Úmido
- Tropical Subquente Úmido


0
1
2 km

1.3 HIDROGRAFIA E RECURSOS HÍDRICOS

O Estado do Ceará possui 12 bacias hidrográficas principais. A Bacia do Rio Jaguaribe, a maior do Estado, é crucial para o abastecimento de água, irrigação agrícola e geração de energia hidrelétrica. A Bacia do Rio Acaraú, situada na região norte, é vital para a agricultura e abastecimento urbano, especialmente na cidade de Sobral. No extremo norte, a Bacia do Rio Coreaú contribui para o abastecimento de água, pesca e recreação. No Oeste, a Bacia do Rio Curu sustenta a produção agrícola e abastece diversas comunidades. A Bacia do Rio Salgado, no sul do Ceará, é importante para a região do Cariri, suportando a irrigação e o abastecimento urbano (COGERH, 2022).

A Bacia Metropolitana inclui rios que abastecem a região de Fortaleza, sendo fundamental para a maior concentração populacional do Estado. A Bacia do Rio Banabuiú abastece várias cidades do interior e é usada para irrigação e pesca. A Bacia do Rio Parnaíba é importante para irrigação e abastecimento de água. E as bacias do Rio Poty, Rio Mundaú, Rio Pirangi e Rio Trairi desempenham papéis importantes no fornecimento de recursos hídricos para diversas atividades econômicas e sociais (op. cit.).

A gestão eficiente e sustentável das bacias hidrográficas e a integridade dos ecossistemas são vitais para a manutenção dos serviços ecossistêmicos de abastecimento de água para as pessoas, para a fauna silvestre, para a produção de alimentos pela agricultura, aquicultura e pecuária e para as atividades industriais e culturais das populações urbanas e rurais (op. cit.).

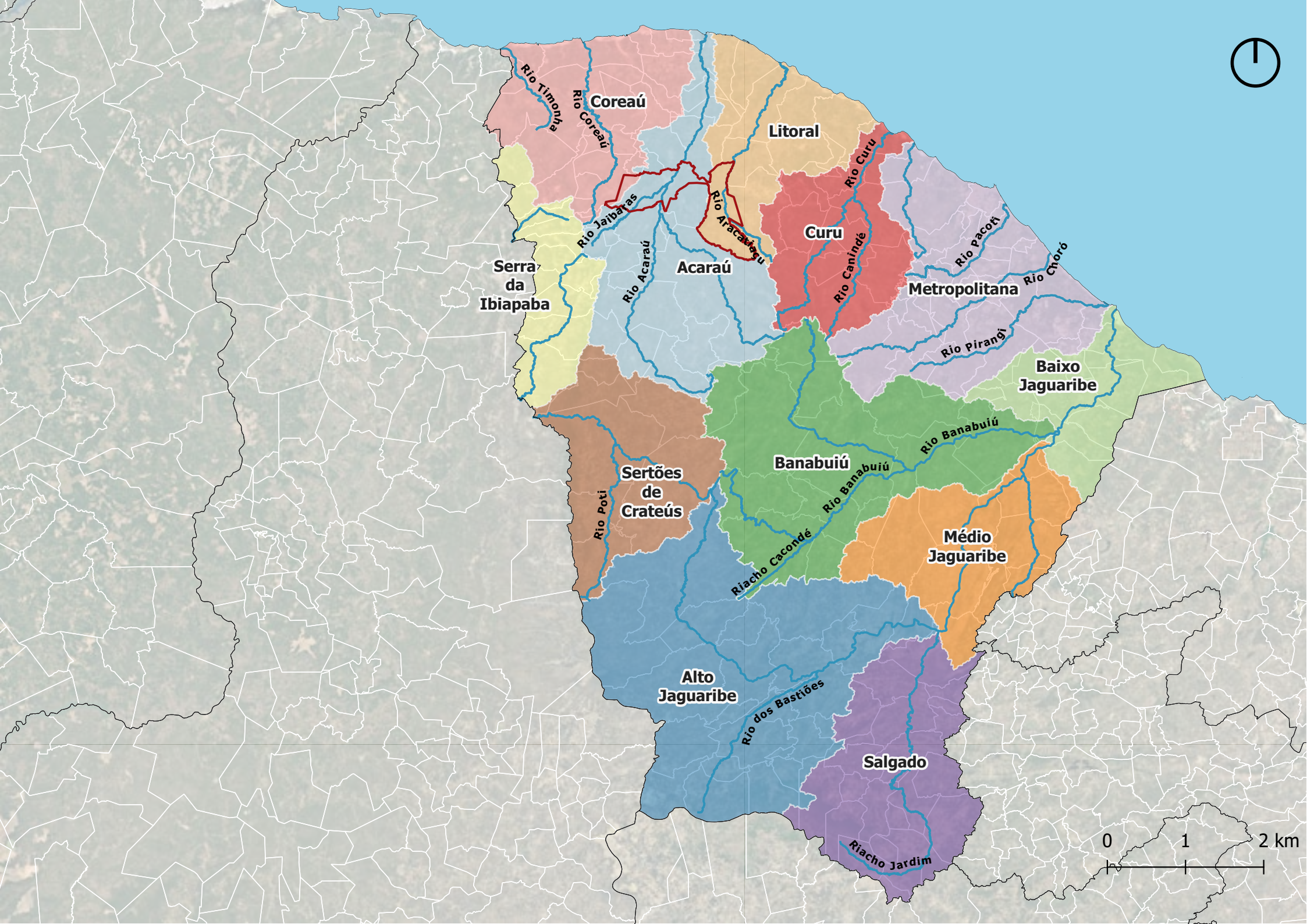
Na cidade de Sobral destaca-se a importância do rio Acaraú para o meio ambiente, a cultura e o desenvolvimento econômico da região. O Acaraú nasce na Serra das Matas (no sertão central cearense) e é alimentado por afluentes importantes como os rios Macacos, Groaíras, Jacurutu e Sabonete (na margem direita) e também o rio Jaibara (margem esquerda). A bacia apresenta alta variabilidade pluviométrica, influenciada pelas serras da Ibiapaba e Meruoca, e contém uma capacidade de acumulação de águas superficiais de 1,707 bilhões de metros cúbicos (m^3), gerenciadas pela COGERH através de 15 açudes públicos (SRH Ceará).

Historicamente, o rio desempenhou um papel econômico crucial para Sobral, sendo fonte de renda e lazer para seus habitantes. Contudo, a urbanização desordenada e a poluição comprometeram significativamente a qualidade das águas e a mata ciliar do rio. Atualmente, a vegetação predominante na região é a caatinga, adaptada ao clima semiárido (IBGE,2017).

Mapa 5 – Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos do estado do Ceará com destaque para cidade de Sobral. Fonte: Autores.

Legenda

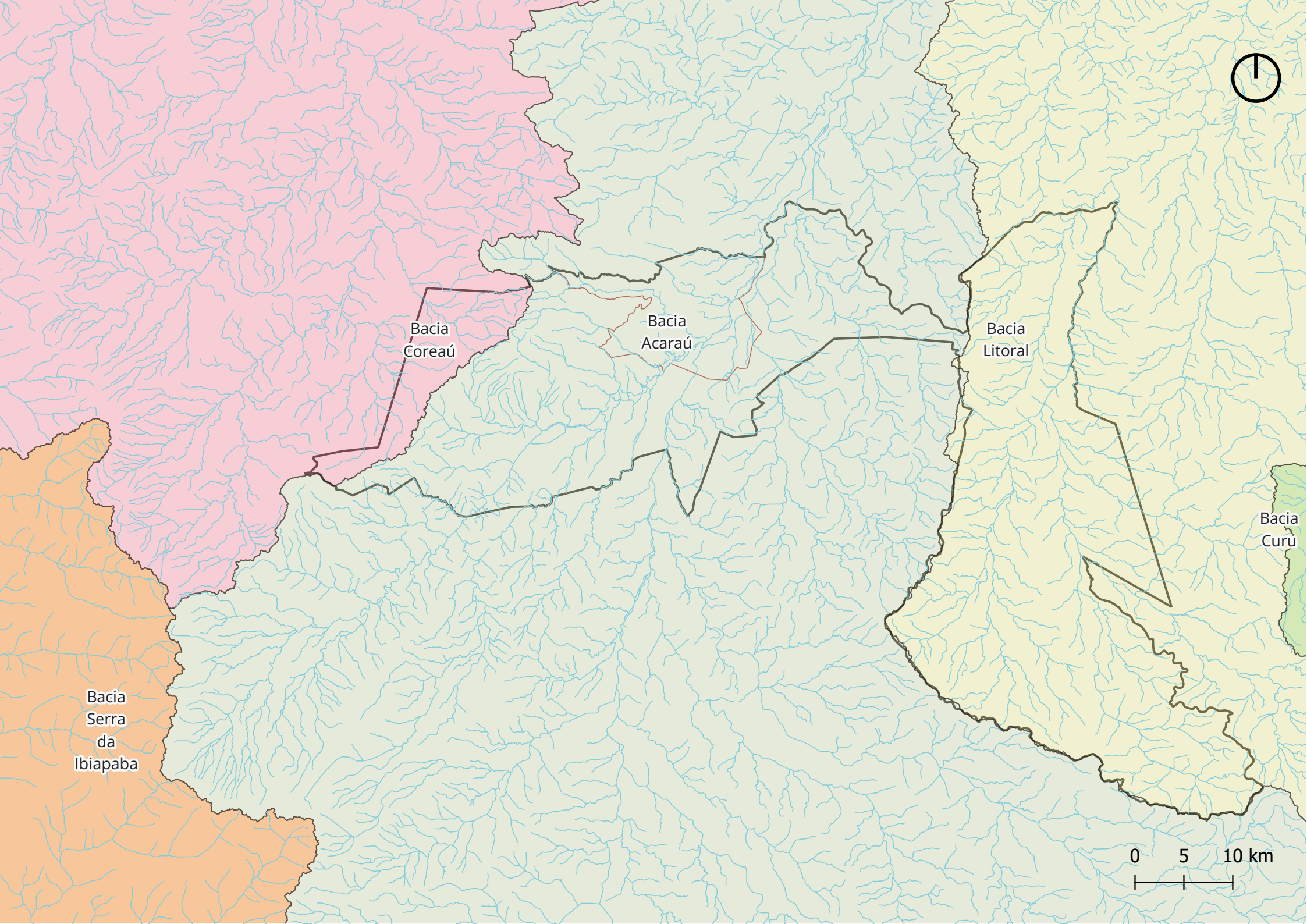
- Limites Estaduais
- Limites Municipais
- Município de Sobral
- Bacias Hidrográficas
- Acaraú
- Alto Jaguaribe
- Baixo Jaguaribe
- Banabuiú
- Coreaú
- Curu
- Litoral
- Médio Jaguaribe
- Metropolitana
- Salgado
- Serra da Ibiapaba
- Sertões de Crateús


Rio Timonha
Rio Coreaú
Coreaú
Litoral
Rio Curu
Rio Jaibaras
Rio Aracatiaçu
Curu
Rio Canindé
Rio Pacoti
Rio Acaraú
Acaraú
Serra da Ibiapaba
Metropolitana
Rio Choró
Rio Pirangi
Baixo Jaguaribe
Rio Banabuiú
Banabuiú
Rio Banabuiú
Sertões de Crateús
Rio Poti
Rio Banabuiú
Médio Jaguaribe
Riacho Cacondé
Alto Jaguaribe
Rio dos Bastiões
Salgado
Riacho Jardim
0
1
2 km

Mapa 6 - Bacias Hidrográficas do município de Sobral, Ceará. Fonte: Autores.

Legenda

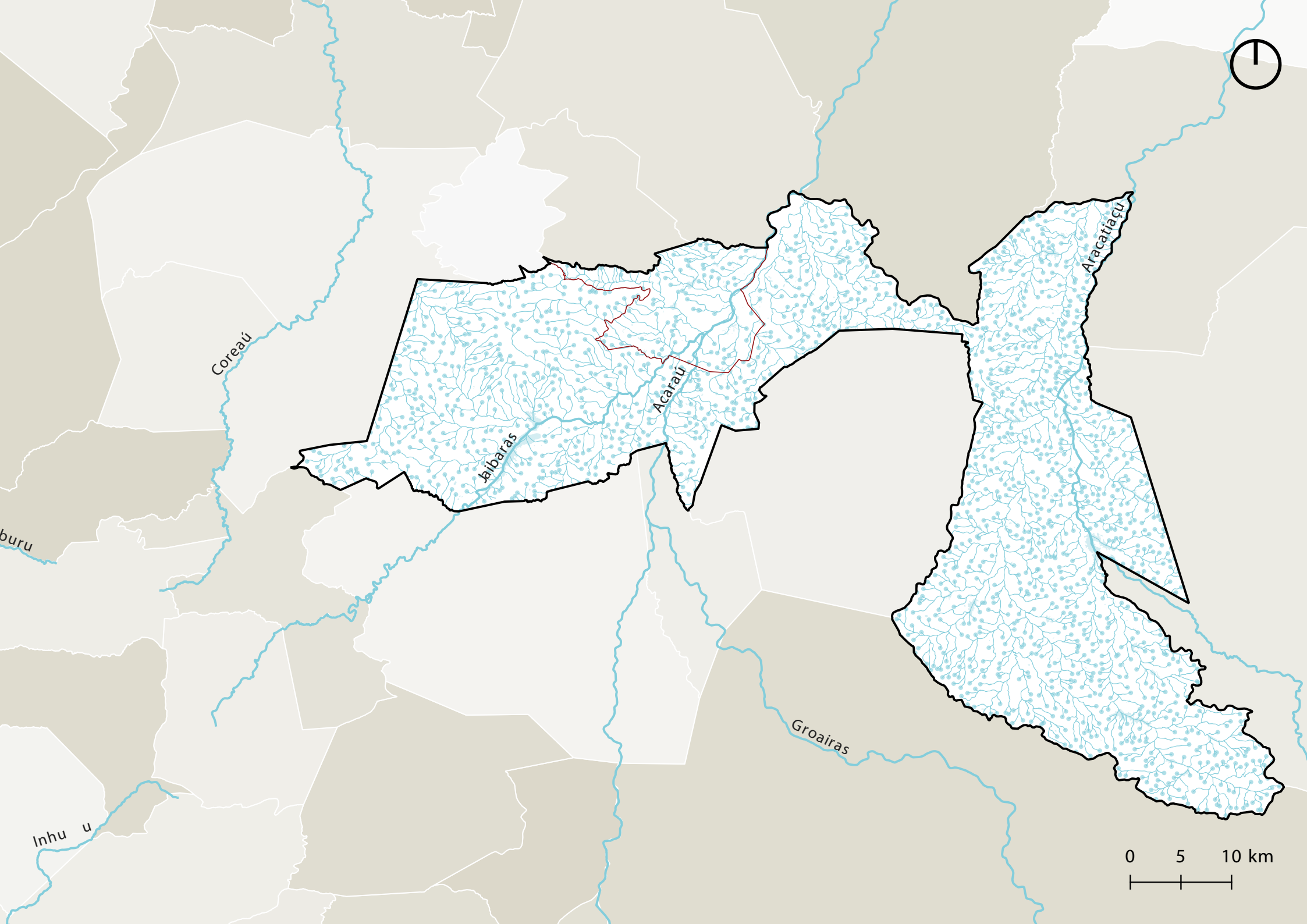
- Hidrografia
- Bacias Hidrográficas
- Acaraú
- Coreaú
- Curu
- Litoral
- Serra da Ibiapaba
- Município de Sobral
- DISTRITO SEDE


Bacia
Coreaú
Bacia
Acaraú
Bacia
Litoral
Bacia
Curu
Bacia
Serra
da
Ibiapaba
0
5
10 km

Mapa 7 - Hidrografia do Município de Sobral, Ceará. Fonte Autores.

Legenda

- **Hidrografia**
- **Nascentes**
- **Município de Sobral**
- **Distrito Sede**


Coreaú
buru
Inhu u
Jaibaras
Acaraú
Araca ia u
Groairas
0 5 10 km

Além do rio Acaraú, são importantes corpos hídricos de Sobral o rio Jaibaras e os riachos Mata Fresca, Mucambinho, Oiticica, Pajeú, Jatobá e Madeira.

Os açudes de Sobral, como o Ayres de Souza, Açude dos Patos, Açude Santo Antônio do Aracatiaçu, Açude Santa Maria, Açude Sobral e o Açude Mucambinho, são importantes fontes de água para consumo humano. Todas essas fontes possuem Área de Preservação Permanente (APP) regulamentada pelo comitê de bacia hidrográfica.

São poucas as áreas sujeitas à inundação em Sobral. Na cidade, esse risco é associado a cheias sazonais do rio Acaraú, que causam refluxo e transbordamentos dos seus afluentes, o rio Jaibaras e os riachos Mucambinho, Mata Fresca e Pajeú, resultando em áreas aluviais sujeitas a inundações (Prefeitura de Sobral, 2020).

1.4 BIOMA E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

A cidade de Sobral, assim como o Estado do Ceará como um todo, está em área de domínio do bioma caatinga. A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, localizado na região Nordeste do Brasil, ocupando 11% do território nacional com uma área de 826.411 km2. Além de no Ceará, a caatinga ocorre em parte do território de Alagoas, Bahia, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. **O nome caatinga é de origem Tupi-Guarani e significa "mata branca", representando uma flora e fauna rica em endemismo, sendo sua biodiversidade adaptada às altas temperaturas e à falta de água** (Embrapa, 2022; Instituto Brasileiro de Florestas, 2020).

As principais características da caatinga são o solo raso e pedregoso, as árvores baixas com troncos tortuosos e espinhosos, e folhas caducas durante o período da seca, com a exceção de algumas espécies, como o juazeiro. São espécies características da caatinga: bromélias, xique-xique, mandacaru, embiratanha, acácia, juazeiro, macambira, maniçoba, umbu e mimosa (Instituto Brasileiro de Florestas, 2020).



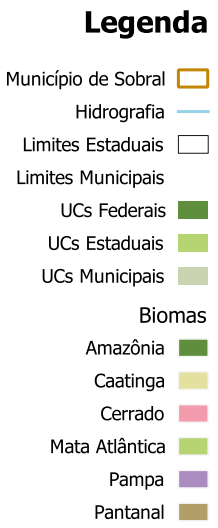
Figura 7 - Rio Acaraú, vista a partir do Parque Margem Esquerda. Fonte: Foto disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Sobral (s/d).

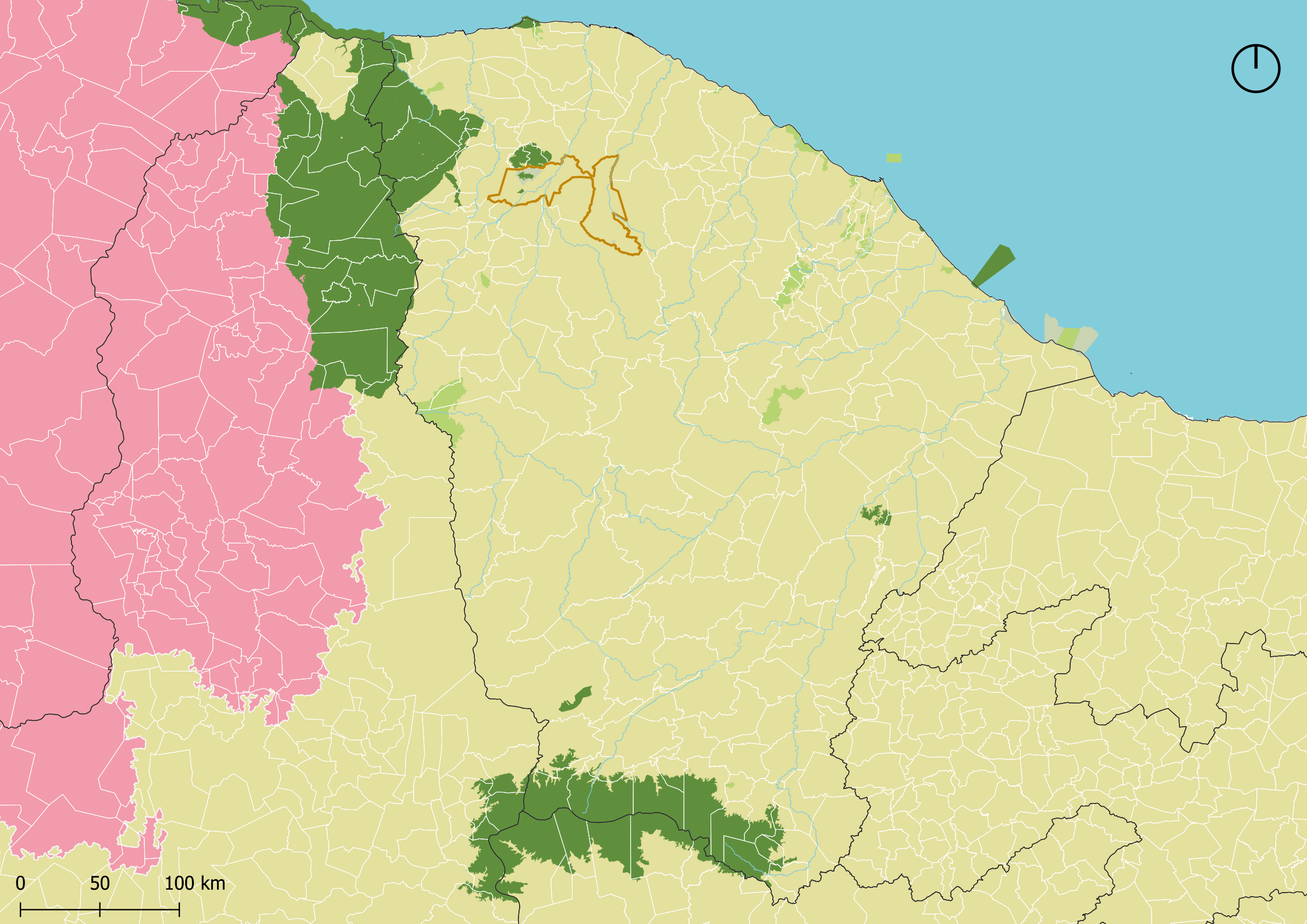
A fauna da caatinga é diversa, representada por 40 espécies de lagartos, 7 de anfisbenídeos (lagartos sem pés), 45 de serpentes, 4 de quelônios, 1 de Crocodylia, 44 de anfíbios anuros e 1 de Gymnophiona. A ararinha-azul, o sapo-cururu, a onça-parda, o macaco-prego, a asa-branca, a cotia, o tatu-bola, o sagui-do-nordeste, o preá, o tatu-peba, o veado-catingueiro, o guigó-da-caatinga e o jacaré-de-papo-amarelo são espécies características da caatinga (op. cit.).

De acordo como o Instituto Brasileiro de Florestas (2020), 46% da área da caatinga já foi desmatada, sendo considerada ameaçada de extinção. As principais ameaças são a substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens, o desmatamento e as queimadas – práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária, que, além de destruir a cobertura vegetal, prejudicam a manutenção de populações da fauna silvestre, a qualidade da água, e o equilíbrio do clima e do solo.

O território do Ceará possui 29 Unidades de Conservação (UC) de nível Estadual e 13 Unidades de Conservação de nível Federal em bioma de caatinga. Dentre as UC, no contexto de Sobral, se destacam: **Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Meruoca; APA da Serra do Rosário; UC de Uso Sustentável Floresta Nacional de Sobral (Flona Sobral); e UC de Proteção Integral Reserva da Vida Silvestre Pedra da Andorinha (REVIS Pedra da Andorinha).**

Mapa 8 – Bioma e Unidades de Conservação do estado do Ceará, com destaque para cidade de Sobral. Fonte: autores.




0
50
100 km

A **Serra da Meruoca** é uma região de grande importância ecológica e socioeconômica, abrangendo partes do município de Sobral, Meruoca e Alcântaras.

Segundo o Instituo Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO, 2018), a APA da Serra da Meruoca foi criada com os objetivos de garantir a conservação dos remanescentes das florestas caducifólias e subcaducifólias; proteger os recursos hídricos, a fauna e a flora silvestres; promover a recomposição da vegetação natural; melhorar a qualidade de vida das populações residentes mediante orientação e disciplina das atividades econômicas locais; ordenar o turismo ecológico; fomentar a educação ambiental e preservar as culturas e tradições locais. A APA é dividida em dois setores: o setor A, com uma área aproximada de 608 hectares, e o setor B, que compreende toda a área acima da cota de 600 metros de altitude.

O Maciço Residual Subúmido da Serra da Meruoca é uma elevação formada por processos erosivos, que deixaram uma massa de rocha mais resistente. Essa característica geomorfológica confere ao maciço um papel crucial na dinâmica ambiental da área, especialmente no que diz respeito ao regime de chuvas, além de ser um marco paisagístico da cidade Sobral e do estado do Ceará. O fator orográfico do Maciço da Meruoca é determinante para a ocorrência de chuvas em Sobral. Quando as massas de ar úmido provenientes do oceano Atlântico encontram o maciço, elas são forçadas a subir. Durante essa ascensão, o ar se resfria, a umidade se condensa e se precipita na forma de chuva. Este fenômeno é conhecido como chuva orográfica. A presença do maciço, portanto, contribui para a elevação dos índices pluviométricos na região, especialmente nas áreas adjacentes (Soares, 2016; Brandão, 2014).

A chuva orográfica é importante para a manutenção dos recursos hídricos e da biodiversidade local. Ela alimenta as nascentes e rios, contribuindo para a disponibilidade de água tanto para o consumo humano quanto para a agricultura. Além disso, as condições subúmidas do Maciço Meruoca suportam uma vegetação mais densa e diversificada, que, por sua vez, desempenha um papel significativo na proteção do solo e na integridade dos ecossistemas locais (Soares, 2016; Brandão, 2014).

Portanto, o Maciço Residual Subúmido da Serra da Meruoca não só define a geomorfologia da região como também exerce uma influência significativa sobre o clima e a hidrologia de Sobral.

Mapa 9 – Unidades de Concervação do Município de Sobral. Fonte: Autores.

Legenda

- Limites Estaduais
- Limites Municipais
- Rios Principais
- Município de Sobral
- UCs Federais
- UCs Estaduais
- UCs Municipais

Biomas

- Caatinga

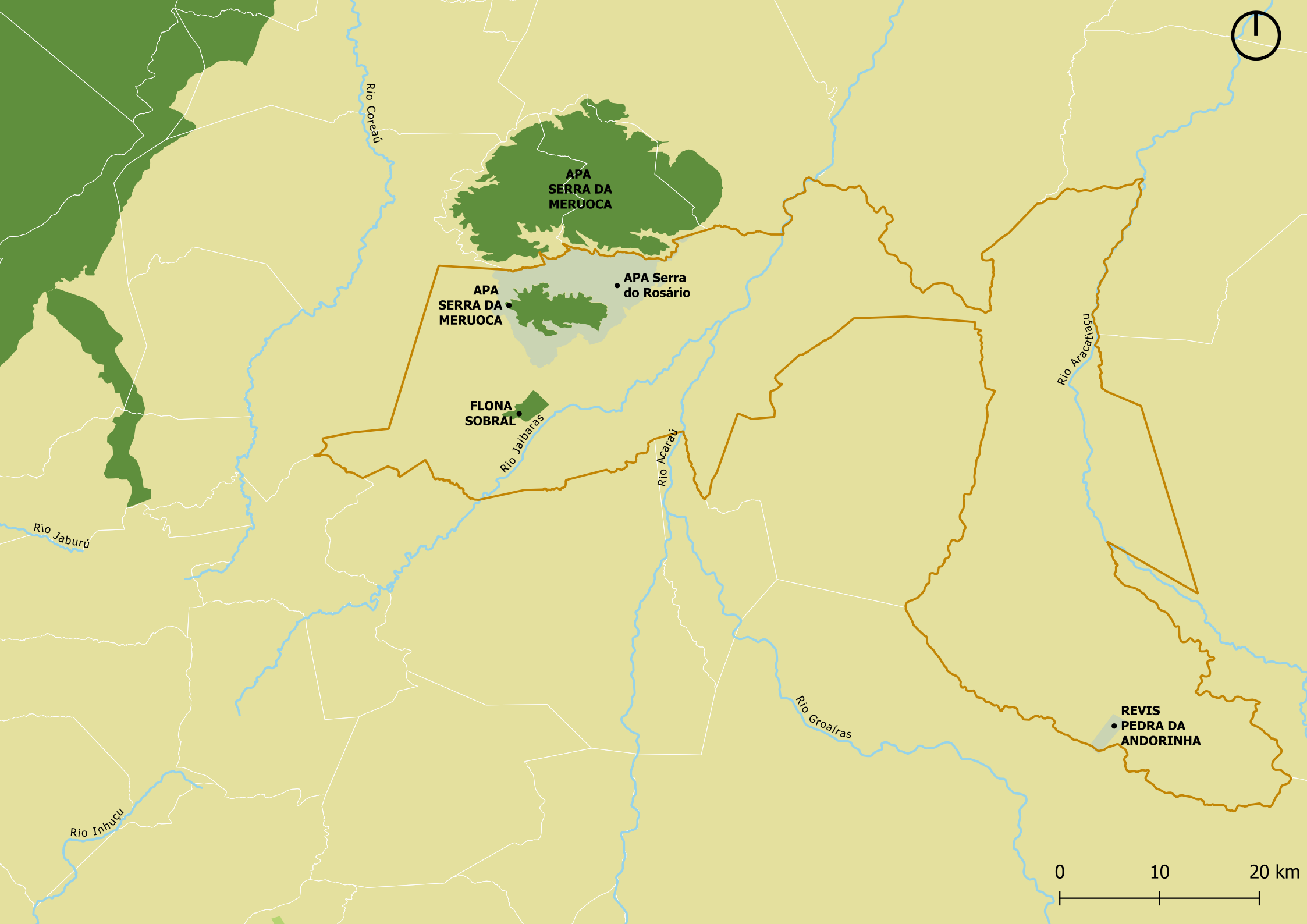

APA
SERRA DA
MERUOCA
APA Serra
do Rosário
APA
SERRA DA
MERUOCA
FLONA
SOBRAL
Rio Coreaú
Rio Jaibaras
Rio Acaraú
Rio Aracatiaçu
Rio Jaburú
Rio Groaíras
REVIS
PEDRA DA
ANDORINHA
Rio Inhuçu
0
10
20 km



Figura 8- Vista para o Parque Pajeú, com a Serra da Meruoca em destaque ao fundo, elemento característico da paisagem de Sobral. Fonte: Foto disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Sobral (s/d)



Figura 9- Vista para o Parque Lagoa da Fazenda, Parque Pajeú e Parque da Cidade, com a Serra da Meruoca em destaque ao fundo, elemento característico da paisagem de Sobral.
Fonte: Foto disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Sobral (s/d).

1.5 DISTRITO SEDE DE SOBRAL

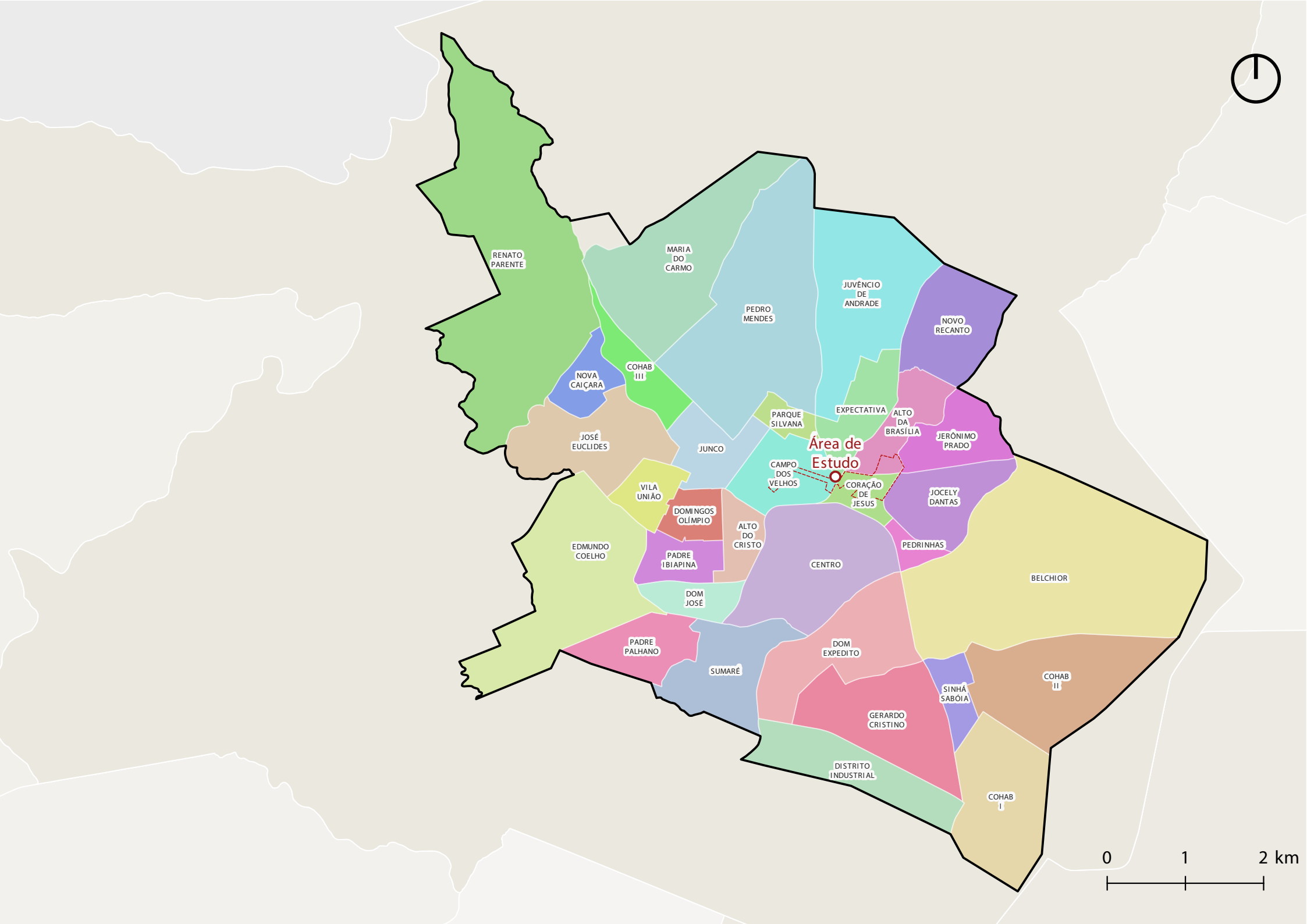
O Distrito Sede de Sobral concentra a maioria da população e dos serviços urbanos da cidade. De acordo com a última revisão, em 2023, o Distrito Sede é dividido em 33 bairros.

Mapa 10 – Mapa dos Bairros do Distrito Sede. Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda

BAIRROS:

- ALTO DA BRASÍLIA
- ALTO DO CRISTO
- BELCHIOR
- CAMPO DOS VELHOS
- CENTRO
- COHAB I
- COHAB II
- COHAB III
- CORAÇÃO DE JESUS
- DISTRITO INDUSTRIAL
- DOM EXPEDITO
- DOM JOSÉ
- DOMINGOS OLÍMPIO
- EDMUNDO COELHO
- EXPECTATIVA
- GERARDO CRISTINO
- JERÔNIMO PRADO
- JOCELY DANTAS
- JOSÉ EUCLIDES
- JUNCO
- JUVÊNCIO DE ANDRADE
- MARIA DO CARMO
- NOVA CAIÇARA
- NOVO RECANTO
- PADRE IBIAPINA
- PADRE PALHANO
- PARQUE SILVANA
- PEDRINHAS
- PEDRO MENDES
- RENATO PARENTE
- SINHÁ SABÓIA
- SUMARÉ
- VILA UNIÃO


RENATO PARENTE
MARIA DO CARMO
PEDRO MENDES
JUVÊNCIO DE ANDRADE
NOVO RECANTO
COHAB III
NOVA CAIÇARA
JOSÉ EUCLIDES
JUNCO
PARQUE SILVANA
EXPECTATIVA
ALTO DA BRASÍLIA
JERÔNIMO PRADO
Área de Estudo
CAMPO DOS VELHOS
CORAÇÃO DE JESUS
JOCELY DANTAS
VILA UNIÃO
DOMINGOS OLÍMPIO
ALTO DO CRISTO
PEDRINHAS
EDMUNDO COELHO
PADRE IBIAPINA
CENTRO
BELCHIOR
DOM JOSÉ
PADRE PALHANO
SUMARÉ
DOM EXPEDITO
COHAB II
SINHÁ SABÓIA
GERARDO CRISTINO
DISTRITO INDUSTRIAL
COHAB I
0
1
2 km

Através de dados do Censo do IBGE de 2022, e da delimitação dos setores censitários e sua sobreposição aos bairros, foi viabilizada uma estimativa aproximada da população residente em cada localidade. Os bairros Centro, José Euclides, Cohab II, Alto da Brasília e Padre Palhano têm maior número de habitantes, enquanto os bairros com maior densidade populacional são Alto do Cristo, Nova Caiçara, Dom José, Sinhá Saboia e Alto Brasília. O mapa destaca a concentração de densidade populacional nos bairros próximos ao Centro, contrastando com uma menor densidade nas áreas periféricas do Distrito Sede.

Com base nos dados demográficos coletados acima, foi realizada uma correlação entre o número de habitantes e a disponibilidade de áreas verdes de lazer, incluindo parques e praças, destacando uma faixa de influência de 300 metros em torno desses locais.

As áreas verdes são bem distribuídas e com boa disponibilidade, especialmente nos setores mais densamente povoados, embora nem todos os bairros atendem, ainda, as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), que indica a disponibilidade de 12m^2 de áreas verdes por habitante.

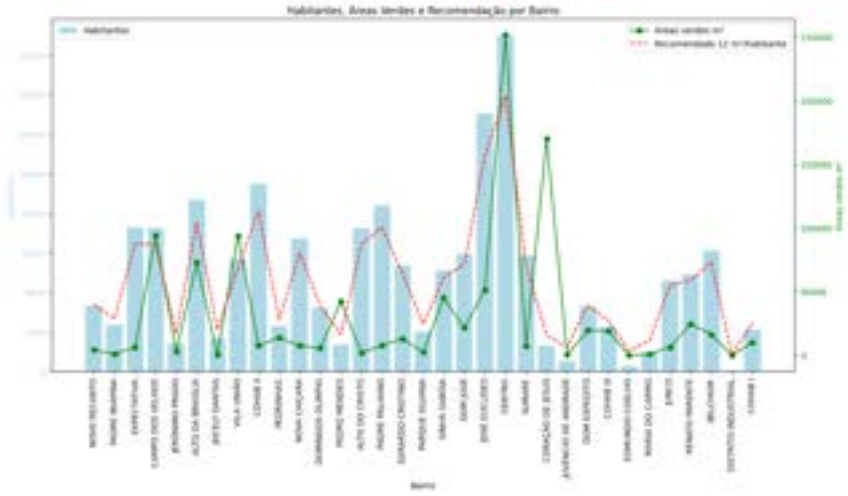


Gráfico 1 – Número de habitantes, quantidade de áreas verdes disponível e recomendação da OMS de quantidade de áreas verdes por número de habitantes (m^2/hab). Fonte: Autores.

Mapa 11 – Mapa Densidade Demográfica x Bairro. Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda

Perímetro Urbano

Área de Estudo

Densidade Demográfica

36 - 82

82 - 337

337 - 1036

1036 - 1783

1783 - 2624

2624 - 3588

3588 - 5633

5633 - 7415

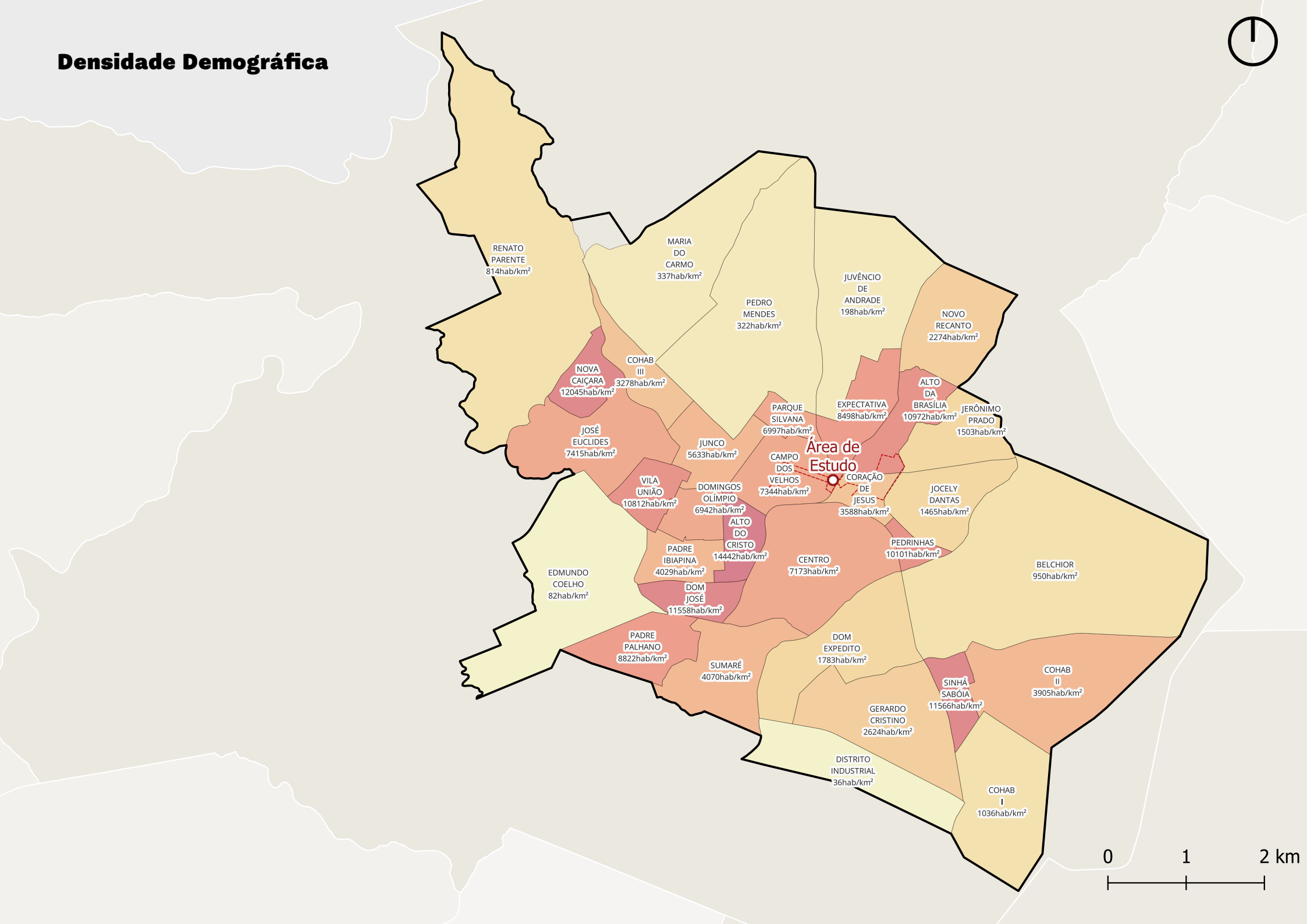
7415 - 8822

8822 - 10972

10972 - 12045

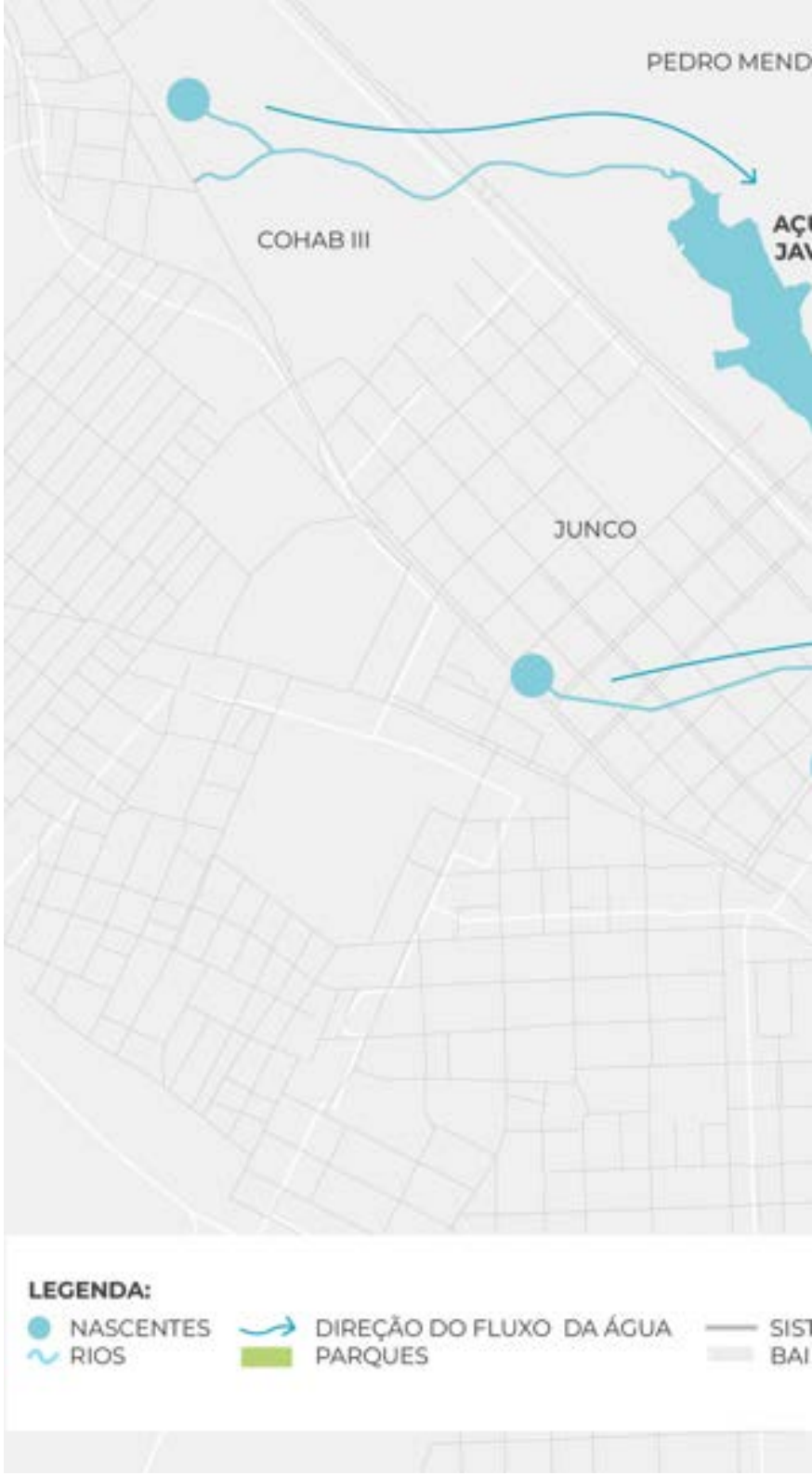
12045 - 14442

Densidade Demográfica



2. OS JARDINS FILTRANTES DO RIACHO PAJEÚ

O riacho Pajeú é um dos afluentes do Rio Acaraú, com extensão total aproximada de 1.500 metros e de largura variável, com não mais do que 10 metros. O riacho possui três nascentes principais, sendo uma delas responsável pelo abastecimento do Açude Javan, localizado no bairro Pedro Mendes; as demais aparentemente seguem ocultas na paisagem até o deságue na galeria de drenagem, localizada no bairro Campo dos Velhos, local que marca o início do curso a céu aberto do riacho Pajeú no Parque da Cidade.





Mapa 12 - Diagrama hidrográfico do riacho Pajeú mostrando seus principais corpos d'água. Fonte: Autores.

O riacho Pajeú foi originalmente caracterizado como corpo hídrico de fluxo intermitente, ou seja, um riacho que tem seu leito seco durante o período de estiagem e fluxo d'água corrente apenas na estação chuvosa. Com o desenvolvimento urbano de Sobral, e a construção do Açude Javan para abastecimento público e produção de esgoto doméstico, o riacho tornou-se perene, escoando, assim, durante todo o ano, com carga constante de águas servidas[1], ou seja, águas que foram alteradas pelo esgoto doméstico, empresarial ou industrial e lavagem de superfícies e de drenagem.

Para tratamento da qualidade do riacho Pajeú, a Prefeitura de Sobral implantou de 2018 a 2020 as Soluções baseadas na Natureza (SbN), conhecidas popularmente como jardins filtrantes, nas margens do riacho, no Parque da Cidade[2] e no Parque Pajeú.

Ao todo, foram implantados 6.772 m2 de jardins filtrantes caracterizados como Sistema de Alagados Construídos (SAC) de fluxo subsuperficial horizontal (com o fluxo das águas servidas ocorrendo na zona de raízes), sendo 15 unidades no Parque da Cidade e 5 no Parque Pajeú. O objetivo principal da implantação dos jardins filtrantes é melhorar a qualidade da água do riacho Pajeú e, consequentemente, da Lagoa da Fazenda, onde ele deságua e é represado, antes de alimentar o Rio Acaraú.

A implantação dos jardins filtrantes aconteceu no mesmo período de criação do Parque Pajeú, inaugurado em 2019 pela Prefeitura de Sobral, marcando uma significativa transformação de uma área total de 50.726 m² (SOBRAL, 2024)[3].

[1] Descritivo do polimento de águas difusas do riacho Pageú através de Sistemas de Alagados Construídos (SACs) e Sistemas de Alagados Naturais (SANs) - Revisão 03. Hidrobotânica (s/d).

[2] No período do início do ano de 2020 até 2021, o parque recebeu obras de revitalização que tiveram como propósito a renovação e restauração dos mobiliários urbanos e o aprimoramento da acessibilidade do parque, visando a torná-lo mais atraente para os frequentadores. Atualmente, o programa de atividades do parque inclui playgrounds, quiosques, ciclovias, pistas de skate e bicicross, cachorródromo e campos polivalentes, além de mesas de xadrez e piquenique. Ao longo do percurso, destacam-se os jardins filtrantes, que proporcionam um impacto visual e paisagístico significativo (SOBRAL, 2024).

[3] Anteriormente à criação do Parque Pajeú, essa área consistia em um terreno alagável, desocupado, mas cercado por ocupações próximas. Uma rua adjacente, popularmente conhecida como "rua da lama" (Rua Maria Alice B. Lima), exemplificava a condição anterior da região. Sua área é delimitada pelas ruas Cel. Diogo Gomes, Francisco Chaves Faustino e Av. José Figueiredo de Paula Pessoa, e se relaciona diretamente com os bairros Coração de Jesus, Alto da Brasília e Expectativa.



Figura 10 - Jardim Filtrante no Parque Pajeú (SAC 02 P.P.) recém implantado. Fonte: Disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Sobral s/d.

2.1 IMPLANTAÇÃO

O projeto original dos jardins filtrantes foi elaborado pelo escritório Architectus, com consultoria técnica do escritório HidroBotânica, e previa a implantação de um sistema de tratamento da qualidade da água, composto por 20 alagados construídos (SAC) de fluxo horizontal subsuperficial lêntico, de aproximadamente 12.000 m², e em torno de 5.185,78 m² de alagados naturais (SAN), plantados diretamente no leito do riacho Pajeú, compreendendo uma área total de tratamento de 17.185,78 m².



Figura 11 – Diagrama do projeto as built dos jardins filtrantes implantados no Parque da Cidade e no Parque Pajeú, em Sobral. Fonte: Autores.


PARQUE PAJEÚ
RIACHO PAJEÚ
Av. José Euclides T. Gomes
Av. José Figueiredo de Paula Pessoa
R. M. Alice Lima
R. Cel. Diogo Gomes
LAGOA
DA
FAZENDA

O projeto as built, elaborado pelo consórcio Geasa/Certare em setembro de 2024, mostrou que foram implantados 20 jardins filtrantes do tipo SAC, com 6.772 m² de área de tratamento.

Foram implantados 15 jardins filtrantes (SAC) no Parque da Cidade, com sistema hidráulico de tratamento independente, sendo 8 jardins filtrantes distribuídos ao longo da margem esquerda do riacho Pajeú e 7 ao longo da margem direita.



Figura 12 - Foto aérea do Parque da Cidade, feita em outubro de 2024. Fonte: Michel Gomes (2024)





Figura 13 - Implantação as built dos jardins filtrantes no Parque da Cidade. Fonte: Autores.

Além disso, tiveram cinco jardins filtrantes no Parque Pajeú, distribuídos ao longo da margem direita do riacho Pajeú, com sistema hidráulico de tratamento em sequência.



Figura 14 - Foto aérea do Parque Pajeú, feita em outubro de 2024. Fonte: Michel Gomes (2024).

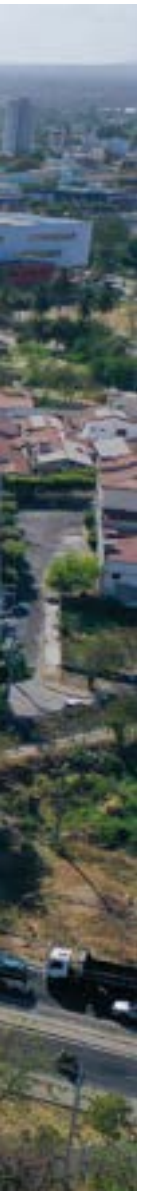




Figura 15 - Implantação as built dos jardins filtrantes no Parque Pajeú. Fonte: Autores.

Local	Numeração do jardim filtrante conforme projeto *as built*		Área prevista no projeto original (m²)	Área implantada no projeto *as built* (m²)
Parque da Cidade	SAC 1	M.E.	981,35	128,8
	SAC 2	M.E.	75,38	179,9
	SAC 3	M.E.	249,79	360,7
	SAC 4	M.E.	205,79	236,6
	SAC 5	M.E.	183,54	318,6
	SAC 6	M.E.	115,63	180,8
	SAC 7	M.E.	1000,23	107,4
	SAC 8	M.E.	890,1	213,6
	SAC 1	M.D.	337,64	270,3
	SAC 2	M.D.	421,86	144,3
	SAC 3	M.D.	472,37	97,4
	SAC 4	M.D.	376,21	188,3
	SAC 5	M.D.	482,39	200,1
	SAC 6	M.D.	139,73	360,1
	SAC 7	M.D.	928,52	213,6
Parque Pajeú	SAC 1	P.P.	463,86	431,8
	SAC 2	P.P.	643,68	422,1
	SAC 3	P.P.	980,35	560,2
	SAC 4	P.P.	1855,17	893,3
	SAC 5	P.P.	1438,58	1264,1

Quadro 3 – Área de Implantação de jardins filtrantes no riacho Pajeú, prevista no projeto original e confirmada no as built

Legenda: M.E.: margem esquerda do riacho Pajeú; M.D.: mtargem direita do riacho Pajeú; P.P.: Parque Pajeú

Com relação aos Sistemas de Alagados Naturais (SAN), o projeto as built concluiu que foi realizado um plantio de espécimes de macrófitas emergentes (plantas aquáticas enraizadas com caule, folhas e flores não submersos) no leito do riacho Pajeú, próximo às margens do riacho em alguns pontos. Entretanto, como esse tipo de plantio difere dos chamados Sistemas de Alagados Naturais[4], o projeto as built não caracterizou o plantio da vegetação macrófita como um Sistema de Alagados Naturais, previsto em projeto como uma área de tratamento.

A seguir, é apresentado o conjunto de desenhos técnicos do projeto as built elaborado pelo consórcio Geasa/ Certare:

[4] *Os sistemas de alagados naturais mimetizam os ecossistemas localizados em áreas planas com solos hidromórficos, naturalmente alagados ou saturados de água por período não inferior a 150 dias ao ano, contínuos ou alternados, excluídas as situações efêmeras de alagamento ou saturação do solo por água apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação, onde existe a ocorrência espontânea de espécies de flora típica macrófita, como os banhados, veredas, campos alagados ou úmidos e regiões pantanosas.*

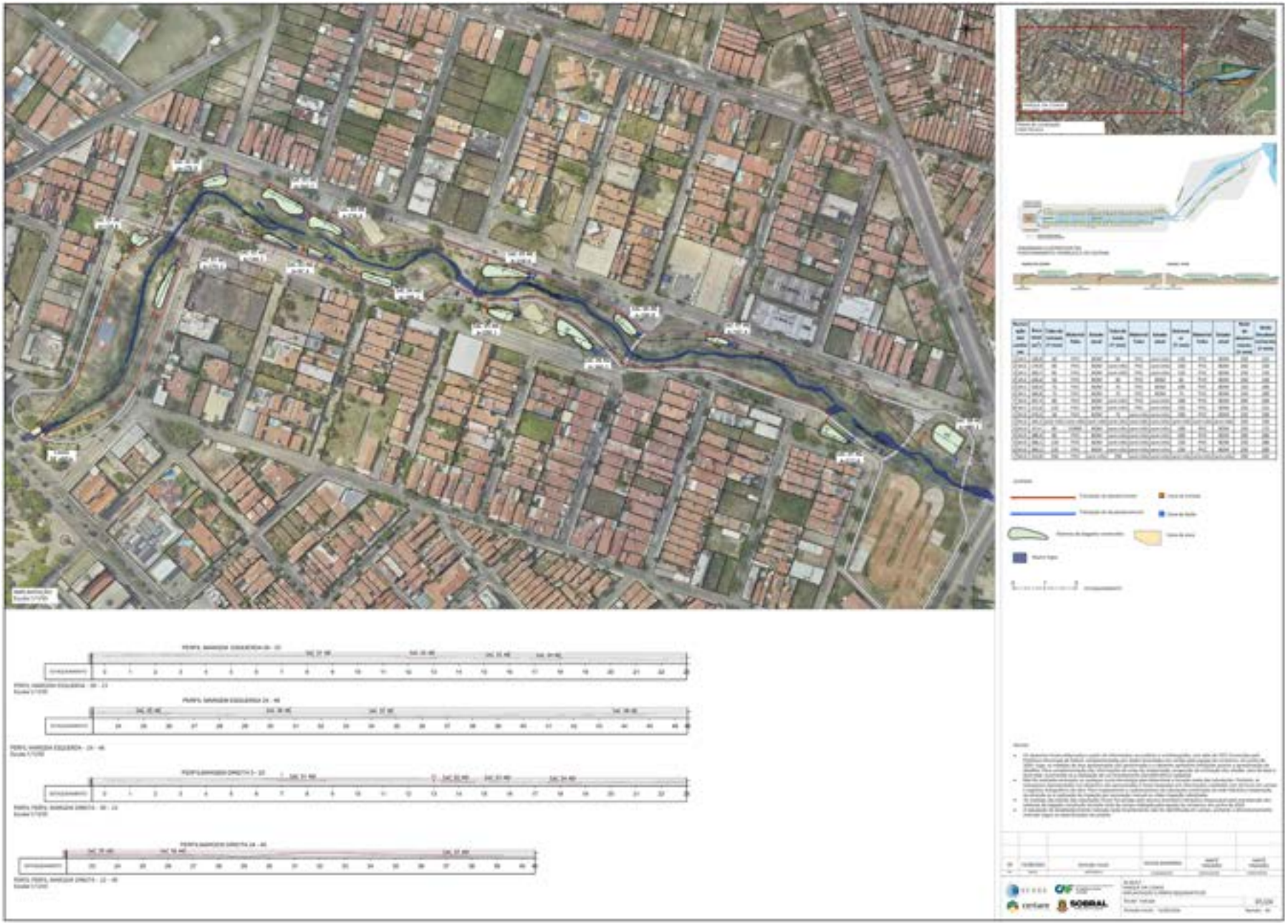


Figura 16 - Parque da Cidade | Implantação e Perfis Esquemáticos (GE-24-001-AB-P2-001-R0 01). Fonte: Autores.



Numeração SAC conforme	Área total (m²)	Tubo de Entrada (ø mm)	Material Tubo	Estado atual	Tubo de Saída (ø mm)	Material Tubo	Estado atual	Extravasor (ø mm)	Material Tubo	Estado atual	Rede de abastecimento (ø mm)	Rede Desabastecimento (ø mm)
1	M.E.	128,8	60	PVC	BOM	60	PVC	sem info	110	PVC	BOM	250	125

Figura 17 - Sistema de Alagado Construído – SAC 01 M.E. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-002-R0). Fonte: Autores.



Figura 18 - Sistema de Alagado Construído – SAC 02 M.E. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-003-R0). Fonte: Autores.



Figura 19 - Sistema de Alagado Construído – SAC 03 M.E. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-004-R0). Fonte: Autores.



Figura 20 - Sistema de Alagado Construído – SAC 04 M.E. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-005-R0). Fonte: Autores.



Figura 21 - Sistema de Alagado Construído – SAC 05 M.E. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-006-R0). Fonte: Autores.

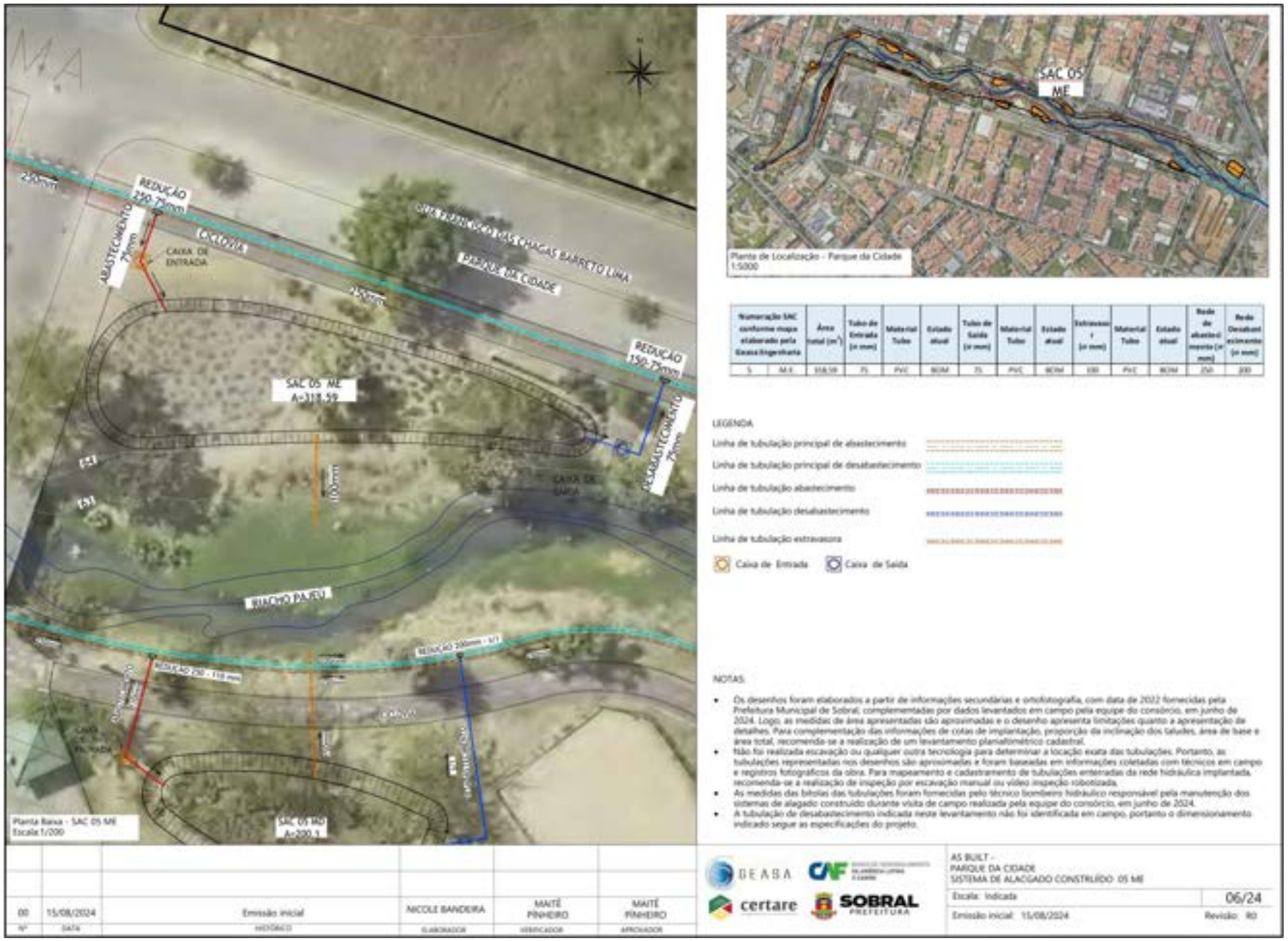


Figura 22 - Sistema de Alagado Construído – SAC 06 M.E. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-007-R0). Fonte: Autores.



Figura 23 - Sistema de Alagado Construído – SAC 07 M.E. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-008-RO). Fonte: Autores.



Numeração SAC conforme mapa elaborado pela Geasa Engenharia		Área total (m²)	Tubo de Entrada (Ø mm)	Material Tubo	Estado atual	Tubo de Saída (Ø mm)	Material Tubo	Estado atual	Extravasor (Ø mm)	Material Tubo	Estado atual	Rede de abastecimento (Ø mm)	Rede Desabastecimento (Ø mm)
7	M.E	LOT.4	60	PVC	BOM	sem info	PVC	sem info	100	PVC	BOM	250	250

Figura 24 - Sistema de Alagado Construído – SAC 08 M.E. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-009-R0). Fonte: Autores.



Figura 25 - Sistema de Alagado Construído – SAC 01 M.D. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-010-RO). Fonte: Autores.



Figura 26 - Sistema de Alagado Construído – SAC 02 M.D. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-011-R0). Fonte: Autores.

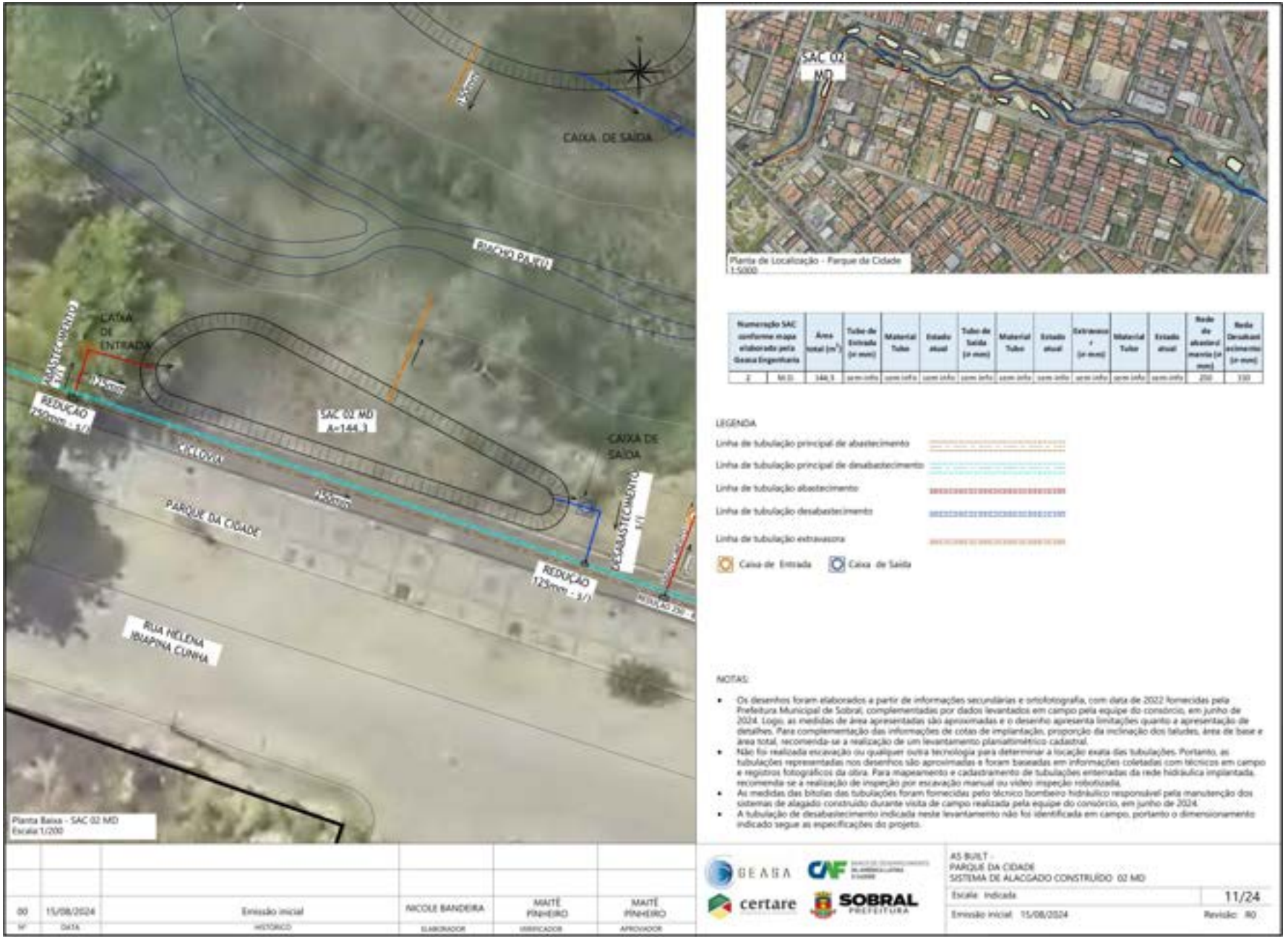


Figura 27 - Sistema de Alagado Construído – SAC 03 M.D. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-012-R0). Fonte: Autores.



Figura 28 - Sistema de Alagado Construído – SAC 04 M.D. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-013-R0). Fonte: Autores.



Figura 29 - Sistema de Alagado Construído – SAC 05 M.D. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-014-R0). Fonte: Autores.



Numeração SAC conforme mapa elaborado pela Gaia Engenharia		Área total (m²)	Tubo de Entrada (ø mm)	Material Tubo	Estado atual	Tubo de Saída (ø mm)	Material Tubo	Estado atual	Extravasor (ø mm)	Material Tubo	Estado atual	Rede de abastecimento (ø mm)	Rede Desabastecimento (ø mm)
6	M.D	360,1	100	PVC	BOM	sem info	sem info	sem info	150	PVC	BOM	250	200

Figura 30 - Sistema de Alagado Construído – SAC 06 M.D. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-015-R0). Fonte: Autores.



Figura 31- Sistema de Alagado Construído – SAC 07 M.D. localizado no Parque da Cidade (GE-24-001-AB-P2-016-R0). Fonte: Autores.



Figura 32- Parque Pajeú | Implantação e Perfis Esquemáticos (GE-24-001-AB-P2-017-R0). Fonte: Autores.



Figura 33 - Sistema de Alagado Construído SAC 01 P.P. localizado no Parque Pajeú (GE-24-001-AB-P2-018-R0). Fonte: Autores.



Figura 34 - Sistema de Alagado Construído SAC 02 P.P. localizado no Parque Pajeú (GE-24-001-AB-P2-019-RO). Fonte: Autores.



Figura 35 - Sistema de Alagado Construído SAC 03 P.P. localizado no Parque Pajeú (GE-24-001-AB-P2-020-R0). Fonte: Autores.



Figura 36 - Sistema de Alagado Construído SAC 04 P.P. localizado no Parque Pajeú (GE-24-001-AB-P2-021-R0). Fonte: Autores.



Numeração SAC conforme mapa elaborado pela Geasa Engenharia		Área total (m²)	Tubo de Entrada (ø mm)		Material Tubo	Estado atual	Tubo de Saída (ø mm)		Material Tubo	Estado atual
5	P.P.	1264,1	250	225	PVC	sem info	250	225	PVC	PVC

Figura 37 - Sistema de Alagado Construído SAC 05 P.P. localizado no Parque Pajeú (GE-24-001-AB-P2-022-R0). Fonte: Autores.

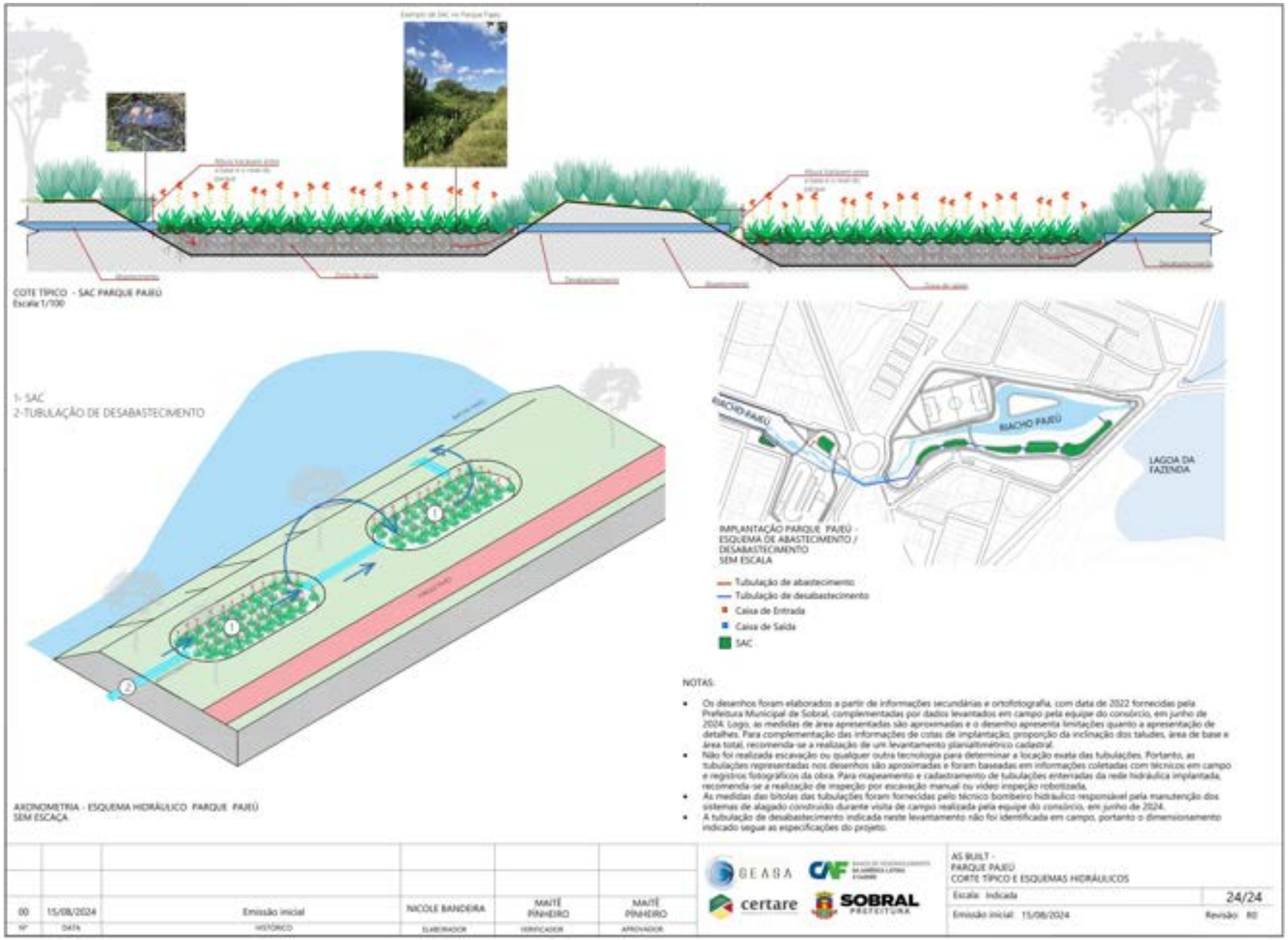


Figura 38- Parque da Cidade | Corte Típico e Esquemas Hidráulicos (GE-24-001-AB-P2-023-R0). Fonte: Autores.

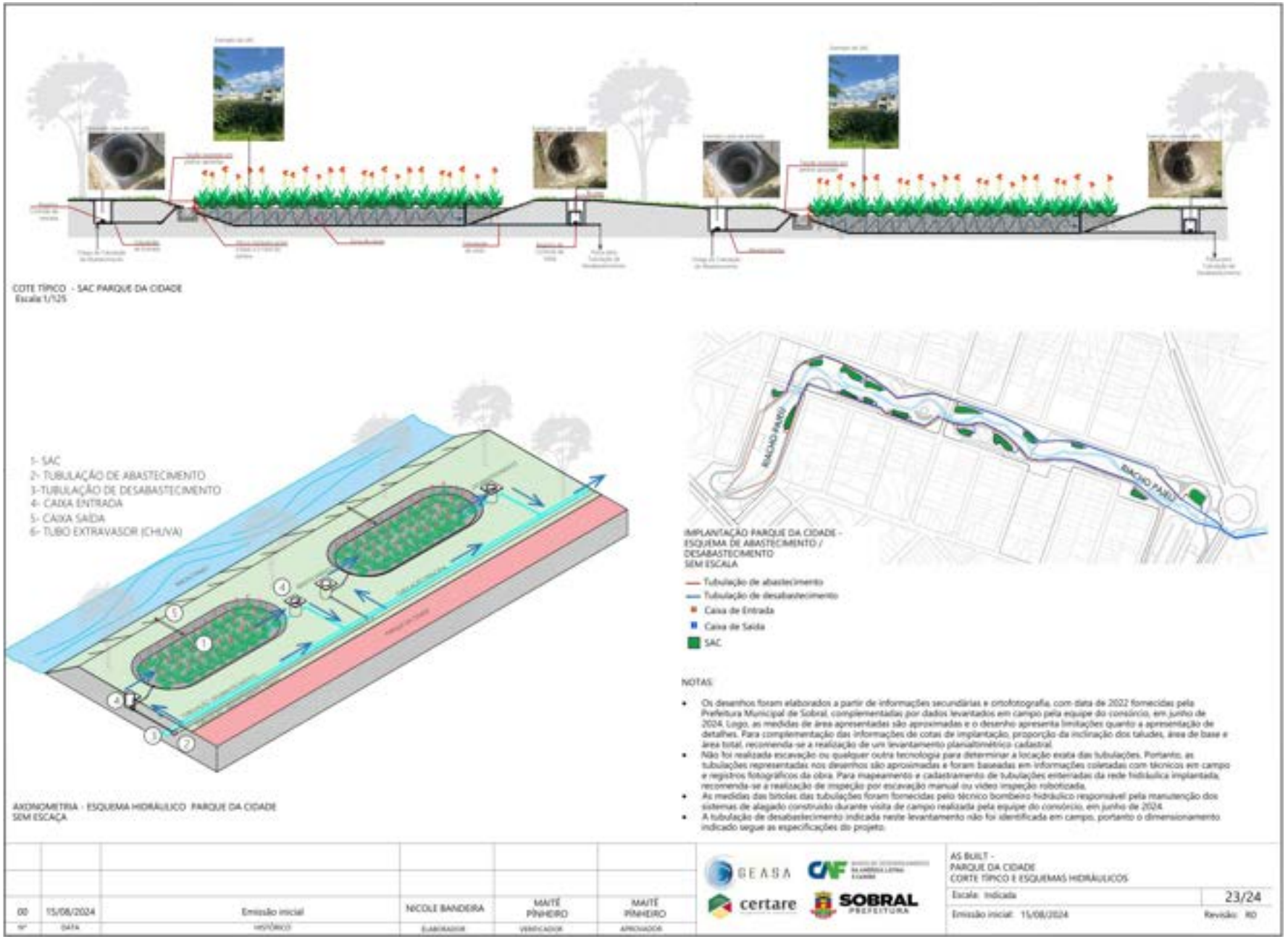


Figura 39 - Parque Pajeú | Corte Típico e Esquemas Hidráulicos (GE-24-001-AB-P2-024-R0). Fonte: Autores.

2.2 SISTEMA HIDRÁULICO

Os 20 jardins filtrantes do riacho Pajeú possuem um sistema hidráulico de fluxo subsuperficial horizontal e são abastecidos unicamente pelas águas que desaguam no Parque da Cidade por meio de galeria de drenagem principal.

Após o deságue, a primeira etapa de tratamento da qualidade das águas acontece na caixa de areia localizada à frente da galeria de drenagem principal do riacho do Pajeú, no Parque da Cidade. A caixa de areia tem função de retenção de sólidos em suspensão, com objetivo de prevenir a colmatação do sistema, ou seja, evitar a redução da capacidade de infiltração da água nos jardins filtrantes pela deposição de material sólido suspenso na água nos vazios do substrato de plantio.



Figura 40 - Caixa de areia, primeira etapa de tratamento das águas do riacho Pajeú. Foto: Autores, 2024.

Após passar pela caixa de areia, a água é coletada em duas caixas de passagem, uma do lado direto da caixa de areia e a outra do lado esquerdo, de onde são direcionadas para tubulações, chamadas de ramais, de 250 milímetros (mm). Cada caixa de passagem possui um ramal, sendo um que segue pela margem esquerda do riacho Pajeú e outro que segue pela margem direita.



Figura 41 - Ramal na margem esquerda. Fonte: Autores (2024).



Figura 42 - Ramal na margem direita. Fonte: Autores (2024).

O ramal localizado à direita abastece cada um dos 7 jardins filtrantes implantados no Parque da Cidade ao longo da margem direita do riacho Pajeú. O mesmo esquema acontece com o ramal do lado esquerdo, que abastece os 8 jardins filtrantes implantados no Parque da Cidade ao longo da margem esquerda do riacho Pajeú.

Cada jardim filtrante do Parque da Cidade possui um sistema de coleta da água após sua passagem pela zona de raízes para uma rede (tubo) chamada sistema de desabastecimento. Os jardins filtrantes da margem esquerda possuem uma rede de sistema de desabastecimento, assim como os jardins filtrantes da margem direita.

Desse modo, a água que passa por cada um dos jardins filtrantes é conduzida por essas duas redes de desabastecimento que, ao final do Parque da Cidade, seguem paralelas na margem direita do riacho Pajeú até desaguarem no primeiro jardim filtrante do Parque Pajeú.

Cada um dos 15 alagados construídos no Parque da Cidade possui um tubo extravasor que controla o nível da lâmina d'água acima da camada do substrato. Quando a água sobe até a cota do tubo extravasor, a água é lançada no riacho Pajeú. O tubo extravasor tem seu funcionamento durante os eventos de precipitação.



Figura 43 – Redes de desabastecimento seguindo para o Parque Pajeú. Fonte: Fotos de acompanhamento da obra disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Sobral (2020).



Figura 44 - Tubo extravasor. Fonte: Autores(2024).



1. Primeira etapa de tratamento (caixa de areia)
2. Primeira etapa de tratamento (caixa de areia)
3. Escavação de vala para tubulações de abastecimento e desabastecimento
4. Assentamento de tubulação
5. Instalação das conexões
6. *By Pass* de saída de desabastecimento
7. Caixa de Abastecimento
8. Abertura do SAC
9. Colocação da manta PEAD
10. Manta geotêxtil
11. Enchimento dos tanques com brita
12. Plantio das mudas

Figura 45- Elementos do sistema – fase da obra. Fonte: Fotos disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Sobral (s/d)

Diferente dos jardins filtrantes do Parque da Cidade, os cinco alagados construídos no Parque Pajeú funcionam em sequência. A água passa do primeiro jardim filtrante para o segundo, por duas tubulações paralelas que coletam a água na superfície do jardim, e assim por diante até chegar ao quinto jardim filtrante, onde desagua em uma lagoa projetada no Parque Pajeú. Os diagramas a seguir ilustram o funcionamento do sistema:

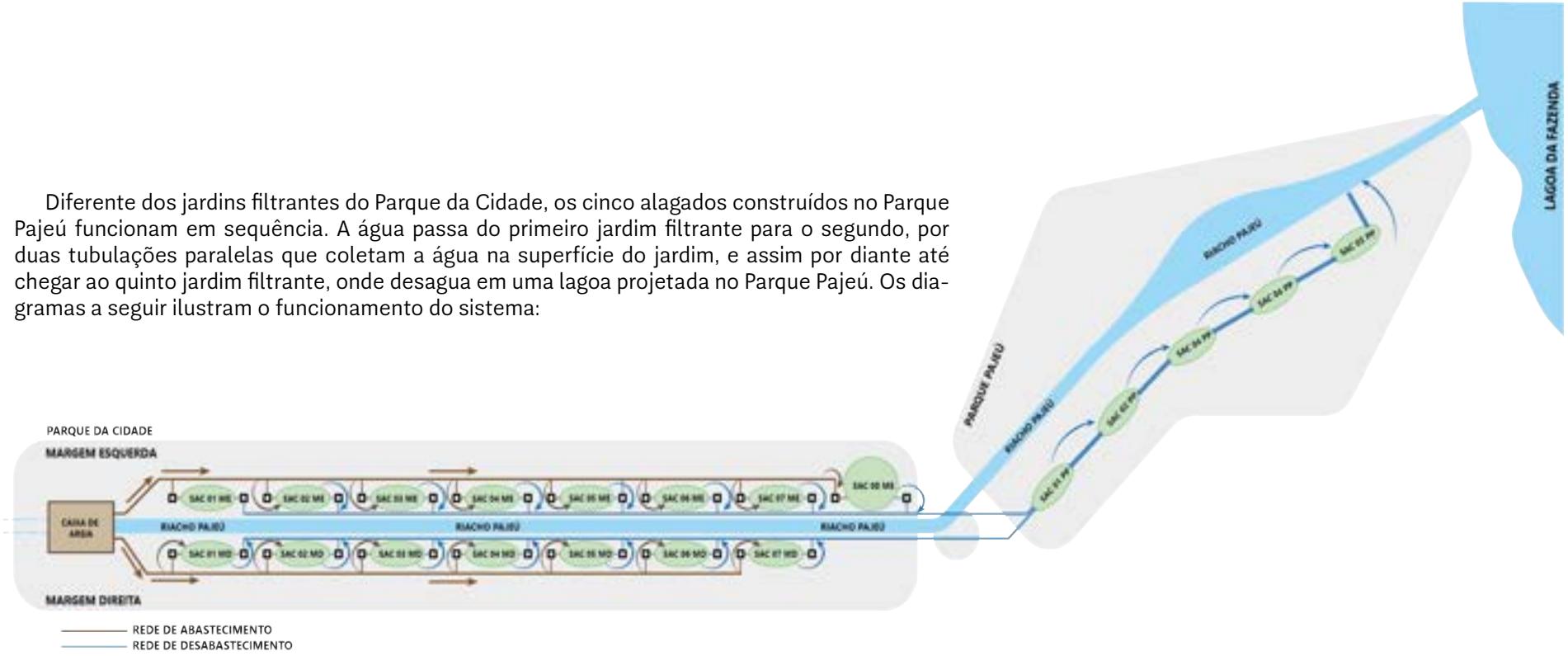


Figura 46 – Diagrama do esquema hidráulico do Sistema de Alagados Construídos (SAC), em planta baixa, do Parque da Cidade e Parque Pajeú. Fonte: Autores.



Figura 47 – Diagrama do esquema hidráulico do Sistema de Alagados Construídos (SAC), em perfil, do Parque da Cidade e Parque Pajeú. Fonte: Autores.

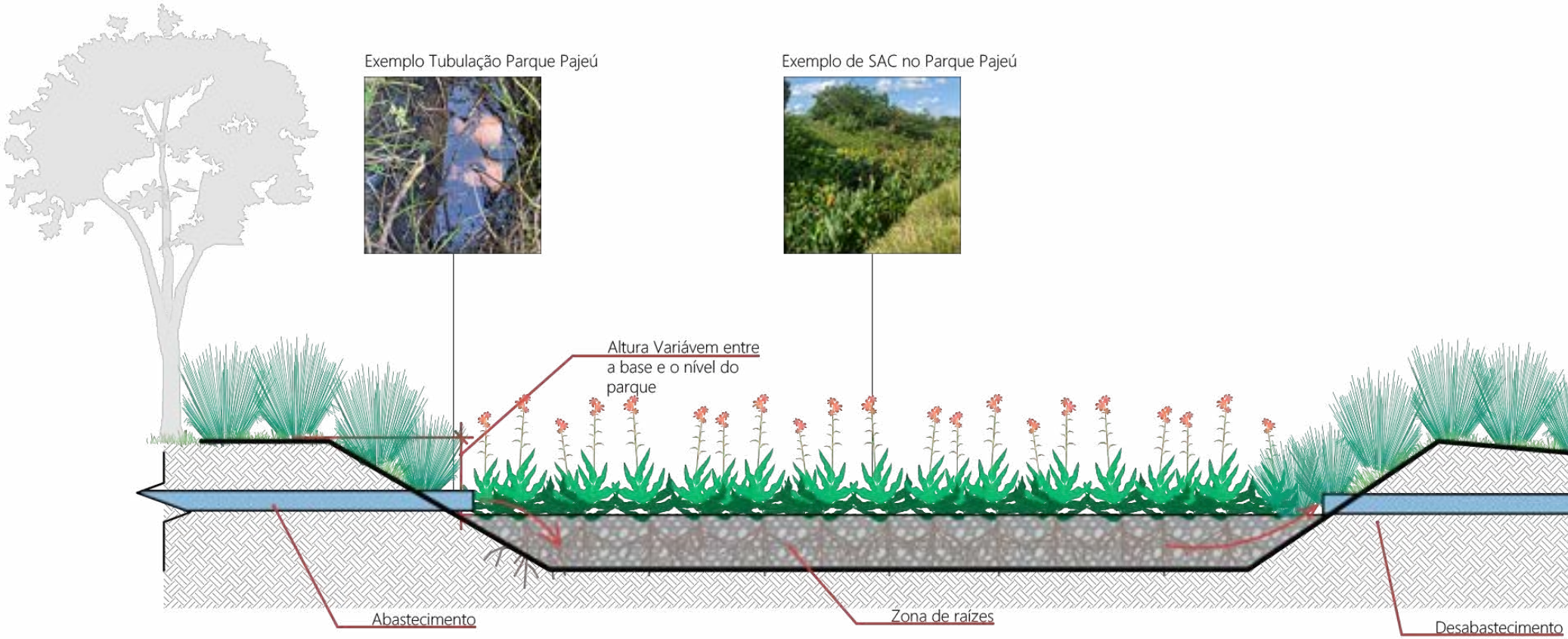
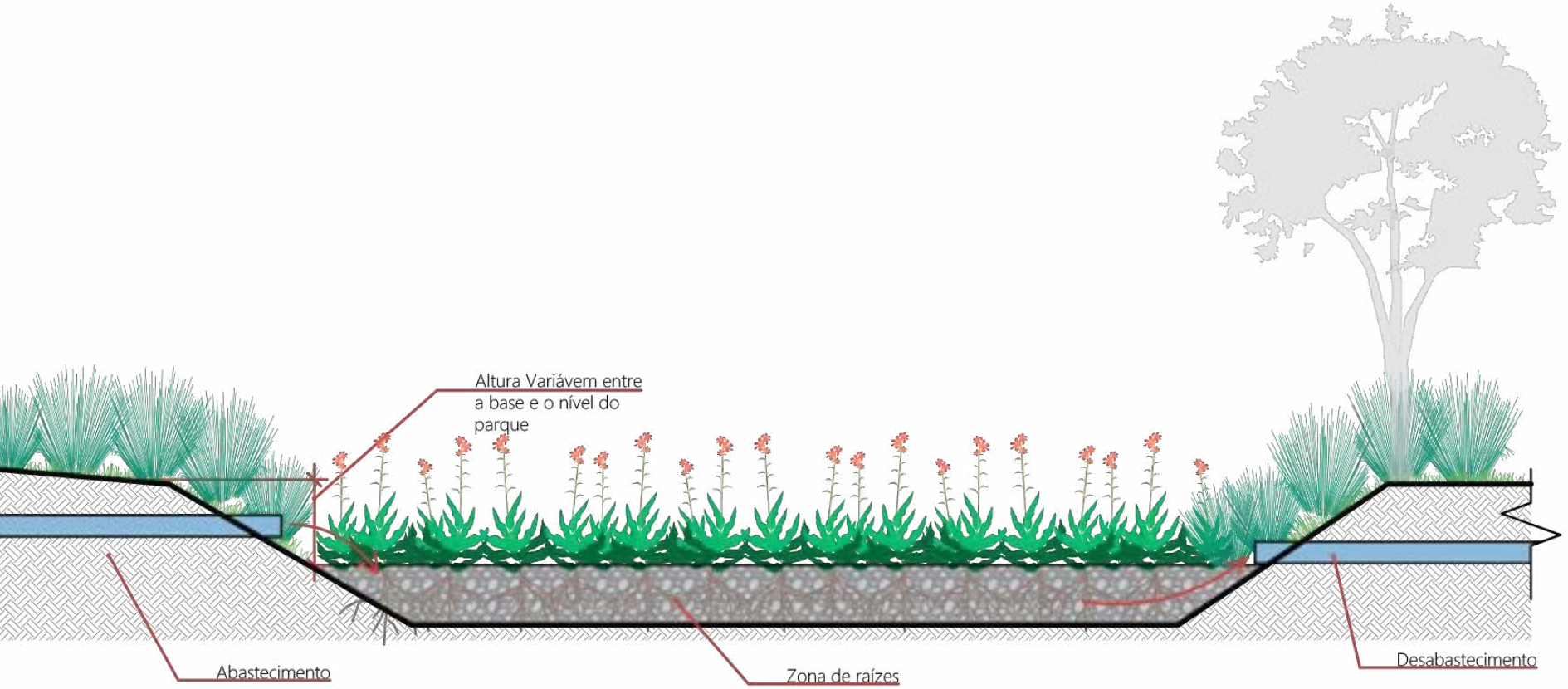


Figura 48 - Corte típico dos jardins filtrantes do Parque da Cidade. Fonte: Autores.


Altura Variávem entre
a base e o nível do
parque
Abastecimento
Zona de raízes
Desabastecimento

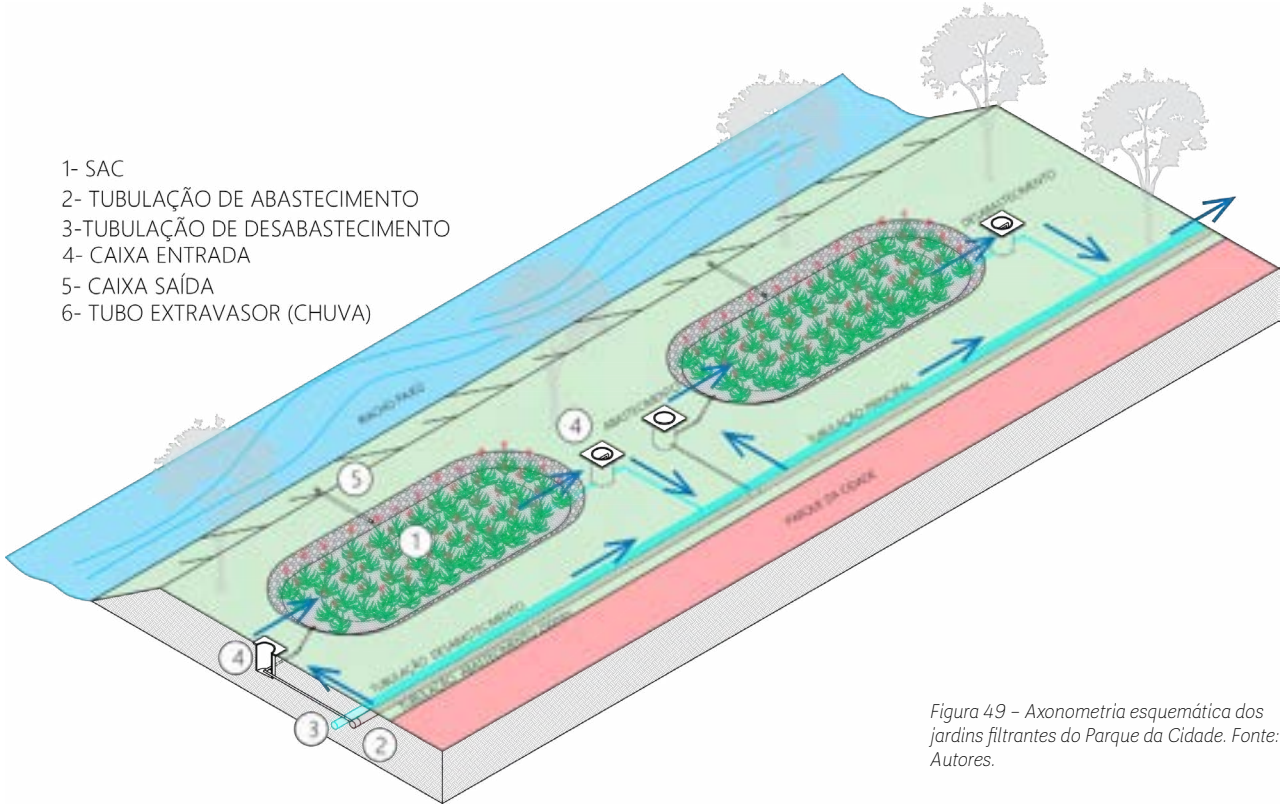


Figura 49 – Axonometria esquemática dos jardins filtrantes do Parque da Cidade. Fonte: Autores.

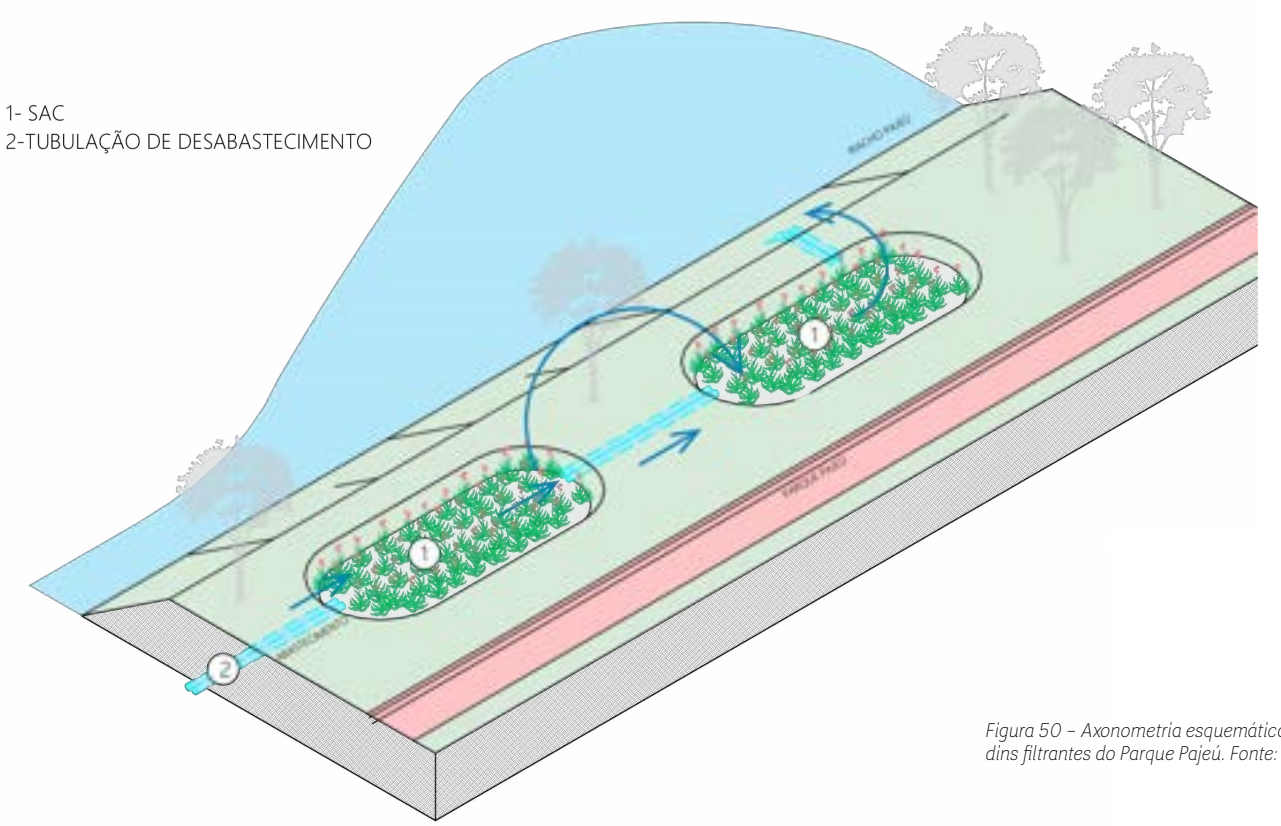


Figura 50 – Axonometria esquemática dos jardins filtrantes do Parque Pajeú. Fonte: Autores

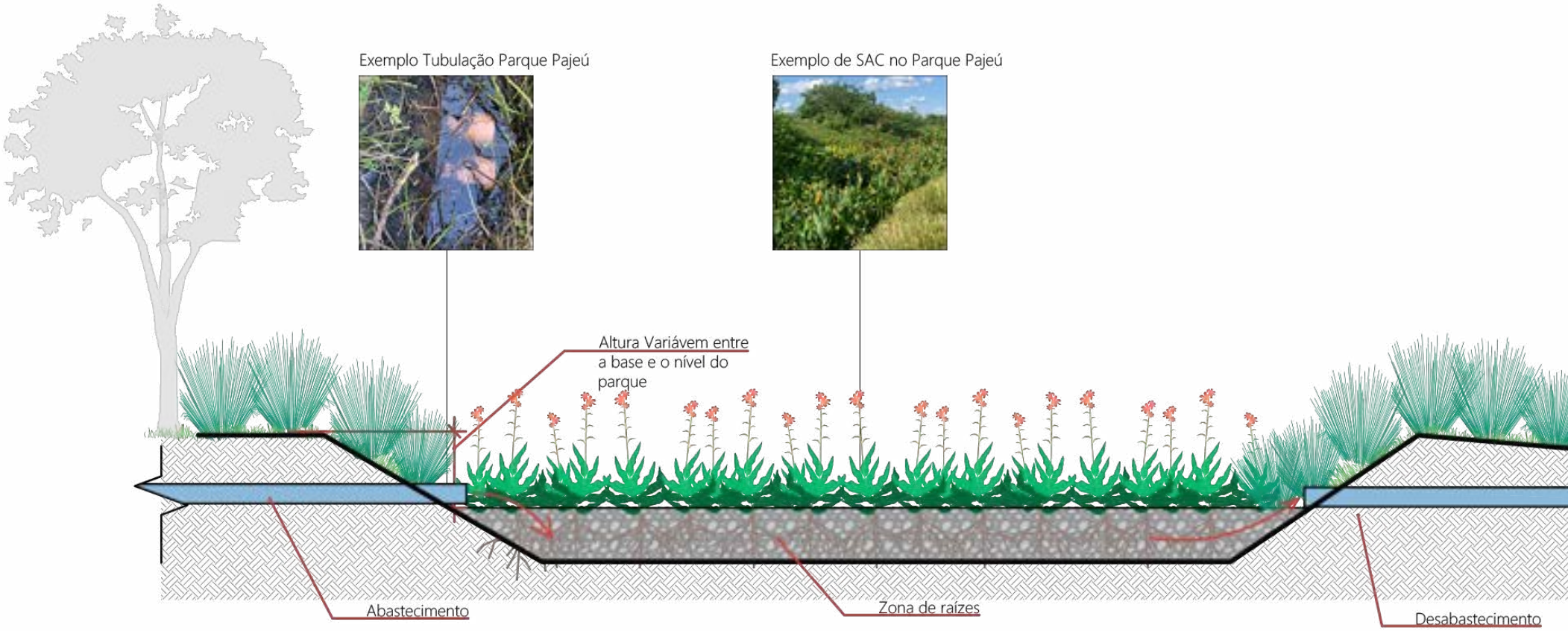
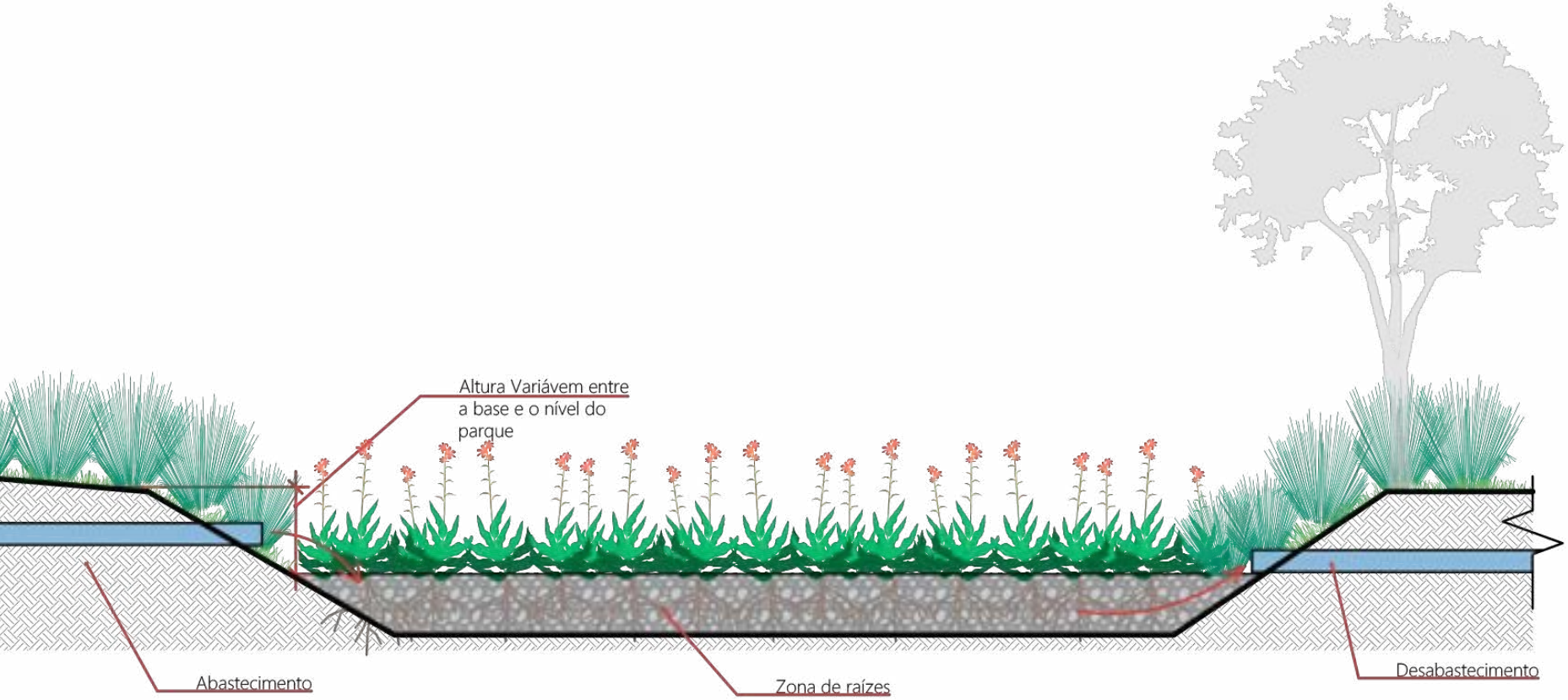


Figura 51 - Corte típico dos jardins filtrantes do Parque Pajeú. Fonte: Autores.


Altura Variávem entre
a base e o nível do
parque
Abastecimento
Zona de raízes
Desabastecimento

2.3 PAISAGISMO

O paisagismo dos jardins filtrantes é feito com plantas macrófitas, popularmente conhecidas como plantas aquáticas e plantas terrestres adaptadas aos ambientes úmidos.

Nos jardins filtrantes do riacho Pajeú, a planta mais usada é a espécie Canna glauca, conhecida como cana do brejo, uma macrófita emergente, nativa da flora brasileira.

As macrófitas são plantas características dos ecossistemas de zonas úmidas, lagos, pântanos, rios e riachos, lagoas, ecossistemas de águas salobras, estuários e águas costeiras. De acordo com estudos realizados por Pinheiro (2017), essa vegetação desempenha funções-chave nos ciclos bioquímicos e atua como sumidouro de carbono. Elas têm papel extremamente importante na integridade dos ecossistemas com o estabelecimento do nicho ecológico na zona de transição entre os ambientes aquático e terrestre, servindo de tocaia para predadores, locais para repouso e reprodução da fauna aquática (desova e deposição de ovos fertilizados) e para aves e outros animais terrestres. São ainda um recurso alimentar importante para os organismos aquáticos pois fornecem matéria orgânica viva (cadeia alimentar de pastagem) e morta (teias alimentares detritívoras) para os ecossistemas aquáticos.

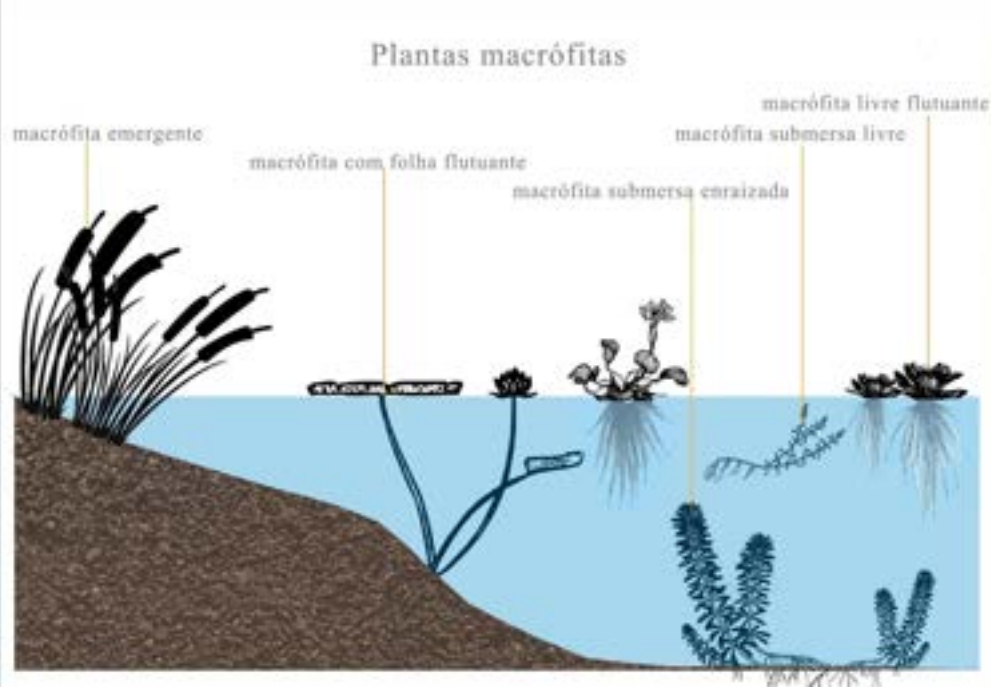


Figura 52 – Tipos de plantas macrófitas. Fonte: Pinheiro (2017).

As plantas macrófitas podem ser classificadas de acordo com o seu hábito de vida em cinco tipos diferentes:

1. **Macrófitas livres-flutuantes:** plantas que vivem flutuando na superfície da água com as raízes e folhas livres na coluna d´água;

2. **Macrófitas com folhas flutuantes (flutuantes fixas):** plantas que têm folhas flutuando na superfície, caules submersos e raízes ancoradas ao substrato;

3. **Macrófitas submersas enraizadas:** plantas que vivem enraizadas ao sedimento com os tecidos aéreos submersos na coluna d´água;

4. **Macrófitas submersas livres:** vivem soltas na coluna d´água emersas. Podem se fixar a pecíolos e caules de outras macrófitas;

5. **Macrófitas emersas ou emergentes:** plantas que ficam enraizadas no sedimento e com os tecidos aéreos acima da água.

Entretanto, a proliferação excessiva de plantas macrófitas devido à poluição das águas por esgoto e pela perda de biodiversidade que reduz os seus predadores naturais, acarreta desequilíbrio ecológico, degradação ambiental e prejuízos para as atividades de produção de alimento, água e energia, para o transporte hidroviário e atividades culturais (Pinheiro, 2017).

Neste estudo, foram identificadas 10 espécies de macrófitas, representadas por 10 famílias botânicas diferentes:

Família	Nome científico	Nome comum	Origem
Cannaceae	*Canna glauca*	Cana-do-brejo	Nativa
Cannaceae	*Canna indica*	Bananeirinha-de-jardim	Nativa
Pontederiaceae	*Pontederia crassipes* (homotípico*Eichornia crassipes*)	Aguapé	Nativa
Marantaceae	*Thalia dealbata*	Bandeira-de-jacaré	Exótica
Marantaceae	*Chrysopogon zizanioides*	Vetiver	Naturalizada
Strelitziaceae	*Ravenala madagascariensis*	Árvore-do-viajante	Cultivada
Nelumbonaceae	*Nelumbo nucifera*	Flor-de-lótus	Cultivada
Araceae	*Montrichardia linifera*	Aninga	Nativa
Araceae	*Colocasia esculenta*	Inhame-preto	Cultivada
Arecaceae	*Bismarckia nobilis*	Palmeira-azul	Cultivada

Quadro 4 – Vegetação plantada nos jardins filtrantes no período da visita técnica Fonte: Consórcio Geasa/Certare, 2024

Canna glauca

Conhecida como cana-do-brejo, é uma espécie de erva aquática e terrícola, do tipo macrófita emergente, nativa da flora brasileira, não endêmica. A cana do brejo ocorre em quase todos os estados do Brasil, com exceção do Acre e Rio Grande do Norte. Ocupa os **Domínios Fitogeográficos** da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal. É caracterizada como **Tipo de Vegetação** de Área Antrópica, Campo de Várzea, Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Restinga, Savana Amazônica[5]. É uma vegetação super ornamental e bastante apreciada pelos sobralenses. Atrai polinizadores, como abelha, borboleta e beija-flor. É uma vegetação que vem sendo testada no tratamento de efluentes por alagados construídos (Amadeu; Melo, 2021)

[5] *André, T. Cannaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB110627>. Acesso em: 30 out. 2024.*

Canna indica

Conhecida como bananeirinha-de-jardim, caeté, pariri, caité-de-thallo-roxo, é uma espécie de erva terrícola, nativa da flora brasileira, não endêmica. A bananeirinha-de-jardim ocorre em quase todos os estados do Brasil, com exceção de Roraima, Amapá e Rondônia. Ocupa os **Domínios Fitogeográficos** da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal. É caracterizada como **Tipo de Vegetação** de Área Antrópica, Campo de Várzea, Cerrado (lato sensu), Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Restinga, Savana Amazônica, Vegetação Sobre Afloramentos Rochosos[6]. Assim como a cana-do-brejo, a bananeirinha-de-jardim é uma planta ornamental, atrativa de polinizadores e muito apreciada no paisagismo. É uma vegetação que vem sendo usada no tratamento de poluentes orgânicos e inorgânicos em Sistemas de Alagados Construídos (Patrício et al. 2017; Lima et al. 2017; Faccenda et al. 2017; Poças et al. 2017) e jardins de chuva.

[6] *André, T. Cannaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB110628>. Acesso em: 30 out. 2024.*

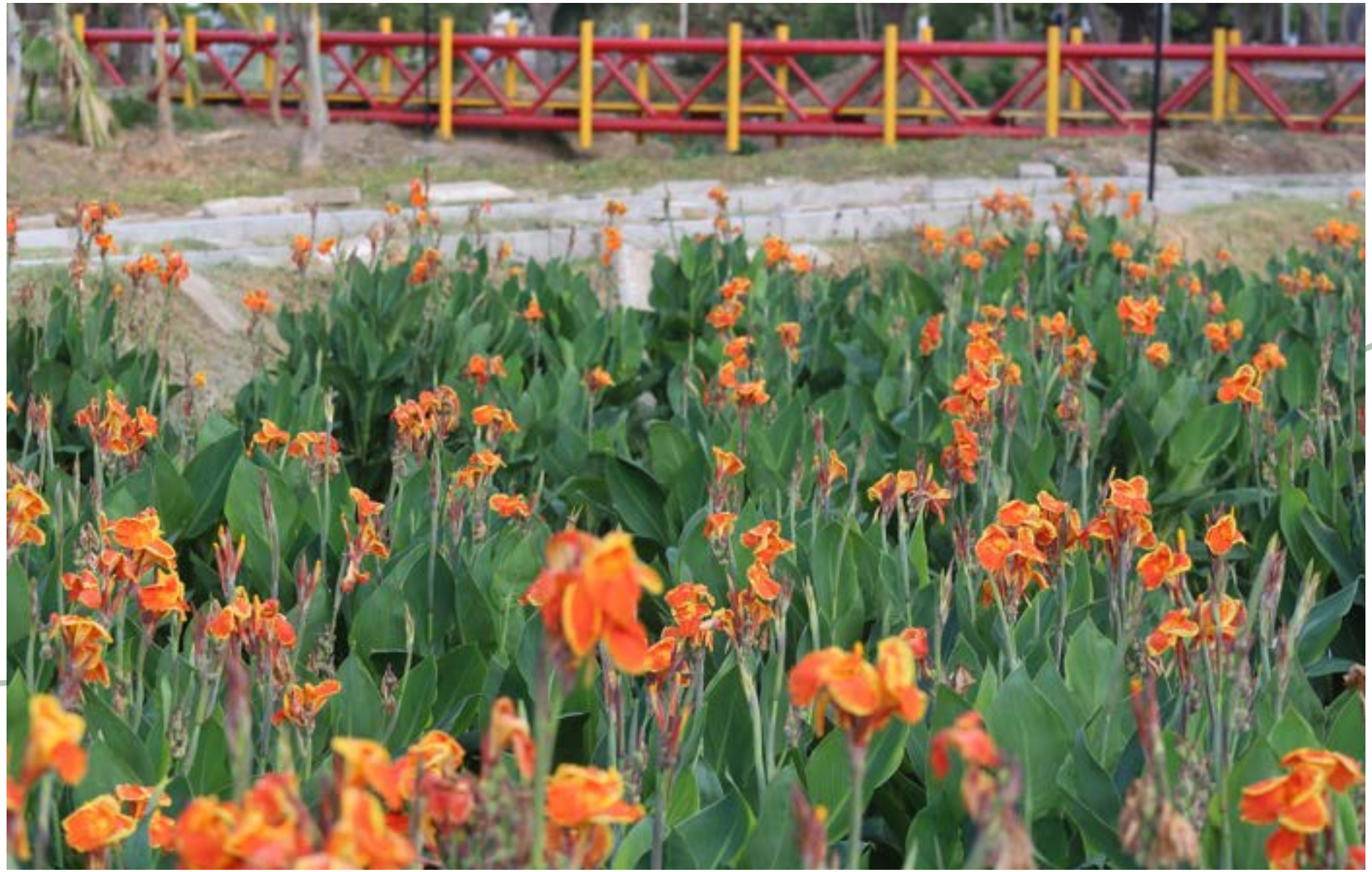


Figura 53 - Canna glauca plantadas nos jardins filtrantes do riacho Pajeú. Fonte: Prefeitura Municipal de Sobral s/d.

Thalia dealbata

Conhecida como bandeira-de-jacaré, é uma espécie de erva aquática, do tipo macrófita emergente, exótica da flora brasileira, originária dos pântanos, lagoas e outras zonas úmidas localizadas na região centro-sul dos Estados Unidos. É uma planta ornamental, usada no paisagismo de espelhos d'água. É usada no tratamento de águas residuais em Sistemas de Alagados Construídos (Prapa Sohsalam, 2008).

Pontederia crassipes

Espécie de erva aquática, do tipo macrófita livre flutuante, nativa do Brasil e não endêmica, com distribuição geográfica em todos os estados brasileiros. Possui vários nomes comuns como baronesa, aguapé, aguapé-de-flor-roxa, camalote, gigoga, jacinto-d'água, mãe-d'água, orquídea-d'água, parecí, pavoã, purú-a, dependendo da região do Brasil. Habita os **Domínios Fitogeográficos** da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal. É caracterizada pelo **Tipo de Vegetação** de Vegetação Aquática[7]. É uma planta bastante estudada no tratamento de poluentes orgânicos e inorgânicos em alagados construídos, mas que precisa de manejo constante para não se tornar invasora (Pinheiro, 2017).

[7] *Sousa, D.J.L.; Pellegrini, M.O.O. Pontederiaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB139537>. Acesso em: 31 out. 2024.*

Chrysopogon zizanioides

O capim-vertiver é uma erva terrícola, originária da Ásia naturalizada na flora brasileira, de distribuição geográfica reconhecida nos estados do Pará, Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo. Habita os **Domínios Fitogeográficos** da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e é caracterizada como **Tipo de Vegetação** de Área Antrópica. Possui outros nomes comuns como patcholi, patchuli, vetiver, capim-de-cheiro, grama-cheirosa e grama-das-índias[8]. É uma espécie bastante usada na fitorremediação de solos e águas contaminadas com poluentes diversos (Pinheiro, 2017).

[8] *Chrysopogon in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB20356>. Acesso em: 31 out. 2024.*



Figura 54 - Capim vetiver nos jardins filtrantes do Parque Pajeú. Fonte: Prefeitura Municipal de Sobral, s/d.

Ravenala madagascariensis

Conhecida popularmente como árvore-do-viajante, palmeira-do-viajante ou ravenala. É um arbusto terrícola cultivado, não originário do Brasil, com **Distribuição Geográfica** confirmada nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro. **Tipo de Vegetação** de Área Antrópica[9]. É uma palmeira bastante apreciada no paisagismo. De acordo com Pinheiro (2017), por ser rizomatosa, apresenta uma das características positivas para uso em infraestrutura verde.

[9] Almeida, R.B.P.; Antar, G.M. Strelitziaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB609303>. Acesso em: 31 out. 2024.

Nelumbo nucifera

A flor-de-lótus é uma planta aquática, cultivada no Brasil, não endêmica[10]. É uma macrófita com folhas flutuantes, com significância espiritual nas religiões orientais e bastante ornamental. De acordo com Pinheiro (2017), por ser rizomatosa, apresenta uma das características positivas para uso em infraestrutura verde.

10 Nelumbonaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB608335>. Acesso em: 31 out. 2024.

Montrichardia linifera

Popularmente chamada de aninga, é uma espécie de erva aquática do tipo macrófita emergente, nativa da flora brasileira, não endêmica. Ocorre em quase todos os estados do Nordeste, como Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e nos estados do Amazonas, Amapá, Pará, Roraima, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Ocupa os **Domínios Fitogeográficos** da Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica. Caracterizada como **Tipo de Vegetação** de Floresta Ciliar ou Galeria, Restinga, Vegetação Aquática[11]. É uma planta ornamental, usada no paisagismo de espelhos d'água. É uma espécie pioneira de considerável importância ecológica na formação das margens de rios e igarapés de águas brancas (Amarante et al, 2011).

[11] Mayo, S.J.; Andrade, I.M. Montrichardia in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB5014>. Acesso em: 31 out. 2024.



Figura 55 - Aninga plantado no Jardim Filtrante do Parque Pajeú. Fonte: Autores (2024).

Colocasia esculenta

Erva terrícola, não originária do Brasil, cultivada e não endêmica. Possui vários nomes populares como taioba, inhame-roxo, inhame, inhame-branco, inhame-da-índia, taioba-de-são-tomé, inhame-preto, inhame-imperial e tinhorão-preto. Ocorre em quase todos os estados brasileiros, com exceção de Roraima e Rondônia. É caracterizada como **Tipo de Vegetação** de Área Antrópica[12]. É uma planta importante na cultura alimentar de vários povos e, de acordo com Pinheiro (2017), por ser rizomatosa, apresenta uma das características positivas para uso em infraestrutura verde.

[12] *Araceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB614409>. Acesso em: 31 out. 2024.*

Bismarckia nobilis

Palmeira terrícola, não originária do Brasil, cultivada, não endêmica[13]. Popularmente conhecida como palmeira-azul ou palmeira-de-bismarck, é uma planta bastante ornamental, apreciada no paisagismo.

[13] *Arecaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB609395>. Acesso em: 31 out. 2024.*

3. ROTINA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO NO PARQUE DA CIDADE

A operação e manutenção dos jardins filtrantes do Parque da Cidade é realizada pela Diretoria de Parques, Jardins e Unidades de Conservação (DPJUC) da Agência Municipal do Meio Ambiente (AMA) de Sobral, Ceará.

A avaliação de impacto dos jardins filtrantes contou com uma etapa de diagnóstico detalhado sobre os procedimentos de operação e manutenção dos jardins filtrantes implantados no Parque da Cidade. Essa análise abrangeu a identificação e registro dos procedimentos atuais, e a avaliação da sua efetividade, com o objetivo de identificar melhorias que possam ser implementadas para aumentar a eficiência e a eficácia do sistema.

No Parque da Cidade estão implantados 15 jardins filtrantes e a caixa de areia onde ocorre a primeira etapa de tratamento das águas do riacho Pajeú.

3.1 CAIXA DE AREIA

A principal atividade de manutenção da caixa de areia é a realização de uma limpeza com periodicidade de uma a duas vezes ao ano. Além disso, são realizadas vistorias técnicas, quase que diárias, para verificação do sistema.

A seguir, apresenta-se um quadro informativo das principais atividades de operação e manutenção realizadas na caixa de areia:

Atividade Realizada	Periodicidade	Descrição	Equipe Responsável
Vistoria técnica	6 dias por semana aproximadamente	Observação do fluxo de água e da presença de resíduos sólidos que possam causar obstruções no sistema, observação de danos nas estruturas e de erosões nas margens	Realizada pelo servidor de manutenção. Supervisionada pelo encarregado do Parque da Cidade.
Retirada de resíduos	Quando é observado	Retirada de resíduos sólidos (sacolas plásticas, garrafas, materiais diversos) manualmente ou com auxílio de ferramentas	Realizada pelo servidor de manutenção. Supervisionada pelo encarregado do Parque da Cidade.
Limpeza	De uma a duas vezes por ano	A limpeza é realizada manualmente e compõe 4 etapas principais. 1. Esvaziamento da caixa de areia por meio da abertura de comportas. 2. Retirada do material sedimentado com auxílio de pás. 3. Deposição dos sedimentos nas margens do riacho Pajeú próximas à caixa de areia. 4. Fechamento das comportas.	Realizada por uma equipe de 4 a 5 pessoas, contratadas especificamente para a atividade. Supervisionada pelo encarregado do Parque da Cidade

Quadro 5 – Atividades de manutenção e operação da caixa de areia.

3.2 SISTEMA HIDRÁULICO

Os jardins filtrantes do Parque da Cidade são operados manualmente por um técnico de campo, com supervisão do encarregado do Parque da Cidade. A operação dos jardins filtrantes ocorre em torno de seis dias por semana, sendo a principal rotina a operação do sistema hidráulico de abastecimento e desabastecimento dos 15 Sistemas de Alagados Construídos (SAC) implantados.

O abastecimento dos jardins filtrantes é feito por meio da abertura manual dos registros localizados na caixa de abastecimento. O critério utilizado para a abertura do registro é a saturação da zona de raízes do jardim filtrante, que pode ser verificada pela inexistência de lâmina d'água acima da camada de substrato onde está plantada a vegetação, ou pelo tubo de controle de nível d'água no alagado construído. Desse modo, quando o técnico observa que o jardim filtrante está seco, ele faz a abertura do registro de abastecimento.



Figura 56 – Caixa de abastecimento do jardim filtrante (SAC 4), Parque da Cidade, Sobral. Foto: Autores (2024).



Figura 57 – Tubo de verificação de nível d'água do jardim filtrante (SAC 4 M.E.), Parque da Cidade, Sobral. Foto: Foto: Autores (2024).



Figura 58 - Servidor da AMA observando o nível d'água no tubo de verificação do jardim filtrante (SAC 4 M.E.), Parque da Cidade, Sobral. Foto: Autores (2024).

O mesmo critério é utilizado para o sistema de fechamento do registro de abastecimento. Esse registro é fechado conforme a saturação da zona de raízes do alagado, que pode ser verificada pela existência de lâmina d'água acima da camada de substrato onde está plantada a vegetação, ou pelo tubo de controle de nível d'água no alagado construído.

Já o registro de desabastecimento dos jardins filtrantes do Parque da Cidade nunca é manipulado, ficando aberto constantemente.

Os jardins filtrantes do Parque da Cidade possuem um tubo extravasor que controla o nível da lâmina d'água acima da camada do substrato. O tubo extravasor tem seu funcionamento durante os eventos de precipitação. Quando a água sobe até a cota do tubo extravasor a água é lançada no riacho Pajeú. Para garantia do funcionamento do tubo extravasor, durante as vistorias técnicas, é observado se há obstrução da tubulação para liberação do tubo.



Figura 59 - Caixa de desabastecimento, também chamada de by pass do jardim filtrante (SAC 4 M.E.), Parque da Cidade, Sobral. Foto: Autores (2024).



Figura 60 – Tubo extravasor do jardim filtrante (SAC 3 M.E.) do Parque da Cidade. Na fotografia é possível observar a lâmina d'água acima da camada de substrato. Foto: Autores (2024).

Atividade Realizada	Periodicidade	Descrição	Equipe
Abertura de registro de abastecimento	Aproximadamente 1 vez ao dia, de segunda a sábado	Abertura manual do registro do tubo de abastecimento do alagado construído quando observado que o jardim filtrante se encontra sem água. A verificação do nível d'água no jardim filtrante é feita por observação visual da ausência de lâmina d'água acima do substrato de plantio ou pelo tubo de controle de água.	Realizada pelo servidor de manutenção. Supervisionada pelo encarregado do Parque da Cidade.
Fechamento de registro de abastecimento	Aproximadamente 1 vez ao dia, de segunda a sábado	Abertura manual do registro do tubo de abastecimento do alagado construído quando observado que o jardim filtrante se encontra sem água. A verificação do nível d'água no jardim filtrante é feita por observação visual da presença de lâmina d'água acima do substrato de plantio ou pelo tubo de controle de água.	Realizada pelo servidor de manutenção. Supervisionada pelo encarregado do Parque da Cidade.
Desobstrução de tubos	Vistoria realizada aproximadamente 1 vez ao dia, de segunda a sábado	Quando há entupimento de alguma tubulação do jardim, o resíduo obstrutor é retirado manualmente ou com ajuda de alguma ferramenta.	Realizada pelo servidor de manutenção. Supervisionada pelo encarregado do Parque da Cidade.
Limpeza de resíduos sólidos	Diariamente	Retirada manual dos resíduos sólidos do jardim filtrante	Realizada pela equipe de limpeza de parques e áreas verdes.

Quadro 6 – Atividades de operação e manutenção do sistema hidráulico dos jardins filtrantes do Parque da Cidade

3.3 PODA DA VEGETAÇÃO

A poda da vegetação dos jardins filtrantes é realizada a cada três meses, aproximadamente. A poda realizada, é chamada de "poda radical", ou seja, a vegetação é podada na parte baixa do caule, próxima à base do substrato de plantio. Após a poda, a vegetação rebrota. A poda é importante para o tratamento dos poluentes da água, pois enquanto a planta cresce ela produz biomassa e quanto maior a produção de biomassa, maior é a taxa de remoção dos poluentes da água.



Figura 61 - Poda do jardim filtrante (SAC 3 M.E.), do Parque da Cidade. Na fotografia é possível observar a lâmina d'água acima da camada de substrato de plantio. Foto: Autores (2024).

O quadro a seguir apresenta um resumo das atividades de poda dos jardins filtrantes do Parque da Cidade:

Atividade Realizada	Periodicidade	Descrição	Equipe
Poda da vegetação dos jardins filtrantes	Trimestralmente	Quando a vegetação está acima de 1,5 metros	Por uma equipe de 4 a 5 jardineiros da Prefeitura de Sobral. Supervisionada pelo encarregado do Parque da Cidade

Quadro 7 – Atividades de manutenção da vegetação dos Jardins Filtrantes do Parque da Cidade

4. ROTINA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO NO PARQUE PAJEÚ

Os jardins filtrantes do Parque Pajeú são diferentes dos do Parque da Cidade em termos de tamanho, profundidade, esquema hidráulico e vegetação. A operação desses jardins é mais simplificada. Como não possuem um sistema de abastecimento e desabastecimento operados por válvulas hidráulicas, as atividades de operação e manutenção desses jardins filtrantes consistem basicamente na observação de seu funcionamento, desobstrução dos tubos quando entupidos e poda da vegetação.

A poda da vegetação ocorre de forma semelhante à dos jardins filtrantes do Parque da Cidade.

No quadro a seguir são apresentadas as atividades de operação e manutenção do SAC do Parque Pajeú:

Atividade Realizada	Periodicidade	Descrição	Equipe
Poda da vegetação dos jardins filtrantes	Trimestralmente	Quando a vegetação está acima de 1,5 metros	Por uma equipe de 4 a 5 jardineiros da Prefeitura de Sobral. Supervisionada pelo encarregado do Parque da Cidade.
Desobstrução de tubos	Vistoria realizada aproximadamente 1 vez ao dia, de segunda a sábado	Quando há entupimento de alguma tubulação do jardim, o resíduo obstrutor é retirado manualmente ou com ajuda de alguma ferramenta.	Realizada pelo servidor de manutenção. Supervisionada pelo encarregado do Parque da Cidade.
Limpeza de resíduos sólidos	Diariamente	Retirada manual dos resíduos sólidos do jardim filtrante	Realizada pela equipe de limpeza de parques e áreas verdes.

Quadro 8 – Atividades de operação e manutenção dos jardins filtrantes do Parque Pajeú

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DOS JARDINS FILTRANTES

1. IMPACTO NA QUALIDADE DA ÁGUA
- **1.1** VARIÁVEIS FÍSICAS
- **1.2** VARIÁVEIS QUÍMICAS
- **1.3** VARIÁVEIS MICROBIOLÓGICAS
- **1.4** ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)
- **1.5** CONTRIBUIÇÕES DO SISTEMA

2. IMPACTO NA BIODIVERSIDADE





Jardins Filtrantes
O tratamento da água é realizado nos jardins filtrantes de fluxo subsuperficial, onde as raízes das plantas macrófitas têm a capacidade de tratar a água

Desague da água tratada
Após passar or 20 jardins filtrantes a água tratada é lançada ao Riacho Pajeú

Aumento da Biodiversidade
As flores dos jardins filtrantes atraíram diversas espécies de beija-flores e outros polinizadores

Espécies de Beija-flores avistadas
Houve um aumento considerável no avistamento desses pássaros na região do Parque da Cidade e Parque Pajeú. Isso se deu após o período de aproximadamente dois anos da implantação dos jardins filtrantes.

Primeira etapa de tratamento
A primeira etapa de tratamento da qualidade das águas acontece na caixa de areia que tem função de retenção de sólidos em suspensão.

Tubulação de Abastecimento
Após passar pela caixa de areia a água é direcionada para as tubulações de abastecimento. Abastecendo os 15 jardins do parque da cidade

Tubulação de Desabastecimento
A água que passa por cada um dos jardins filtrantes é conduzida por essas redes de desabastecimento que, ao final do Parque da Cidade, seguem paralelas na margem direita do riacho Pajeú até desaguarem no primeiro jardim filtrante do Parque Pajeú

Caixa de Abastecimento
Técnicos abrem e fecham o registro de abastecimento controlando o fluxo que entra no jardim

Caixa de Desabastecimento
O registro de desabastecimento dos jardins filtrantes do Parque da Cidade, esse registro nunca é manipulado. Ficando aberto constantemente

Monitoramento da Qualidade da Água
Foram selecionados cinco pontos prioritários para a realização dos ensaios de campoem locais estratégicos para a avaliação da eficiência no tratamento da qualidade da água do sistema



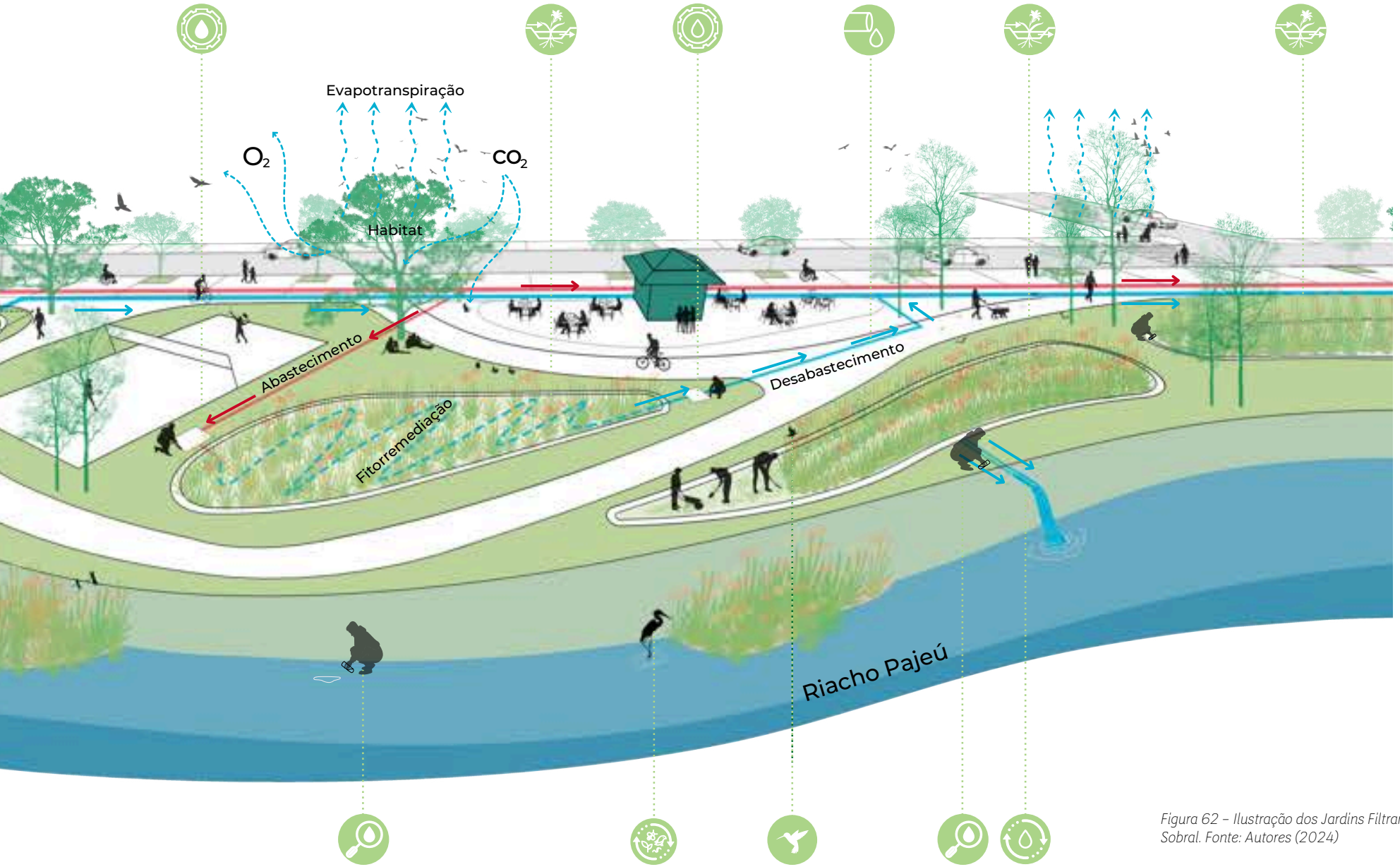


Figura 62 – Ilustração dos Jardins Filtrantes de Sobral. Fonte: Autores (2024)

1. IMPACTO NA QUALIDADE DA ÁGUA

A avalição da eficiência dos jardins filtrantes na melhora da qualidade das águas do riacho Pajeú foi realizada a partir de dados fornecidos pelo monitoramento realizado pela Agência Municipal do Meio Ambiente (AMA) de Sobral de julho de 2021 a novembro de 2023, somados a coletas complementares realizadas nesse estudo em julho de 2024.

As coletas complementares realizadas foram de dois tipos: coleta simples e coleta composta. A coleta simples, também chamada de pontual ou instantânea, consiste na tomada de amostra de um local específico em um curto espaço de tempo, normalmente em um intervalo de segundos. Já a coleta composta é aquela associada à combinação de uma série de amostras simples, obtidas ao longo de um certo período, profundidade, seção ou até mesmo em locais diferentes[1] .

A coleta de dados de qualidade da água no estudo teve como objetivo obter as concentrações médias de parâmetros selecionados; assim, o plano de amostragem segue as diretrizes do Guia Nacional (ANA, 2023) quanto à possibilidade de utilização de análises compostas para algumas das amostras. Essa metodologia é fundamental para avaliar a qualidade média de corpos d'água que apresentam heterogeneidade espacial e temporal, como é o caso do riacho Pajeú.

Foram selecionados cinco pontos prioritários para a realização dos ensaios de campo, sendo dois já utilizados no monitoramento realizado pela AMA e três em locais estratégicos para a avaliação da eficiência no tratamento da qualidade da água do sistema de alagado construído individualmente e da qualidade da água na Lagoa da Fazenda, o corpo receptor das águas do riacho Pajeú.

O mapa a seguir mostra os pontos em que foram realizadas as coletas da AMA e as coletas complementares realizadas na avaliação de impacto dos jardins filtrantes:

[1] Esta técnica é adotada como alternativa para obtenção de resultados médios em casos de matrizes heterogêneas ou no caso de alguma limitação na quantidade de amostras a serem analisadas.



Mapa 13 – Pontos de coleta de dados da qualidade da água do riacho Pajeú.

A escolha dos parâmetros de análise considerou a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 357/2005 quanto à classificação dos corpos d'água, diretrizes para enquadramento, condições e padrões e, complementarmente, a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) do Estado do Ceará, a Resolução COEMA 2/2017 e o CONAMA quanto aos padrões e condições de lançamento de efluentes líquidos. Além disso, se fundamentou nos princípios de modelagem da qualidade da água de rios estabelecidos por Von Sperling (2007), sendo:

- Parâmetros de caracterização genérica da água: temperatura, pH e turbidez;
- Parâmetros para a caracterização do grau de oxigenação e da poluição orgânica da água: OD, DBO e DQO;
- Presença de sólidos na água: Sólidos Dissolvidos e Sólidos em Suspensão;
- Presença de nutrientes na água: fósforo orgânico, fósforo total, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.

O quadro a seguir apresenta a relação de parâmetros analisados e respectivas metodologias analíticas adotadas para avaliação do impacto dos jardins filtrantes na qualidade das águas do riacho Pajeú:

Identificação	Parâmetro	Metodologia Analítica
01	Oxigênio Dissolvido (OD)	SMEWW 2023: 4500O G
02	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	SMEWW 2023: 5210 B
03	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	SMEWW 2023: 5220 D
04	pH	SMEWW 2023: 4500H+ B
05	Turbidez	SMEWW 2023: 2130B
06	Fósforo Orgânico	SMEWW 2023: 4500-P, B e E
07	Fósforo Total	USEPA 1992: 3010 A- USEPA 2018: 6010 D
08	Nitrogênio Amoniacal	SMEWW 2023: 4500NH3 B e F
09	Nitrogênio Kjeldahl Total	SMEWW 2023: 4500Norg B
10	Nitrato	USEPA 1999: SW-846 300.1
11	Nitrito	USEPA 1999: SW-846 300.1
12	Nitrogênio Total	MELAB 2023: 35
13	Sólidos Dissolvidos Totais	SMEWW 2023: 2540C
14	Sólidos Suspensos Totais	SMEWW 2023: 2540D
15	Coliformes Termotolerantes	SMEWW 2023: 9221 B, D e E
16	Coliformes Totais	SMEWW 2023: 9223 B
17	Cloreto	USEPA 1999: SW-846 300.1
18	Sulfato Total	USEPA 1999: SW-846 300.1
19	Cromo Total	USEPA 1992: 3010 A USEPA 2018: 6010 D

Quadro 9- Parâmetros utilizados para avaliação do impacto dos jardins filtrantes na qualidade da água do riacho Pajeú

A coleta simples compreendeu os respectivos parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio DBO e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Já a coleta composta compreendeu todos os 19 parâmetros selecionados. O quadro a seguir apresenta como se deu a campanha de coleta de dados realizada pelo Consórcio Geasa/Certare em julho de 2024:

Ponto de monitoramento	Período	17/jul	18/jul	19/jul	20/jul
P1	9h	SIMPLES			
	14h		COMPOSTA	COMPOSTA	COMPOSTA
	18h		SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES
P2	9h	SIMPLES			
	14h		SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES
	18h		SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES
P3	9h	SIMPLES			
	14h		SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES
	18h		SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES
P4	9h	SIMPLES			
	14h		COMPOSTA	SIMPLES	COMPOSTA
	18h		SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES
P5	9h	SIMPLES			
	14h		SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES
	18h		SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES

Quadro 10 – Campanha de coleta de dados complementares para análise do impacto dos jardins filtrantes na qualidade de água

Assim, a avaliação do impacto dos jardins filtrantes na qualidade das águas do riacho teve como premissa a utilização dos dados monitorados entre 2021 e 2023 e os dados da campanha de coleta realizada em julho de 2024, não abrangendo, portanto, considerações quanto à dinâmica do sistema em duas condições críticas de períodos de estiagem e chuvas.

A seguir é apresentado o resumo dos resultados utilizados e os principais significados ambientais e sanitários das variáveis de qualidade de água adotadas no presente estudo:

ID AMOSTRA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
DATA	08/07/2021	20/08/2021	10/09/2021	19/10/2021	12/11/2021	17/12/2021	14/01/2022	18/02/2022	24/03/2022	24/05/2022	29/06/2022	20/10/2022	08/12/2022	20/03/2023	21/11/2023
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,00	0,00	6,73	3,84	3,75	7,12	0,87	2,91	3,17	4,81	0,00	0,38	0,00	1,00	5,25
DBO (mg/L)	133,04	21,65	259,75	245,30	278,90	4,38	3,34	4,11	8,17	34,80	53,00	194,50	299,73	182,00	204,00
DQO (mg/L)	673,14	355,68	585,61	689,90	701,40	23,70	18,50	21,40	380,75	116,40	212,00	612,70	892,09	701,30	582,00
pH (UpH)	7,33	6,80	7,17	7,14	7,08	8,28	7,62	7,95	7,28	7,66	7,30	6,13	6,22	8,15	9,09
Turbidez (NTU)	168,00	34,60	130,00	49,30	62,00	46,60	14,60	67,00	5,11	20,10	45,00	44,20	44,40	0,49	38,40
Fósforo Orgânico (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Fósforo Total (mg/L)	5,29	8,95	0,10	20,19	21,90	24,16	12,03	18,98	2,57	14,50	4,69	22,00	19,00	17,00	4,42
Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Nitrogênio Nitrato Total (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Nitrogênio Nitrito Total (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Nitrogênio Total (mg/L)	13,42	0,00	16,38	19,90	17,90	14,20	6,80	7,50	0,00	10,67	41,00	20,00	18,90	14,00	8,00
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Coliformes Fecais ou Termotolerantes (NMP/100mL)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Coliformes Totais (NMP/100mL)	5.117	2.641	2.015	2.145	2.182	1.468	1.134	2.076	567	665		2.002	2.150	1.009,	2.258
Cloreto (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Sulfato Total (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Cromo Total (mg/L)	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_

Quadro 11 – Resumo dos resultados obtidos no monitoramento do P01 (coleta na caixa de areia) realizado pela Prefeitura de Sobral entre julho de 2021 e novembro de 2023

ID AMOSTRA	16	17	18	19	20	21	22
DATA	17/07/2024	18/07/2024	18/07/2024	19/07/2024	19/07/2024	20/07/2024	20/07/2024
HORÁRIO	08:45	14:00	18:00	14:00	18:00	14:00	18:00
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,01	5,83	5,75	6,70	6,48	5,96	6,37
DBO (mg/L)	109,20	78,10	26,31	123,70	109,30	39,90	119,90
DQO (mg/L)	234,70	150,30	65,80	201,00	224,60	55,70	285,40
pH (UpH)	_	6,03	_	_	_	6,71	_
Turbidez (NTU)	_	63,50	_	_	_	59,20	_
Fósforo Orgânico (mg/L)	_	0,30	_	_	_	0,50	_
Fósforo Total (mg/L)	_	2,04	_	_	_	2,95	_
Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L)	_	0,56	_	_	_	0,56	_
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	_	1,03	_	_	_	1,06	_
Nitrogênio Nitrato Total (mg/L)	_	0,50	_	_	_	0,50	_
Nitrogênio Nitrito Total (mg/L)	_	0,02	_	_	_	5,14	_
Nitrogênio Total (mg/L)	_	1,03	_	_	_	6,20	_
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	_	451,00	_	_	_	422,00	_
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	_	34,00	_	_	_	47,00	_
Coliformes Fecais ou Termotolerantes (NMP/100mL)	_	1.300	_	_	_	16.000	_
Coliformes Totais (NMP/100mL)	_	16.000	_	_	_	16.000	_
Cloreto (mg/L)	_	_	_	_	_	119,9	_
Sulfato Total (mg/L)	_	_	_	_	_	10	_
Cromo Total (mg/L)	_	_	_	_	_	0,005	_

Quadro 12 – Resultados obtidos nas coletas complementares realizadas no P01 (coleta na caixa de areia) em julho de 2024

ID AMOSTRA	16	17	18	19	20	21	22
DATA	17/07/2024	18/07/2024	18/07/2024	19/07/2024	19/07/2024	20/07/2024	20/07/2024
HORÁRIO	09:15	14:15	18:15	14:16	18:15	14:10	18:09
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	3,25	5,02	4,00	5,11	5,08	5,03	5,16
DBO (mg/L)	465,00	79,30	22,60	13,73	15,54	59,00	80,60
DQO (mg/L)	996,00	150,30	51,00	51,00	52,30	96,20	201,00

Quadro 13 – Resultados obtidos nas coletas realizadas no P02 (no tubo de verificação do jardim filtrante) em julho de 2024

ID AMOSTRA	16	17	18	19	20	21	22
DATA	17/07/2024	18/07/2024	18/07/2024	19/07/2024	19/07/2024	20/07/2024	20/07/2024
HORÁRIO	09:36	14:25	18:30	14:30	18:25	14:23	18:20
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,45	3,15	3,61	4,25	4,35	4,30	4,46
DBO (mg/L)	274,00	203,50	184,80	139,30	46,70	117,60	92,40
DQO (mg/L)	647,00	315,80	231,40	177,30	140,20	136,80	126,60

Quadro 14 – Resultados obtidos nas coletas realizadas no P03 (no leito do riacho Pajeú) em julho de 2024

ID AMOSTRA	16	17	18	19	20	21	22
DATA	17/07/2024	18/07/2024	18/07/2024	19/07/2024	19/07/2024	20/07/2024	20/07/2024
HORÁRIO	10:30	14:36	18:45	14:40	18:40	14:39	18:33
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	7,32	6,11	6,00	6,54	6,28	6,21	6,02
DBO (mg/L)	161,50	119,80	10,26	54,60	87,50	96,10	77,10
DQO (mg/L)	292,20	255,00	51,00	163,80	190,80	160,40	157,00

Quadro 15 – Resultados obtidos nas coletas realizadas no P05 (na Lagoa da Fazenda) em julho de 2024

ID AMOSTRA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
DATA	08/07/2021	20/08/2021	10/09/2021	19/10/2021	12/11/2021	17/12/2021	14/01/2022	18/02/2022	24/03/2022	24/05/2022	29/06/2022	20/10/2022	08/12/2022	20/03/2023	21/11/2023
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,13	0,00	6,44	5,77	5,48	3,89	2,71	0,72	3,85	2,30	0,00	0,48	0,00	0,80	6,81
DBO (mg/L)	136,29	32,90	52,90	108,20	5,45	2,40	2,01	1,70	27,25	38,14	44,00	261,66	354,23	215,00	18,90
DQO (mg/L)	817,33	153,49	347,37	521,00	23,80	18,20	16,70	15,80	431,65	345,90	65,00	812,00	897,90	622,80	72,93
pH (UpH)	7,71	7,13	7,52	7,11	7,16	8,18	6,99	8,24	7,06	7,40	7,50	6,35	6,10	7,37	8,83
Turbidez (NTU)	31,10	12,00	72,60	119,00	66,60	38,60	99,60	17,40	14,20	65,00	5,37	27,00	113,00	0,88	2,84
Fósforo Orgânico (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Fósforo Total (mg/L)	11,00	12,13	3,51	11,42	23,15	24,24	19,20	16,39	0,00	1,10	2,60	15,00	18,00	13,00	5,56
Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nitrogênio Nitrato Total (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nitrogênio Nitrito Total (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nitrogênio Total (mg/L)	0,00	6,22	5,98	6,80	15,80	10,20	9,30	8,10	0,00	19,40	22,70	16,00	21,00	12,00	4,13
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Coliformes Fecais ou Termotolerantes (NMP/100mL)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Coliformes Totais (NMP/100mL)	3.696	458	369	456	712	543	1.044	814	546	665	-	548	1.054	825	479
Cloreto (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Sulfato Total (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cromo Total (mg/L)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Quadro 16 - Resumo dos resultados obtidos no monitoramento do P04 (coleta no deságua do jardim filtrante SAC 05 P.P. no riacho Pajeú) realizado pela Prefeitura de Sobral de julho de 2021 a novembro de 2023

ID AMOSTRA	16	17	18	19	20	21	22
DATA	17/07/2024	18/07/2024	18/07/2024	19/07/2024	19/07/2024	20/07/2024	20/07/2024
HORÁRIO	09:55	14:50	18:45	14:50	18:50	14:50	18:54
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,85	4,20	2,55	5,02	5,00	5,00	5,09
DBO (mg/L)	76,30	93,70	50,00	7,11	23,17	30,29	22,43
DQO (mg/L)	224,60	221,20	82,70	51,00	59,10	51,00	51,00
pH (UpH)	_	_	6,20	_	_	_	6,11
Turbidez (NTU)	_	_	63,00	_	_	_	62,90
Fósforo Orgânico (mg/L)	_	_	0,10	_	_	_	0,95
Fósforo Total (mg/L)	_	_	3,28	_	_	_	2,61
Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L)	_	_	0,52	_	_	_	0,23
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	_	_	1,19	_	_	_	1,05
Nitrogênio Nitrato Total (mg/L)	_	_	0,50	_	_	_	0,50
Nitrogênio Nitrito Total (mg/L)	_	_	8,01	_	_	_	7,16
Nitrogênio Total (mg/L)	_	_	9,20	_	_	_	8,21
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	_	_	529,00	_	_	_	484,00
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	_	_	70,00	_	_	_	17,00
Coliformes Fecais ou Termotolerantes (NMP/100mL)	_	_	16.000	_	_	_	16.000
Coliformes Totais (NMP/100mL)	_	_	16.000	_	_	_	16.000
Cloreto (mg/L)	_	_	_	_	_	_	139,4
Sulfato Total (mg/L)	_	_	_	_	_	_	10
Cromo Total (mg/L)	_	_	_	_	_	_	0,005

Quadro 17 - Resultados obtidos nas coletas complementares realizadas no P04 (coleta no deságua do jardim filtrante SAC 05 P.P. no riacho Pajeú) em julho de 2024

1.1 VARIÁVEIS FÍSICAS

A) Série de Sólidos

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Este quadro não é definitivo para se entender o comportamento da água em questão, mas constitui-se em uma informação preliminar importante. Deve ser destacado que, embora a concentração de sólidos voláteis seja associada à presença de compostos orgânicos na água, não propicia qualquer informação sobre a natureza específica das diferentes moléculas orgânicas eventualmente presentes que, inclusive, iniciam o processo de volatilização em temperaturas diferentes.

Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios, destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia.

Conforme esperado, as concentrações observadas no período chuvoso são bem maiores que as do período seco, já que as precipitações carreiam grandes quantidades de material dos solos do entorno para as águas. Os valores máximos observados foram de 47 mg/L no P01 e 70 mg/L no P04. Para este parâmetro, a Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece limites mínimos ou máximos.

Os Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) correspondem ao peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume, resultantes principalmente da dissolução das rochas e solos, mas também contendo matéria orgânica dissolvida. Os valores máximos observados foram de 451 mg/L no P01 e 529 mg/L no P04. Para este parâmetro, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece o limite de 500,00 mg/l para a Classe 2 e Classe 3 de corpos hídricos. Observa-se que, em um caso no P04, o valor da amostra está acima do valor estabelecido na CONAMA nº 357/2005 e que, na maioria das amostras, o valor de P01 é mais baixo que o valor de P04.



Gráfico 2 - Concentração de TSS por ponto de amostragem.
Fonte: Autores (2024).



Gráfico 3 - Concentração de TDS por ponto de amostragem.
Fonte: Autores (2024).

B) Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc.

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas, intensificada pelo mau uso do solo, é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro.

Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas.

Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e de algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional da água.

Os valores de turbidez registrados no riacho Pajeú para o P01 (caixa de areia) variaram de 5 NTUs (Amostra 9) a 168 NTUs (Amostra 1); para o P04 (deságue das águas dos jardins filtrantes no Pajeú) variaram de 0,88 NTUs (amostra 14) a 113 NTUs (amostra 13). Podemos destacar que os valores encontrados são relativamente baixos para este rio, tendo em vista que na maior parte do ano as águas do riacho Pajeú são turvas, em função do carreamento de sedimentos para este rio através das chuvas.

A turbidez registrada nas amostras do P01 apresenta-se acima do limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas de Classe 3 (NTUs) e Classe 2 (NTUs).

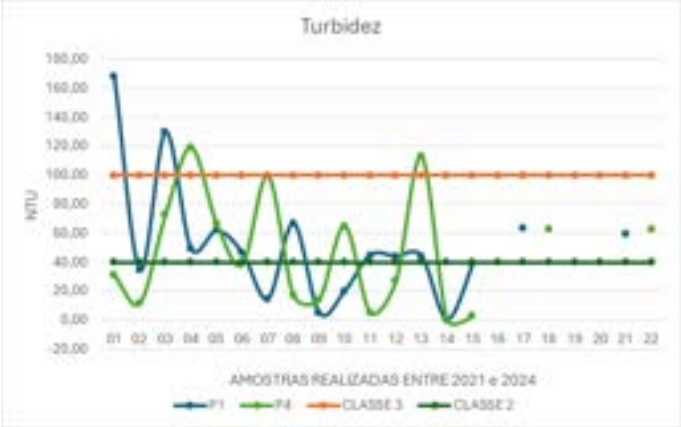


Gráfico 4 – Turbidez. Fonte: Autores (2024).

1.2 VARIÁVEIS QUÍMICAS

C) Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais devido à diferença de pressão parcial. Esse mecanismo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água em função da temperatura. Outra fonte importante de oxigênio nas águas é a fotossíntese de algas. Essa fonte não é muito significativa nos trechos de rios a jusante de fortes lançamentos de esgotos.

A turbidez e a cor elevadas dificultam a penetração dos raios solares, e apenas poucas espécies resistentes às condições severas de poluição conseguem sobreviver. A contribuição fotossintética de oxigênio só é expressiva após grande parte da atividade bacteriana na decomposição de matéria orgânica ter ocorrido, bem como após terem se desenvolvido também os protozoários que, além de decompositores, consomem bactérias, clarificando as águas e permitindo a penetração de luz.

Num corpo de água eutrofizado, o crescimento excessivo de algas pode "mascarar" a avaliação do grau de poluição de uma água, quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido. Sob esse aspecto, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até a um nível um pouco abaixo da concentração de saturação. No entanto, um corpo d'água com crescimento excessivo de algas pode apresentar, durante o período diurno, concentrações de oxigênio bem superiores a 10 mg/L, mesmo em temperaturas superiores a 20 °C, caracterizando uma situação de supersaturação. Isso ocorre principalmente em lagos de baixa velocidade da água, nos quais podem se formar crostas verdes de algas à superfície.

Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática.

O gráfico a seguir ilustra a curva de permanência do OD no ponto a montante P01 (caixa de areia) e a jusante do sistema P04 (deságue no riacho Pajeú). Os valores de OD a montante variam de 0,0 mg/L a 7,12 mg/L, representando uma faixa de variação elevada, assim como os valores de OD a jusante, que variam de 0,00 mg/L a 6,81 mg/L, permanecendo abaixo de 5 mg/L em 72% no período observado.



Gráfico 5 – Oxigênio Dissolvido (OD). Fonte: Autores (2024).

A seguir é apresentada a análise de estatísticas para esse padrão. Os valores de OD a montante variam de 0,0 mg/L a 7,12 mg/L, representando uma faixa de variação elevada, assim como os valores de OD a jusante, que variam de 0,00 mg/L a 6,81 mg/L, permanecendo abaixo de 5 mg/L em 72% no período observado.

Análise Estatística	P01	P04
N^0 de amostras	22	22
Média	3,77 mg/L	3,05 mg/L
Mínimo	0,00 mg/L	0,00 mg/L
Máximo	7,12 mg/L	6,81 mg/L
Desvio Padrão	2,67 mg/L	2,36 mg/L
Coef. de variação	0,71	0,77
% abaixo Limite Classe 2	54%	72%

Quadro 18 – Resultados observados para o OD Fonte: Autores (2024).

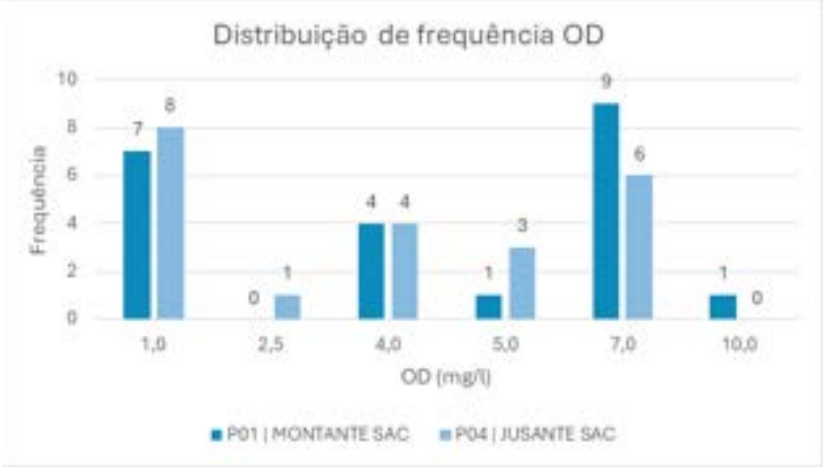


Gráfico 6 - Histograma de distribuição de frequência OD. Fonte: Autores (2024).

D) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumida durante um determinado período, numa temperatura de incubação específica. Um período de 5 dias numa temperatura de incubação de 20 °C é frequentemente usado e referido como DBO 5,20. Os maiores aumentos em

termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.

Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis.

No campo do tratamento de esgotos, a DBO é um parâmetro importante no controle das eficiências das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios como físico-químicos (embora de fato ocorra demanda de oxigênio apenas nos processos aeróbios, a demanda "potencial" pode ser medida à entrada e à saída de qualquer tipo de tratamento). Na legislação federal, a DBO é padrão de emissão de esgotos diretamente nos corpos d'água, sendo exigida uma DBO máxima de 120 mg/L ou uma eficiência global mínima do processo de tratamento igual a 60%.

O gráfico a seguir ilustra a curva de permanência do DBO no ponto a montante P01 e a jusante do sistema P04. Nota-se que, em boa parte das amostras, a DBO está acima do valor permitido para as Classe 2 (5 mg/L) e Classe 3 (10 mg/L) da Resolução CONAMA 357/2005.

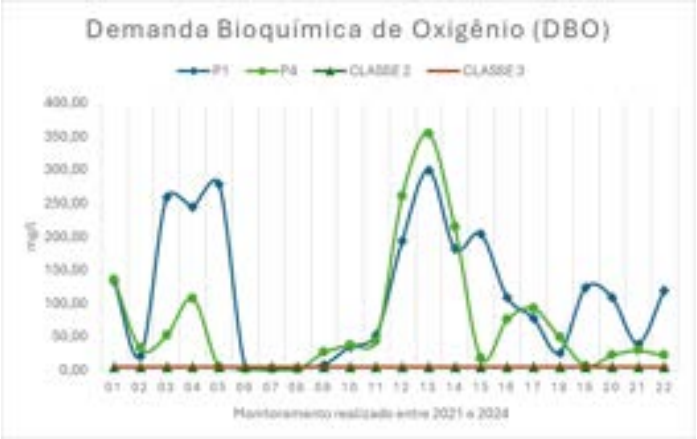


Gráfico 7 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Fonte: Autores (2024).

O quadro a seguir apresenta os dados estatísticos dos principais parâmetros considerados no P01 e P04 para DBO, demonstrando os pontos a montante e a jusante do sistema de jardins filtrantes:

Os valores de DBO a montante variam de 3,3 mg/L a 299,7 mg/L, representando uma faixa de variação elevada, assim como os valores de DBO a jusante, que variam de 1,7 mg/L a 354 mg/L, permanecendo acima de 5 mg/L em 86% no período observado. O gráfico a seguir ilustra a distribuição de frequência do DBO no ponto a montante e a jusante do sistema:

Análise Estatística	P01	P04
Nº de amostras	22	22
Média	115,14 mg/L	72,91 mg/L
Mínimo	3,34 mg/L	1,70 mg/L
Máximo	299,73 mg/L	354,23 mg/L
Desvio Padrão	97,69 mg/L	92,85 mg/L
Coef. de variação	0,85	1,27
% abaixo Limite Classe 2	14%	14%

Quadro 19 – Resultados observados para o DBO. Fonte: Autores (2024).

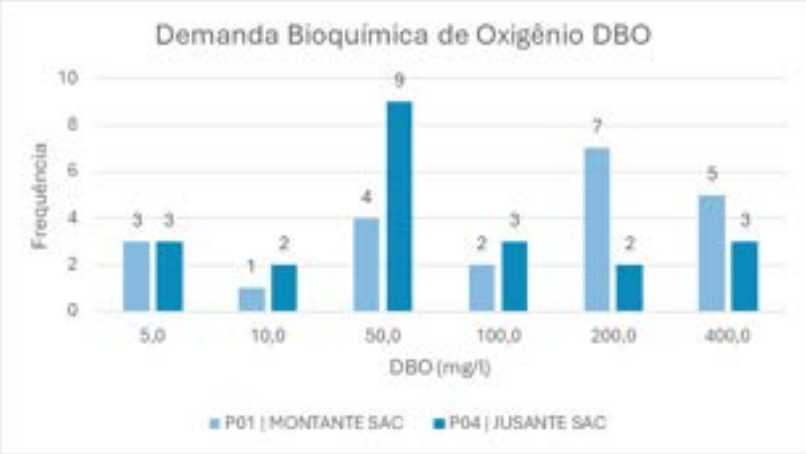


Gráfico 8 - Histograma de distribuição de frequência DBO. Fonte: Autores (2024).

E) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO5,20, sendo o teste realizado num prazo menor. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial. A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais.

A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que o que resulta mediante a ação de microrganismos, exceto raríssimos casos como hidrocarbonetos aromáticos e piridina. Desta forma, os resultados da DQO de uma amostra são superiores aos de DBO. Como na DBO mede-se apenas a fração biodegradável, quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais biodegradável seráz o efluente.

É comum aplicar-se tratamentos biológicos para efluentes com relações DQO/DBO5,20 de 3/1, por exemplo. Mas valores muito elevados desta relação indicam grandes possibilidades de insucesso, uma vez que a fração biodegradável se torna pequena, tendo-se ainda o tratamento biológico prejudicado pelo efeito tóxico sobre os microrganismos exercido pela fração não biodegradável.

O gráfico apresenta os resultados do DQO no P01 (caixa de areia) e P04 (deságue das águas dos jardins filtrantes no Pajeú). Destaca-se que para este elemento, a Resolução CONAMA nº 357/2005 não apresenta valores de referência.

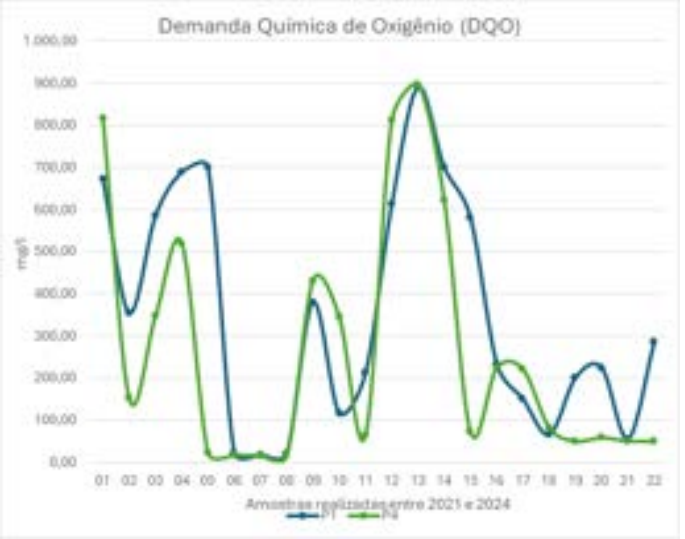


Gráfico 9 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO). Fonte: Autores (2024).

F) Potencial Hidrogeniônico (pH)

Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental. A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante, podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, sendo que os critérios de proteção à vida aquática fixa o pH entre 6 e 9.

Nos sistemas biológicos formados nos tratamentos de esgotos, o pH é também uma condição que influi decisivamente no processo de tratamento. Normalmente, a condição de pH que corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado e a um tratamento mais estável é a de neutralidade, tanto em meios aeróbios como nos anaeróbios. Nos reatores anaeróbios, a acidificação do meio é acusada pelo decréscimo do pH do lodo, indicando situação de desequilíbrio. A produção de ácidos orgânicos voláteis pelas bactérias acidificadoras e a não utilização destes últimos pelas metanobactérias são situações de desequilíbrio que podem ser devidas a diversas causas. O decréscimo no valor do pH, que a princípio funciona como indicador do desequilíbrio, passa a ser causa se não for corrigido a tempo.

A digestão anaeróbica é o principal processo de degradação biológica nos jardins. Para que esse processo efetivamente ocorra, o pH do efluente de tratamento deve ser na faixa de 6,8 a 7,2 (Valentim, 2003). Os valores de pH nas águas do riacho Pajeú, ao entrarem no sistema de jardins filtrantes (P01), apresentaram-se próximos à neutralidade, com variação de 6,03 a 9,09 e média de 7,29, sendo mais instáveis que os valores afluentes (P04), que variaram de 6,10 a 8,83, com média de 7,23.

O gráfico a seguir mostra que o pH do P01 (caixa de areia) e P04 (deságue das águas dos jardins filtrantes no Pajeú) oscila pelo valor ideal de digestão anaeróbica, sugerindo que este processo é ativo no sistema em todas as amostras, encontrando-se dentro da Classe 3 (9 UpH) e acima do estabelecido para a Classe 2 (6 UpH).



Gráfico 10 - Concentração de pH. Fonte: Autores (2024).

G) Série de Fósforo (P)

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos são representados pelos radicais que se combinam com cátions, formando sais inorgânicos nas águas. Existem ainda os polifosfatos, ou fosfatos condensados, chamados de polímeros de ortofosfatos.

Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macronutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Nessa qualidade, torna-se parâmetro imprescindível em programas de caracterização de efluentes industriais que se pretendem tratar por processo biológico.

Os esgotos sanitários no Brasil apresentam, tipicamente, concentração de fósforo total na faixa de 6 a 10 mg/L, não exercendo efeito limitante sobre os tratamentos biológicos. Ainda por ser nutriente para processos biológicos, o fósforo em excesso em esgotos sanitários e efluentes industriais conduz a processos de eutrofização das águas naturais.

O gráfico apresenta os resultados das concentrações de fósforo total (P) no P01 (caixa de areia) e P04 (deságue das águas dos jardins filtrantes no Pajeú). Destaca-se que para este elemento, na Resolução CONAMA 357/2005 os valores de P01 e P04 oscilam acima dos valores de referência para Classe 2 (0,03 mg/L) e Classe 3 (9,00 mg/L).



Gráfico 11 - Concentração de Fósforo total (P). Fonte: Autores (2024).

O quadro a seguir apresenta os dados estatísticos dos principais parâmetros considerados no P01 e P04 para P, demonstrando os pontos a montante e jusante do sistema de jardins filtrantes:

Os valores de fósforo a montante variam de 0,1 mg/L a 24,1 mg/L, representando uma faixa de variação elevada, assim como os valores a jusante, que variam de 0,00 mg/L a 22,7 mg/L, permanecendo acima de 0,03 mg/L em 94% no período observado. O gráfico a seguir mostra a distribuição de frequência no ponto a montante e a jusante do sistema:

Análise Estatística	P01	P04
N° de amostras	17	17
Média	11,81 mg/L	10,30 mg/L
Mínimo	0,10 mg/L	0,00 mg/L
Máximo	24,16 mg/L	22,70 mg/L
Desvio Padrão	8,36 mg/L	7,88 mg/L
Coef. de variação	0,71	0,74
% abaixo Limite Classe 2	0%	6%

Quadro 20 - Resultados observados para o Fósforo Total. Fonte: Autores (2024).

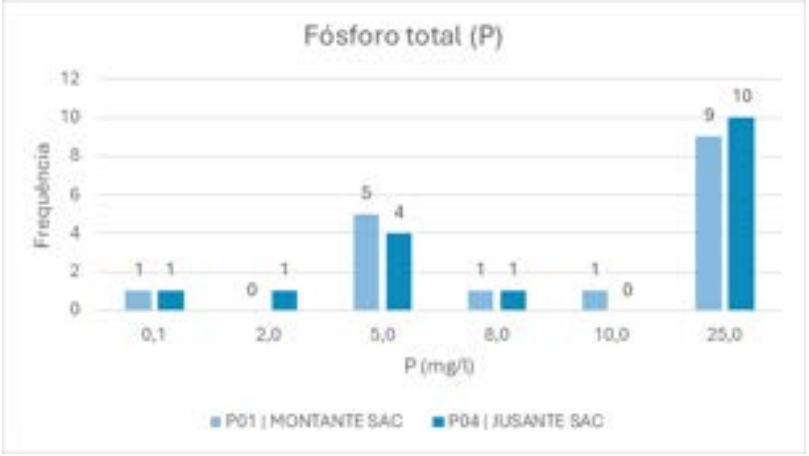


Gráfico 12 - Histograma de distribuição de frequência de Fósforo total (P). Fonte: Autores (2024).

H) Série de Nitrogênio

As fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da ureia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes.

A atmosfera é outra fonte importante devido a diversos mecanismos, como a biofixação, desempenhada por bactérias e algas presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, também acarreta a presença de amônia e nitratos nas águas, pois a chuva transporta tais substâncias, bem como as partículas contendo nitrogênio orgânico para os corpos hídricos. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Também nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais, associada às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui fonte difusa de difícil caracterização.

Como visto, o nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. Pode-se associar as etapas de degradação da poluição orgânica por meio da relação entre as formas de nitrogênio. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas, significa que o foco de poluição se encontra próximo; se prevalecerem o nitrito e o nitrato, denota que as descargas de esgotos se encontram distantes. O nitrogênio orgânico é determinado pelo método Kjeldahl, cujo resultado indica as frações totais de nitrogênio orgânico e de nitrogênio amoniacal.

Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos e são caracterizados como macronutrientes, pois, depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o eutrofizado.

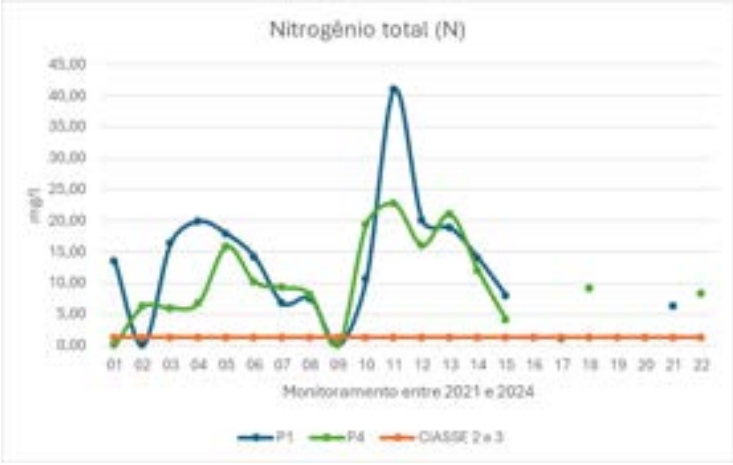


Gráfico 13 – Nitrogênio total (N). Fonte: Autores (2024).

A eutrofização pode possibilitar o crescimento mais intenso de seres vivos que utilizam nutrientes, especialmente as algas. Estas grandes concentrações de algas podem trazer prejuízos aos múltiplos usos dessas águas, prejudicando seriamente o abastecimento público ou causando poluição decorrente da morte e decomposição desses organismos. O controle da eutrofização, através da redução do aporte de nitrogênio, é comprometido pela multiplicidade de fontes, algumas muito difíceis de serem controladas, como a fixação do nitrogênio atmosférico, por parte de alguns gêneros de algas. Por isso, deve-se investir preferencialmente no controle das fontes de fósforo.

Deve-se lembrar também que alguns processos de tratamento de esgotos empregados atualmente no Brasil não contemplam a remoção de nutrientes, e os efluentes finais tratados lançam elevadas concentrações desses nos corpos d'água.

Pela legislação federal em vigor, o nitrogênio amoniacal é padrão de classificação das águas naturais e padrão de emissão de esgotos. A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L. Além disso, como visto anteriormente, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente, a chamada DBO de segundo estágio. Por esses motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é um importante parâmetro de classificação das águas naturais e é normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas.

O gráfico apresenta os resultados das concentrações de nitrogênio total no P01 e P04. Destaca-se que para este elemento, na Resolução CONAMA 357/2005 os valores de P01 e P04 estão, na maior parte das amostras, acima dos valores de referência para Classe 2 (3,7 mg/L) e Classe 3 (13,3 mg/L).

O quadro a seguir apresenta os dados dos principais parâmetros considerados no P01 e P04 para nitrogênio total, demonstrando os pontos a montante e a jusante do sistema de jardins filtrantes.

Os valores de nitrogênio a montante variam de 0,0 mg/L a 41,0 mg/L, representando uma faixa de variação elevada, assim como os valores de OD a jusante, que variam de 0,00 mg/L a 22,7 mg/L, permanecendo acima de 1,27 mg/L em 88% no período observado. O gráfico mostra a distribuição de frequência no ponto a montante e a jusante do sistema:

Análise Estatística	P01	P04
N^0 de amostras	17	17
Média	12,70 mg/L	10,30 mg/L
Mínimo	0,00 mg/L	0,00 mg/L
Máximo	41,00 mg/L	22,70 mg/L
Desvio Padrão	9,93 mg/L	6,74 mg/L
Coef. de variação	0,78	0,65
% abaixo Limite Classe 2	18%	12%

Quadro 21 - Resultados observados para o Nitrogênio Total.
Fonte: Autores (2024).

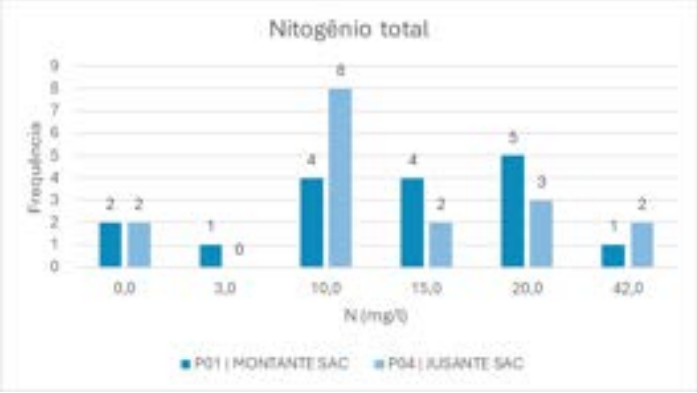


Gráfico 14 - Histograma de distribuição de frequência de Nitrogênio Total.
Fonte: Autores (2024).

1.3 VARIÁVEIS MICROBIOLÓGICAS

I) Coliformes Termotolerantes

São definidos como microrganismos do grupo coliforme aqueles capazes de fermentar a lactose a 44-45 °C, sendo representados principalmente pela Escherichia coli e também por algumas bactérias dos gêneros Klebsiella sp., Enterobacter sp. e Citrobacter sp. Dentre esses microrganismos, somente a E. coli é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal. Os demais podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como, por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição.

Os coliformes termotolerantes não são indicadores de contaminação fecal tão apropriados quanto a E. coli, mas seu uso é aceitável para avaliação da qualidade da água. São disponíveis métodos rápidos, simples e padronizados para sua determinação e, se necessário, as bactérias isoladas podem ser submetidas a diferenciação para E. coli. Além disso, na legislação brasileira, os coliformes fecais são utilizados como padrão para qualidade microbiológica de águas superficiais destinadas a abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura.

O gráfico apresenta os resultados das concentrações de Coliformes Totais no P01 e P04. Destaca-se que para este elemento, na Resolução CONAMA 357/2005 os valores de P01, na maior parte das amostras, estão dentro do estabelecido para a Classe 3 (2.500 NMP/100 mL) e no P04 dentro da referência para Classe 2 (1.000 NMP/100 mL), demonstrando que há de ter tratamento desse parâmetro pelos jardins filtrantes.



Gráfico 145– Coliformes Totais. Fonte: Autores (2024).

O quadro a seguir apresenta os dados dos principais parâmetros considerados no P01 e P04 para Coliformes Totais, demonstrando os pontos a montante e a jusante do sistema de jardins filtrantes.

Os valores de coliformes totais a montante variam de 567 NMP/100 mL a 16.000 NMP/100 mL, representando uma faixa de variação elevada, assim como os valores a jusante, que variam de 369 NMP/100 mL a 16.000 NMP/100 mL, permanecendo acima de 1.000 NMP/100 mL em 32% no período observado:

O gráfico a seguir ilustra a distribuição de frequência no ponto a montante e a jusante do sistema:

Análise Estatística	P01	P04
N^0 de amostras	16	16
Média	3.714 NMP/100mL	2.763 NMP/100mL
Mínimo	567 NMP/100mL	369 NMP/100mL
Máximo	16.000 NMP/100mL	16.000 NMP/100mL
Desvio Padrão	4.906 NMP/100mL	5.226 NMP/100mL
Coef. de variação	1,32	1,89
% abaixo Limite Classe 2	12%	68%

Quadro 22 - Resultados observados para Coliformes totais. Fonte: Autores (2024).

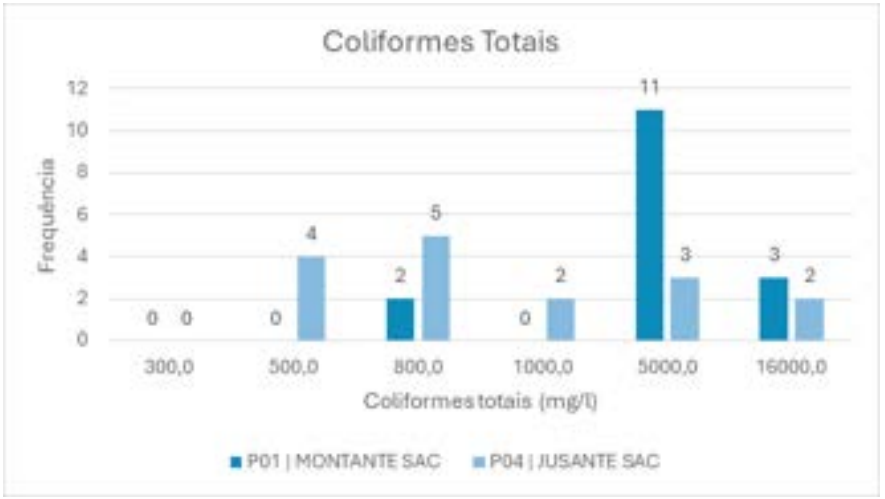


Gráfico 16 – Coliformes totais. Fonte: Autores (2024).

1.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma síntese da avaliação individual do estado ou condição da qualidade da água de um corpo hídrico, variando de "muito ruim" a "excelente" a partir de nove variáveis:

1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)
2. Oxigênio Dissolvido (OD)
3. Coliformes fecais
4. Nitrogênio total
5. Potencial hidrogênico (pH)
6. Temperatura
7. Resíduo total
8. Fósforo total
9. Turbidez

O IQA da Água é determinado pelo produto ponderado das qualidades da água correspondentes a essas variáveis. No caso de não se dispor do valor de alguma das nove variáveis, o cálculo do IQA é inviabilizado.

Os índices de qualidade existem para comunicar ao público em geral as condições ambientais dos corpos d'água. São "notas" que retratam condições ou que permitam inferências sobre alguns aspectos específicos sobre o curso d'água, tal como biodiversidade e toxicidade (Von Sperling, 2014).

O IQA é um índice que fornece uma indicação relativa da qualidade da água em diferentes pontos no espaço e/ou no tempo, que pode ser vantajosamente utilizado como instrumento de gestão ambiental na avaliação da efetividade de programas de controle da poluição e estabelecimento de prioridades para ações de controle, como meio de difusão da qualidade da água para o público.

Para a avaliação do IQA do riacho Pajeú, analisando cada uma das variáveis, foi estabelecida uma curva de variação da qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição observada, usando o cálculo do IQA apresento pela equação a seguir:

$$IQA = \prod_{i=1}^{n} q_i^w i$$

Na qual:

- IQA = Índice de Qualidade da Água, dado por um número de 0 a 100;
- qi= qualidade da i-ésima variável dada por um número de 0 a 100, obtido por meio da respectiva "curva média de variação da qualidade" em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);
- wi = peso correspondente à i-ésima variável, um número de 0 a 1, fixado em função de sua importância para a conformação da qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

Em que:

- n = número de variáveis que entram no cálculo do IQA

Os valores utilizados para o cálculo do IQA e os respectivos pesos relativos estão conforme o que estabelece a Companhia Ambiental de São Paulo – Cetesb (2004).

Parâmetro	Unidade	Peso (wi)
Coliformes Fecais	UFC/100ml	0,15
pH		0,12
DBO	mg/L	0,10
Nitrogenio	mg/L	0,10
Fósforo	mg/L	0,10
Temperatura	°C	0,10
Turbidez	NTU	0,08
Sólidos totais	mg/L	0,08
OD	% saturação	0,17

Quadro 23 – Parâmetros para o cálculo do Índice de Qualidade da Água - IQA. Fonte: Autores (2024).

A partir dos valores estabelecidos, a qualidade da água bruta é avaliada conforme a escala do IQA, conforme demonstrado na Figura 35.

Para calcular o ***IQA do riacho Pajeú no P01, onde está a primeira etapa de tratamento das águas na caixa de areia, e no P04, onde está a tubulação de lançamento da água após passar pelo sistema de alagados construídos do Parque da Cidade e do Parque Pajeú***, foram usados os resultados das análises realizadas de 2021 a 2024.

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	79 < IQA ≤ 100
BOA	51 < IQA ≤ 79
REGULAR	36 < IQA ≤ 51
RUIM	19 < IQA ≤ 36
PÉSSIMA	IQA ≤ 19

Quadro 24 - Classificação do IQA. Fonte: Cetesb (2004).

Ponto de Amostragem	IQA	Classificação
P01 | Amostra 17	33,7	Ruim
P01 | Amostra 21	31,5	Ruim
P01 | Média	33,4	Ruim
P04 | Amostra 17	24,1	Ruim
P04 | Amostra 21	34,5	Ruim
P04 | Média	26,8	Ruim

Quadro 25 - Resultados observados para o IQA do riacho Pajeú. Fonte: Autores (2024).

A representação das porcentagens do qi^w máximo possível para cada parâmetro permite comparar os parâmetros na mesma base, sendo que o valor de 100% indica que o parâmetro está na melhor qualidade possível. Desta forma, com base na análise das informações apresentadas podemos concluir que as concentrações de DBO e Fósforo Total representam os maiores déficits da qualidade da água, tanto na entrada do sistema (representado pelo P01), como a jusante do sistema de jardins filtrantes (representada pelo P04).

Observa-se que a coleta realizada no dia 18/07 do P04 (amostra 17) apresentou a melhor qualidade da água (24), porém, com pouca diferença em relação aos demais pontos e períodos, já que todos enquadram-se na classe de qualidade de água Ruim, segundo a metodologia de classificação do IQA.

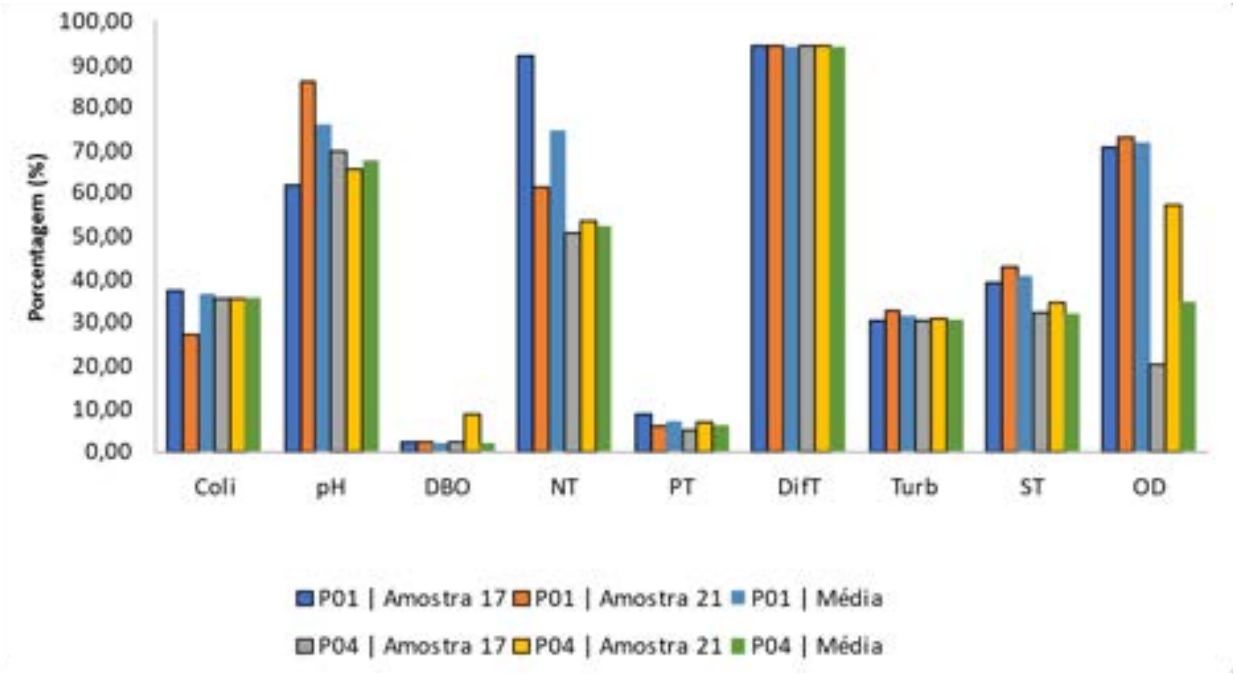


Gráfico 17 - IQA do riacho Pajeú. Fonte: Autores (2024).

1.5 CONTRIBUIÇÕES DO SISTEMA

De acordo com o presente estudo, o Sistema de Jardins Filtrantes de Sobral, implantados no Parque da Cidade e no Parque Pajeú, apresenta um impacto ainda limitado na melhoria da qualidade da água, devido, especialmente, à elevada carga de contaminação da água do riacho Pajeú. A escala reduzida da primeira etapa de tratamento – a caixa de areia a montante dos alagados construídos tem objetivo de retenção de sólidos em suspensão – tem capacidade limitada, não sendo suficiente frente às elevadas cargas orgânicas presentes no efluente.

Considerando que a principal carga poluidora das águas servidas a ser tratada pelos jardins filtrantes atualmente são os efluentes domésticos da região, foi realizada uma estimativa de dimensionamento do sistema, considerando as principais referências e premissas de embasamento técnico-científico para alagados construídos.

a) Dados de entrada relativos à vazão e à carga de DBO afluentes

Inicialmente, deve-se estimar o valor da carga de DBO do esgoto bruto afluente ao sistema de tratamento. Esta carga é obtida por meio do produto da vazão média afluente pela concentração de DBO do esgoto bruto ou, preferencialmente, por meio do produto da população contribuinte pela carga per capita de DBO.

$$Carga\ de\ DBO\ do\ esgoto\ bruto\ \left(\frac{g}{d}\right) = Carga\ per\ capita\ \left(\frac{g}{hab.d}\right) \times População\ (hab)$$

ou

$$Carga\ de\ DBO\ do\ esgoto\ bruto\ \left(\frac{g}{d}\right) = Vazão\ média\ \left(\frac{m^3}{d}\right) \times Concentração\ \left(\frac{g}{m^3}\right)$$

Para a definição da possível contribuição de efluentes no sistema, foram utilizadas as últimas informações disponibilizadas pelo censo demográfico do IBGE (2022), em que foram sobrepostos dados de população na área de contribuição da bacia do riacho Pajeú. A análise demonstrou a ocupação de 67.438 habitantes, o que, considerando um consumo per capita de 120 L/hab/dia (SNIS, 2022), resultaria em uma geração de esgoto de 77 L/s. Vale ressaltar que a vazão estimada se mostrou próxima da premissa utilizada nos projetos preliminares dos jardins filtrantes de Sobral, onde foram adotados 83 L/s.

Mantendo-se a premissa da concentração média de DBO afluente ao sistema de 329 mg/L, estima-se uma carga de DBO de 2.201 kg/dia – considerando a contribuição de 12h (mesma premissa de projeto dos jardins filtrantes de Sobral), a carga orgânica afluente ao sistema seria de 1.100 kg DBO.

b) Cálculo da área superficial requerida usando o conceito da taxa de aplicação orgânica superficial:

A área superficial requerida é calculada utilizando-se um valor adotado para a taxa de aplicação orgânica superficial:

$$\text{Área superficial requerida } (m^2) = \frac{\text{Carga de DBO afluente aos wetlands } (\frac{gDBO}{d})}{\text{Taxa de aplicação orgânica superficial } (\frac{gDBO}{m^2.d})}$$

Para sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial, como os usados em Sobral, recomenda-se como taxa de aplicação orgânica superficial valores na faixa de 6 a 15 g DBO/m2/dia. Deve-se priorizar a taxa de aplicação orgânica com relação à taxa de aplicação hidráulica ou, caso se deseje ficar a favor da segurança, deve-se adotar o maior valor calculado para a área superficial, tendo por base as taxas de aplicação hidráulica e orgânica.

Os maiores valores das taxas de aplicação orgânica superficial estão usualmente associados a condições climáticas mais favoráveis (temperaturas mais quentes), ao passo que os menores valores estão usualmente associados a condições climáticas menos favoráveis (temperaturas mais frias), dentro da faixa climática brasileira. Valores mais reduzidos da taxa de aplicação orgânica superficial (dimensionamentos mais conservadores) conduzem a maiores áreas superficiais requeridas. No entanto, deve-se levar em conta que, para uma determinada condição climática, a expectativa é de que se tenham, com menores taxas de aplicação, maiores eficiências de remoção e valores mais reduzidos das concentrações efluentes – ou seja, um melhor desempenho. Adicionalmente, espera-se uma operação mais longa, sem problemas de colmatação. A decisão do projetista deve levar em consideração, portanto, os requisitos de área e a expectativa com relação ao efluente final e à longevidade da operação, sem a necessidade de limpeza ou troca do meio filtrante.

[2]SNIS - Série Histórica. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA).

Tomando-se como premissa a taxa de aplicação orgânica de 15g DBO/m2/dia, teríamos uma área superficial necessária de 73.365 m2.

c) Verificação da taxa de aplicação hidráulica superficial resultante

Com base na área superficial calculada, verifica-se se o valor resultante para a taxa de aplicação hidráulica superficial encontra-se dentro da faixa usual, que para sistemas com tratamento de efluente primário prévio é de 0,02 a 0,08 m3/m2/dia.

$$Taxa\ de\ aplicação\ hidráulica\ superficial\ resultante\ \left(\frac{m^3}{m^2.d}\right) =$$

$$= \frac{Vazão\ média\ afluente\ aos\ wetlands\ (\frac{m^3}{d})}{Área\ superficial\ requerida\ (m^2)}$$

Assim, a taxa de aplicação hidráulica resultante é de 0,05 m3/m2/dia, confirmando a área superficial necessária.

O quadro a seguir ilustra as faixas esperadas de desempenho de tratamento relacionado ao alagado construído de escoamento horizontal subsuperficial:

Item	Wetlands horizontais recebendo efluente de tratamento primário	Wetlands horizontais recebendo efluente de tratamento secundário de baixa eficiência	Comentário
Tipos de tratamento a montante dos wetlands			
Tratamento preliminar	Gradeamento e desarenação	Gradeamento e desarenação	
Tratamento primário ou secundário a montante dos wetlands	Tanques sépticos (várias configurações)	Exemplos: reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente; reatores anaeróbios compartimentados; 1º estágio do sistema francês de wetlands verticais	Poderá haver outras unidades ou sistemas na etapa anterior de tratamento biológico
Eficiências de remoção			
Eficiências de remoção assumida na etapa a montante dos wetlands			
DBO	25 a 35 %	60 a 75%	As eficiências apresentadas retratam faixas esperadas, caso o projeto, a construção e a operação sejam adequadas. Naturalmente, poderão ocorrer valores inferiores ou superiores. Caso desejado, o projetista poderá ficar a favor da segurança, assumindo valores mais próximos ao limite inferior da faixa. Este comentário é válido para todos os parâmetros de qualidade cobertos neste item
DQO	20 a 30 %	55 a 70 %	
Eficiências globais de remoção esperadas no sistema como um todo			
DBO	> 85 %	> 90 %	Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group (2017); experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC. As eficiências apresentadas retratam faixas esperadas, caso o projeto, a construção e a operação sejam adequadas. Naturalmente, poderão ocorrer valores inferiores ou superiores. Caso desejado, o projetista poderá ficar a favor da segurança, assumindo valores mais próximos ao limite inferior da faixa. Este comentário é válido para todos os parâmetros de qualidade cobertos neste item
DQO	> 80 %	> 85 %	Ref: GESAD/UFSC
SST	> 85 %	> 90 %	Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group 2017; experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC
N amoniacal	< 40 %	< 40 %	Em condições climáticas bem favoráveis, com o emprego de baixas taxas de aplicação superficial, com o cultivo de macrófitas eficientes na extração de nitrogênio e um manejo da vegetação que conduza a cortes mais frequentes, na fase de crescimento, podem-se alcançar eficiências de remoção mais elevadas. Ref: adaptado de IWA Task Group (2017)
N total	< 50 %	< 50 %	Ver comentário relativo a N amoniacal. Ref: adaptado de IWA Task Group (2017)
Fósforo total	< 20 %	< 20 %	Ref: adaptado de IWA Task Group (2017)
Coliformes termotolerantes	1 a 3 unidades log	1 a 3 unidades log	Ref: Maiga, von Sperling, Mihelcic (2017)

Quadro 26 - Faixas de desempenho de jardins filtrantes considerando

2. IMPACTO NA BIODIVERSIDADE

Os jardins filtrantes de Sobral têm impacto positivo sobre a biodiversidade local, vide a presença frequente de espécies de aves, répteis e anfíbios da fauna nativa cearense no local após a implantação, demonstrando os benefícios da criação de habitats que mimetizam os ecossistemas úmidos.

Foram identificadas no local dos jardins filtrantes 25 espécies de fauna nativa, conforme as observações realizadas pela Agência Municipal Ambiental (AMA) de Sobral de 2022 a 2024, contando as espécies observadas pela equipe do Consórcio Geasa/Certare em junho de 2024. Desse total, são 18 espécies de aves, 2 de insetos (borboletas), 4 espécies de lagartos e 1 serpente.

Dentre as ameaças à fauna local, de acordo com a superintendente da AMA, um dos principais desafios à proteção dos animais silvestres é a crescente população de gatos domésticos nas áreas do Parque da Cidade e Parque Pajeú.

O quadro a seguir apresenta a fauna visitante dos jardins filtrantes do Parque da Cidade e do Parque Pajeú:



Gráfico 18 - Número de espécies por família da fauna observadas no Parque da Cidade e Parque Pajeú, após a implantação dos jardins filtrantes, de 2022 a 2024.

Classe	Ordem	Família	*Nome científico*	Nome popular
Reptilia	Squamata	Iguanidae	*Iguana iguana*	Camaleão
Reptilia	Squamata	Teiidae	*Salvator merianae*	Tejo-d'água ou Teiú
Reptilia	Squamata	Teiidae	*Tupinambis teguixin L*	Teiú-branco
Sauropsida	Squamata	Teiidae	*Ameiva ameiva*	Tijubina
Sauropsida	Squamata	Boidae	*Boa constrictor*	Cobra Jibóia
Aves	Apodiformes	Trochilidae	*Chlorostilbon lucidus*	Beija-flor-verdinho
Aves	Apodiformes	Trochilidae	*Eupetomena macroura*	Beija-flor-tesoura
Aves	Pelecaniformes	Ardeidae	*Ardea alba*	Garça-branca-grande
Aves	Pelecaniformes	Ardeidae	*Bubulcus ibis*	Garça-vaqueira
Aves	Pelecaniformes	Ardeidae	*Egretta thula*	Garça-branca-pequena
Aves	Charadriiformes	Scolopacidae	*Tringa melanoleuca*	Maçarico-grandede-perna-amarela
Aves	Charadriiformes	Scolopacidae	*Calidris minutilla*	Maçariquinho
Aves	Charadriiformes	Scolopacidae	*Tringa solitaria*	Maçarico-solitário
Aves	Charadriiformes	Charadriidae	*Anarhynchus collaris*	Batuíra-de-coleira
Aves	Gruiformes	Rallidae	*Porphyrio martinica*	Frango-d'água-azul
Aves	Gruiformes	Rallidae	*Gallinula galeata*	Galinha-d'água
Aves	Gruiformes	Rallidae	*Aramides cajaneus*	Siricóia ou Saracuratrês-pote
Aves	Coraciiformes	Cerylidae	*Chloroceryle americana*	Martim-Pescador pequeno
Aves	Passeriformes	Icteridae	*Chrysomus ruficapillus*	Papa-arroz ou Garibaldi
Aves	Passeriformes	Icteridae	*Agelaioides fringillarius*	Pardal-do-mato ou Asa-de-telha-pálido
Aves	Passeriformes	Tyrannidae	*Fluvicola nengeta*	Lavadeira-mascarada
Aves	Passeriformes	Tyrannidae	*Fluvicola albiventer*	Lavadeira-de-cara-branca
Aves	Cuculiformes	Cuculidae	*Crotophaga ani*	Anu-preto
Insecta	Lepidoptera	Nymphalidae	*Hamadryas amphinome*	Estaladeira
Insecta	Lepidoptera	Nymphalidae	*Hamadryas februa*	Estaladeira

Quadro 27 - Espécies da fauna observadas no Parque da Cidade e Parque Pajeú, após a implantação dos jardins filtrantes, de 2022 a 2024. Fonte: André Neto, fotógrafo passarinheiro técnico da Agência Ambiental de Sobral (AMA) e Consórcio Geasa/Certare, 2024.

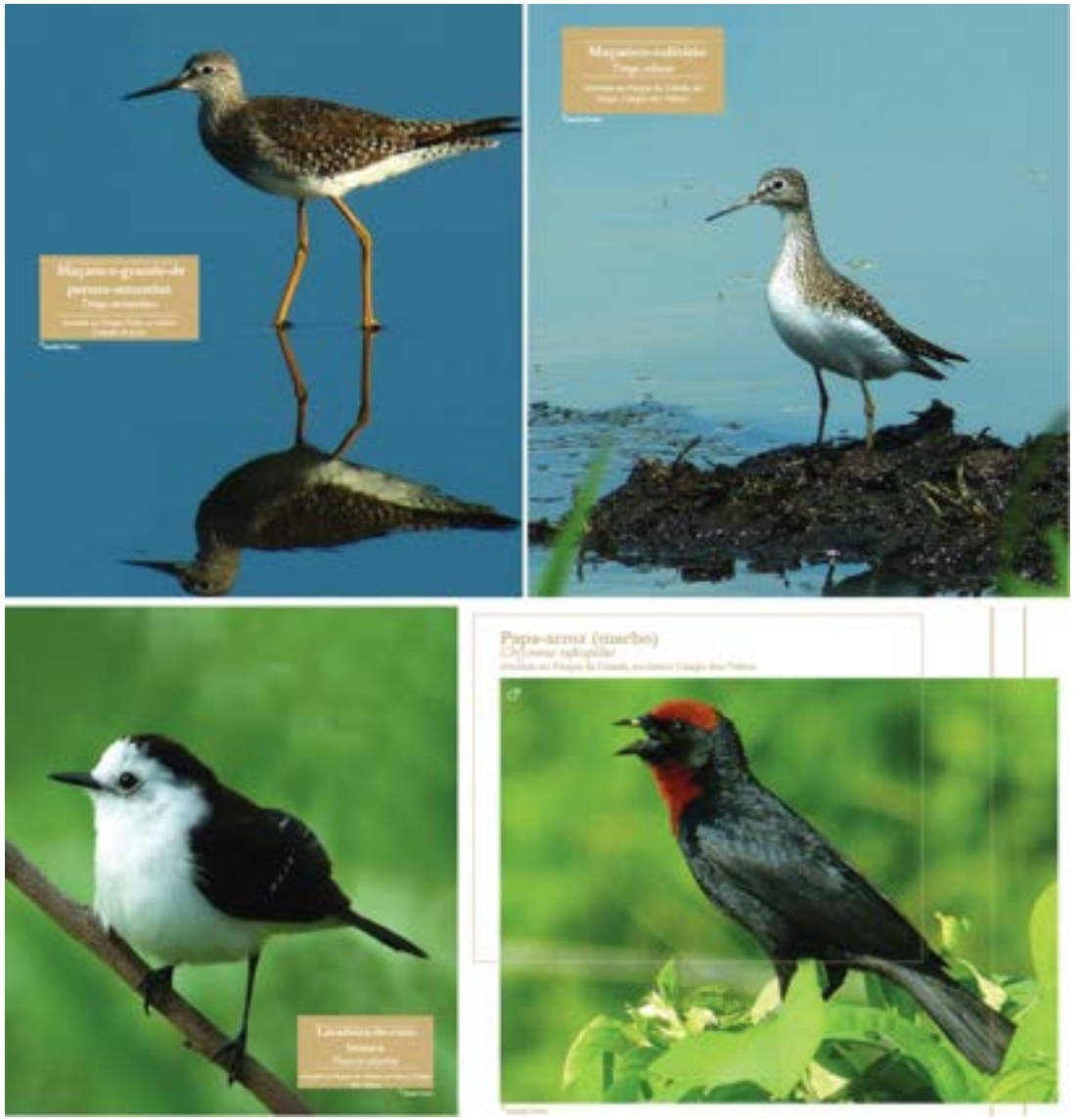


Figura 63 - Espécies fotografadas nos entornos do Riacho Pajeú. Fonte: Fotos disponíveis no livro Sobral – Cidade das Aves: Um Registro Fotográfico da Fauna Ornitológica (Neto, 2022).

Após a implantação dos jardins filtrantes no Parque da Cidade e no Parque Pajeú, algumas aves ganharam destaque nesses espaços. A seguir, são apresentadas as espécies mais frequentemente avistadas:

Garça-vaqueira *(Bubulcus ibis)*

Proveniente da África, colonizou o país recentemente. Começou a aparecer a partir de 1964 na Ilha de Marajó, associada aos búfalos, provavelmente vinda da África, atravessando o Atlântico, ou vinda de colônias pré-fixadas da América do Sul.

Procura alimento, de um modo geral, em espaços secos, campos de cultivo, podendo, no entanto, ser encontrada nas margens de lagos e pântanos. É uma garça insetívora, consumindo moscas, grilos, gafanhotos, cigarrinhas das pastagens, carrapatos, libélulas, lagartas, besouros etc. Frequenta áreas de pastos onde se alimenta de moscas do dorso de animais de pastos. Quando o gado está em terreno alagadiço, também busca alimentos no solo e até mesmo pequenos anfíbios. É capaz de subsistir em zonas secas, sem nenhuma água, durante um espaço de tempo relativamente longo. Sua ocorrência é confirmada na cidade de Sobral.



Figura 64 - Municípios onde os observadores do WikiAves registraram ocorrências da espécie anu-preto (Crotophaga ani).
*Fonte: https://www.wikiaves.com.br/**

* A concentração de pontos em uma região não indica, necessariamente, concentração de aves nesta região pois está relacionada também à concentração de observadores, principalmente nos grandes centros urbanos.

Garça-branca-pequena *(Egretta thula)*

Habita desde o sudoeste dos Estados Unidos e Antilhas à quase totalidade da América do Sul, incluindo todo o Brasil. No Canadá, só é encontrada na Nova Escócia e apenas no verão, e pode ser encontrada em praias. Sua ocorrência é confirmada na cidade de Sobral.

Vive em bordas de lagos, rios, banhados e à beira-mar. É uma ave comum em manguezais, estuários e poças de lama na costa, sendo menos numerosa em pântanos e poças de água doce. Também pode ser encontrada em pastagens, pisciculturas, arrozais, canais etc. Vive em grupos e migra pequenas distâncias para dormir.

Alimenta-se de peixes de água doce e marinhos de forma bastante ativa. Aprecia também insetos, larvas, moluscos, vermes, caranguejos e outros crustáceos, anfíbios e pequenos répteis.



Figura 65 -Municípios onde os observadores do WikiAves registraram ocorrências da espécie garça-branca-pequena (Egretta thula).
*Fonte: https://www.wikiaves.com.br/.**

Anu-preto *(Crotophaga ani)*

Vive em paisagens abertas com moitas e capões entre pastos e jardins; ao longo das rodovias, costuma ser quase a única que se vê, como habitante de lavouras abandonadas. Prefere lugares úmidos.

É essencialmente carnívora, comendo gafanhotos, percevejos, aranhas, miriápodes etc. Preda também lagartas peludas e urticantes, lagartixas e camundongos. Pesca na água rasa e periodicamente come frutas, bagas, coquinhos e sementes, sobretudo na época seca, quando há escassez de artrópodes.

Ocorre no sudeste dos Estados Unidos, no estado da Flórida, nas ilhas do Caribe, sudeste do México (no estado de Quintana Roo), Costa Rica, Equador, arquipélago de Galápagos e até o norte da Argentina. Também ocorre na porção leste da América do Sul, desde o leste da cordilheira dos Andes, na Venezuela, Guianas, Brasil e até o norte do Uruguai.



Figura 66 - Municípios onde os observadores do WikiAves registraram ocorrências da espécie anu-preto (Crotophaga ani).
*Fonte: https://www.wikiaves.com.br/.**

* A concentração de pontos em uma região não indica, necessariamente, concentração de aves nesta região pois está relacionada também à concentração de observadores, principalmente nos grandes centros urbanos.

Lavadeira-mascarada *(Fluvicola nengeta)*

A população brasileira da lavadeira-mascarada, que era restrita a açudes e rios no Sertão e Agreste da região Nordeste, está em expansão. A Mata Atlântica, que aparentemente representava uma barreira natural para essa espécie, foi perdendo espaço para pastagens e culturas que se assemelham mais ao semiárido do que à floresta ombrófila, possibilitando assim a expansão da espécie.

O seu habitat é, preferencialmente, junto a rios ou lagoas, podendo ser encontrada em parques e jardins em centros urbanos. Vem frequentemente ao chão, mesmo barrento, em busca de alimento. É ave de espaços abertos, sendo comum ser vista em bandos ou casais. Ocasionalmente, pode ser encontrada em áreas urbanas bem arborizadas.

Alimenta-se de pequenos artrópodes que captura na lama das margens de rios, açudes, brejos e pocilgas, de onde raramente se afasta. Antes de se alimentar, tem um comportamento igual ao do bem-te-vi, de estar com o alimento no bico e batê-lo contra o chão.



*Figura 67 - Municípios onde os observadores do WikiAves registraram ocorrências da espécie lavadeira-mascarada (Fluvicola nengeta). Fonte: https://www.wikiaves.com.br/.**

Lavadeira-de-cara-branca *(Fluvicola albiventer)*

Esta espécie é encontrada em águas paradas tomadas por tapetes de vegetação flutuante, como aguapés e vitórias régias em tanques e lagos e nas áreas abertas adjacentes. Também ocorre em banhados, manguezais, pantanais, brejos, campos e pastos alagados.

É mais comum na Amazônia brasileira e no nordeste do Brasil, mas ocorre em todo o País. Ocorre também no leste da Bolívia, no Paraguai e no norte da Argentina. Ocorre no estado do Ceará e na cidade de Sobral.



*Figura 68 - Municípios onde os observadores do WikiAves registraram ocorrências da espécie lavadeira-de-cara-branca (Fluvicola albiventer). .Fonte: https://www.wikiaves.com.br/.**

* A concentração de pontos em uma região não indica, necessariamente, concentração de aves nesta região pois está relacionado também à concentração de observadores, principalmente nos grandes centros urbanos.

Nas entrevistas realizadas, foi relatado pelo servidor da Prefeitura de Sobral, fotógrafo e passarinheiro, que os jardins filtrantes tiveram impactos positivos sobre a fauna, podendo ser notado o retorno de espécies nativas da avifauna cearense no Parque da Cidade e Parque Pajeú.

De acordo com esse servidor, de todas as aves avistadas durante a visita de campo, a lavadeira-de-cara-branca é a única espécie que foi avistada unicamente no Parque da Cidade, considerando a área de abrangência da sede de Sobral e sua zona rural.

Além disso, até 2021, o fotógrafo e ornitólogo da AMA havia identificado a ocorrência de oito espécies de beija-flores, identificada por ele pelos seus nomes populares, a saber:

1. Beija-flor-de-bico-curvo
2. Beija-flor-de-garganta-verde
3. Beija-flor-tesoura
4. Beija-flor-tesoura-verde
5. Beija-flor-vermelho
6. Rabo-branco-acanelado
7. Bico-reto-de-banda-branca
8. Besourinho-de-bico-vermelho

Com relação aos beija-flores, o servidor relatou que houve um aumento considerável no avistamento desses pássaros na região do Parque da Cidade e Parque Pajeú. Isso se deu após o período de aproximadamente dois anos da implantação dos jardins filtrantes.

Destaca-se que, junto da implantação dos jardins filtrantes, os parques ganharam novas espécimes de árvores. Segundo o servidor, os beija-flores aumentam em quantidade principalmente no período de floração dos ipês, bougainvilles e barrigudas.

Com a instalação do equipamento, podem ser identificadas algumas espécies migratórias que vêm da Terra do Fogo, arquipélago situado no extremo sul da América do Sul, e da Serra da Meruoca, durante seus respectivos períodos invernosos – de junho a agosto, naquela localização, e de maio a junho, nesta.

De acordo com o encarregado do Parque Pajeú, já foram vistos no local dos jardins filtrantes espécimes de répteis comumente chamadas de tejos, iguanas, aves conhecidas como canários, sabiás e galos de campina. Entretanto, ele relatou que houve uma redução significativa dos sapos durante o período de chuva, devido concomitantemente à aplicação do fumacê utilizado no combate ao mosquito da dengue.



Figura 69 – Beija-flor-tesoura pousado em cana-do-brejo plantada em jardins filtrantes do riacho Pajeú. Fonte: foto disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Sobral (s/d)

CAPÍTULO 4

PERCEPÇÃO SOCIOAMBIENTAL E DO RETORNO ECONÔMICO DOS JARDINS FILTRANTES

1. AVALIAÇÃO DO PARQUE E GRAU DE CONHECIMENTO
2. IMPACTOS SOCIAIS
3. IMPACTOS AMBIENTAIS
4. SEGURANÇA E FUNCIONALIDADE
5. IMPACTOS ECONÔMICOS
6. GESTÃO PÚBLICA E PLANEJAMENTO
7. MELHORIAS DESEJADAS PELOS USUÁRIOS ENTREVISTADOS
8. ÍNDICE DE IMPACTO SOCIOAMBIENTAL E ECONÔMICO (USAE)
- **8.1** IMPACTO SOCIAL E BENEFÍCIOS PARA A COMUNIDADE
- **8.2** IMPACTO AMBIENTAL
- **8.3** IMPACTO ECONÔMICO
- **8.4** FUNCIONALIDADE E SEGURANÇA
- **8.5** APRENDIZAGENS-CHAVE

9. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES PARA OS ODS



Jardins Filtrantes
Tratam a água do Riacho Pajeú, embelezam a cidade e são habitats para pequenos animais que melhoram a qualidade do ambiente

Paisagismo
Os Jardins filtrantes melhoraram o valor estético da região (plantas, flores)

Regulação Microclima
A arborização e o aumento de elementos florais não só reduziram o desconforto térmico como também melhoraram a qualidade do ar, criando um ambiente mais saudável e agradável para todos

Contato humano com a Natureza
36% dos entrevistados usam o parque para observar arvores, flores, plantas e animais e aproveitar a Natureza

Saúde e Bem Estar
67% dos entrevistados usam o parque para se manter em forma através de atividades como corrida, caminhada, ciclismo e prártica de esportes

Ciclovias
Mobilidade Urbana, lazer e prática de esportes

Acessibilidade
Os entrevistados apreciaram as novas infraestruturas e a inclusão de pessoas com mobilidade reduzida

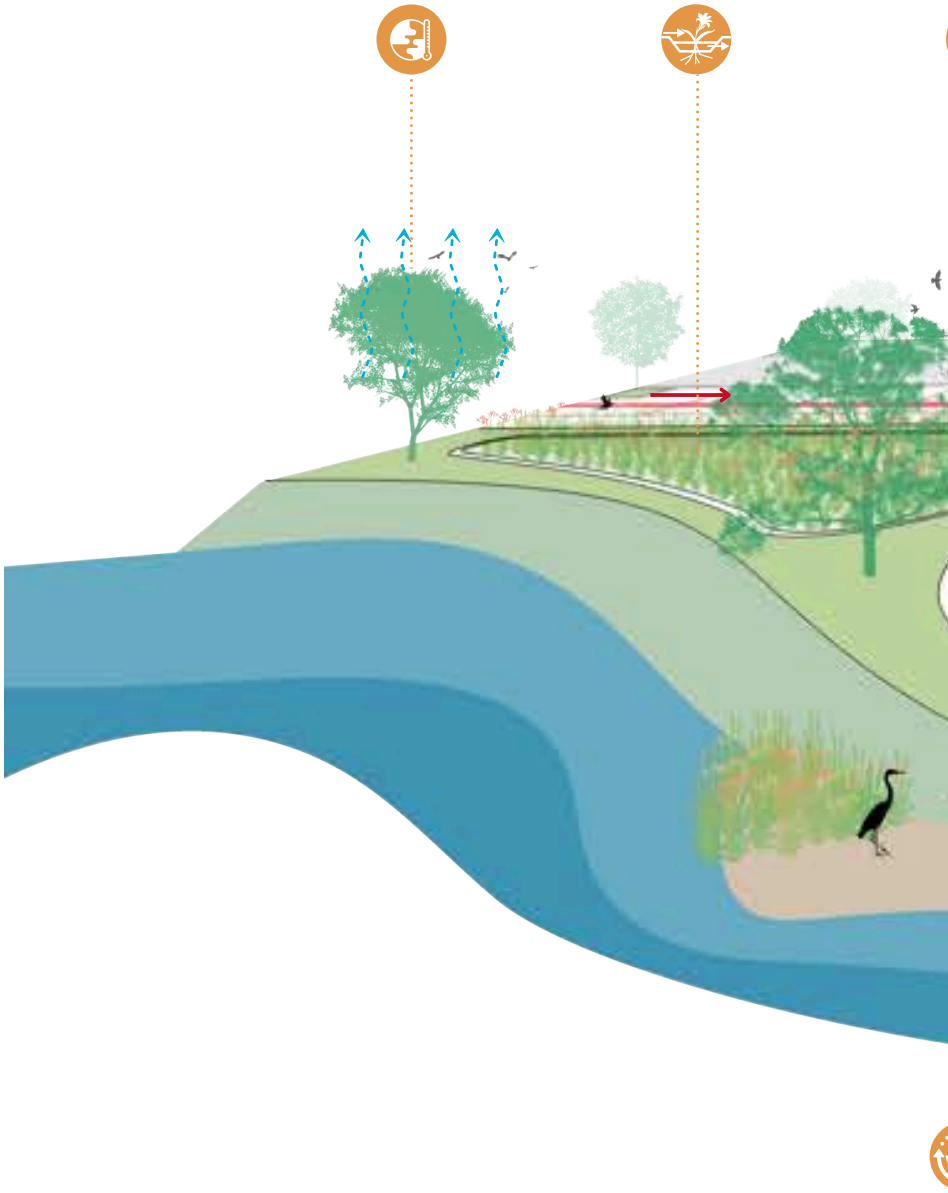
Melhora da qualidade do ar

Impacto Econômico
Passear, beber e comer nos quiosques do parque;
56% das pessoas entrevistadas consumiram bebidas e comidas no quiosque

Mobilidade Urbana
Rota mais agradável para o trabalho, escola, casa etc...

Bem estar
64% dos entrevistados usam o parque para escapar do estresse cotidiano e encontrar um lugar tranquilo para descansar

Aumento da Biodiversidade
O aspecto avaliado de forma mais positiva é o aumento da biodiversidade



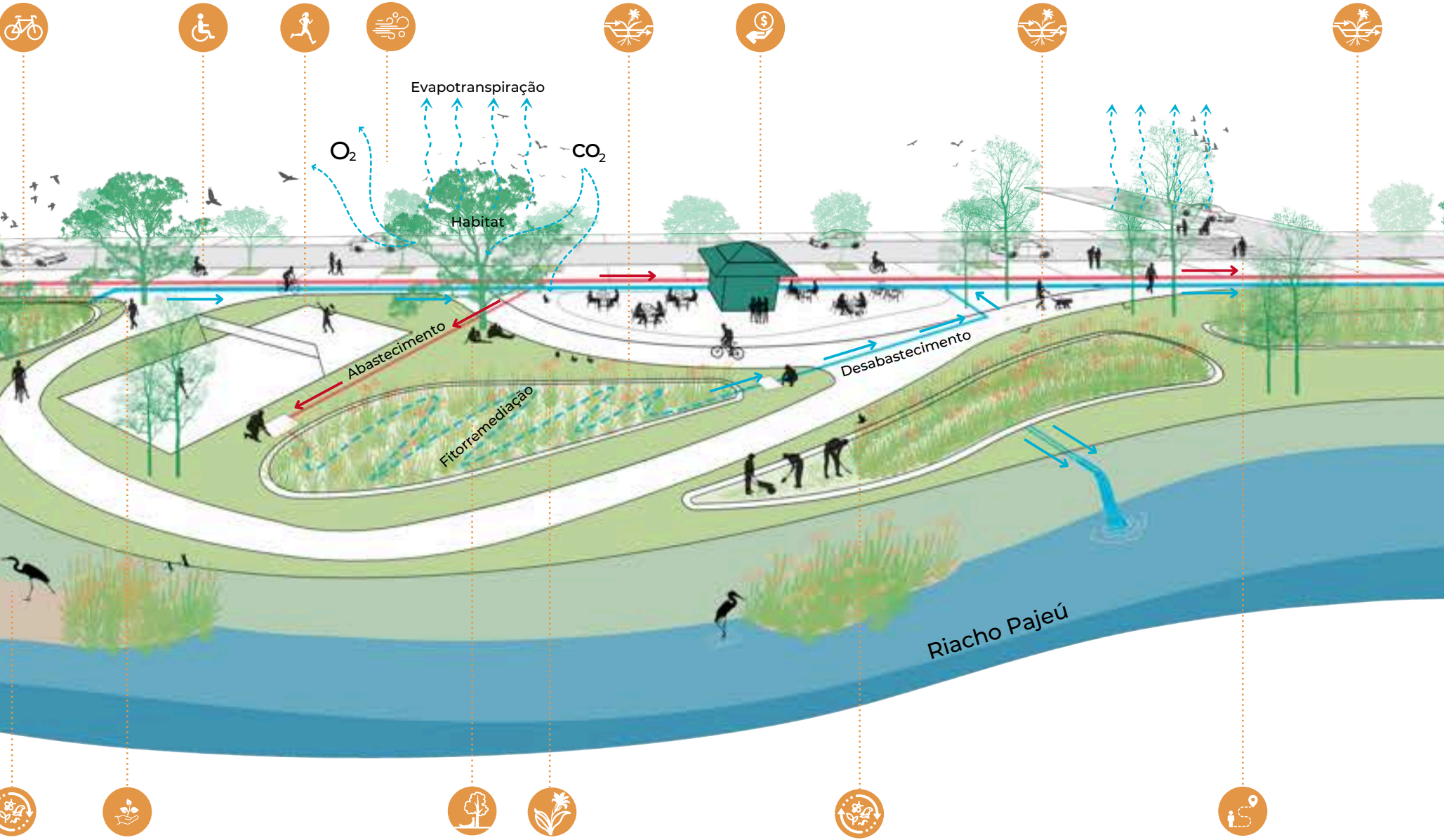


Figura 70 – Ilustração dos Jardins Filtrantes de Sobral. Fonte: Autores (2024)

Este capítulo apresenta a avaliação da percepção de impacto social, ambiental e econômico dos jardins filtrantes em Sobral, descreve os resultados da pesquisa realizada e indica as principais conclusões e recomendações para a replicabilidade do projeto. Compreende ainda a percepção da comunidade que frequenta os parques quanto às modificações geradas a partir da implementação dos jardins filtrantes. É uma avaliação ex post, na qual não se dispõe de uma linha de base ou de indicadores preestabelecidos com medições anteriores.

Considerando as intervenções realizadas e os objetivos propostos, esta avaliação partiu de algumas hipóteses iniciais apresentadas pela Prefeitura de Sobral para medir os impactos gerados:

1. A melhoria da qualidade da água no riacho do Pajeú reduz os maus odores;
2. Isso favoreceu as atividades de lazer e esporte ao longo do riacho;
3. O aumento da prática de atividade física se relaciona com a melhora da saúde da população, reduzindo doenças relacionadas ao sedentarismo.

Foram analisados os três eixos fundamentais do conceito de sustentabilidade:

1. Cuidado com o meio ambiente e com os ecossistemas locais;
2. Equidade social e bem-estar das comunidades envolvidas;
3. Desenvolvimento econômico.

Foi avaliada a contribuição do projeto de jardins filtrantes nas diretrizes e metas da Agenda 2030 para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Organização das Nações Unidas (ONU). Essa avaliação foi feita a partir da vinculação dos diferentes indicadores do projeto apresentados aos objetivos e metas internacionais.

A análise de impacto também considerou elementos presentes no ciclo de vida do projeto, como o contexto social, normas aplicáveis, a comunidade potencialmente afetada e os mecanismos de comunicação e participação[1]. A integração de todos esses elementos permitiu criar um conjunto de indicadores refletidos na matriz de avaliação, central para a definição estratégica do estudo.

O enfoque da avaliação, portanto, foi direcionado para observar a percepção da comunidade em relação às mudanças realizadas no Parque da Cidade e no novo Parque Pajeú.

[1] *Conceitos apresentados em KVAM, Reidar. Avaliação de impacto social: como integrar questões sociais a projetos de desenvolvimento. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2018.*

A metodologia utilizada para esta avaliação foi a abordagem mista, que combina técnicas qualitativas e quantitativas para obter uma visão abrangente e detalhada dos impactos dos jardins filtrantes. Foram considerados, também, dados secundários, como documentos existentes sobre o projeto, registros realizados pela Prefeitura, pesquisas acadêmicas relacionadas e dados estatísticos publicados por órgãos oficiais.

a. Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas com atores-chave de diversas áreas do governo municipal e outros atores-chave. Entre os entrevistados, destacam-se os representantes das seguintes instituições.

Instituição	Participantes
Secretaria Municipal de Saúde	2
Equipe do Programa de Desenvolvimento Socioambiental de Sobral (Prodesol)	2
Agência Municipal do Meio Ambiente (AMA)	2
Secretaria de Segurança Cidadã	1
Secretaria de Trabalho e Desenvolvimento Econômico	2
Referentes acadêmicos da Universidade do Vale do Acaraú (UVA)	2
Total de entrevistados	11

Quadro 28

Os objetivos principais da pesquisa foram:

- Identificar relações de causalidade e contexto para entender os impactos socioambientais e econômicos gerados pela implementação dos jardins filtrantes, considerando a complexidade das interações entre os diversos atores envolvidos e o ambiente;
- Destacar os desafios e oportunidades enfrentados durante a execução do projeto, identificando aprendizados valiosos e formulando recomendações que possam orientar a execução de projetos futuros com características similares;
- Mapear os papéis desempenhados pelos diferentes agentes envolvidos na gestão e manutenção do projeto, valorizando as experiências e vozes dos participantes, com uma abordagem multidisciplinar e integral que capture as diversas perspectivas do projeto.

A pesquisa qualitativa resultou em um mapa mental[2], que integra as múltiplas perspectivas dos participantes, evidenciando as complexas relações entre os diversos fatores que influenciam os impactos dos jardins filtrantes.

[2] *Ferramenta gráfica que auxilia na organização e visualização de informações de maneira hierárquica e interconectada. Ele permite representar ideias, conceitos e dados de maneira não linear, promovendo a compreensão das relações entre os diferentes elementos nele contidos.*

b. Pesquisa Quantitativa

A pesquisa quantitativa foi realizada por meio de questionários aplicados aos usuários dos espaços públicos onde os jardins filtrantes estão localizados, especificamente no Parque da Cidade e no Parque Pajeú. A aplicação dos questionários foi realizada do dia 22 de julho ao dia 5 de agosto de 2024.

A seguir, são apresentados registros fotográficos desses momentos:



Figura 71 – Pesquisa quantitativa: equipe de entrevistadores em campo aplicando o questionário aos moradores voluntários.

Os questionários incluíram perguntas de múltipla escolha, abordando as seguintes temáticas:

- **Perfil:** idade, gênero, bairro de residência e dados socioeconômicos;
- **Grau de conhecimento do projeto:** perguntas espontâneas e guiadas sobre o conhecimento do projeto;
- **Avaliação de segurança:** percepção dos entrevistados sobre diferentes aspectos relacionados com a segurança nos parques;
- **Avaliação de atividades econômicas:** efeitos do projeto nas atividades econômicas locais;
- **Avaliação da melhoria do espaço:** opiniões sobre a melhoria percebida nos espaços públicos;
- **Uso e frequência:** frequência de utilização dos espaços e os principais usos;
- **Sugestões:** ideias e propostas dos entrevistados sobre os espaços e o ambiente.

A metodologia quantitativa deste estudo teve os seguintes objetivos específicos:

- **Mensurar a percepção da comunidade** em relação aos impactos sociais, ambientais e econômicos decorrentes da implementação dos jardins filtrantes;
- **Avaliar o grau de conhecimento e engajamento** da população em relação ao projeto, identificando áreas de maior ou menor conscientização;
- **Analisar os padrões de uso e frequência** dos espaços públicos, compreendendo como o projeto influenciou esses aspectos;
- **Coletar dados estatísticos confiáveis** que possibilitem validar as hipóteses iniciais e fornecer subsídios para futuras tomadas de decisão.

Para a realização da pesquisa quantitativa, foi necessário definir uma amostra representativa dos usuários dos parques. Para isso, foi realizado um estudo sociodemográfico (apresentado no produto 1), que seguiu a distribuição da população por sexo e faixa etária, replicando a estrutura demográfica do Distrito de Sobral, utilizando os dados do Censo Nacional 2020 (IBGE). Isso permitiu calcular o número adequado de entrevistados e suas características, garantindo muita confiabilidade aos dados coletados.

Foram aplicados 400 questionários, resultando em um nível de confiança de aproximadamente 95% e uma margem de erro de 5%. Os cruzamentos de informações pertinentes foram realizados destacando-se as diferenças significativas entre as variáveis, como, por exemplo, a percepção acentuada de falta de segurança nos parques pelas mulheres.

A seguir, detalha-se a amostra resultante conforme perfil sociodemográfico e bairro de residência:

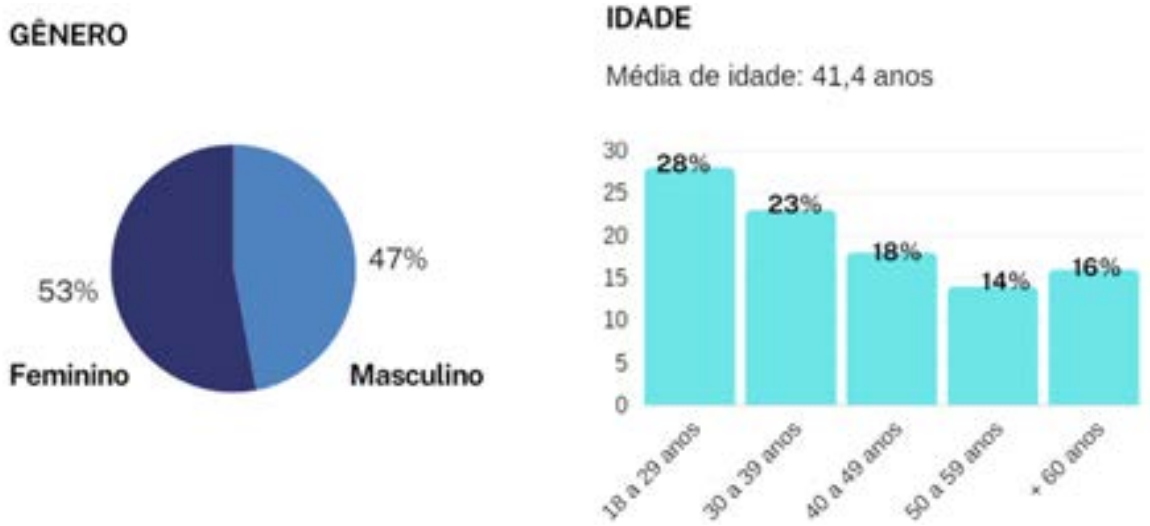


Gráfico 19 - Perfil das pessoas entrevistadas – gênero e idade. Fonte: Autores (2024).

Os dados de características de sexo e idade dos entrevistados, apresentados nos gráficos acima, estão diretamente relacionados ao estudo sociodemográfico realizado no produto 1, sendo proporcionais às características da população do Distrito Sede.

O nível socioeconômico (NSE) é um indicador composto que segmenta os lares com base em variáveis relacionadas ao acesso a bens e serviços (perfil econômico) e ao nível educacional (perfil social). Ele é composto por três variáveis: posse de determinados bens, acesso a serviços públicos e nível educacional máximo do principal provedor econômico do lar (a pessoa que mais contribui financeiramente).

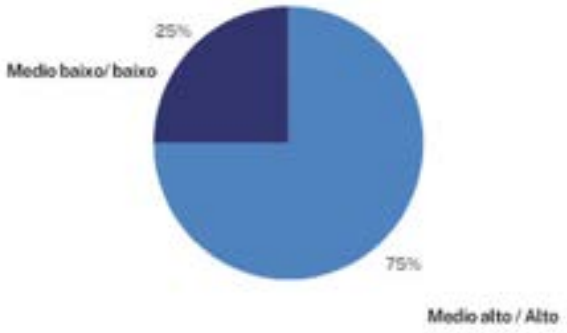


Gráfico 20 - Perfil das pessoas entrevistadas –nível socioeconômico Fonte: Autores (2024).

Na amostra desta pesquisa, observa-se que 75% dos respondentes pertencem ao nível socioeconômico alto e médio alto, enquanto 25% se encontram nos níveis baixos e médio baixo. Esse perfil majoritariamente de NSE[3] alto sugere que os participantes têm maior acesso a serviços públicos e um nível educacional elevado. A alta concentração de indivíduos de NSE elevado pode influenciar os resultados da pesquisa, refletindo as percepções e necessidades de uma parcela da população que já dispõe de melhores condições socioeconômicas, enquanto os desafios enfrentados por aqueles em NSE mais baixo ou médio podem ser sub-representados.

Para analisar os resultados, foi criada uma categorização específica para esta pesquisa com o critério de proximidade aos parques. A zona Centro abarca os seguintes bairros: Expectativa, Campo dos Velhos, Jerônimo do Prado, Alto da Brasília, Pedrinhas, Jocely Dantas, Parque Silvana, Centro. O fato de que 3 em cada 4 pessoas entrevistadas residem na zona central indica que os parques localizados nessas áreas são fundamentais para a comunidade local. Isso sugere que esses espaços verdes têm um impacto direto nessa comunidade.

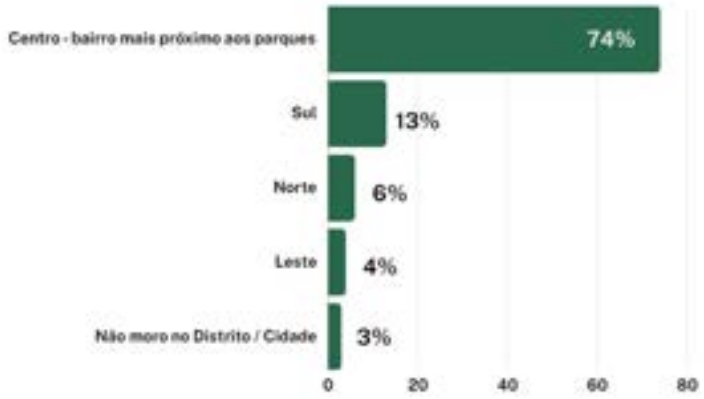


Gráfico 21 - Perfil das pessoas entrevistadas – zonas de residência. Fonte: Autores (2024).

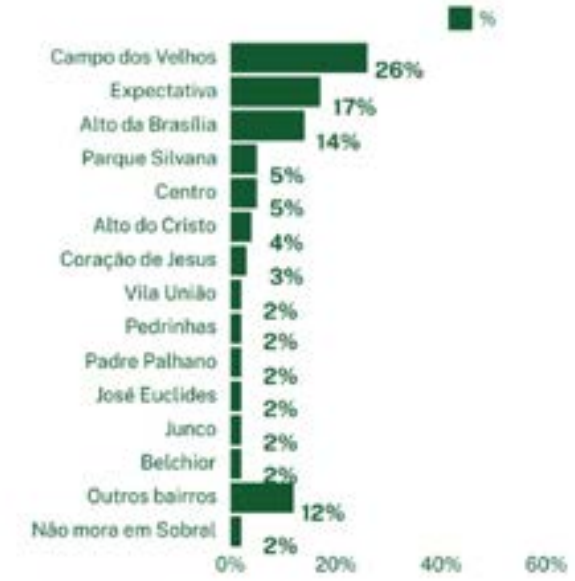


Gráfico 22 - Perfil das pessoas entrevistadas - bairro de residência Fonte: Autores (2024).

[3] Cada uma dessas variáveis recebe uma pontuação, e a soma das pontuações determina o nível socioeconômico do lar, utilizando um sistema de pontos, no qual o NSE mais alto possui o maior intervalo de pontos e o mais baixo, o menor. NSE alto e médio alto indica a população com bons níveis de acesso a serviços públicos como asfalto e acesso à água e nível educativo de ensino médio completo, superior incompleto e completo.

Pouco mais da metade dos entrevistados (57%) vive nos 3 bairros mais próximos aos parques, sendo que 70% vivem há mais de 6 anos no bairro onde declaram residir. Os bairros Campo dos Velhos, Expectativa e Alto da Brasília abrigam mais de metade dos entrevistados. Essa concentração pode ser atribuída à proximidade desses bairros aos parques, o que facilita o acesso e incentiva o uso frequente desses espaços.

Os dados coletados também indicam que 7 em cada 10 pessoas vivem em seu bairro há mais de 6 anos. Isso indica que a amostra é composta por uma comunidade estável, o que pode se traduzir em uma maior tendência a um senso de pertencimento desse grupo. Além disso, é possível estimar que essa comunidade acompanha os diferentes momentos da existência dos parques, e que pode apreciar os impactos que se busca avaliar.

A frequência média dos usuários, de duas a três vezes por semana, indica que os parques são locais importantes para recreação e possivelmente para atividades sociais ou físicas. A maior frequência de visitas entre mulheres e residentes próximos sugere que esses grupos possam depender mais desses espaços para suas atividades diárias.

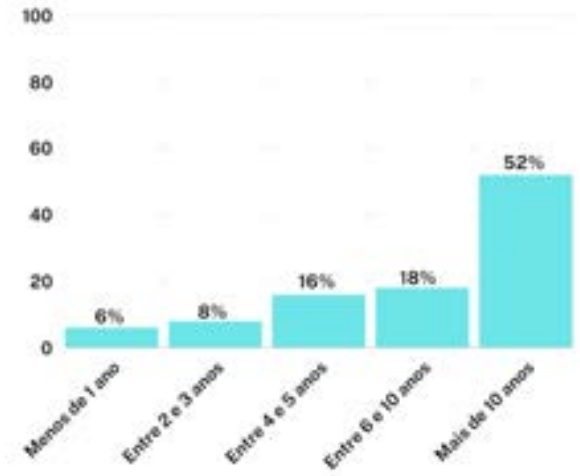


Gráfico 23 - Perfil das pessoas entrevistadas - tempo de residência por bairros Fonte: Autores (2024).

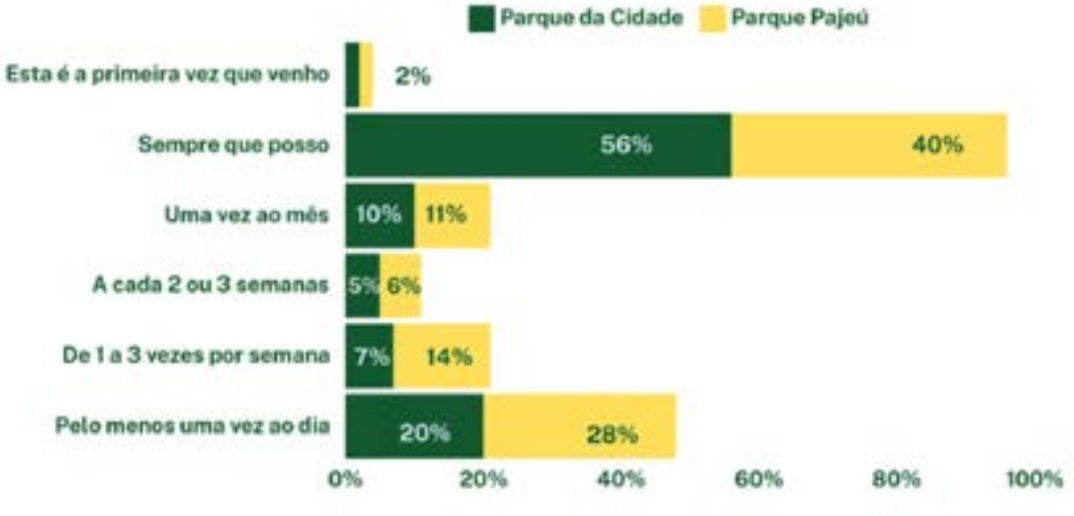


Gráfico 24 - Frequência de visitas ao Parque da Cidade e ao Parque Pajeú. Fonte: Autores (2024).

Diferenças demográficas no uso dos parques:

- **Gênero:** as mulheres visitam os parques com maior frequência, o que pode estar relacionado a diversos fatores, como preferências pessoais ou necessidades específicas;
- **Proximidade:** aqueles que moram mais perto dos parques os visitam com mais frequência, alinhando-se a estudos que mostram que a acessibilidade influencia o uso de espaços verdes.

A análise dos resultados será estruturada em torno de cinco dimensões, que refletem os aspectos centrais do impacto dos jardins filtrantes:

1. **Avaliação dos parques e grau de conhecimento:** observa o grau de conhecimento sobre os jardins filtrantes e a avaliação de cada parque;
2. **Impactos sociais:** estudo dos benefícios sociais percebidos pela comunidade, incluindo a melhoria da qualidade de vida, da inclusão social e do bem-estar promovidos pelo projeto;
3. **Impactos ambientais:** avaliação dos impactos sobre o meio ambiente, como a qualidade da água, o aumento da biodiversidade e as melhorias no entorno urbano;
4. **Segurança e funcionamento:** avaliação da percepção de segurança nos parques, bem como da funcionalidade das estruturas e serviços oferecidos;
5. **Impactos econômicos:** análise dos efeitos econômicos gerados pelo projeto, tanto em termos de oportunidades econômicas locais quanto de desenvolvimento de atividades econômicas em torno dos parques;
6. **Gestão pública e planejamento:** análise do papel da gestão pública na execução e manutenção do projeto, identificando boas práticas e desafios na coordenação interinstitucional e no planejamento urbano.

1.AVALIAÇÃO DO PARQUE E GRAU DE CONHECIMENTO

A pergunta do questionário que indaga sobre o grau de conhecimento a respeito dos jardins filtrantes foi dividida em duas partes: a primeira observou o conhecimento espontâneo sobre os jardins, enquanto a segunda testou o conhecimento orientado. Na primeira, perguntou-se diretamente sobre os jardins filtrantes; na segunda, antes da pergunta, foi fornecida uma breve explicação sobre o funcionamento dos jardins e as mudanças ocorridas nos parques da Cidade e do Pajeú.

Conforme os dados obtidos, apenas 3 em cada 10 pessoas conhecem os jardins filtrantes de forma espontânea, e um número bastante semelhante foi registrado no conhecimento orientado. No entanto, é interessante notar que esse baixo nível de conhecimento não influencia negativamente a avaliação dos parques.

Tanto o Parque da Cidade quanto o Parque Pajeú receberam avaliações muito positivas quando os respondentes foram questionados sobre as mudanças realizadas em cada um a partir da implementação dos jardins filtrantes. A cada 10 pessoas, 7 avaliaram de forma favorável. Se observa, também, que pessoas acima de 60 anos são um pouco mais críticas na avaliação dos parques, atribuindo notas ligeiramente inferiores em ambos os casos.

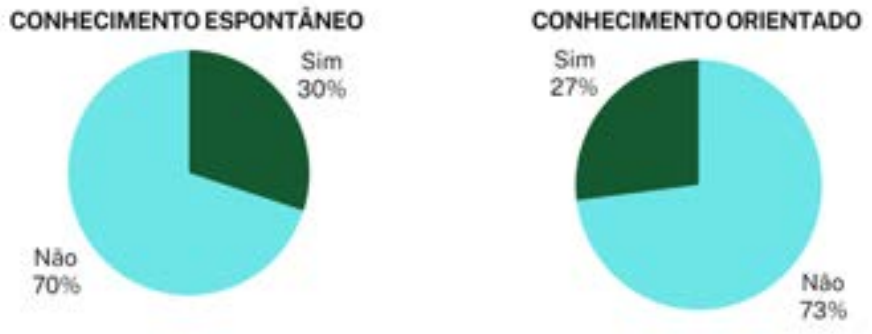


Gráfico 25 - Nível de conhecimento sobre os jardins filtrantes. Fonte: Autores (2024).

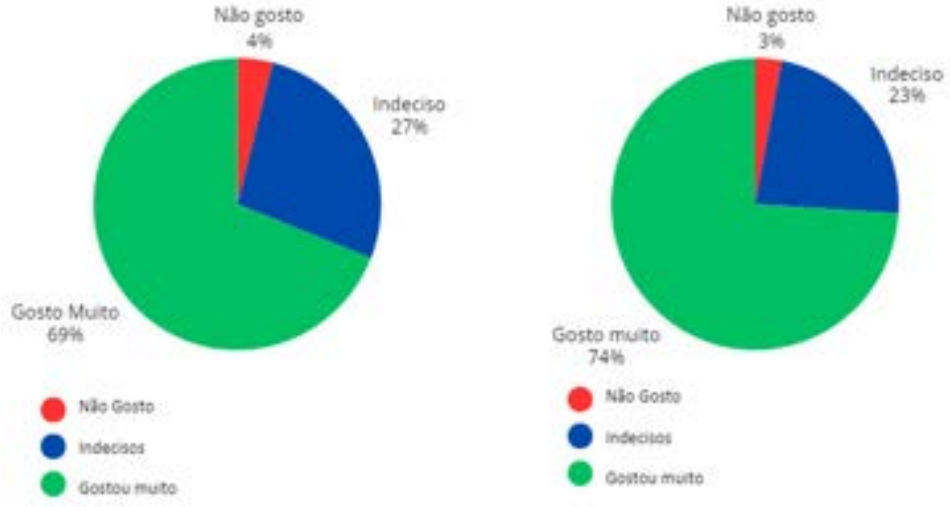


Gráfico 26 - Nível de aprovação dos parques depois dos jardins filtrantes[4] . Fonte: Autores (2024).

[4]As avaliações dadas pelos entrevistados foram agrupadas nas seguintes categorias: Não Gosto: agrupa as três avaliações mais baixas (1, 2 e 3); Indecisos: agrupa as quatro avaliações intermédias (4, 5, 6 e 7); Gosto Muito: agrupa as três avaliações mais altas (8, 9 e 10)

O gráfico abaixo mostra a percepção da comunidade sobre o estado atual dos jardins filtrantes. A pergunta foi realizada de forma geral, tanto para quem conhecia quanto para quem não conhecia os jardins filtrantes. Em relação ao baixo nível de conhecimento sobre os jardins filtrantes e a avaliação dos parques, o estado atual dos jardins foi classificado como bom, mas não excelente. Homens e pessoas que residem há menos de um ano no bairro tendem a dar avaliações mais positivas.

Mesmo com pouco conhecimento prévio, a opinião geral sobre os parques permanece positiva, o que sugere que a percepção de melhorias ambientais e estéticas pode ser mais influente do que o conhecimento técnico sobre os jardins em si. Considerando a distribuição etária, por exemplo, evidencia-se que os mais jovens são menos críticos, enquanto os maiores de 60 anos demonstram um nível de exigência mais elevado.

Os gráficos abaixo indicam o nível de participação em atividades relacionadas com os jardins filtrantes e a percepção sobre maior conscientização e cuidado da comunidade com os parques depois da sua implementação.



Gráfico 27 - Percepção sobre estado atual dos jardins filtrantes Fonte: Autores (2024).

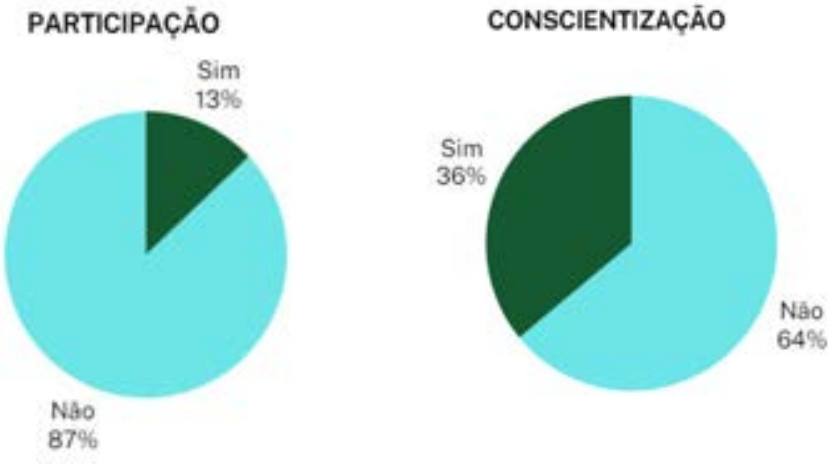


Gráfico 28 - Percepção quanto ao impacto em relação à participação social e conscientização ambiental da população. Fonte: Autores (2024).

Os jardins filtrantes também são uma oportunidade de engajamento comunitário, tanto pela participação em atividades relacionadas quanto pela conscientização ambiental. No entanto, esses dois aspectos ainda não são plenamente aproveitados pela comunidade, com baixos níveis de participação e uma percepção limitada de conscientização ambiental da comunidade após a implementação dos jardins filtrantes.

Reflexões qualitativas: relação com o entorno

Apesar de reconhecerem melhorias nos parques, os entrevistados mencionaram desafios no engajamento comunitário, apontando que a participação mais ampla da população ainda é limitada. Embora a Prefeitura de Sobral relate esforços para envolver a comunidade nos processos de revitalização, por meio de reuniões públicas e discussões, se menciona que a maioria dos participantes é composta por pessoas diretamente envolvidas ou interessadas em questões ambientais, o que pode restringir o alcance e a eficácia dos projetos.

> *"A Prefeitura inclusive fez reuniões explicando como era o projeto. Eles fizeram de um modo bem participativo. Infelizmente, quem vai pra essas reuniões são poucas pessoas, ou mais alguém que está envolvido direta ou indiretamente, né? Ou com essas questões ambientais."* — Agente entrevistado

A falta de engajamento mais amplo pode ter influência na sustentabilidade a longo prazo das iniciativas e ainda limitar a inclusão de preocupações e necessidades de outros grupos da população. Ainda assim, os participantes da enquete apontaram interesse em atividades culturais, educacionais e ambientais, sugerindo que essas áreas representam uma oportunidade importante para atrair e envolver mais residentes no processo de revitalização.



Vínculo da Agenda 2030 com elementos do projeto: ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis e ODS 17 - Parcerias e Meios de Implementação. As estratégias de participação cidadã no meio urbano geradas e a potência dos espaços criados para maior participação contribuem especialmente com as metas 11.3 - Promover a urbanização inclusiva e sustentável através de planejamento e gestão participativa das cidades e 17.17 - Incentivar parcerias eficazes entre setores público, privado e sociedade civil para implementar os ODS.

2. IMPACTOS SOCIAIS

O impacto social é a dimensão que mais influencia a percepção das pessoas entrevistadas, recebendo avaliações elevadas de forma consistente. Aproximadamente 1 em cada 4 pessoas atribui à dimensão social a nota mais alta possível.

As mulheres, que frequentam os parques com mais regularidade, são mais exigentes em suas avaliações, especialmente no que diz respeito às atividades culturais e recreativas, além da percepção de aumento no orgulho e no sentimento de pertencimento à comunidade.

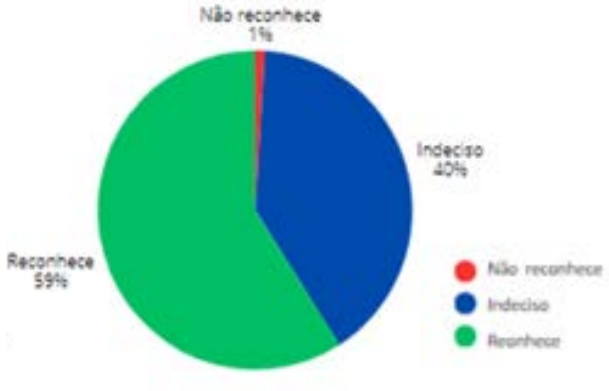


Gráfico 29 - 1. Percepção da população quanto aos impactos sociais – síntese. Fonte: Autores (2024).

O gráfico indica que a maior parte das pessoas entrevistadas reconhece os benefícios para a comunidade relacionados ao ambiente dos parques. A melhoria da estética e da qualidade de vida, bem como o uso por parte de toda a comunidade, são os aspectos mais bem avaliados, como pode ser observado ao lado.

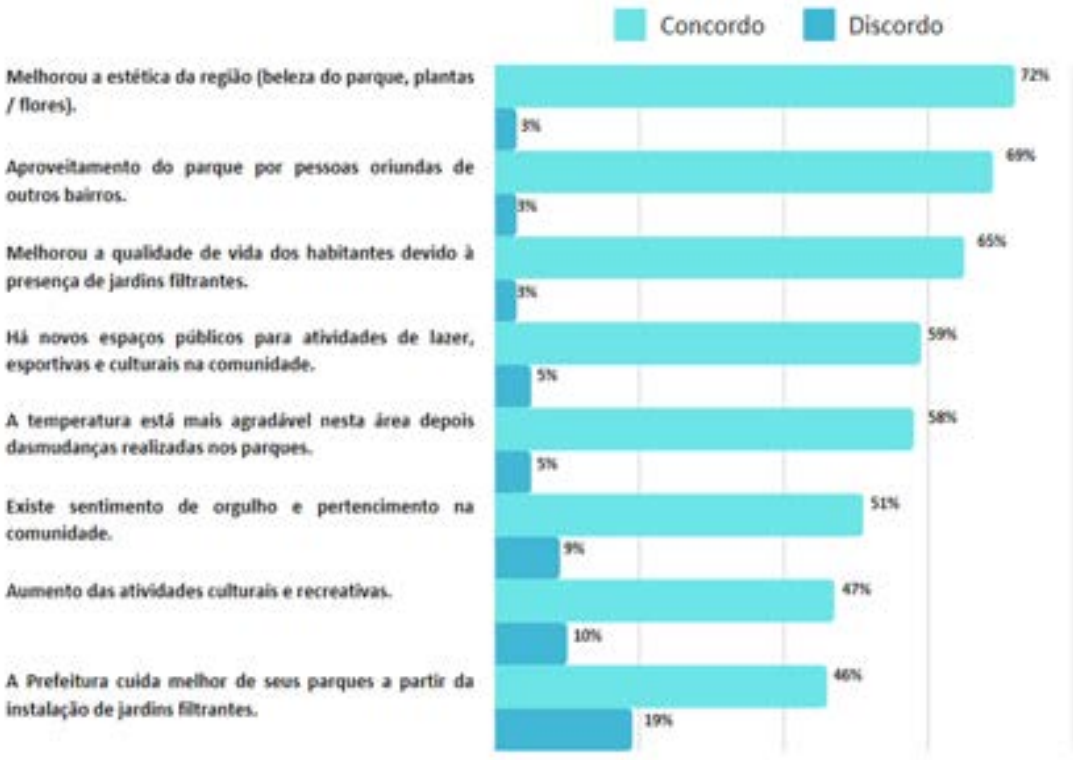


Gráfico 30 - Percepção da população quanto aos impactos sociais. Fonte: Aurores (2024).

Vínculo da Agenda 2030 com elementos do projeto: ODS 3 - Saúde e Bem-Estar e ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis. A criação de um novo parque e a melhoria de espaços públicos verdes, com impactos na qualidade da água, ar e temperatura do ambiente, somada à possibilidade de aumento de atividades físicas e integração social, impactam especialmente nas metas: 3.3 - Combater epidemias de doenças transmissíveis como HIV, tuberculose, malária e doenças tropicais negligenciadas e 3.9 - Reduzir as mortes e doenças causadas por substâncias químicas perigosas, poluição do ar, água e solo; 11.6 - Reduzir o impacto ambiental das cidades, com foco em gestão de resíduos, qualidade do ar e saneamento; e 11.7 - Garantir o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos e verdes, especialmente para mulheres e grupos vulneráveis.

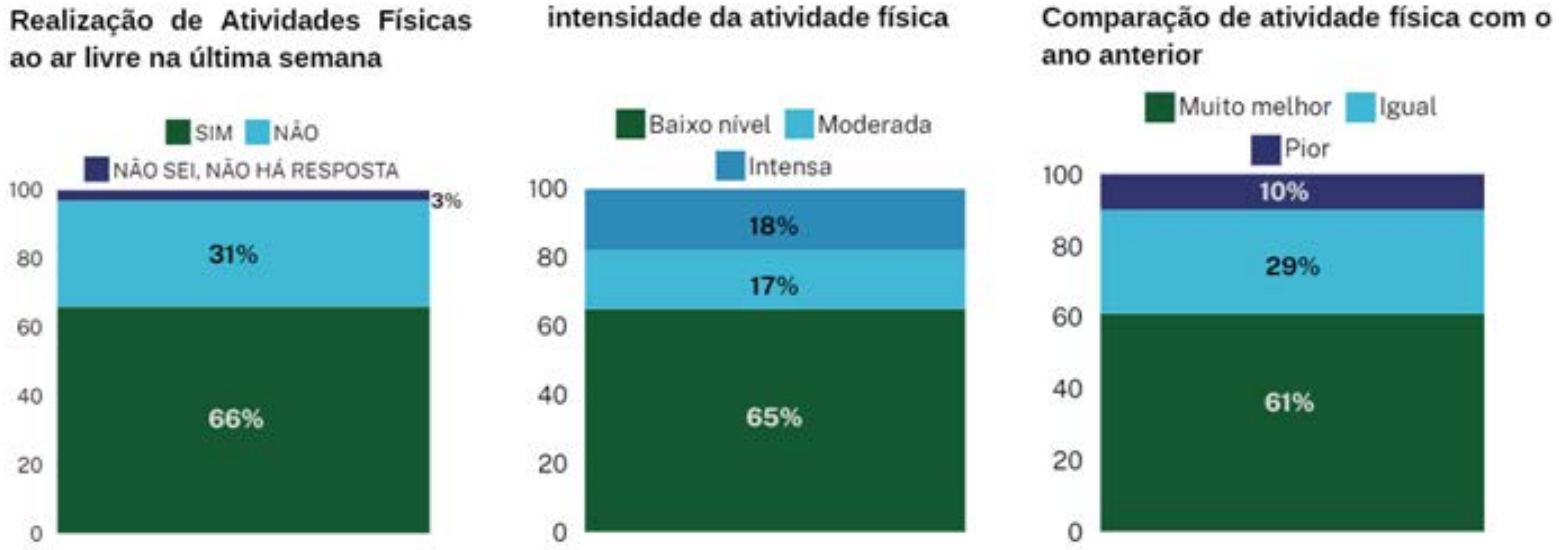


Gráfico 31 - Prática de atividades físicas por frequência, intensidade e comparação com o ano anterior. Fonte: Autores

Segundo a pesquisa, 66% das pessoas entrevistadas afirmam ter praticado atividades físicas ao ar livre na última semana.

Os gráficos mostram um nível alto de prática de atividade física e um significativo aumento na frequência dessas atividades nos parques, em relação ao ano anterior, corroborando a percepção de melhoria mencionada pelos entrevistados. Essa mudança reflete diretamente no impacto positivo que os parques estão gerando na saúde e no bem-estar da comunidade.

Um dado a destacar é o nível de intensidade da atividade física informada, já que 65% dizem praticar atividade de baixa intensidade. A partir disso, é possível inferir que os parques são utilizados como caminho para suas atividades cotidianas. Além disso, esse indicador permite constatar que, com maior estímulo, é possível aumentar a intensidade dessa atividade e, consequentemente, aumentar impactos em indicadores de saúde da comunidade.

Reflexões qualitativas: estímulo à atividade física

As entrevistas qualitativas complementam esses resultados ao destacar o papel dos parques na revitalização urbana e na melhoria da qualidade de vida dos moradores. Segundo os entrevistados, a implementação dos jardins filtrantes e as reformas nos parques transformaram a interação da comunidade com esses espaços, promovendo um ambiente mais inclusivo e agradável para atividades físicas e recreativas. No entanto, foi notado que, apesar da infraestrutura adequada para atividades como caminhadas e ciclismo, os parques carecem de políticas ativas que incentivem a prática dessas atividades de forma organizada e frequente.

> *"O Parque da Cidade e o Parque Pajeú são amplamente utilizados para caminhadas e ciclismo, mas não há políticas que incentivem essas práticas de maneira contínua. Isso representa um potencial não explorado."* — Agente entrevistado

Além disso, os agentes entrevistados destacaram que iniciativas privadas predominam nesses parques, e que há uma oportunidade significativa de desenvolver uma agenda cultural e de atividades físicas que complemente a infraestrutura já existente.

Os entrevistados também relataram que, como cidadãos, eles próprios utilizam os parques para fazer atividades físicas. Um dos depoimentos ressaltou o conforto proporcionado pelo sombreamento em alguns pontos, tornando os parques mais agradáveis para caminhadas, corridas e ciclismo.

"Como cidadão, eu uso esses espaços. Eu costumo fazer caminhadas, às vezes dou uma corridinha, pedalada nesses parques urbanos (...) Eu não vou negar, são pontos de beleza cênicos, né? São mais confortáveis para fazer esse tipo de atividade física durante o dia, por conta do sombreamento que é gerado em alguns pontos do parque." — Agente entrevistado

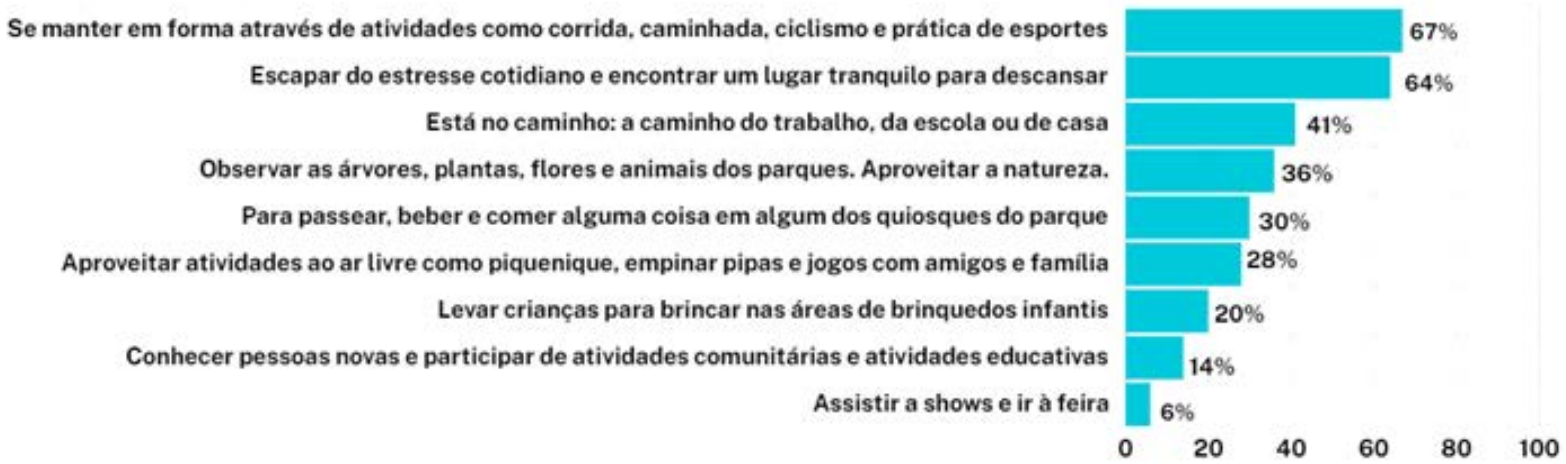


Gráfico 32 - Principais motivos para a frequência dos parques. Fonte: Autores (2024).

A prática de atividades físicas é um dos principais motivos que levam as pessoas a visitar os parques, junto da busca por um local onde possam relaxar e aliviar o estresse do cotidiano. Em terceiro lugar, estão as necessidades práticas, como o uso do parque como rota no trajeto de ida ou volta para casa, o que coincide com os dados anteriores, mostrando que a frequência é alta entre moradores dos bairros mais próximos aos parques. Por fim, há menções relacionadas às oportunidades recreativas e aos serviços oferecidos pelos parques.

Segundo dados fornecidos pela Prefeitura, a área do Parque da Cidade e Parque Pajeú representa quase 10% da área total do território do Distrito Sede e aproximadamente 18% de todos os parques da cidade. Considerando essa extensão, pode-se inferir que os benefícios gerados para a comunidade dos bairros próximos têm um valor também para a cidade em sua totalidade.

Considerando que o Parque Pajeú é um espaço público criado no contexto do projeto dos jardins de chuva, o aporte às áreas de parques é bastante relevante, já que representa mais de 8% do total de parques.

NOME	ÁREA (m²)	(%) RELAÇÃO AO TODO
PARQUE DA CIDADE	63.091,00	5%
PARQUE PAJEÚ	52.802,40	4%
TOTAL	115.893,40	9%
NOME	ÁREA (m²)	(%) RELAÇÃO AOS PARQUES
PARQUE DA CIDADE	63.091,00	10%
PARQUE PAJEÚ	52.802,40	8%
TOTAL	115.893,40	18%

Quadro 29 - Representação dos parques sobre território municipal. Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Prefeitura de Sobral





Figura 72 e 73– Prática de atividades físicas nos parques. Fonte: Michel Gomes (2024).

Reflexões qualitativas: circulação urbana

As entrevistas qualitativas também destacam a importância da localização estratégica dos jardins filtrantes, próximos a avenidas estruturais que conectam o centro aos parques periféricos de Sobral. Essa proximidade facilita a circulação urbana e o acesso aos espaços públicos, promovendo um uso mais amplo dos parques. Essas entrevistas coincidem com o que surge a partir dos questionários, já que se indica uso frequente como caminho da casa ao trabalho ou de outras atividades. Este é um indicador de uso da cidade muito desejável para intervenções urbanas.

O sistema de transporte público, incluindo o TranSol e o metrô, é considerado um fator essencial para a acessibilidade, conectando diferentes áreas da cidade e contribuindo para a frequência de visitantes, inclusive de bairros mais distantes.

Apesar dessas melhorias, os entrevistados mencionaram que aumentar a atratividade dos parques e estimular o seu uso mais frequente continuam sendo um desafio importante para maximizar os benefícios sociais e econômicos dos investimentos.

A acessibilidade e a maior segurança proporcionadas pela conectividade urbana têm sido fatores fundamentais para o aumento do número de visitantes, ainda que se demandem melhorias

Além disso, foi ressaltada a necessidade de melhorias na qualidade do asfaltamento ao redor dos parques, visto que isso pode impactar a durabilidade e eficiência dos transportes que circulam na região, influenciando diretamente a acessibilidade dos espaços públicos.

Os resultados quantitativos e qualitativos desta pesquisa mostram uma clara convergência: os parques revitalizados trouxeram benefícios tangíveis à saúde e ao bem-estar da comunidade e podem ter tido impacto no sentimento de pertencimento e orgulho local. Os dados numéricos revelam melhorias nas percepções sociais e ambientais, enquanto os depoimentos qualitativos aprofundam o entendimento dessas transformações, trazendo à tona os desafios e oportunidades que surgiram com essas intervenções urbanas.

3. IMPACTOS AMBIENTAIS

O impacto ambiental é uma dimensão com avaliações moderadas, sugerindo que exista espaço para melhorias e para oferecer uma experiência mais completa e positiva nos parques.

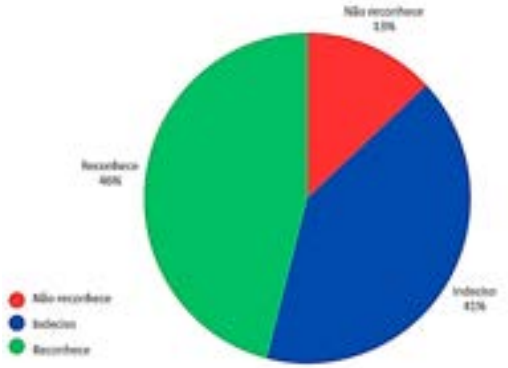


Gráfico 33 - Percepção da população quanto aos impactos ambientais - síntese[5] . Fonte: Autores (2024).

O gráfico acima indica uma apreciação moderada em relação aos impactos ambientais. Isso sugere que, embora as intervenções tenham gerado benefícios ambientais, a visão da comunidade ainda não se alinha totalmente com as expectativas, especialmente entre mulheres e pessoas idosas, que tendem a ser mais exigentes nas avaliações ambientais.

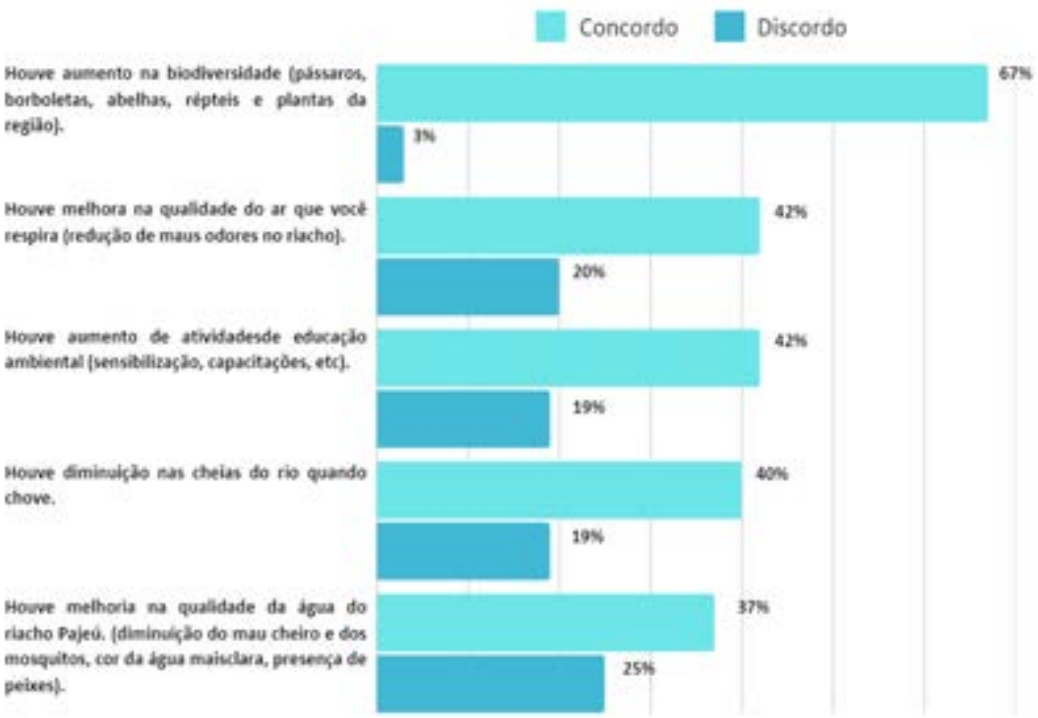


Gráfico 34 - Percepção da população quanto aos impactos ambientais. Fonte: Autores (2024).

Como se pode observar, o aspecto avaliado de forma mais positiva é o aumento da biodiversidade. Na percepção dos usuários, a qualidade da água ainda pode ser melhorada.

[5] As pessoas entrevistadas atribuíram notas de 1 a 10 para diferentes afirmações sobre possíveis áreas de impacto, indicando seu grau de concordância. No gráfico de síntese, as respostas foram classificadas em três categorias: Não Reconhece: agrupa as três avaliações mais baixas (1, 2 e 3); Indeciso: agrupa as quatro avaliações intermédias (4, 5, 6 e 7); Reconhece: agrupa as três avaliações mais elevadas (8, 9 e 10).



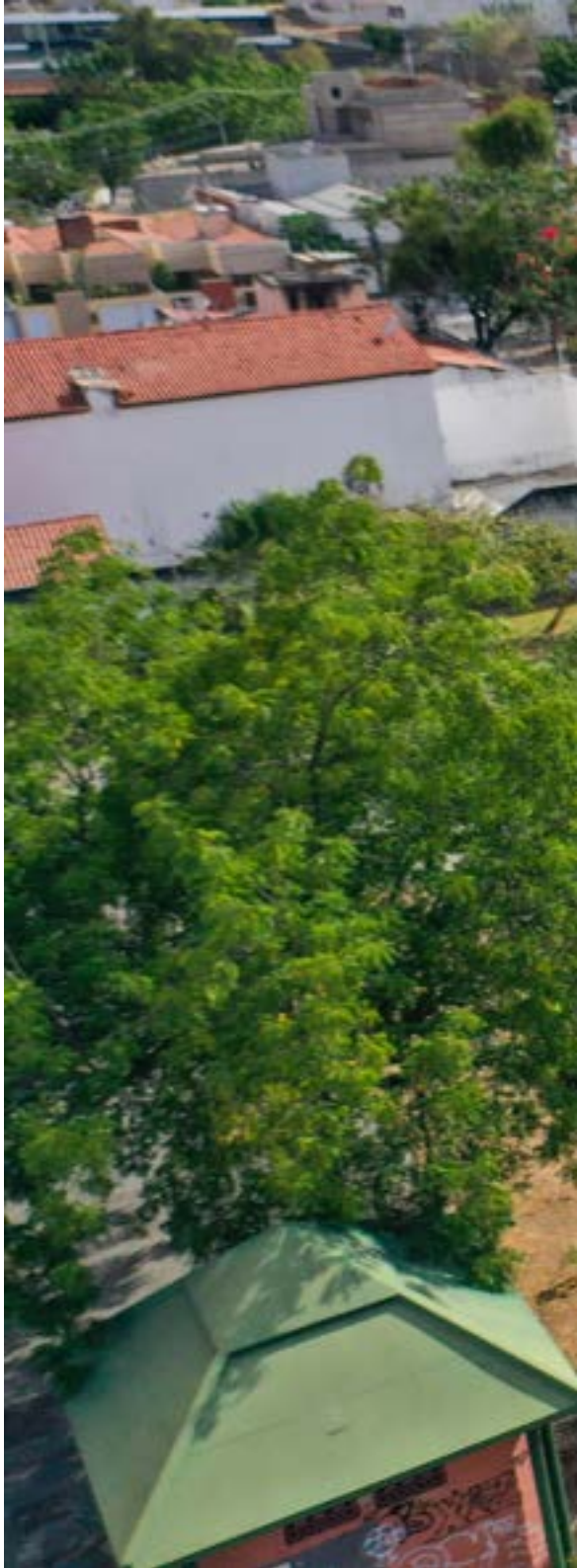




Figura 74 e 75 – Ciclovia utilizada como caminho cotidiano, promovendo mobilidade ativa e integração urbana. . Fonte: Michel Gomes (2024).

Reflexões qualitativas: biodiversidade

A biodiversidade também foi avaliada nas entrevistas qualitativas, nas quais os agentes destacaram que a arborização e o aumento de elementos florais nos parques não apenas tornaram os espaços mais bonitos, mas também melhoraram o conforto térmico e a qualidade ambiental, resultando em benefícios tangíveis para a saúde da população.

> *"A arborização e o aumento de elementos florais não só reduziram o desconforto térmico como também melhoraram a qualidade do ar, criando um ambiente mais saudável e agradável para todos."*
> — Agente entrevistado

Ainda que não seja tão evidente para uma parte da comunidade, a melhoria sensível do conforto térmico é identificada por um estudo realizado pela Universidade Estadual do Vale do Acaraú.[6]

Por outro lado, desafios como o controle de pragas, como as muriçocas, foram mencionados, o que aponta para a necessidade de equilibrar a preservação do paisagismo com medidas eficazes de controle ambiental.

> *"Apesar dos benefícios ambientais, ainda enfrentamos desafios no controle de pragas, especialmente com as muriçocas, o que afeta a experiência de quem frequenta o parque."* — Agente entrevistado

Reflexões qualitativas: impacto ambiental em indicadores de saúde

As entrevistas qualitativas complementam esses resultados ao destacar que a percepção sobre os impactos ambientais é complexa e multifacetada. Segundo os agentes entrevistados, uma das maiores dificuldades é estabelecer uma relação causal direta entre doenças e os fatores ambientais relacionados aos jardins filtrantes. No entanto, a presença de resíduos depositados de forma inadequada e a proliferação de vetores, como mosquitos, levantam preocupações sobre a saúde pública.

Embora as intervenções de controle de vetores tenham mostrado resultados positivos, elas geram preocupações ecológicas, especialmente sobre como manter o equilíbrio entre a saúde pública e a preservação do ecossistema. O depósito inadequado de resíduos atrai animais, como baratas e ratos, que podem transmitir doenças, o que exige uma gestão mais rigorosa e monitoramento constante.

Usuários e gestores também comentaram sobre a importância da limpeza nos parques e a necessidade de melhorar a gestão de resíduos:

> *"A partir do momento que você tem uma instalação de resíduos de forma inadequada, vai atrair, por exemplo, baratas e ratos, que trazem outros riscos, como leptospirose e outros patógenos."* - Agente entrevistado

[6] *MUNIZ, Francisco Gerson Lima; CARACRISTRI, Isorlanda. Urbanização, conforto térmico e análise sazonal microclimática da cidade de Sobral (CE). Revista Casa da Geografia de Sobral, Sobral, v. 17, n. 1, p. 4-17, mar. 2015. Disponível em: https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/196. Acesso em: 22 out. 2024.*

Qualidade da água

Conforme menciona uma agente, os sistemas implementados têm o potencial de gerar melhoria da qualidade da água. No entanto, a manutenção contínua desse sistema é um desafio, devido à presença de espécies invasoras, ao acúmulo de resíduos sólidos e a variações sazonais.

Apesar dessas melhorias, os problemas relacionados à deposição de resíduos inadequados e à proliferação de insetos persistem, ressaltando a necessidade de intensificar a educação ambiental e melhorar a gestão de resíduos.

Essas reflexões destacam a importância de ações mais integradas para garantir que os impactos ambientais positivos dos parques sejam ampliados, garantindo não só a preservação do ecossistema, mas também a saúde da comunidade.

Ainda que várias sugestões de melhorias sejam identificadas, se percebe um forte valor na articulação entre diversas áreas da Prefeitura que têm de trabalhar em conjunto cotidianamente.



Vínculo da Agenda 2030 com elementos do projeto: ODS 3 - Saúde e Bem-Estar, ODS 6 - Água Limpa e Saneamento e ODS 15 - Vida Terrestre. As melhorias ambientais geradas e o impacto real e potencial na qualidade do ar, água e aumento da biodiversidade (flora e fauna) contribuem para alcançar as metas 3.3 - Erradicar epidemias de doenças transmissíveis, como HIV, malária, tuberculose e hepatites; 3.4 - Reduzir a mortalidade prematura por doenças crônicas e promover saúde mental e bem-estar; 6.2 - Assegurar saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, com foco no fim da defecação a céu aberto; 6.3 - Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição e aumentando o tratamento de esgoto; 6.6 - Proteger e restaurar ecossistemas relacionados à água, como rios, pântanos e lagos; 15.1 - Garantir a conservação e uso sustentável dos ecossistemas terrestres e de água doce, e 15.9 - Integrar valores de biodiversidade e ecossistemas no planejamento e desenvolvimento nacionais.







Figura 76 e 77 – Arborização e elementos florais nos parques aumentam o conforto térmico e a biodiversidade local, com 67% dos entrevistados relatando maior presença de aves, borboletas, abelhas, répteis e plantas. Fonte: Foto disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Sobral (s/d).

4. SEGURANÇA E FUNCIONALIDADE

A funcionalidade e a segurança são dimensões que também impactam na percepção de forma geral, recebendo uma avaliação moderada.

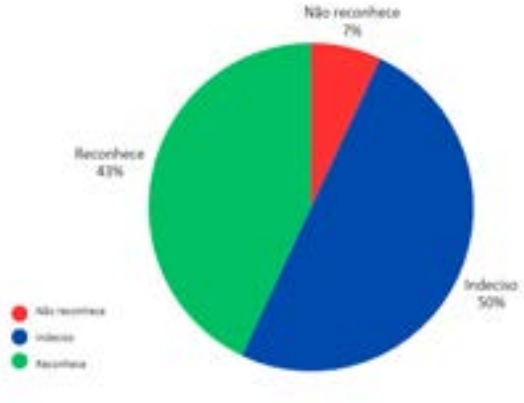


Gráfico 35 - Percepção quanto aos impactos na funcionalidade do parque e na segurança – síntese. Fonte: Autores (2024).

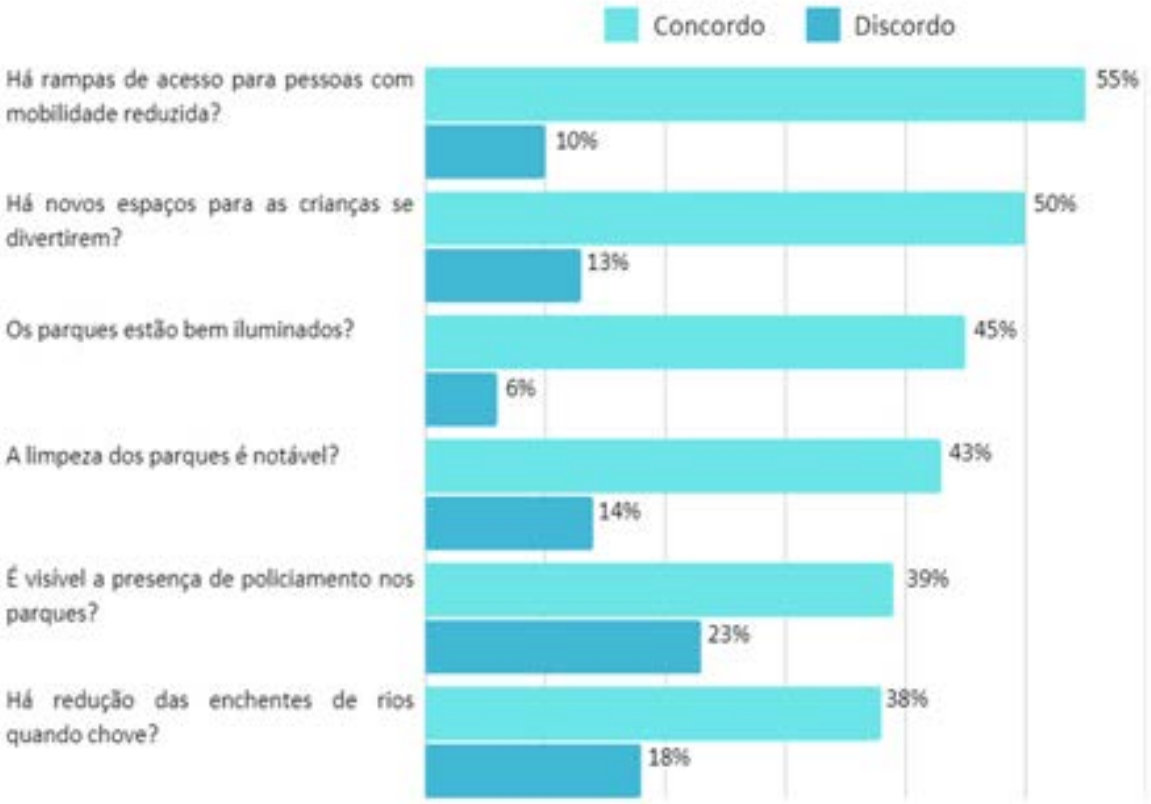


Gráfico 36 - Percepção da população quanto aos impactos na funcionalidade e segurança dos parques

O gráfico mostra que os impactos relacionados à segurança e funcionalidade foram um pouco menos percebidos em comparação com as outras dimensões. Os entrevistados destacaram três áreas principais que precisam de melhorias: limpeza, iluminação e presença de pessoal de segurança.

Os aspectos relacionados à inclusão (de pessoas com mobilidade reduzida e crianças) são mais bem avaliados do que as afirmações relacionadas à segurança.

A avaliação desses aspectos é influenciada por subjetividades e experiências de gênero. Homens e mulheres percebem o espaço social e a segurança de maneiras distintas. As mulheres, em particular, foram mais críticas e atribuíram notas mais baixas em todos os pontos avaliados, especialmente em relação à sensação de segurança e à funcionalidade dos parques.

Reflexões qualitativas: segurança e iluminação

As entrevistas qualitativas complementam essas observações ao destacar que, embora os parques ofereçam uma infraestrutura funcional, existem desafios persistentes relacionados à manutenção e à segurança. Os entrevistados enfatizaram a necessidade de melhorias em áreas específicas, como a limpeza regular dos espaços, a iluminação noturna e a presença constante de pessoal de segurança. Esses elementos são considerados essenciais para aumentar o uso dos parques e garantir a segurança de todos os visitantes, especialmente das mulheres.

A questão da segurança foi amplamente discutida nas entrevistas. Agentes entrevistados relataram que, apesar da vigilância 24 horas em alguns setores, e da variedade de tipos de policiamento implementados (patrulhamento com carros, ciclopatrulha, entre outros), a sensação de segurança varia conforme a percepção individual e o horário de utilização do parque. Não foram mencionados incidentes graves relacionados a delitos nos parques.

Para além das ações específicas relacionadas à segurança pública, houve menções sobre a sensação de maior segurança a partir do aumento de visitantes em ambos os parques.

> *"A melhoria da segurança e o maior policiamento foram essenciais para que as pessoas se sentissem mais à vontade. Hoje, as famílias voltaram a frequentar os parques sem aquele receio de antes."*
> — Agente entrevistado

São reforçadas as observações sobre a segurança, destacando que a iluminação precisa ser melhorada, especialmente no Parque Pajeú, sendo este um fator que contribui para a sensação de insegurança, particularmente à noite. A densa vegetação do parque torna algumas áreas escuras e menos convidativas.

Embora a iluminação não seja considerada uma questão tão central quanto a gestão de resíduos ou o controle de pragas, manejar esse aspecto é visto como essencial para aumentar a segurança e a atratividade dos parques no período noturno. Os entrevistados sugeriram soluções sustentáveis, como a implementação de luzes solares ou LED, que, além de melhorarem a visibilidade, poderiam ser integradas ao design paisagístico, evitando impactos negativos na estética e no ambiente natural.

> *"O Parque Pajeú como é um pouco mais escuro (...) As árvores são muito grandes, né? Lá só frequenta mais a população daquele bairro, né?"* – Agente entrevistado

Além disso, os entrevistados destacaram a importância de harmonizar a iluminação com a vegetação existente, mantendo o equilíbrio entre segurança e preservação ambiental. Eles também sugeriram que a iluminação deveria ser projetada de maneira a garantir a segurança sem comprometer o habitat natural do parque.

Essas reflexões apontam para a necessidade de um planejamento mais cuidadoso, que levasse em consideração a relação entre a iluminação, a vegetação e a segurança dos visitantes, especialmente durante a noite.



Vínculo da Agenda 2030 com elementos do projeto: ODS 11 - e ODS 10 - Redução das desigualdades. O aumento da frequência de pessoas em espaços públicos, a integração social que isso permite e a percepção de maior sensação de segurança por parte da população impactam nas metas 10.2 - Promover a inclusão social, econômica e política de todos, independentemente de idade, gênero, raça, etnia ou qualquer outra condição; 11.3 - Promover a urbanização inclusiva e sustentável através de planejamento e gestão participativa das cidades; e 11.6 - Reduzir o impacto ambiental das cidades, com foco em gestão de resíduos, qualidade do ar e saneamento.

5. IMPACTOS ECONÔMICOS

A dimensão econômica recebe uma boa avaliação, ainda que tenha um peso menor na valorização de forma geral. A cada 10 pessoas, 7 indicam que houve impacto, sendo que 2 em cada 5 pessoas deram a nota mais alta para essa dimensão.

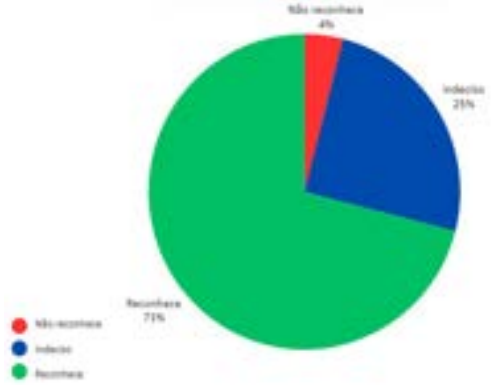


Gráfico 37 - Percepção da população quanto aos impactos econômicos – síntese. Fonte: Autores (2024).

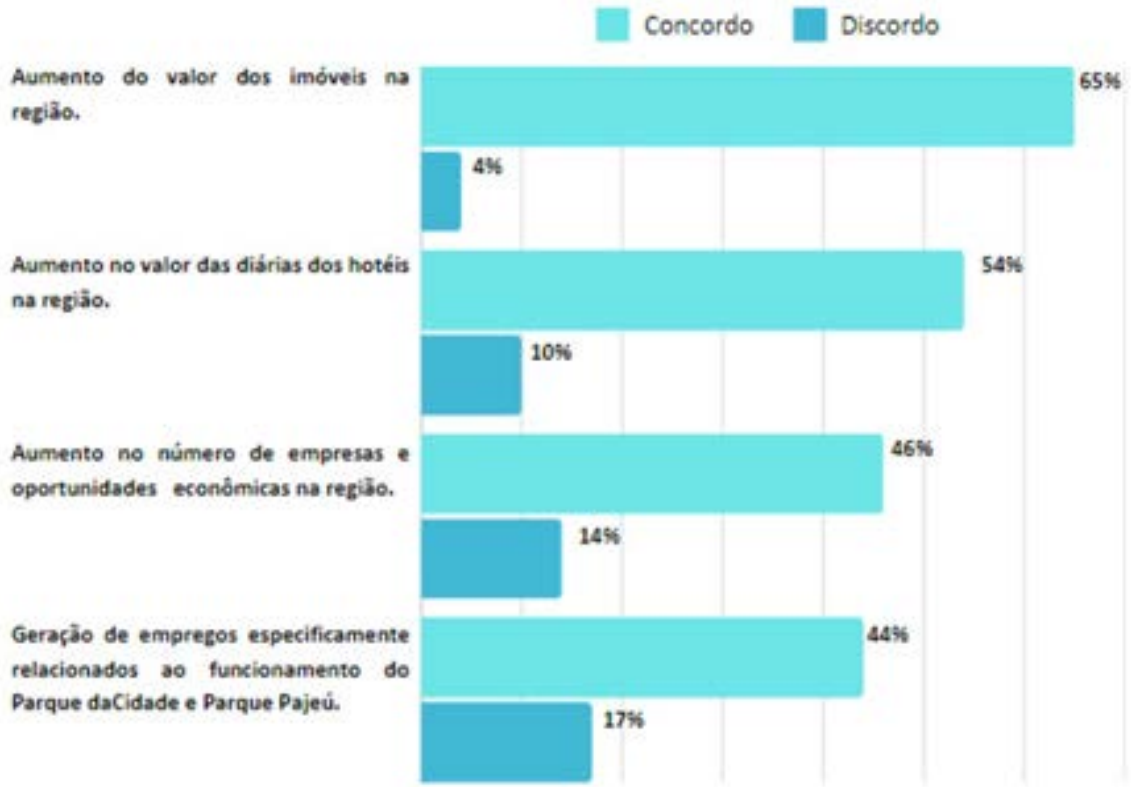


Gráfico 38 - Percepção da população quanto aos impactos na funcionalidade e segurança dos parques. Fonte: Autores (2024).

A alta percepção de impactos dessa dimensão é sustentada principalmente pela impressão das pessoas sobre o aumento no valor dos imóveis e das estadias em hotéis na região. Os homens tendem a avaliar de forma mais positiva do que as mulheres a criação de empregos diretamente relacionados ao funcionamento dos parques.

A dimensão econômica também abrange o consumo realizado nos quiosques dos parques, incluindo a compra de alimentos e/ou bebidas. Metade das pessoas entrevistadas consumiu nesses quiosques, com um gasto médio de R$ 43,50. No entanto, segundo os dados coletados, metade gastou menos de R$ 30.



Gráfico 39 - Consumo nos quiosques (bebida ou comida). Fonte: Autores (2024).

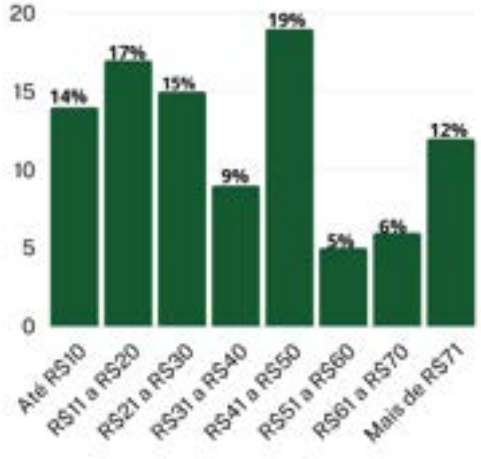


Gráfico 40 - Valor de gasto do último consumo nos quiosques (em reais). Fonte: Autores (2024).

Reflexões qualitativas: oportunidades econômicas

As entrevistas qualitativas reforçam a percepção positiva dos impactos econômicos, destacando a revitalização do comércio local como um dos principais benefícios trazidos pela reforma dos parques. Segundo os agentes entrevistados, a renovação dos quiosques alimentares e a criação de novos estabelecimentos contribuíram para o crescimento da economia local, com novos negócios como academias e atividades recreativas surgindo na área. Além disso, a economia informal, representada por pequenos vendedores e comerciantes, também foi impulsionada pela maior presença de visitantes.

"Esses quiosques do parque da cidade estavam 100% deteriorados, totalmente depredados, sem uso. E, depois do projeto da consolidação da reforma do parque, eu acredito que quase todos, ou 99% deles, estão sendo utilizados, viu? E bem utilizados. Durante a noite tem espetinho, sorvete, hambúrguer..." - Agente entrevistado

Houve falas sobre a criação de oportunidade de inclusão econômica por outras atividades locais, aproveitando a existência do projeto e revitalização dos espaços públicos. Por exemplo, se mencionou que a inclusão econômica também foi promovida por programas de distribuição de renda e capacitação criados pela Prefeitura no contexto da pandemia, com foco em mulheres de baixa renda, reforçando a conexão entre os impactos econômicos e a promoção da inclusão social. A presença de quiosques e a oferta de serviços dentro dos parques têm sido apontadas como fatores que atraem mais pessoas e aumentam a sensação de segurança no local, reforçando o impacto positivo da revitalização das áreas ao redor.

Esses aspectos destacam a importância de criar ambientes favoráveis tanto para a economia formal quanto informal, maximizando os benefícios sociais e econômicos dos investimentos realizados nos parques.



Vínculo da Agenda 2030 com elementos do projeto: ODS 8 - A revitalização de zonas urbanas e a melhoria de espaços públicos verdes com integração social geram impactos positivos no aumento da atividade econômica e do empreendedorismo, contribuindo para a meta 8.3 - Promover políticas que incentivem a criação de empregos decentes, o empreendedorismo, a criatividade e a inovação; 8.4 - Melhorar a eficiência no uso de recursos globais na produção e consumo, desvinculando o crescimento econômico da degradação ambiental; e 8.9 - Promover o turismo sustentável, que crie empregos e promova a cultura e os produtos locais.







Figura 78 e 79 – Quiosques do Parque da Cidade . Fonte: Michel Gomes (2024).

6. GESTÃO PÚBLICA E PLANEJAMENTO

A entrevista qualitativa, ao estabelecer diálogo com agentes municipais, permitiu abordar temáticas relacionadas à gestão do projeto que não foram incluídas no questionário aplicado em usuários dos parques. Essa dimensão foi incluída porque, quando se trata de avaliação de impacto socioambiental[7], há aspectos de processo que devem ser contemplados, considerando a complexidade de lidar com possíveis impactos na vida de pessoas e suas comunidades.

Adequação ao Plano Diretor e zoneamento

As iniciativas de criação de áreas de lazer e espaços verdes em Sobral foram desenvolvidas em resposta às necessidades da comunidade e, ao longo do tempo, foram integradas ao Plano Diretor da cidade. Conforme mencionado, no início, o Plano Diretor não mencionava soluções baseadas na natureza, como jardins filtrantes. Contudo, à medida que novas ideias foram introduzidas, esses elementos foram incorporados para melhorar a infraestrutura urbana e promover a sustentabilidade ambiental. Projetos de jardins filtrantes, inspirados em exemplos de sucesso de outras cidades, foram rapidamente adotados em Sobral.

Essa integração ocorreu após a cidade se expor a novos conceitos de planejamento urbano sustentável. Foi mencionada também a importância da participação direta do prefeito nessa decisão e priorização. As políticas locais tiveram que se adaptar aos requisitos legais vigentes, como a proteção das Áreas de Preservação Permanente (APP). Para implementar e manter esses projetos urbanos inovadores, as equipes municipais precisaram demonstrar flexibilidade e adaptação constante.

Planejamento de benefícios

Sobral, em parceria com o governo estadual, comprometeu-se com a construção e revitalização de áreas públicas, incluindo a criação de cinco parques urbanos, como parte do programa Prodesol. Embora houvesse uma expectativa de que os jardins filtrantes e outras intervenções ambientais melhorassem a qualidade dos espaços urbanos, não foram estabelecidos indicadores claros para medir os benefícios dessas intervenções.

[7]*Adaptação de Kvam (2018) para este documento.*

Se menciona que os prazos curtos de implementação exigidos por financiadores internacionais dificultaram a realização de um processo de planejamento participativo, que incluísse discussões mais aprofundadas com a comunidade. Essa limitação impactou a capacidade de prever e monitorar adequadamente os impactos dos projetos. Além disso, foi necessário que a gestão pública fosse ágil e eficiente para cumprir os prazos sem comprometer a qualidade das intervenções.

Planejamento de impactos e criação de indicadores

Os gestores de Sobral entrevistados reconheceram a importância de aprimorar os processos de planejamento e avaliação dos projetos urbanos, com foco no desenvolvimento de indicadores específicos que permitam medir os impactos a longo prazo, tanto nos aspectos ambientais quanto em saúde pública e segurança. A criação de uma base de referência (baseline) adequada é vista como essencial para justificar os investimentos e entender plenamente os benefícios das intervenções. Além disso, o monitoramento contínuo é considerado fundamental para compreender o comportamento da cidade e os efeitos das intervenções urbanas ao longo do tempo.

Definir e mensurar os resultados que tragam benefícios abrangentes e integrados para a população é um dos principais objetivos das equipes responsáveis. Entretanto, a ausência de uma linha de base robusta apresenta um desafio na avaliação formal dos sistemas implementados.

7. MELHORIAS DESEJADAS PELOS USUÁRIOS ENTREVISTADOS

Ao final do questionário, com perguntas de múltipla escolha, se agregou a seguinte pergunta:

Se você tivesse que fazer alguma melhoria nos parques para sugerir, poderia me dizer com mais detalhes o que gostaria que fosse melhorado?

As respostas registradas por escrito pelos pesquisadores de campo foram devidamente processadas e categorizadas para poder identificar coincidências, e se chegou ao gráfico a seguir:

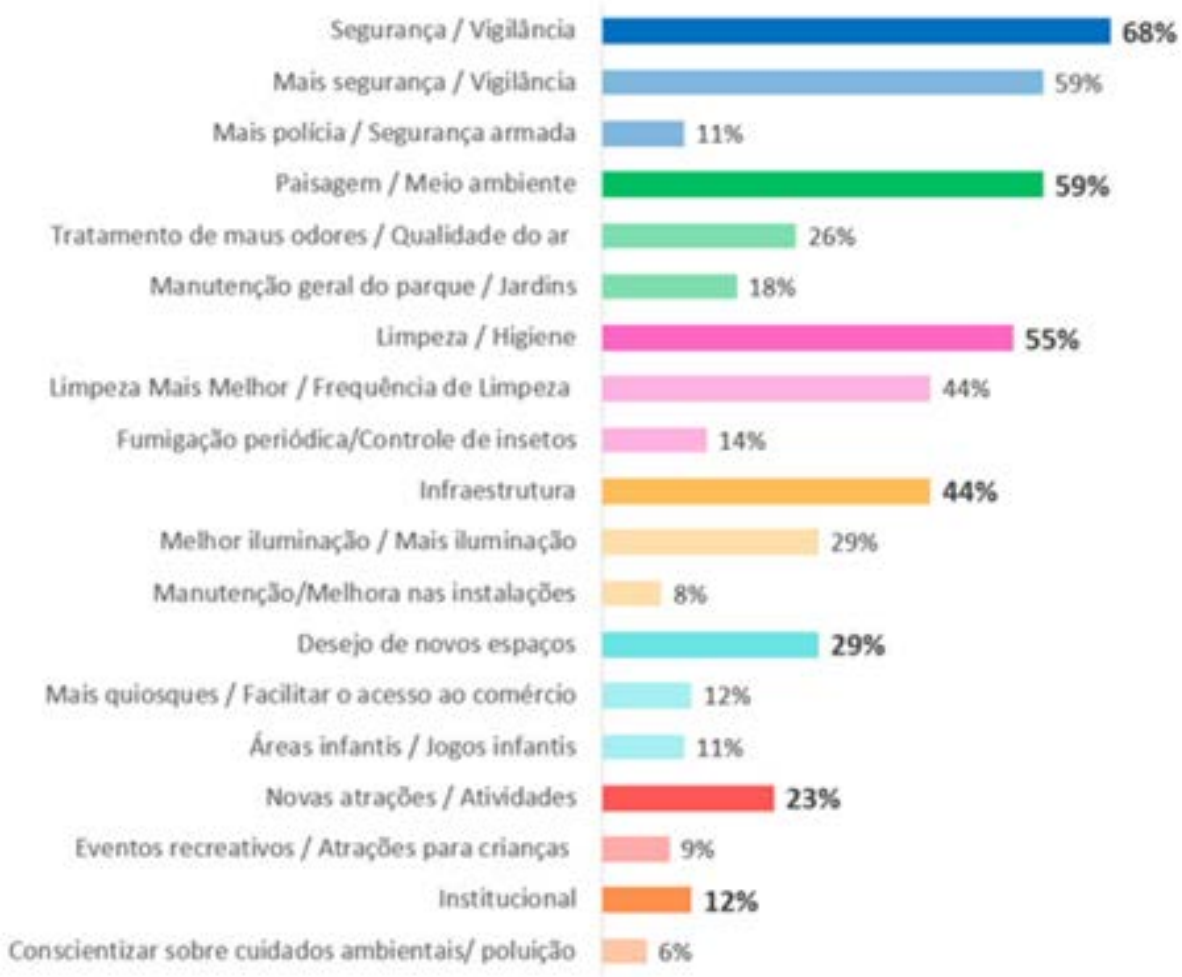


Gráfico 41 - Sugestões da população entrevistada para melhorias nos parques por categoria. Fonte: Autores (2024).

Como se pode observar, entre as melhorias desejadas para o parque surge a demanda por maior segurança ou vigilância, melhor iluminação e limpeza dos parques. Entre as melhorias desejadas, também se menciona a necessidade de trabalhar o ambiente, especialmente em relação à qualidade do ar e ao tratamento dos maus odores.



Figura 80 – Jardim Filtrante no Parque da Cidade. Fonte: Michel Gomes (2024).

8. ÍNDICE DE IMPACTO SOCIOAMBIENTAL E ECONÔMICO (USAE)

No contexto do projeto de jardins filtrantes em Sobral, o Índice[8] de Impacto Socioambiental e Econômico (ISAE) foi projetado para avaliar de forma abrangente os efeitos da implementação desse projeto nas dimensões social, ambiental e econômica. Esse índice permite medir como as mudanças introduzidas no Parque da Cidade e no Parque Pajeú afetaram a percepção dos moradores em termos de funcionalidade, segurança, bem-estar e benefícios econômicos.

A construção do ISAE utiliza a aplicação da regressão linear múltipla, que permite analisar como diferentes fatores impactam o nível de aprovação dos parques. Ou seja, o índice foi criado a partir da combinação de duas variáveis dependentes e de variáveis independentes, o que permite identificar quais dimensões têm maior peso na aprovação geral dos parques:

- ***Variável dependente:*** nível de aprovação dos parques (Cidade P11 e Pajeú P12). O nível de aprovação é medido pela aceitação ou satisfação da comunidade, e depende de vários fatores que descrevem o impacto dos parques em diferentes dimensões. A regressão analisa como cada fator se relaciona com o nível de aprovação;
- ***Variáveis independentes:*** dimensões do impacto. As dimensões analisadas são: impacto social/benefícios para a comunidade, funcionalidade do parque e segurança pública, impacto ambiental e impacto econômico.

O Índice de Impacto Socioambiental e Econômico (ISAE) permite observar como diferentes aspectos dos parques são valorizados pela população. Ao invés de medir a taxa de aprovação diretamente, o índice mostra a importância de cada dimensão — social, ambiental, econômica, funcionalidade e segurança — na percepção das pessoas sobre os parques. Por exemplo, se uma dimensão como o impacto social tem um peso maior no índice, isso significa que a comunidade valoriza mais os benefícios sociais ao avaliar a qualidade do parque. Essa metodologia permite entender quais áreas são prioritárias para melhorar a experiência da comunidade[9].

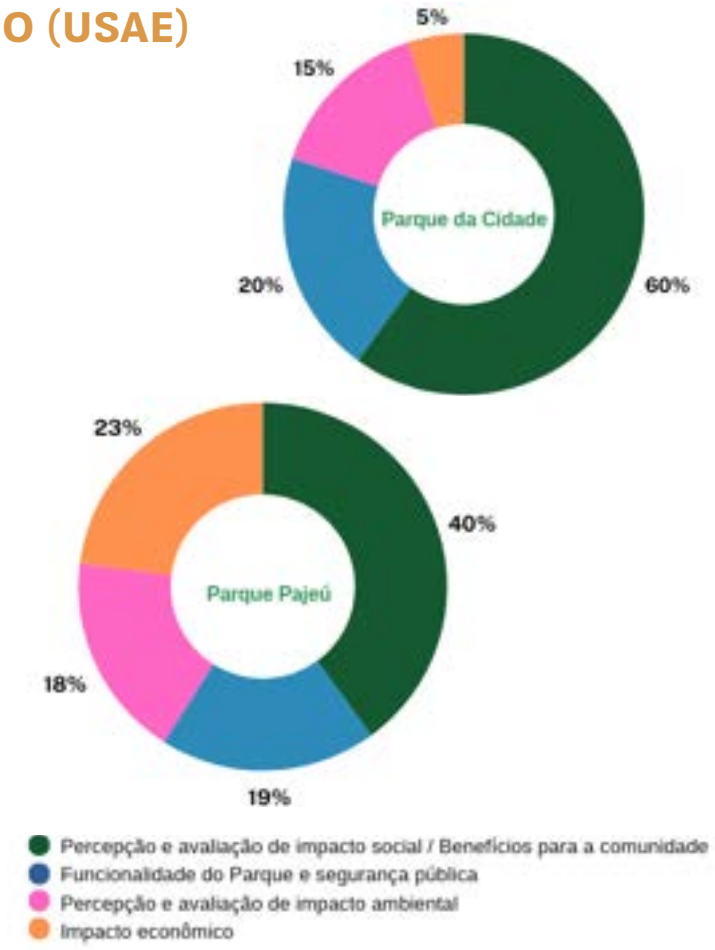


Gráfico 42 - Sugestões da população entrevistada para melhorias nos parques por categoria. Fonte: Autores (2024).

[8]*Um indicador é uma ferramenta que fornece informações mensuráveis sobre um fenômeno, geralmente complexo, de forma simplificada. Ele permite "indicar" o comportamento de determinado fenômeno, mas, por si só, um único indicador não é suficiente para capturar toda a complexidade envolvida. Para entender questões mais complexas, usamos índices. Esses índices combinam vários indicadores ou são calculados com operações matemáticas. Eles nos ajudam a ter uma visão mais completa e integrada, permitindo entender e comparar diferentes aspectos dos fenômenos socioambientais e econômicos de maneira agrupada. Para abordar fenômenos mais abrangentes, utilizam-se índices que combinam vários indicadores simples ou resultam de operações matemáticas. Os índices oferecem uma visão mais completa e integrada, permitindo compreender e comparar múltiplas dimensões de fenômenos socioambientais e econômicos de forma agregada.*

[9]*Informações retiradas e baseadas em GUJARATI, Damodar; PORTER, Dawn. Econometria Básica. 5. ed. Rio de Janeiro: AMGH, 2020 e em CAMPOS, Alexandre Linhares; PEREIRA, Pedro Sérgio Martins. Estatística Básica. São Paulo: Atlas, 2021.*

8.1. IMPACTO SOCIAL E BENEFÍCIOS PARA A COMUNIDADE

Parque da Cidade: o impacto social no Parque da Cidade foi um dos mais destacados. A comunidade valorizou positivamente os novos espaços de recreação, a melhoria na qualidade de vida e o aumento da interação comunitária. Cerca de 60% do peso no índice total foi atribuído a essa dimensão. Os entrevistados mencionaram que o parque melhorou esteticamente e facilitou atividades físicas, como caminhadas e ciclismo.

Avaliação geral: a avaliação média foi de 8,0, destacando-se entre jovens e novos moradores da região.

Parque Pajeú: o Parque Pajeú também apresentou um impacto social positivo, embora um pouco inferior ao Parque da Cidade, e foi mais bem avaliado por pessoas idosas e moradores de longa data, mas sua integração comunitária foi menos ampla.

Avaliação geral: a média de 8,4 foi superior à do Parque da Cidade, principalmente devido à percepção de maior acesso a serviços e melhorias nos espaços recreativos.

8.2. IMPACTO AMBIENTAL

Parque da Cidade: em termos ambientais, o Parque da Cidade recebeu uma avaliação moderada. Houve melhorias na biodiversidade e uma leve redução nos odores desagradáveis, mas persistem problemas de gestão de resíduos e qualidade da água. Os usuários sugeriram a necessidade de melhorar a qualidade da água e controlar a proliferação de insetos.

Parque Pajeú: o Parque Pajeú obteve uma avaliação ambiental inferior à do Parque da Cidade, apesar de também registrar aumento na biodiversidade. Os problemas de manejo de águas e odores foram mais evidentes. Cerca de 18% do peso no índice foi atribuído ao impacto ambiental. Os moradores locais apontaram que a gestão ambiental, incluindo o controle de pragas e a redução da poluição do riacho, ainda precisa de melhorias.

8.3. IMPACTO ECONÔMICO

Parque da Cidade: o impacto econômico foi moderado, com aumento no valor das propriedades próximas, mas poucas oportunidades econômicas geradas em comparação ao Parque Pajeú. Apenas 15% do peso no índice foi relacionado ao impacto econômico. A reativação dos quiosques e o aumento de visitantes foram pontos positivos.

Parque Pajeú: em contraste, o impacto econômico no Parque Pajeú foi mais expressivo, com um aumento significativo no valor das propriedades e na atividade econômica local. Cerca de 23% do peso no índice foi vinculado a essa dimensão. A percepção sobre o crescimento de atividades informais, como vendedores ambulantes e pequenas empresas, também foi registrada.

8.4. FUNCIONALIDADE E SEGURANÇA

Parque da Cidade: a funcionalidade e a segurança foram bem avaliadas, mas com espaço para melhorias. Houve elogios aos acessos para pessoas com mobilidade reduzida, porém a iluminação e segurança à noite foram apontadas como pontos críticos. Cerca de 20% do peso no índice está associado a essa dimensão.

Parque Pajeú: o Parque Pajeú apresentou avaliação semelhante em funcionalidade e segurança. Embora os acessos e espaços recreativos tenham sido bem avaliados, a segurança e a iluminação foram consideradas insuficientes. Assim como no Parque da Cidade, 19% do peso no índice foi atribuído a essa dimensão.

8.5. APRENDIZAGENS-CHAVE

O ISAE permite direcionar ações específicas para melhorar os impactos observados:

1. **Priorizar o impacto social:** dado que o impacto social é a dimensão mais valorizada pela comunidade, as políticas públicas devem focar em maximizar esses benefícios, ampliando atividades recreativas, culturais e esportivas, e fortalecendo a integração comunitária.
2. **Melhorar a gestão ambiental:** apesar de avanços, a gestão ambiental ainda pode ser mais priorizada, somando ações de limpeza, gestão de resíduos e melhoria da qualidade da água. Parece relevante implementar estratégias de controle de pragas sem prejudicar a biodiversidade.
3. **Fomentar o crescimento econômico local:** as políticas podem capitalizar as oportunidades econômicas geradas pelos parques, como a expansão de quiosques e eventos comunitários, além de promover empresas locais e oferecer capacitação a empreendedores.
4. **Melhorar a segurança e infraestrutura:** os parques precisam continuar sendo espaços seguros e acessíveis, com melhorias na iluminação, reforço da vigilância e manutenção da infraestrutura, especialmente em áreas com vegetação densa. A melhoria foi valorizada, e fortalecer esse aspecto torna os espaços mais seguros para os diferentes segmentos da comunidade.
5. **Fortalecer a participação comunitária:** embora o impacto social seja alto, ele pode ser ainda mais aprimorado promovendo a participação ativa da comunidade na gestão e cuidado dos parques. Isso pode ser alcançado através da organização de eventos comunitários, oficinas de educação ambiental e programas que envolvam os moradores na tomada de decisões sobre a manutenção dos parques. É possível inferir que o maior vínculo da comunidade com o espaço gera condição favorável para maior cuidado com o entorno.
6. **Equilibrar o desenvolvimento econômico e ambiental:** os resultados do índice sugerem que os benefícios econômicos do projeto, embora presentes, podem ser aumentados por meio de políticas que promovam um desenvolvimento econômico local sustentável. Isso inclui a promoção do ecoturismo, a criação de mercados locais e a melhoria da infraestrutura comercial em torno dos parques.

9. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES PARA OS ODS

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são uma agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, em setembro de 2015, composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidas até 2030[10].

Nesta agenda estão previstas ações mundiais nas áreas de erradicação da pobreza, segurança alimentar, agricultura, saúde, educação, igualdade de gênero, redução das desigualdades, energia, água e saneamento, padrões sustentáveis de produção e de consumo, mudança do clima, cidades sustentáveis, proteção e uso sustentável dos oceanos e dos ecossistemas terrestres, crescimento econômico inclusivo, infraestrutura, industrialização, entre outros.

Os temas podem ser divididos em quatro dimensões principais:

- **Social:** relacionada às necessidades humanas, de saúde, educação, melhoria da qualidade de vida e justiça;
- **Ambiental:** trata da preservação e conservação do meio ambiente, com ações que vão da reversão do desmatamento, proteção das florestas e da biodiversidade, combate à desertificação e uso sustentável dos oceanos e recursos marinhos até a adoção de medidas efetivas contra mudanças climáticas;
- **Econômica:** aborda o uso e o esgotamento dos recursos naturais, a produção de resíduos, o consumo de energia, entre outros;
- **Institucional:** diz respeito às capacidades de colocar em prática os ODS.

A seguir, são apresentados os ODS e metas com os quais os jardins filtrantes de Sobral colaboram, conforme a avaliação realizada:



Figura 81 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. Fonte: PNUD.



ODS 3: SAÚDE E BEM-ESTAR

• ***Meta 3.9:*** reduzir significativamente o número de mortes e doenças causadas por produtos químicos perigosos e pela poluição do ar, da água e do solo.



ODS 6: ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO

• ***Meta 6.2:*** garantir o acesso a serviços de saneamento e higiene adequados e equitativos;

• ***Meta 6.3:*** melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando o despejo de resíduos e aumentando o tratamento de águas residuais;

•***Meta 6.6:*** proteger e restaurar os ecossistemas relacionados à água, incluindo rios, aquíferos e lagos.



ODS 8: TRABALHO DECENTE E CRESCIMENTO ECONÔMICO

• ***Meta 8.4:*** promover o crescimento econômico sem degradar o meio ambiente;

• ***Meta 8.9:*** desenvolver políticas para promover o turismo sustentável, gerando empregos e valorizando a cultura local.



ODS 10 : REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

• ***Meta 10.2:*** até 2030, capacitar e promover a inclusão social, econômica e política de todos, independentemente da idade, sexo, deficiência, raça, etnia, origem, religião ou status econômico ou outro.



ODS 11: CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS

• ***Meta 11.1:*** assegurar o acesso a moradias adequadas e serviços básicos;

• ***Meta 11.6:*** reduzir o impacto ambiental negativo das cidades, com foco na qualidade do ar e gestão de resíduos;

• ***Meta 11.7:*** oferecer acesso universal a áreas verdes e espaços públicos seguros e inclusivos.



ODS 15: VIDA TERRESTRE

• ***Meta 15.1:*** assegurar a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas terrestres e aquáticos;

• ***Meta 15.3:*** combater a desertificação, restaurar terras degradadas e neutralizar a degradação do solo.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA SBN NO DISTRITO SEDE DE SOBRAL

1. MÉTODO DA ANÁLISE DE ADEQUABILIDADE
2. UNIDADES DE ANÁLISE
3. MÉTODO PARA IMPLANTAÇÃO DE INFRAESTRUTURA VERDE-AZUL
    - 3.1 INDICADORES DE SEGURANÇA HÍDRICA
    - 3.2 INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL
    - 3.3 MATRIZ DE CORRELAÇÃO
4. MAPAS TEMÁTICOS
    - 4.1 INDICADOR % DE NASCENTES IMPERMEABILIZADAS
    - 4.2 INDICADOR: % DE ÁREAS IMPERMEABILIZADAS NAS NANOBACIAS
    - 4.3 INDICADOR: % DE ÁREA DESPROTEGIDA DOS CORPOS HÍDRICOS
    - 4.4 INDICADOR: MENOR DISTÂNCIA ENTRE AS ÁREAS VERDES (PARQUES E PRAÇAS)
    - 4.5 ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE SBN DE GESTÃO DAS ÁGUAS
    - 4.6 POTENCIAL E ADEQUABILIDADE À IMPLANTAÇÃO DE SBN
    - 4.7 ADEQUABILIDADE DO DISTRITO SEDE PARA IMPLANTAÇÃO DE JARDIM DE CHUVA
    - 4.8 ADEQUABILIDADE PARA CANTEIRO PLUVIAL
    - 4.9 ADEQUABILIDADE PARA BIOVALETA
    - 4.10 ADEQUABILIDADE PARA ALAGADO CONSTRUÍDO



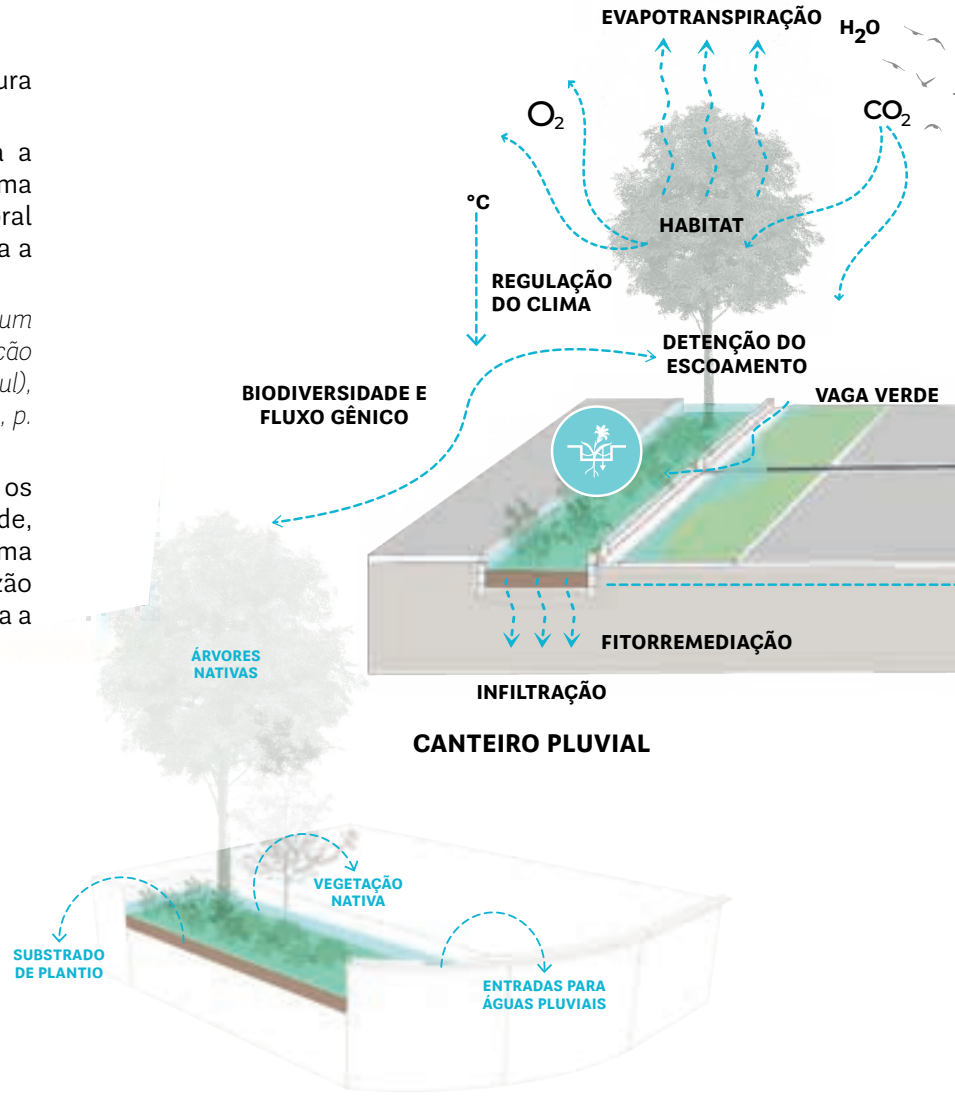


Este capítulo apresenta uma análise das áreas prioritárias para implantação de Infraestrutura Verde no Distrito Sede da cidade de Sobral (CE) e a análise de adequabilidade das soluções.

A criação de uma trama verde-azul na escala do Distrito Sede de Sobral possibilita a adoção de tecnologias ambientais que se coadunam com as questões levantadas pelo sistema de Infraestrutura Verde e Azul (IVA). O IVA foi elaborado no âmbito da Prefeitura de Sobral (PRODESOL), através do Projeto Estruturante de Revisão do Plano Diretor do município, e visa a alinhar as ações de planejamento urbano com a sustentabilidade ecológica.

Conforme descrito por Costa et al (2014), o Plano Diretor define a rede verde-azul como: *[...] um sistema interconectado e multifuncional de áreas verdes, como praças, parques e corredores de arborização pública (infraestrutura verde), junto às águas urbanas, como rios, riachos e lagoas (infraestrutura azul), reconectando a Serra da Meruoca ao Rio Acaraú, principal recurso hídrico da cidade (Costa et al.,2014, p. 2).*

A partir da visão estruturada pelo Plano Diretor de Sobral (PDS), foi possível elencar os indicadores mais aderentes ao planejamento urbano do município na escala do Distrito Sede, visando a fortalecer as interações com as áreas verdes existentes para a implementação da trama verde-azul. Essa iniciativa potencializa os serviços ambientais, como a manutenção da vazão hídrica, melhoria da qualidade das águas urbanas, regulação do microclima, conectividade para a biodiversidade e manutenção do equilíbrio ecológico através do fluxo gênico, especialmer avifauna e a promoção do bem-estar das pessoas do lugar.



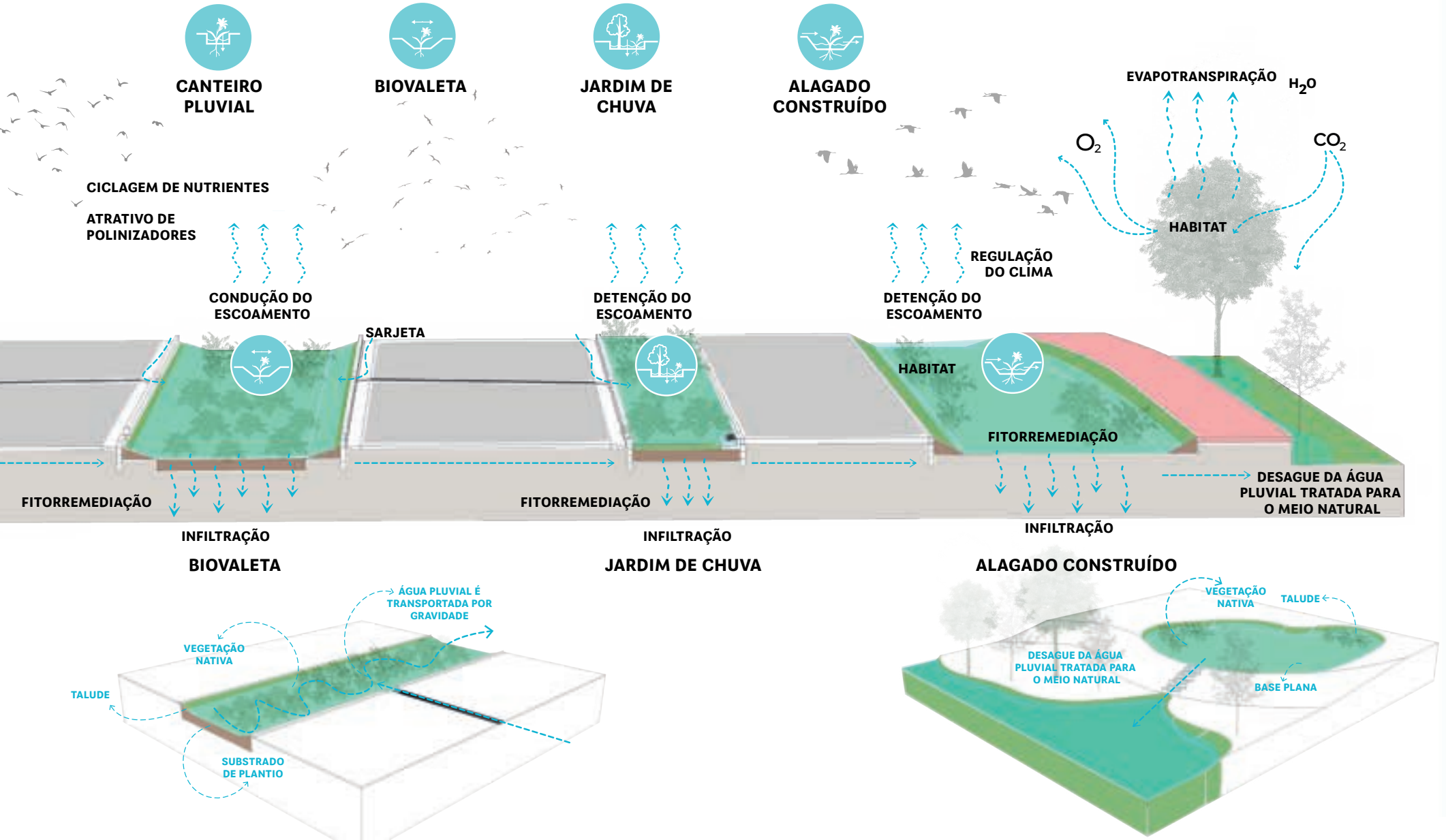


Figura 82 – Exemplos de tipologias de infraestrutura verde. Fonte: Autores (2024)

1. MÉTODO DA ANÁLISE DE ADEQUABILIDADE

A análise de adequabilidade é um método de projeto de paisagem que tem como objetivo encontrar as soluções de máxima utilidade social, ou seja, aquelas que proporcionarão maiores benefícios socioambientais com o menor custo social. Entre as principais características desse método estão sua natureza interdisciplinar, a facilidade de repetição, a busca pela solução ótima, a clareza na compreensão dos serviços ambientais e a identificação dos possíveis impactos do projeto. Além disso, esse método reduz a subjetividade dos agentes envolvidos e adota uma abordagem quantitativa (Bryant & Turner, 2019; Carlsson, 2017; McHarg, 1971; Yang & LI, 2016).

A adoção desse método no presente estudo pressupõe uma interpretação da paisagem do Distrito Sede a partir de um conjunto de processos sociais e ambientais interdependentes, que formam um sistema de valores com oportunidades e restrições às tipologias de Infraestrutura Verde, tendo como resultado a identificação de adequabilidade dessas soluções no território.

Para a análise e produção dos dados, foi feito uso da Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem (LIM). O termo Landscape Information Modeling (LIM) é uma linha de pesquisa desenvolvida pelo Laboratório de Experiência Digital (LED) desde 2018. Utilizando diferentes algoritmos de modelagem paramétrica a partir da edição de parâmetros iniciais, foram criados diferentes cenários de implementação de SbN.

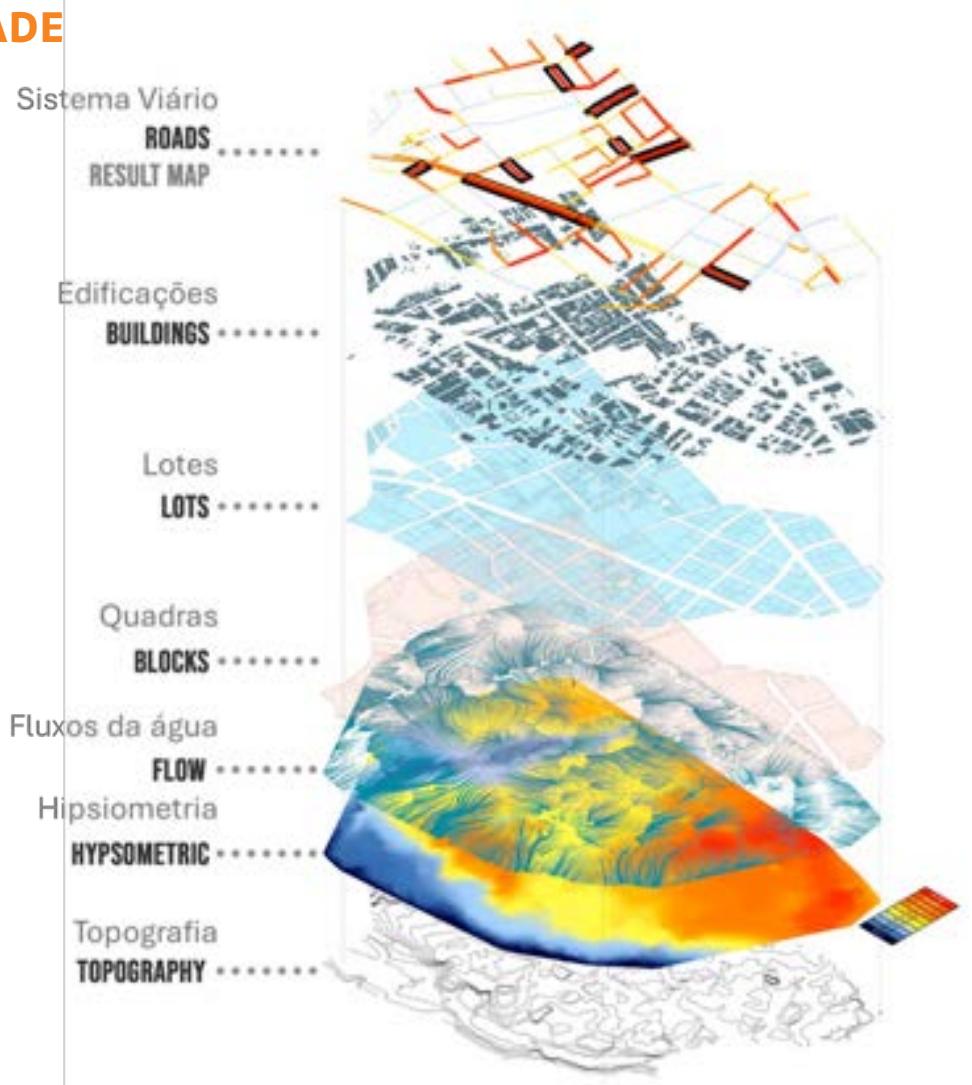


Figura 83 - Exemplo de sobreposição de dados georreferenciados para a tomada de decisão. Fonte: Autores (2024).

Essa ferramenta é fruto de um trabalho contínuo de pesquisa, ensino e extensão da Universidade Federal do Ceará (UFC), que teve início em 2018. O LIM incorpora processos dinâmicos para o design e permite a visualização de várias possibilidades antes de chegar ao resultado ideal. Essa dinâmica surge da modelagem paramétrica, em que cada modelo é construído com entidades cujos atributos podem ser fixos ou variáveis. Atributos fixos incluem forma, materiais, desempenho e custos, enquanto atributos variáveis são regras que definem o comportamento geométrico e não geométrico dos atributos fixos, permitindo que os objetos se ajustem automaticamente às mudanças de controle e contexto (Alves et al., 2023).

Essa abordagem estruturada e baseada em dados garante que as intervenções sejam não apenas eficazes, mas também sustentáveis e alinhadas com as necessidades locais, promovendo um desenvolvimento urbano resiliente e integrado em Sobral.

2. UNIDADES DE ANÁLISE

A escolha desse método de análise incorpora a premissa da água como um ponto de partida para o planejamento territorial-urbano. A Infraestrutura Verde reconhece a água como recurso natural protagonista do desenho urbano, que impacta, e é impactado, por todos os domínios do projeto, e, a partir de uma compreensão sistêmica da paisagem, propõe a integração da água à infraestrutura natural e urbana, recuperando a permeabilidade do solo e a cobertura vegetal e fornecendo benefícios que vão além da drenagem, podendo destacar:

1. Redução dos riscos de alagamento, inundações, enchentes e enxurradas;
2. Redução da escassez de água para abastecimento;
3. Redução dos poluentes das águas, do solo e ar;
4. Revitalização dos corpos hídricos;
5. Ampliação da cobertura vegetal e da biodiversidade;
6. Redução dos riscos de ilha de calor urbana;
7. Criação de sistema de áreas verdes e de lazer como parques lineares, vias parques e áreas verdes diversas;
8. Criação de conexões que favorecem a mobilidade a pé e cicloviária de baixo carbono;
9. Aumento do contato das pessoas com a natureza.

Com base no modelo MDT (Modelo Digital do Terreno), disponibilizado no site da Prefeitura de Sobral (Prefeitura de Sobral. <https://sobral.ce.gov.br/>), foram mapeadas as linhas de drenagem principais. Ou seja, a partir da interpretação da topografia, hipsometria e concavidade do terreno, foram identificados os caminhos preferenciais do escoamento superficial na área do Distrito Sede da cidade de Sobral.

A topografia é um parâmetro de base para a realização de análises territoriais para intervenções ligadas à drenagem urbana sustentável, pois fornece informações sobre as cotas altimétricas do terreno, seus pontos altos e baixos. Já a hipsometria representa a variação da altimetria em uma área, enquanto a concavidade faz referência à forma do terreno, se é côncavo ou convexo.

A partir da interpretação desses mapas tem-se informações sobre a declividade do terreno e a modelagem do comportamento da água pluvial na superfície da área de estudo, com dados essenciais para a interpretação dos processos hidrológicos favorecidos – escoamento, alagamento, detenção, retenção e espraiamento da água.

Para o tratamento dos dados foi utilizado o software de geoprocessamento Qgis, através do plugin SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses (Conrad et. al. 2015), com algoritmos escritos em Python.

Como resultado, tem-se o mapa das linhas de drenagem do Distrito Sede de Sobral, que são os dados de entrada principal para a delimitação das nanobacias.



Figura 84 - Diagrama explicando como os dados foram obtidos a partir da construção de um modelo 3D adastro de Drenagem. Fonte: Autores.

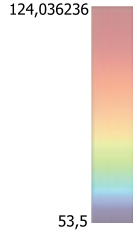
A seguir, apresenta-se o mapa de linhas de drenagem que atuam no Distrito Sede de Sobral conforme modelo digital do terreno, com a delimitação da bacia de contribuição dos jardins filtrantes implantados no Parque da Cidade e Parque Pajeú.

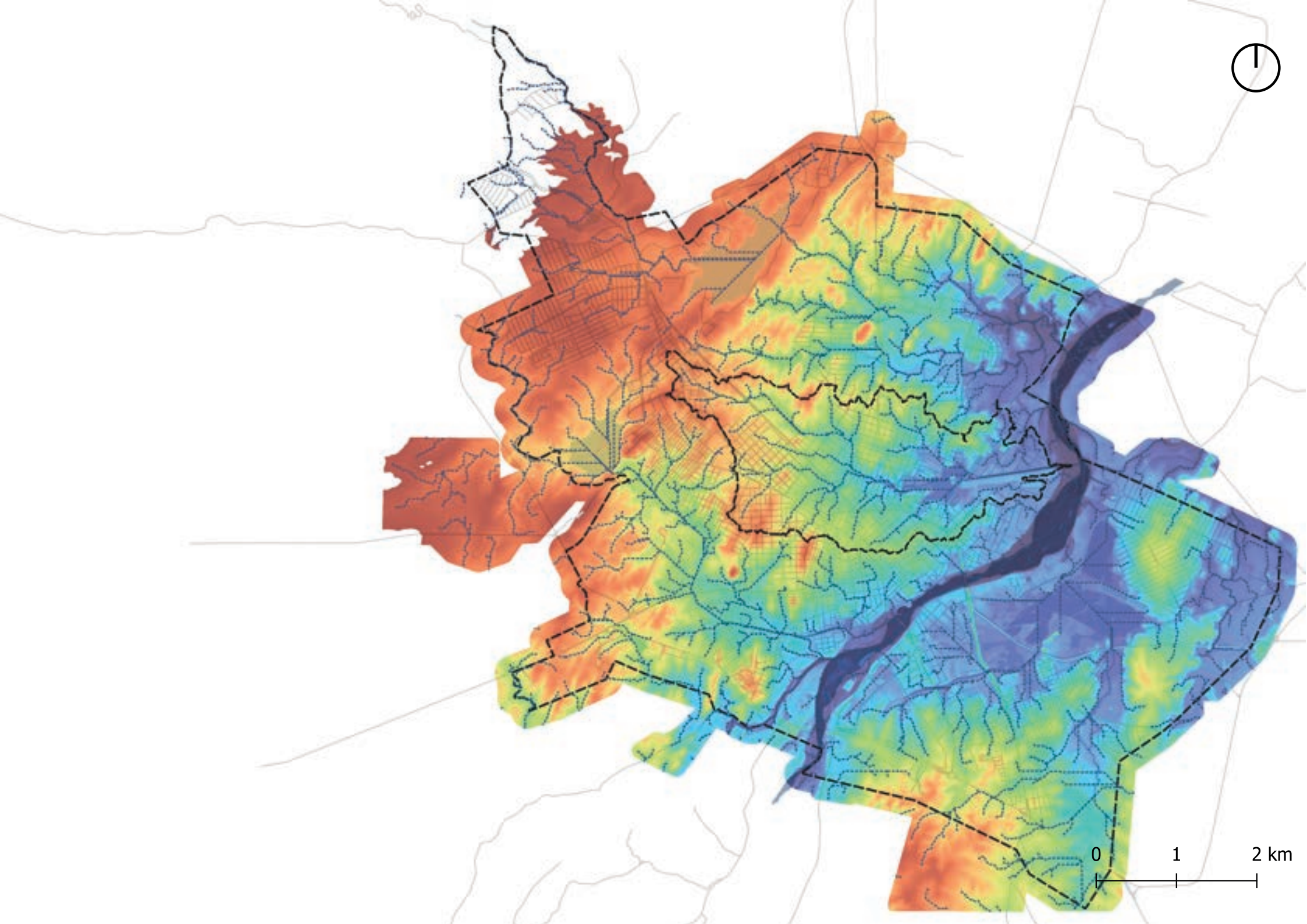
Mapa 14 - Linhas de Drenagem
Distrito Sede, Sobral - CE

Legenda

Limite Distrito Sede, Sobral - CE
Vias
Linhas de Drenagem
Bacia de Contribuiçao dos Jardins Filtrantes

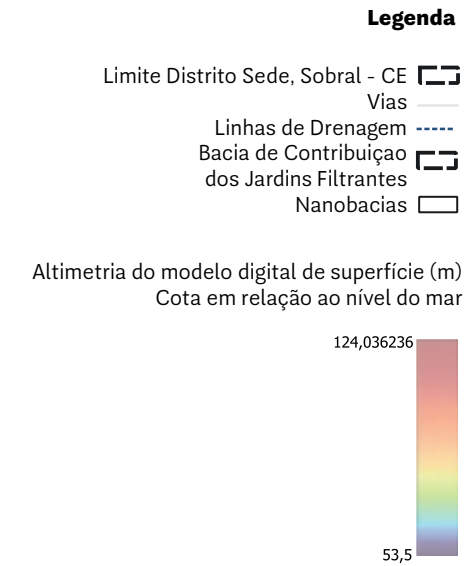
Altimetria do modelo digital de superfície (m)
Cota em relação ao nível do mar

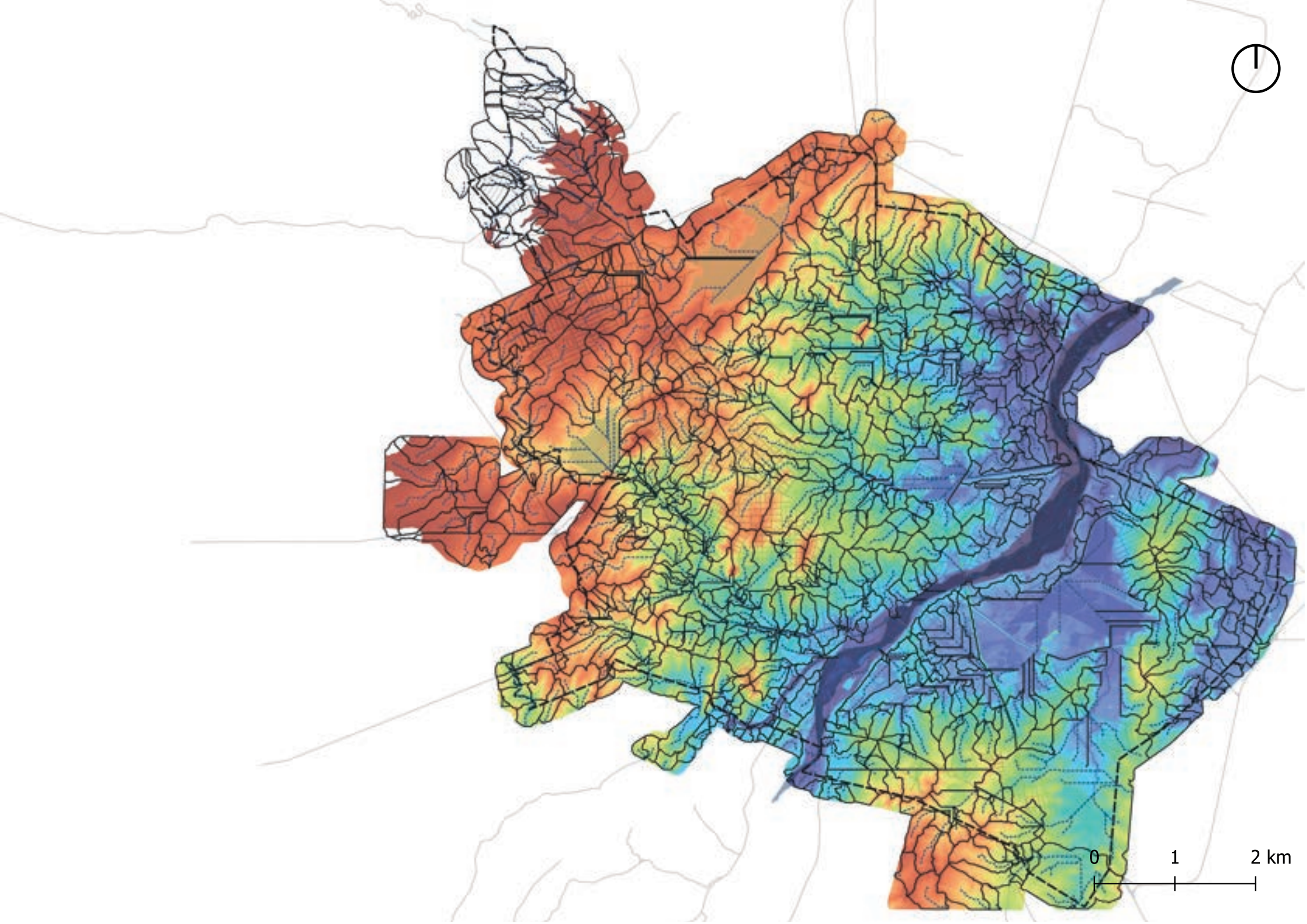



0
1
2 km

A partir dessa modelagem foram definidas as chamadas nanobacias, ou seja, as áreas de contribuição das linhas de drenagem atuante. O mapa de nanobacias apresentado a seguir permite reconhecer a prioridade e adequabilidade de diferentes tipologias de Infraestrutura Verde com maior precisão.

Mapa 15 - Definições das Nanobacias
Distrito Sede, Sobral - CE




0
1
2 km

3. MÉTODO PARA IMPLANTAÇÃO DE INFRAESTRUTURA VERDE-AZUL

Essa metodologia se baseia no planejamento de uma rede de Infraestrutura Verde a partir da utilização de indicadores ambientais que representam a realidade atual e reflitam as potencialidades, fragilidades, acertos e conflitos a serem enfrentados pelos gestores. Para tanto, é realizada a leitura do território por meio de indicadores que possam ser quantificados, analisados quanto à sua importância e associados ao conjunto de dados do município.

Segundo ITP (2020), para as diferentes tipologias de Infraestrutura Verde tem-se um potencial diverso no fornecimento de serviços ambientais, tendo relação direta com sua natureza e escala de aplicação. Para a escolha dos indicadores ambientais, foram observadas as informações disponíveis versus desafios específicos de uma área urbana localizada no semiárido brasileiro.

TEMA	INDICADOR	FUNÇÃO AMBIENTAL	SERVIÇO AMBIENTAL	DESAFIO RELACIONADO
SEGURANÇA HÍDRICA	% de nascentes impermeabilizadas	Proteção de recursos hídricos	Manutenção da vazão hídrica	Escassez hídrica
	% de área impermeabilizada das nanobacias	Proteção de recursos hídricos	Manutenção da vazão hídrica	Escassez hídrica
			Melhoria da qualidade da água	Qualidade das águas
	% de área desprotegida dos cursos d'água,	Proteção de recursos hídricos	Melhoria da qualidade da água	Poluição das águas
		Equilíbrio ambiental	Regulação do microclima	Altas temperaturas
		Biodiversidade e fluxo gênico de fauna e flora	Manutenção da diversidade genética (fluxo gênico)	Perda de habitats por fragmentação devido à urbanização
			Manutenção do habitat	
QUALIDADE AMBIENTAL	Menor distância entre as áreas verdes (parques e praças)	Equilíbrio ambiental	Regulação do microclima	Altas temperaturas
				Ilha de calor urbana
		Biodiversidade e fluxo gênico de fauna e flora	Manutenção da diversidade genética (fluxo gênico)	Perda de habitats por fragmentação
		Bem-estar das populações humanas	Recreação, saúde física e ambiental	Falta de acesso a áreas de contato com a natureza

Quadro 30 – Matriz de correlação entre indicadores, função ambiental, serviço ambiental e desafio correlacionado

3.1. INDICADORES DE SEGURANÇA HÍDRICA

De acordo com o conceito da Organização das Nações Unidas (ONU), o conceito de Segurança Hídrica é apresentado no Plano Nacional de Segurança Hídrica – PNSH , da Agência Nacional das Águas (ANA, 2019 p. 13):

*A **Segurança Hídrica** existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas as suas quatro dimensões como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país.*

A Segurança Hídrica é ameaçada principalmente pela crescente demanda da água, devido ao aumento da população vivendo em áreas urbanas, ao crescimento econômico e às mudanças climáticas e seus efeitos hidrológicos extremos. Esses fatores, somados à ausência de planejamento e ações institucionais coordenadas e de investimentos em infraestrutura hídrica e saneamento, desencadeiam cenários de Insegurança Hídrica e corroboram com a instalação de crises, tais como a crise hídrica (ANA, 2019).

No caso do semiárido, onde existe disponibilidade hídrica reduzida, as crises hídricas têm ocorrido por períodos mais prolongados. E, segundo o Índice de Segurança Hídrica do Brasil (ISH), é no semiárido onde predominam, no cenário de 2035, áreas com menor segurança hídrica (ANA, 2019).

Por essas razões, investimentos em ações de redução dos riscos de Insegurança Hídrica, como as Soluções baseadas na Natureza (SbN), são um ponto central na realização da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, uma vez que abordagens tradicionais (business-as--usual) não permitem que a Segurança Hídrica sustentável seja alcançada (UN-WATER, 2018).

As SbN podem melhorar a Segurança Hídrica geral, aumentando a disponibilidade e a qualidade da água ao mesmo tempo que reduzem os riscos de desastres relacionados à água e aumentam a resiliência a eventos hidrológicos extremos, causados pela mudança climática, gerando assim cobenefícios sociais, econômicos e ambientais (UN-WATER, 2018).

No contexto do saneamento, os alagados construídos para tratamento de águas cinzas podem ser soluções custo-efetivas para o fornecimento de efluentes de qualidade adequada para fins não potáveis, incluindo a irrigação, enquanto a infraestrutura verde-azul da cidade se destaca pelo seu potencial em produzir resultados positivos em termos de disponibilidade, qualidade da água e redução de riscos de inundações e secas (UN-WATER, 2018).



Figura 85 -Dimensões da Segurança Hídrica. Adaptado da United Nations Water (UN-Water; ANA, 2019 p. 13).

[1] *Instrumento para o planejamento integrado da infraestrutura hídrica nacional, buscando a redução dos impactos de secas e cheias, considerando o horizonte de até 2035, a partir de diretrizes e critérios advindos do conceito de Segurança Hídrica (ANA, 2019).*

3.2. INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL

Os indicadores de qualidade ambiental indicam quais são as zonas prioritárias de intervenção, com base nas áreas menos favorecidas ambientalmente pelos equipamentos e infraestruturas urbanas. Dessa forma, os indicadores demonstram potenciais já existentes na escala do Distrito Sede, visando à qualidade e ao fornecimento de serviços ambientais para o bem-estar urbano. Além disso, tais intervenções fortalecem o fluxo gênico entre ecossistemas, promovendo a resiliência urbana, como será detalhado a seguir.

3.3. MATRIZ DE CORRELAÇÃO

Identifica o potencial de cada tipologia para fornecer os serviços ambientais, em que: (-) significa potencial nulo ou não se aplica, (+) significa menor potencial e (++) significa maior potencial. Para esta avaliação, foram consideradas as tipologias prioritárias que pudessem atender as necessidades dos gestores, procurando entender a escala de aplicação para situações reais da cidade, tendo sido baseada no Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde (IPT,2020).

4. MAPAS TEMÁTICOS

A seguir, serão apresentados os mapas temáticos resultantes da análise de indicadores de segurança hídrica e qualidade ambiental. Esses mapas fornecem subsídios para fins de replicabilidade das Soluções baseadas na Natureza (SbN) na escala do Distrito Sede, demonstrando como essas soluções podem ser aplicadas de forma eficiente.

A implementação e a combinação de diferentes tipologias de Infraestrutura Verde possibilitam a provisão de múltiplas funções ecológicas, sociais e econômicas, melhorando a qualidade de vida no ambiente urbano por meio da oferta de serviços ambientas diversos (ITP, 2020). Sobral, portanto, tem o potencial de se destacar como um exemplo na adoção de soluções sustentáveis que integram ecossistemas e urbanização de maneira equilibrada e resiliente.

4.1. INDICADOR: % DE NASCENTES IMPERMEABILIZADAS

As nascentes são áreas de significativa importância para a produção de água na bacia hidrográfica. Portanto, a impermeabilização do solo nas áreas de cabeceiras de drenagens altera a condição e o volume do escoamento de água superficial e o fluxo de água subterrânea, interferindo na vazão das nascentes e na produção de água na área de estudo. Desse modo, medir a porcentagem de impermeabilização das áreas de cabeceira fornece dados importantes para lidar com o desafio da escassez hídrica. Esse indicador mostra que, quanto maior a porcentagem de área impermeável em relação à área da bacia de contribuição de cada nascente, maior é a prioridade para a instalação de Infraestrutura Verde.

Para a realização das análises, foram mapeadas as nascentes da área localizadas no Distrito Sede e delimitadas as suas áreas de contribuição, utilizando a topografia em 3D.

O mapeamento das nascentes e a delimitação da área permeável das nanobacias possibilitaram a obtenção de informações relacionadas à taxa de permeabilidade na escala do Distrito Sede, admitindo um gradiente que varia de 10% a 100%. Esses dados servem para a identificação de locais prioritários para a instalação de soluções de Infraestrutura Verde, conforme apresentado nos mapas a seguir. Segundo o ITP (2020), o mapeamento das nanobacias e suas respectivas nascentes, além de identificar zonas prioritárias, contribui significativamente para a promoção da qualidade da água.

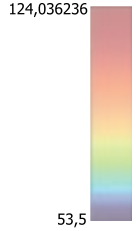
Mapa 16 - Nascentes e áreas de contribuição Distrito Sede, Sobral - CE

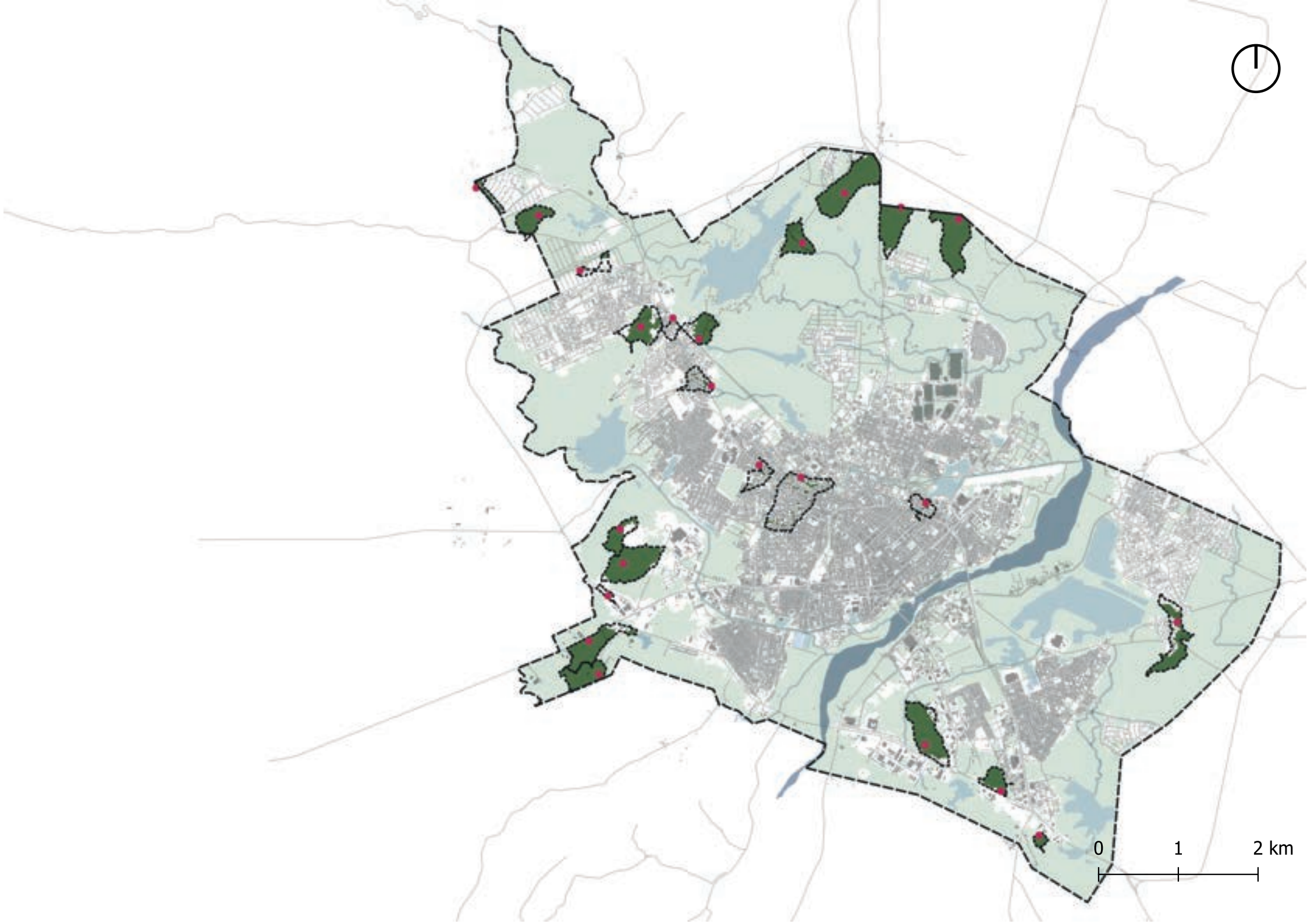
Fonte:
Nascentes Sobral - Dados Prefeitura
Vias e Logradouros - OpenStreetMap Data
Área Vegetada - MapBiomas

Legenda

Limite Distrito Sede, Sobral - CE
Nascentes
Área de Contribuicao de Nascente
Área Permeável
Vias
Vegetação Nativa

Altimetria do modelo digital de superfície (m)
Cota em relação ao nível do mar




0
1
2 km

Para identificar a prioridade de implantação de Infraestrutura Verde nas áreas de cabeceiras, foram estabelecidas três faixas de prioridade:

- **BAIXA PRIORIDADE: de 0% a 20% de impermeabilização;**
- **MÉDIA PRIORIDADE: de 20% a 60% de impermeabilização;**
- **ALTA PRIORIDADE: de 60% a 100% de impermeabilização.**

Dos 333,8 ha analisados de áreas de contribuição de nascentes localizadas no Distrito Sede, foi identificado que 63% estão em áreas de baixa prioridade para a instalação de Infraestrutura Verde, o que significa que a maior parte das áreas de contribuição mantém boas condições de permeabilidade e cobertura vegetal, um indicativo positivo para a manutenção da vazão hídrica e redução do risco de escassez de água. No entanto, 29% das áreas apresentam alta prioridade, apontando que essas regiões sofrem com maior impermeabilização do solo e perda de cobertura vegetal, o que pode impactar negativamente na regulação da vazão hídrica. As áreas de média prioridade compõe 8% do total. Nessas áreas onde há média e alta prioridade de implantação de SbN, as ações prioritárias são de recomposição da cobertura vegetal nativa e de medidas de proteção para frear a mudança do uso do solo, evitando o avanço da degradação dos serviços ambientais fornecidos.

O mapa a seguir apresenta os resultados obtidos:

Prioridades de implantação de Infraestrutura Verde nas áreas de nascentes

Prioridade	Área (ha)	%
ALTA	62,27	29%
MÉDIA	18,74	8%
BAIXA	252,78	63%

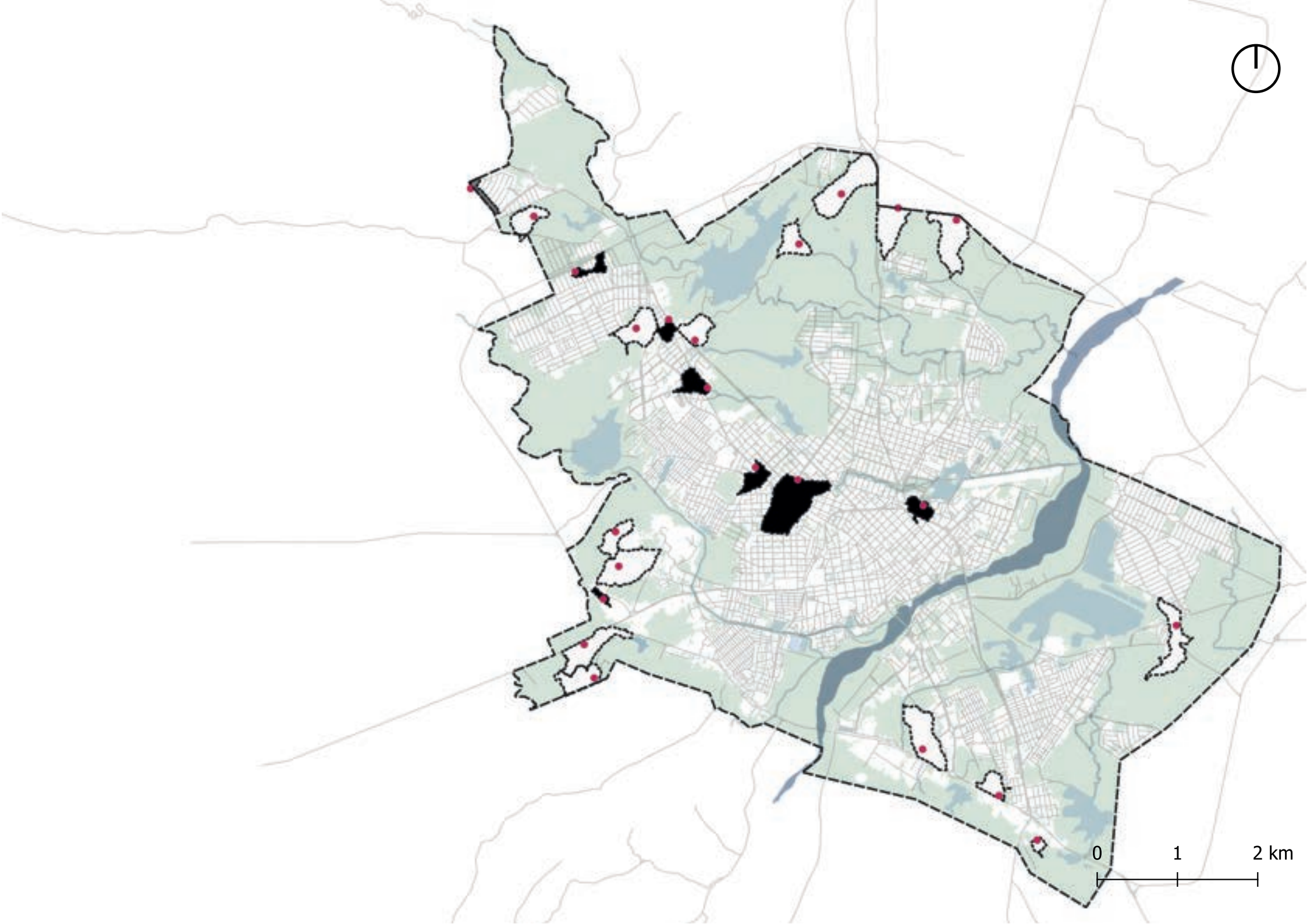
Quadro 31 - Quadro de áreas de prioridades de implantação de Infraestrutura Verde nas áreas de contribuição das nascentes do Distrito Sede de Sobral.

Mapa 17 -Prioridade de Implantação de SBN em Área de Nascentes
Distrito Sede, Sobral - CE
Fonte:
Nascentes Sobral - Dados Prefeitura
Vias e Logradouros - OpenStreetMap Data
Área Vegetada - MapBiomas

Legenda

Limite Distrito Sede, Sobral - CE
· Nascentes
Área Permeável
Vias

Gradiente de prioridade de implantação de infraestrutura verde nas áreas de contribuição de Nascentes.
Alta prioridade: 60% - 100% de impermeabilização
Média prioridade: 20% - 60% de impermeabilização
Baixa prioridade: 0% - 20% de impermeabilização


0
1
2 km

4.2. INDICADOR: % DE ÁREAS IMPERMEABILIZADAS NAS NANOBACIAS

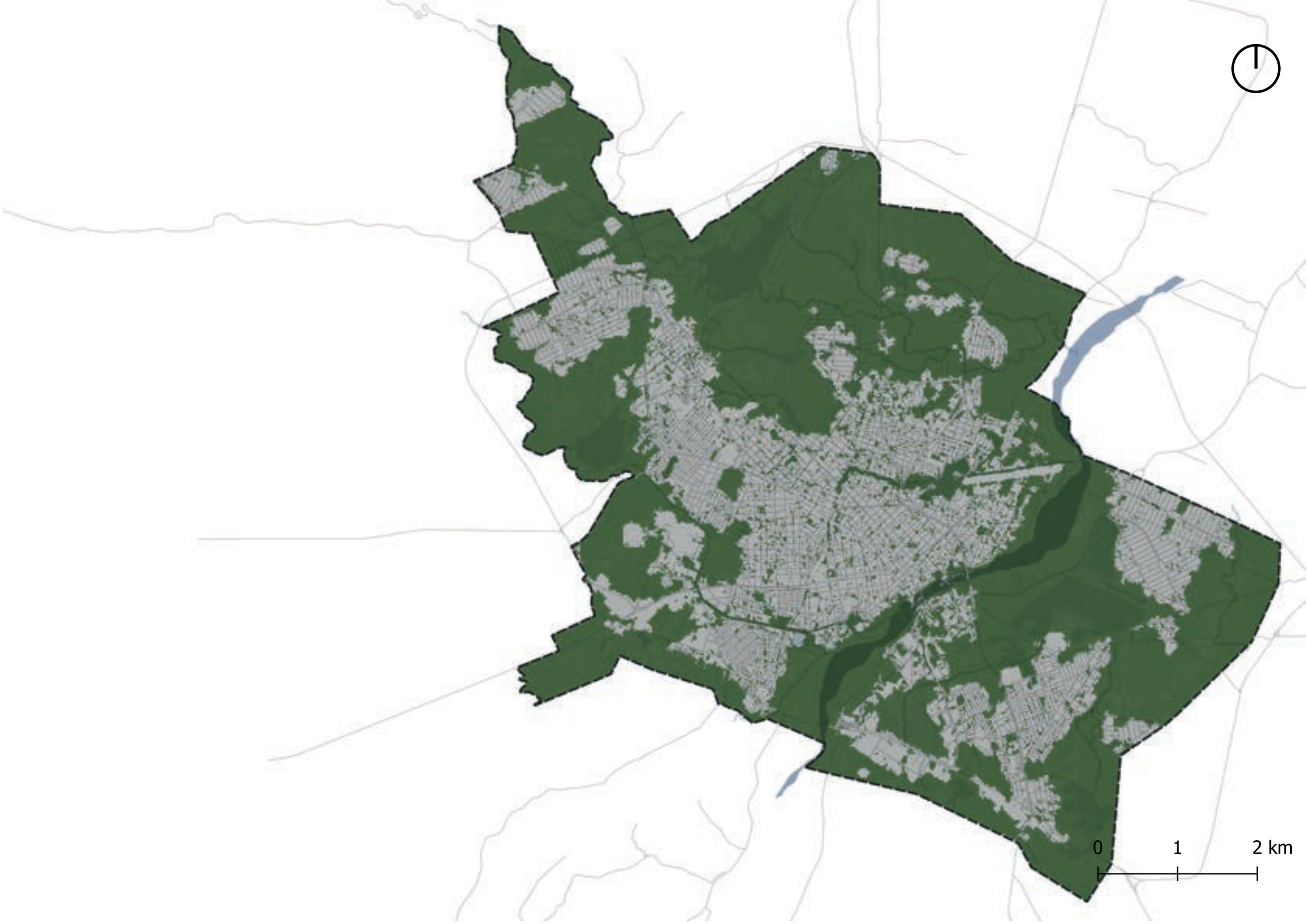
A impermeabilização do solo eleva as cargas de poluentes que desembocam em rios das cidades através dos sistemas de drenagem cinza. Quanto maior a porcentagem de área impermeabilizada de uma bacia hidrográfica, pior a qualidade da água das chuvas que chegará aos corpos hídricos. As áreas impermeáveis são prioritárias para introdução de Infraestrutura Verde para fins de retenção de poluentes da água das chuvas. Medir a taxa de impermeabilização das nanobacias auxilia na gestão eficiente do recurso hídrico.

O mapa a seguir apresenta as áreas permeáveis e impermeáveis do Distrito Sede de Sobral:

Mapa 18 - Impermeabilização do Solo das Nanobacias Distrito Sede, Sobral - CE

Legenda

Limite Distrito Sede, Sobral - CE
Vias
Nanobacias
Áreas Permeaveis
Áreas Impermeáveis


0
1
2 km

A permeabilidade das nanobacias na escala do Distrito Sede possibilita uma gestão mais integrada do território ao indicar áreas prioritárias para a introdução de soluções de Infraestrutura Verde para fins de retenção de poluentes de origem pluvial. Foram estabelecidas três faixas de prioridade:

- **BAIXA PRIORIDADE: de 0% a 20% de impermeabilização;**
- **MÉDIA PRIORIDADE: de 20% a 60% de impermeabilização;**
- **ALTA PRIORIDADE: de 60% a 100% de impermeabilização.**

Dos 4298,34 ha de área de nanobacias analisadas quanto à sua permeabilidade, pode-se observar que 35% do território do Distrito Sede concentram áreas de alta prioridade para implantação de Infraestrutura Verde, ou seja, áreas com altas taxas de impermeabilização, variando de 60% a 100%. Já as áreas de média prioridade compreendem 32%, enquanto as áreas de baixa prioridade correspondem a 33%. Essas duas últimas categorias merecem destaque, pois podem sofrer maior pressão de urbanização, já que possuem maior área livre de ocupação e representam uma oportunidade para preservação e recomposição da cobertura vegetal nativa, melhorando os serviços de manutenção da vazão hídrica e da qualidade das águas, ao mesmo tempo que podem oferecer oportunidades para biodiversidade e para o bem-estar da população humana.

O mapa a seguir apresenta os resultados obtidos:

Prioridades de Infraestrutura Verde por nanobacias

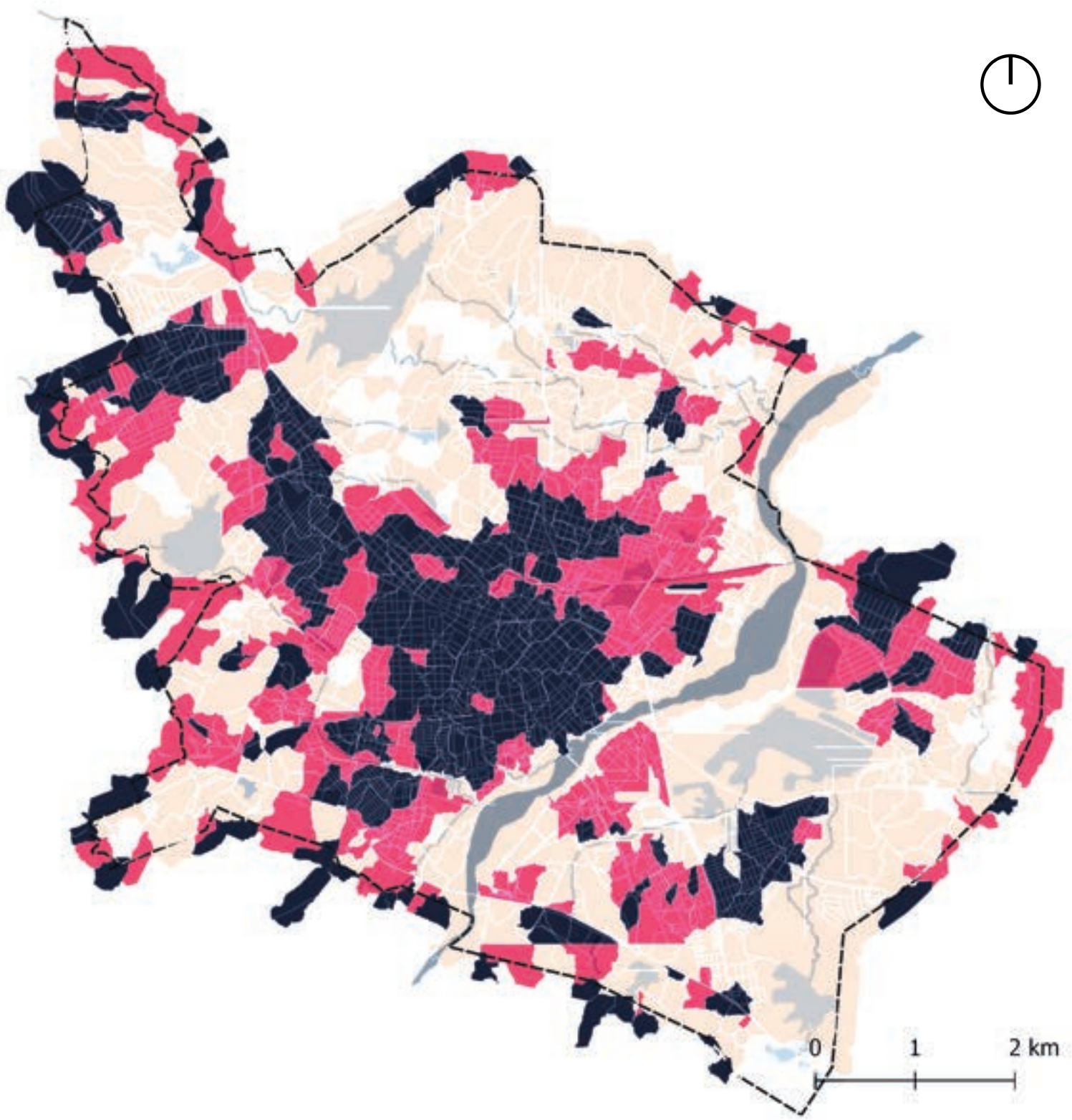
Prioridade	Área (ha)	%
ALTA	1483,85	35%
MÉDIA	1385,15	32%
BAIXA	1429,33	33%

Quadro 32 - Quadro de áreas de prioridades de Infraestrutura Verde por nanobacias.

Mapa 19 - Prioridade de Implantação de SbN em Nanobacias Distrito Sede, Sobral - CE

Legenda

Limite Distrito Sede, Sobral - CE
Gradiente de prioridade de implantação de infraestrutura verde nas áreas das nanobacias:
Alta prioridade: 60% - 100% de impermeabilização
Média prioridade: 20% - 60% de impermeabilização
Baixa prioridade: 0% - 20% de impermeabilização


0
1
2 km

4.3 INDICADOR: % DE ÁREA DESPROTEGIDA DOS CORPOS HÍDRICOS

As áreas verdes no entorno de corpos hídricos são essenciais para proteção dos recursos hídricos, especialmente para a manutenção da qualidade das águas. A vegetação característica das áreas lindeiras aos cursos d'água realiza a filtração do escoamento da água das chuvas, a redução do risco de erosão, a diminuição do aporte de sedimentos aos mananciais, gerando habitat para biodiversidade e auxílio na proteção ao risco de enchentes. No contexto de Sobral, a porcentagem de áreas desprotegidas dos cursos d'água, ou seja, sem cobertura vegetal nativa, é um dado de grande relevância por auxiliar o planejamento urbano.

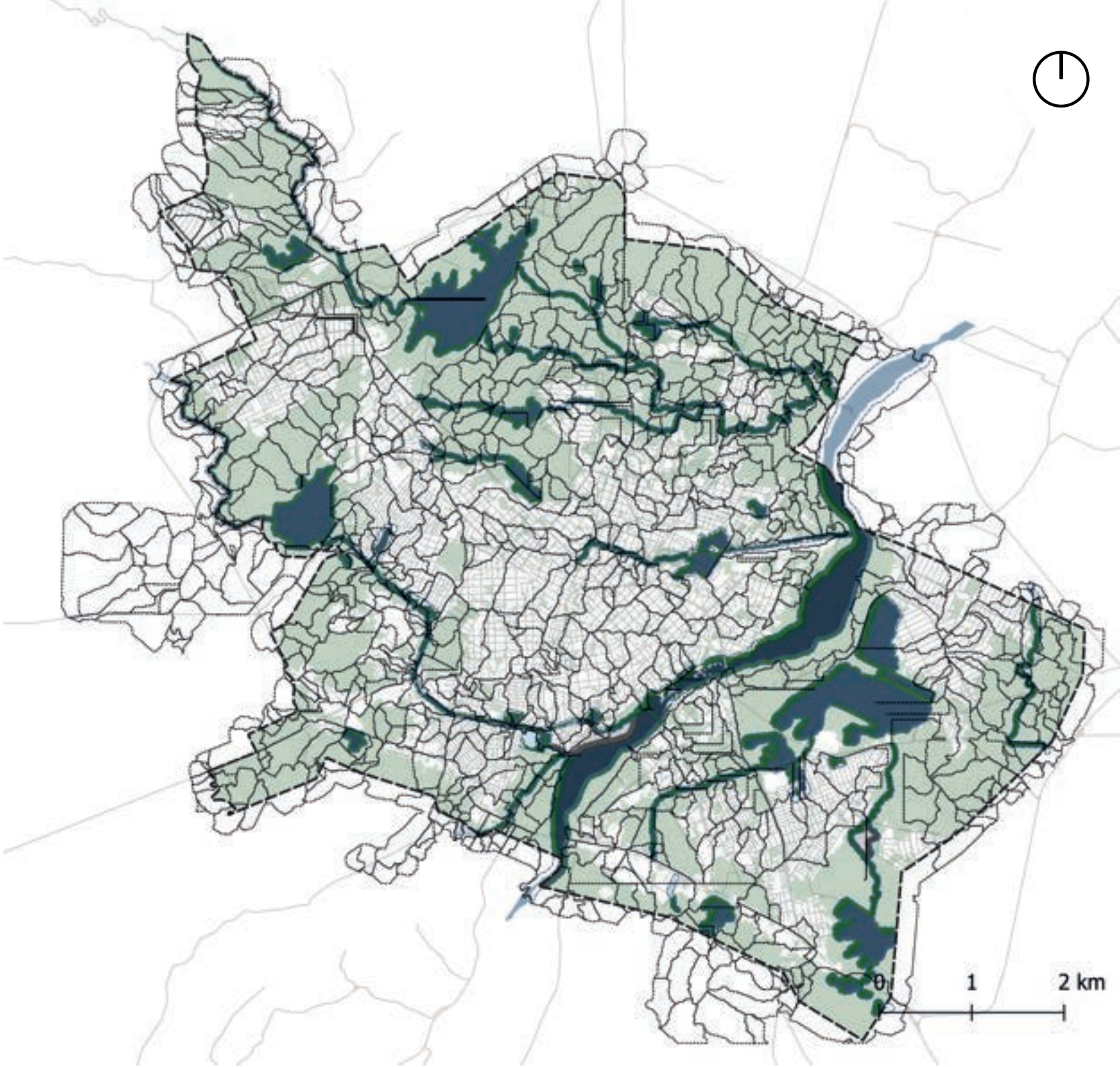
A permeabilidade em torno dos corpos hídricos foi analisada com base em uma faixa marginal de 30 metros de cada lado, considerando a faixa de Área de Preservação Permanente (APP), estipulado pelo Código Florestal Brasileiro, para corpos hídricos de até 10 metros de largura.

O mapa a seguir apresenta as áreas desprotegidas de cursos hídricos do Distrito Sede de Sobral:

Mapa 20 - Áreas Desprotegidas de Corpos Hídricos Distrito Sede, Sobral - CE

Legenda

- Limite Distrito Sede, Sobral - CE
- Vias
- Corpos Hídricos
- Buffer Corpos Hídricos
- Vegetação Nativa
- Área Permeável


0
1
2 km

Para definir o nível de prioridade de SbN nessas áreas, foi considerado um gradiente de baixa, média e alta prioridade, conforme a taxa de impermeabilidade da APP:

- **BAIXA PRIORIDADE: de 0% a 20% de impermeabilização;**
- **MÉDIA PRIORIDADE: de 20% a 60% de impermeabilização;**
- **ALTA PRIORIDADE: de 60% a 100% de impermeabilização.**

Do total de áreas mapeadas ao longo dos cursos hídricos do Distrito Sede, 75% possuem baixa prioridade de implantação de SbN, o que sugere que essas áreas possuem cobertura vegetal desempenhando os serviços ambientais de melhoria da qualidade da água, regulação do microclima, manutenção da diversidade genética (fluxo gênico) e do habitat. No entanto, 20% das áreas são categorizadas com prioridade média e 5% com alta prioridade, o que indica a presença de trechos desprotegidos e vulneráveis. Essas áreas requerem atenção para garantir as funções ambientais de proteção de recursos hídricos, equilíbrio ambiental e de biodiversidade e fluxo gênico de fauna e flora.

O mapa a seguir ilustra o resultado obtido:

Prioridades de Infraestrutura Verde por Bacia Hidrográfica

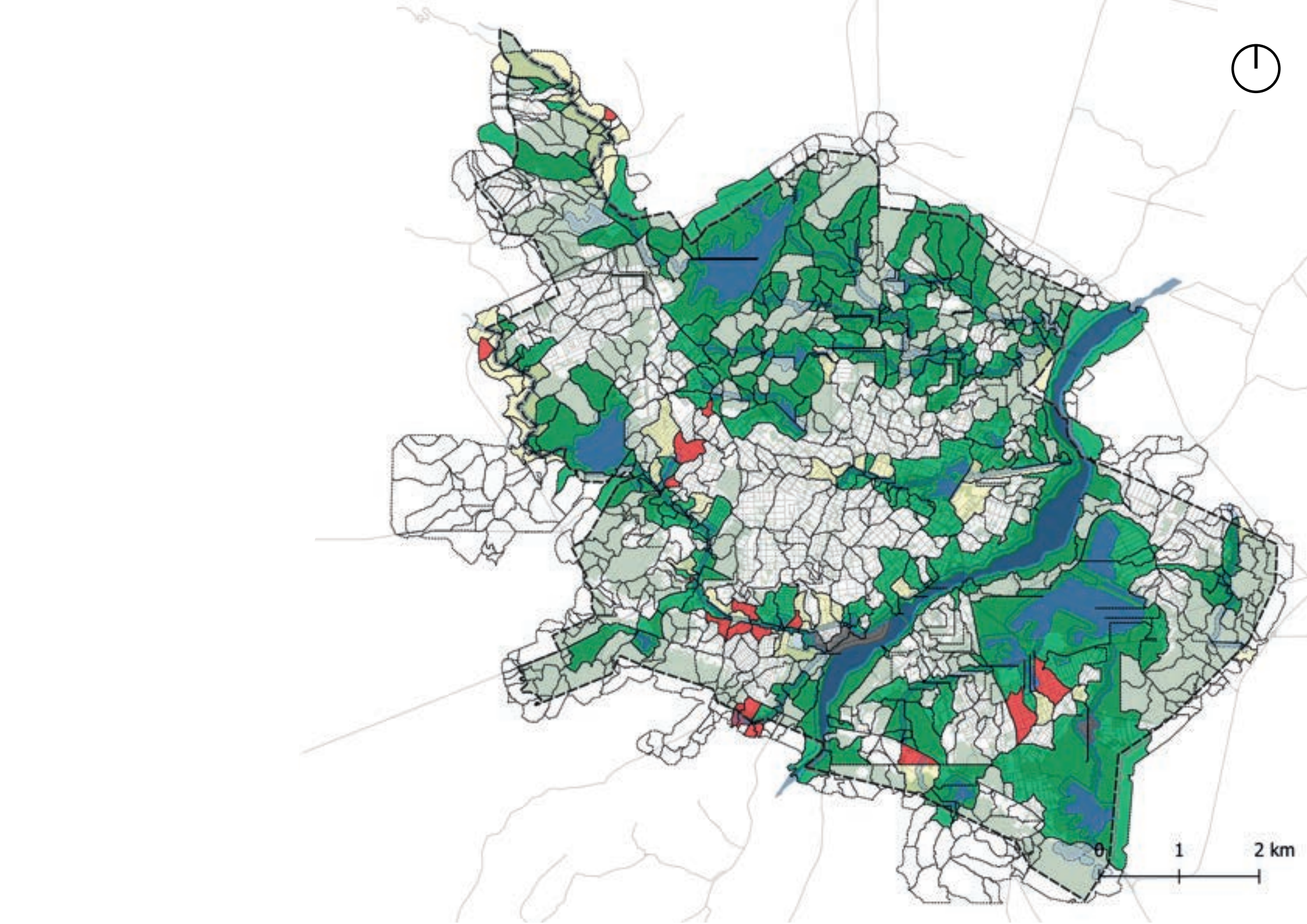
Prioridade	Área (ha)	%
ALTA	86,21	5%
MÉDIA	344,28	20%
BAIXA	1306,34	75%

Quadro 33 - Quadro de áreas de prioridades de Infraestrutura Verde para cursos de água desprotegidos.

Mapa 21 - Prioridade de Implantação de SbN nas APP de Corpos Hídricos Distrito Sede, Sobral - CE

Legenda

Limite Distrito Sede, Sobral - CE
Vias
Buffer Corpos Hídricos
Áreas Permeáveis
Gradiente de prioridade de implantação de infraestrutura verde nas APP de Corpos Hídricos
Alta prioridade: 60% - 100% de impermeabilização
Média prioridade: 20% - 60% de impermeabilização
Baixa prioridade: 0% - 20% de impermeabilização


0
1
2 km

4.4. INDICADOR: MENOR DISTÂNCIA ENTRE AS ÁREAS VERDES (PARQUES E PRAÇAS)

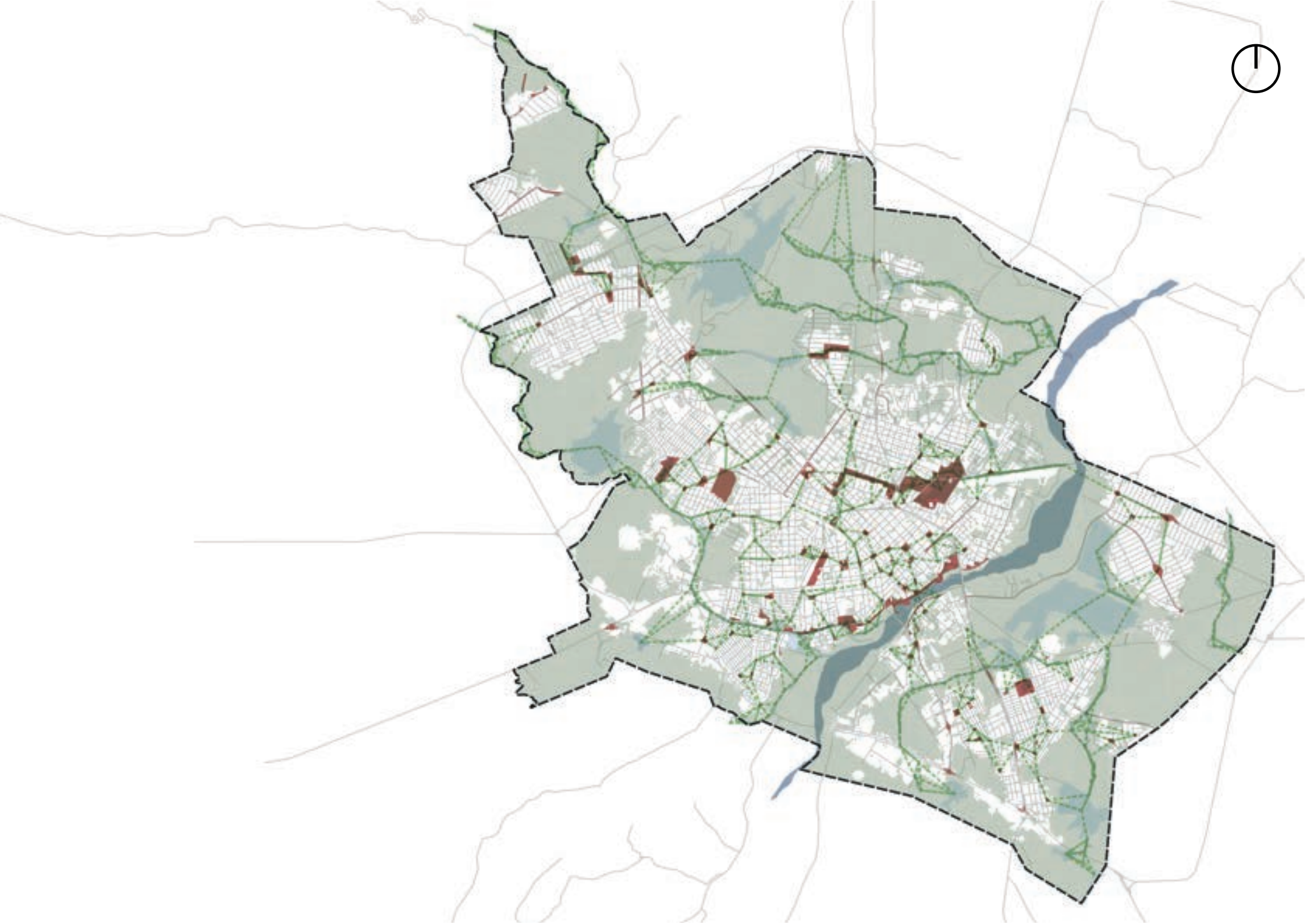
A conectividade entre áreas verdes na malha urbana colabora para a regulação do microclima e manutenção dos fluxos biológicos da fauna e flora, distribuída nos fragmentos de habitat na matriz da paisagem. A conectividade da paisagem colabora com a redução dos riscos de ondas de calor e ilhas de calor, favorecendo a mobilidade pedonal e cicloviária.

Esse indicador calcula a menor distância entre as áreas verdes sem considerar os sistemas viários, para proposição de corredores verdes urbanos. Para a construção desse indicador, foram mapeadas as praças, as vias e os lotes, através do Open Street Map Data, na escala do Distrito Sede.

Mapa 22 - Menor Distância entre Áreas Verdes Distrito Sede, Sobral - CE

Legenda

Limite Distrito Sede, Sobral - CE
Vias
Parques e Praças
Menor distância entre as áreas verdes sem considerar o sistema viário.
Vegetação Nativa
Áreas Impermeáveis



A partir do mapeamento da menor distância entre os equipamentos de parques e praças, é realizado o cálculo da menor rota pelo sistema viário (ruas e passeios) de um equipamento a outro. O mapa resultante mostra que há um potencial significativo para a criação de 103.938 metros lineares de corredores verdes de conexão entre as áreas verdes de parques e praças do Distrito Sede de Sobral.

Esse resultado é de grande relevância para orientar o planejamento urbano sustentável no âmbito do Plano Diretor de Sobral (PDS), especificamente do Distrito Sede, área de maior concentração da ocupação urbana do município de Sobral.

A seguir, é apresentado o mapa resultante:

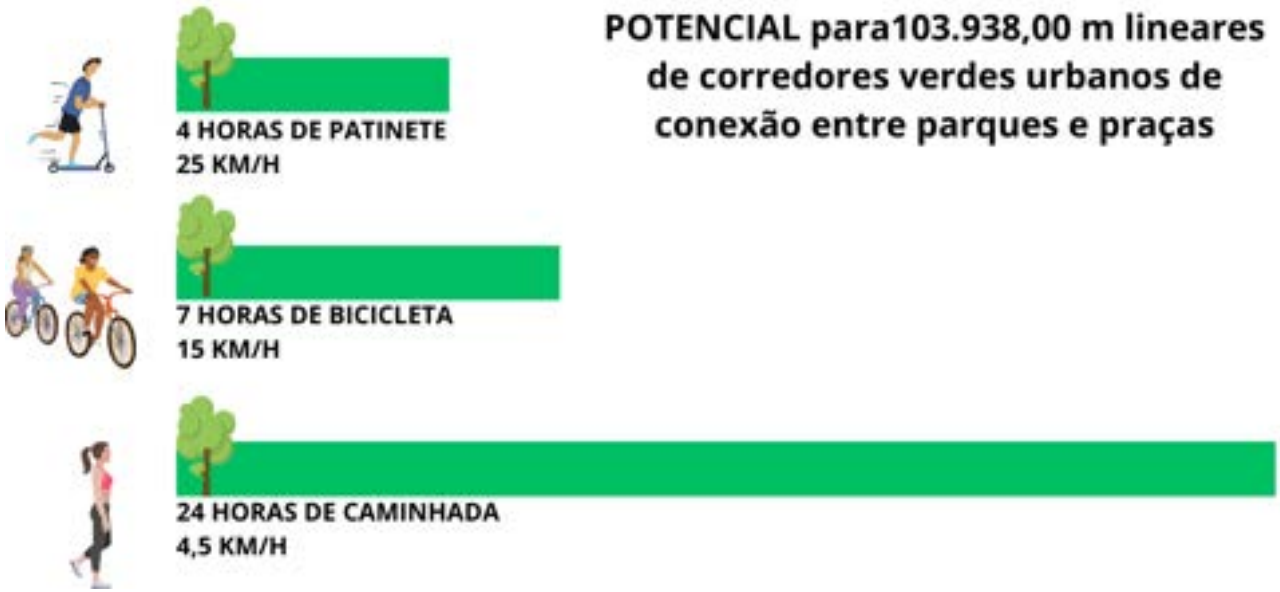
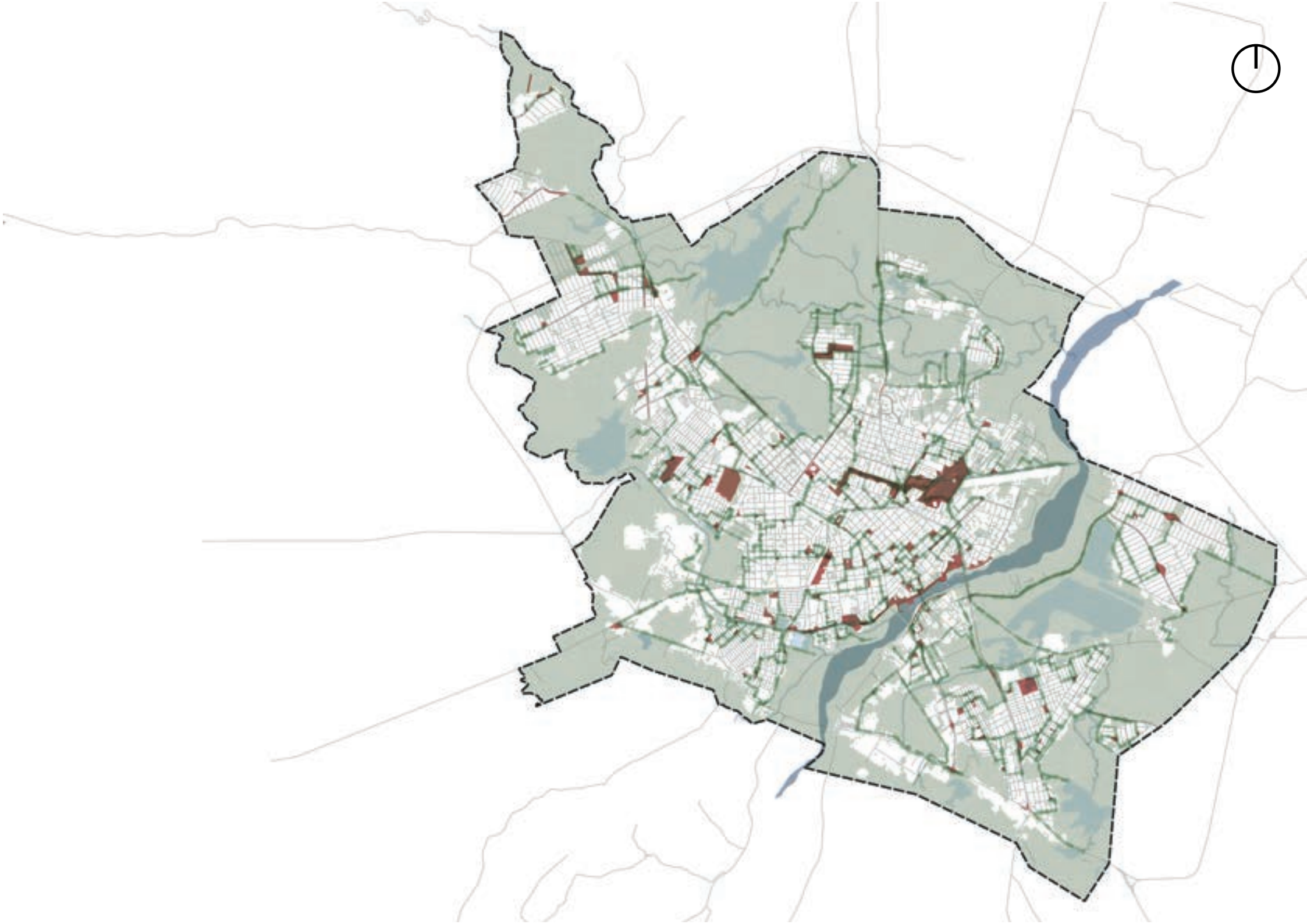


Figura 86 – Exemplos de tipologias de infraestrutura verde. Fonte: Autores (2024)

Mapa 23 - Potencial para Corredores Verdes Urbanos
Distrito Sede, Sobral - CE

Legenda

Limite Distrito Sede, Sobral - CE
Vias
Parques e Pracas
Áreas com Potencial para implantação
Corredores Verdes
Vegetação Nativa
Área Impermeável



Os corredores verdes desempenham um papel crucial na conectividade ecológica, permitindo a movimentação de espécies e preservando a biodiversidade em áreas fragmentadas, especialmente em ambientes urbanos. Quando aplicados às cidades eles integram parques e praças por meio de vias arborizadas, melhorando a qualidade ambiental e promovendo mobilidade sustentável. Além disso, esses corredores são essenciais para a avifauna e outras espécies adaptadas ao meio urbano, oferecendo abrigo, alimentação e rotas seguras, o que contribui tanto para a saúde ecológica quanto para a qualidade de vida nas cidades.

Serviços Ambientais	Serviço Ecossistêmico
Manutenção da vazão hídrica	Regulação
Mitigação de eventos hídricos extremos	Regulação
Melhoria da qualidade da água	Regulação
Manutenção de habitat	- Suporte
Manutenção da diversidade genética (fluxo gênico)	- Suporte
Recreação/ saúde física e mental	Cultural
Diminuição da vulnerabilidade social	Cultural
Redução do efeito de ilhas de calor	Regulação
Melhoria da qualidade do ar	Regulação

Quadro 34 - Serviços Ambientais e Ecossistêmicos favorecidos por Corredores Verdes

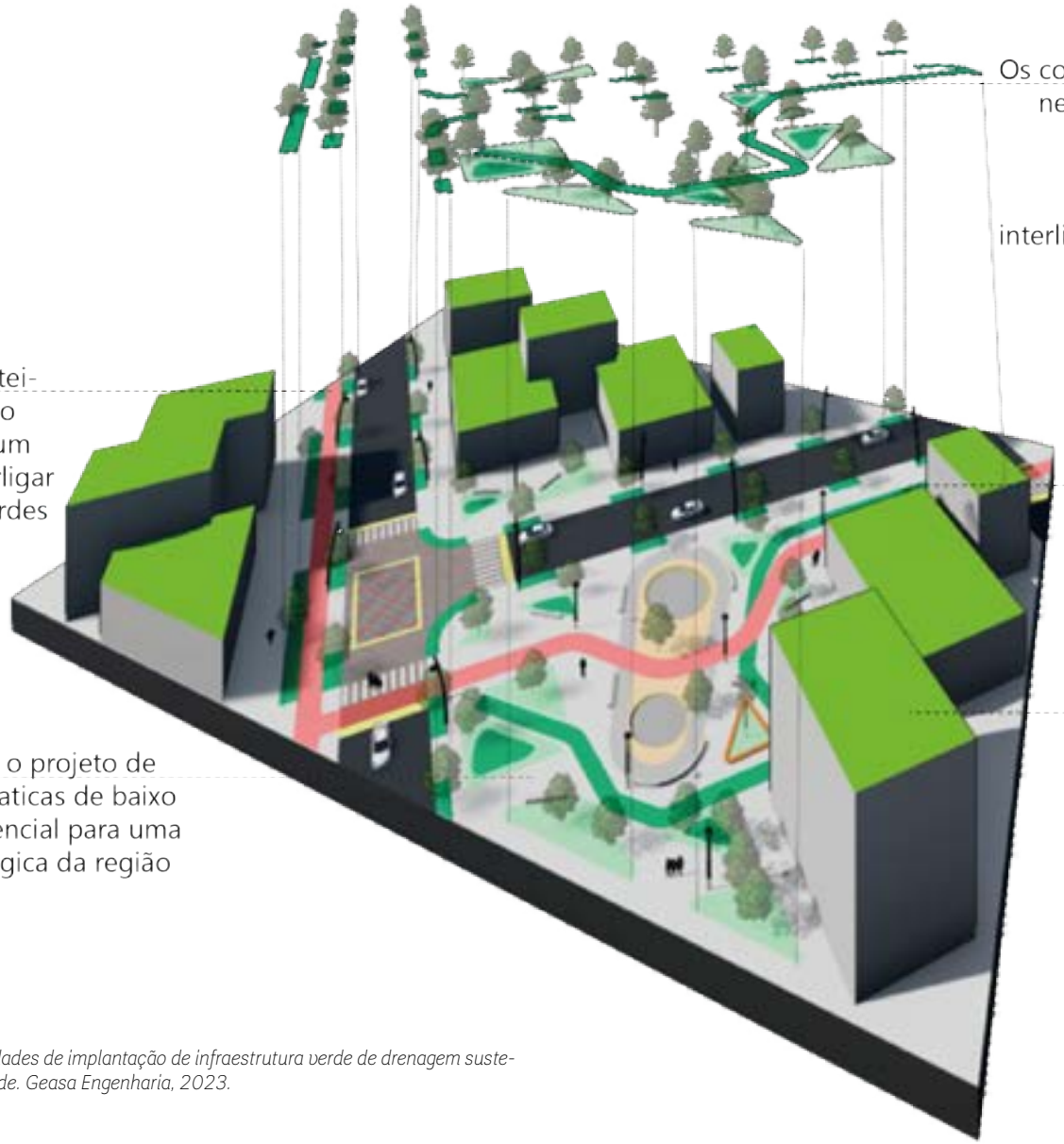


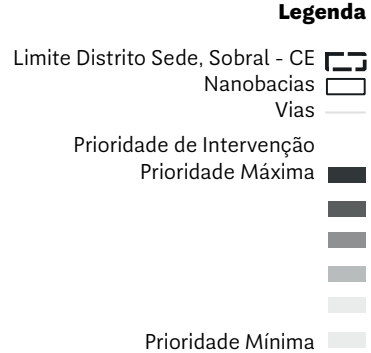
Figura 87 - Diagrama de potencialidades de implantação de infraestrutura verde de drenagem sustentável em tipologia de corredor verde. Geasa Engenharia, 2023.

4.5. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE SBN DE GESTÃO DAS ÁGUAS

A partir dos resultados obtidos no mapeamento dos indicadores de percentual de áreas de nascentes impermeabilizadas, de áreas impermeabilizadas das nanobacias e do percentual de áreas desprotegidas de cursos hídricos, foi aplicada a análise de adequabilidade para gerar um mapa síntese de áreas prioritárias para implantação de Soluções baseadas na Natureza (SbN) nas nanobacias do Distrito Sede.

O mapa a seguir apresenta os resultados alcançados:

Mapa 24 – Prioridade de Implantação de SbN no Distrito Sede, Sobral – CE.
Fonte: Autores.



OCUPAÇAO DAS NASCENTES



OCUPAÇÃO DAS NANOBACIAS



OCUPAÇÃO DO ENTORNO DOS
CORPOS HÍDRICOS





4.6. POTENCIAL E ADEQUABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE SBN

Para avaliar o potencial das nanobacias para a implantação de tipologias de Infraestrutura Verde, uma escala de avaliação foi admitida de acordo com os indicadores selecionados.

Essa escala de avaliação identifica o potencial de cada tipologia para fornecer os serviços ambientais, em que: (-) significa potencial nulo ou não se aplica, (+) significa menor potencial e (++) significa maior potencial. Para esta avaliação, foram consideradas as tipologias prioritárias que pudessem atender as necessidades dos gestores, procurando entender a escala de aplicação para situações reais da cidade, tendo se baseado no Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde (IPT,2020).

A seguir, é apresentada a matriz resultante:

Função ambiental		**Proteção dos recursos hídricos**		**Biodiversidade e fluxo gênico de fauna e flora**		**Bem-estar das populações humanas**	**Equilíbrio ambiental**
Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS							
Serviços ambientais		Manutenção da vazão hídrica	Melhoria da qualidade da água	Manutenção de habitat	Manutenção da diversidade genética (fluxo gênico)	Recreação/ saúde física e mental	Regulação do microclima
Serviço ecossistêmico		Regulação Provisão	Regulação Provisão	Suporte Provisão	Suporte Provisão	Cultural	Regulação
Desafio relacionado		Escassez hídrica	Poluição das águas	Perda de habitats por supressão da vegetação	Perda de habitats por fragmentação	Falta de acesso a áreas de contato com a natureza	Altas temperaturas Ilha de calor urbana
Escala Regional (Distrito)	Áreas Verdes Urbanas (parques e praças)	(++)	(++)	(++)	(++)	(++)	(++)
	Corredores Verdes Urbanos - (corredores ripários, parques lineares e vias, caminhos verdes)	(++)	(++)	(++)	(++)	(++)	(++)

Quadro 35 – Matriz de correlação entre tipologias de Infraestrutura Verde de escala regional, função ambiental, ODS, serviços ambientais e ecossistêmicos
Em que: (-) significa potencial nulo ou não se aplica, (+) significa menor potencial e (++) significa maior potencial. Fonte: Autores, adaptado de IPT (2020).

Função ambiental		Proteção dos recursos hídricos		Biodiversidade e fluxo gênico de fauna e flora		Bem-estar das populações humanas	Equilíbrio ambiental
Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS							
Serviços ambientais		Manutenção da vazão hídrica	Melhoria da qualidade da água	Manutenção de habitat	Manutenção da diversidade genética (fluxo gênico)	Recreação/ saúde física e mental	Regulação do microclima
Serviço ecossistêmico		Regulação Provisão	Regulação Provisão	Suporte Provisão	Suporte Provisão	Cultural	Regulação
Desafio relacionado		Escassez hídrica	Poluição das águas	Perda de habitats por supressão da vegetação	Perda de habitats por fragmentação	Falta de acesso a áreas de contato com a natureza	Altas temperaturas Ilha de calor urbana
Escala local (ruas, bairros e praças)	Canteiro pluvial	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)
	Jardim de chuva	(++)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)
	Biovaleta	(++)	(++)	(-)	(-)	(+)	(+)
	Bacias vegetadas	(++)	(++)	(-)	(-)	(+)	(+)

Quadro 36 - Matriz de correlação entre tipologias de Infraestrutura Verde de escala local, função ambiental, ODS, serviços ambientais e ecossistêmicos. Em que: (-) significa potencial nulo ou não se aplica, (+) significa menor potencial e (++) significa maior potencial. Fonte: Autores, adaptado de IPT (2020)

Para avaliar o potencial das nanobacias em relação à implantação das tipologias de infraestrutura verde, jardim de chuva, canteiro pluvial, biovaleta e alagado construído, foram mapeados alguns parâmetros de morfologia topográfica da área do Distrito Sede:

- **Hipsometria do terreno;**
- **Concavidade do terreno;**
- **Declividade do terreno;**
- **Índice de Segurança Hídrica (ISH).**

Os parâmetros escolhidos constituem informações essenciais para a avaliação da viabilidade de implantação das melhores práticas de manejo das águas, pois determinam quais processos hidrológicos são favorecidos, quer seja o escoamento das águas, a infiltração no solo ou o alagamento.

Esses parâmetros foram cruzados com os indicadores ambientais, e para cada parâmetro e indicador foi dado um peso (%) diferente para análise da adequabilidade de cada uma das quatro tipologias de infraestrutura verde avaliadas – jardim de chuva, canteiro pluvial, biovaleta e alagado construído –, para a implantação nas nanobacias do Distrito Sede, considerando a função e as diretrizes projetuais de cada uma dessas tipologias.

Peso de Cada Camada		Jardim de chuva	Canteiro pluvial	Biovaletas	Alagados Construídos
Camada 01	% de impermeabilização de Nascentes	25%	25%	25%	0%
Camada 02	% de impermeabilização das nanobacias	25%	50%	50%	0%
Camada 03	% de áreas desprotegias de cursos hídricos	25%	25%	10%	50%
Camada 04	Carta de hipsometria	25%	25%	0%	0%
Camada 05	Carta de concavidade	25%	50%	50%	0%
Camada 06	Carta de declividade	50%	50%	50%	0%
Camada 07	Índice de Segurança Hídrica (ISH)	25%	25%	0%	50%
Camada 08	Menor distância entre áreas verde (parques e praças)	25%	50%	50%	0

Quadro 37 – Parâmetros para o desenvolvimento da análise de adequabilidade

4.6. POTENCIAL E ADEQUABILIDADE À IMPLANTAÇÃO DE SBN

O jardim de chuva é um dispositivo de drenagem pluvial, rebaixado em relação ao nível da superfície de captação e caracterizado por um sistema de biorretenção de poluentes composto por solo drenante e vegetação, que tem função de deter temporariamente o escoamento, infiltrar a água da chuva no solo e/ou extravasar a água pluvial para rede de drenagem pluvial e biorreter poluentes no sistema vegetação/solo.

Apresentam numerosas variações de design, sendo o projeto bastante versátil, e se adaptam aos espaços livres do sistema de áreas verdes urbanos (praças, parques e jardins). Em todos os casos, a água pluvial não pode ficar detida por mais de 48 horas após o evento de precipitação.

A figura a seguir apresenta um corte típico de jardim de chuva.

1. TUBOS e CANALETAS: conduzem as águas de chuva para dentro do jardim de chuva e para fora;

2. PEDRAS (DISSIPADOR DE ENERGIA): colocadas na entrada do escoamento no jardim para quebrar a energia da água e distribuí-la de forma suave sobre a superfície;

3. VEGETAÇÃO: melhora a infiltração da água no solo, participa da limpeza dos poluentes trazidos pelos escoamentos, atrai pássaros e polinizadores, melhora a temperatura local e agrega beleza;

4. VERTEDOR: dispositivo de drenagem que tem função de retirar o excesso de água do jardim e conduzir a água para a rede de drenagem urbana;

5. COBERTURA SOLO: camada de matéria orgânica que evita erosão e a compactação do substrato, mantendo a vitalidade da vegetação repondo nutrientes;

6. ZONA DE DETENÇÃO: camada superficial de detenção temporária da chuva antes de sua infiltração nas camadas do jardim;

7. SUBSTRATO: meio filtrante onde está enraizada a vegetação e onde os poluentes são retidos e degradados por processos biológicos;

8. CAMADA DRENANTE: alguns jardins de chuva possuem uma camada de armazenamento de água no fundo, composta por pedras que ampliam a sua capacidade de drenagem.

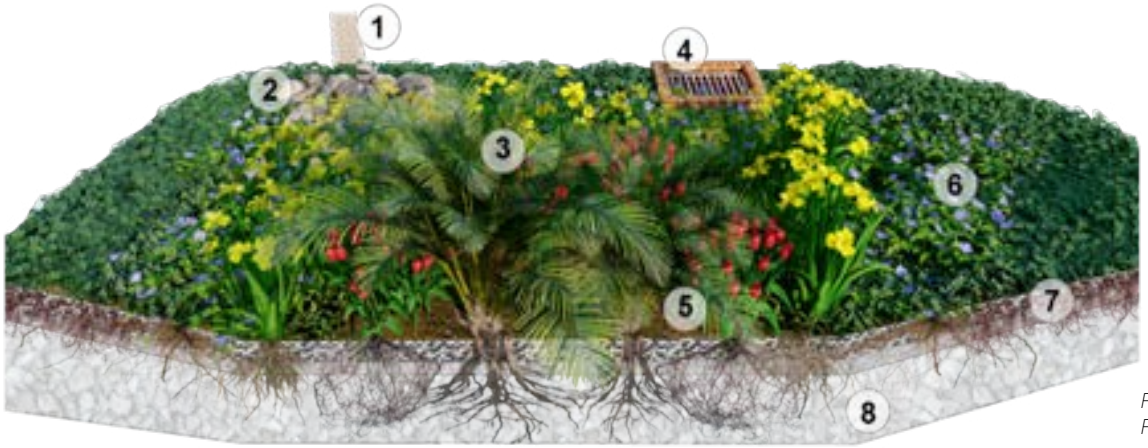


Figura 88 - Corte típico de jardim de chuva.
Fonte: Geasa Engenharia, 2023.

Benefícios	Co-benefícios
• **Detenção temporária do escoamento pluvial** • **Infiltração da água de chuva no solo** • **Mitigação da poluição difusa, biorretenção e tratamento dos poluentes difusos por ação dos microrganismos e da vegetação** • **Criação de áreas permeáveis** • **Baixo custo e execução simples**	• Melhoria da qualidade da água pluvial • Melhoria da qualidade das águas subterrâneas e dos corpos hídricos • Melhoria da qualidade do ar: plantas absorvem gás carbônico, produzem oxigênio e controlam umidade • Infiltração da água pluvial no solo • Conservação da infraestrutura de drenagem pluvial • Redução da temperatura da água do escoamento superficial • Valorização da paisagem • Criação de habitat para a biodiversidade • Benefícios psicológicos do contato com a natureza

Diretrizes de projeto		
Avaliação do local	**Análise das características do solo**	**Vegetação**
• Favorável para inclinações de até 8% • Em solos com condutividade hidráulica igual ou superior a 13mm/h • Distanciamento de 3 metros de fundações é necessário • Distância de 1,2 m do lençol freático da base plana do jardim de chuva • Não é recomendada a implantação em solos frágeis à água com potenciais riscos geológicos, sendo recomendado estudos geotécnicos do local • Não pode ser implantado sobre plumas de contaminação subterrâneas	• Realizar teste de infiltração em campo, a critério do projetista para avaliar a condutividade hidráulica do solo • Opcionalmente realizar sondagens de simples reconhecimento do perfil do solo com SPT (ABNT NBR 6484/2001).	• As espécies de plantas nativas autóctones são as mais recomendadas com base em suas sinergias intrínsecas com o clima local, solo e condições de umidade • Plantas herbáceas rizomatosas e as plantas com raízes profundas e espessas • Plantas com capacidade de suportar o volume d'água esperados • Espécies adaptadas a períodos de extrema umidade e seca • Espécies adaptadas às cargas de poluição difusa • É recomendado o plantio de mais de uma espécie de planta para o equilíbrio ecológico do sistema, levando-se em conta os diferentes estratos na hora do plantio • As gramíneas e herbáceas rasteiras com raízes fasciculadas são as mais indicadas para os taludes • Na área de base plana, indica-se a diversidade de extratos vegetativos, forração, arbustiva e arbóreas

Quadro 38 - Matriz benefícios, cobenefícios e diretrizes para jardins de chuva.

O mapa a seguir, apresenta o resultado da análise de adequabilidade para implantação da tipologia de jardim de chuva no Distrito Sede de Sobral. O gradiente de cor representa a maior ou menor adequabilidade de uma nanobacia para implantação de jardim de chuva. Para essa tipologia, os pesos das camadas de análise considerados são apresentados no quadro a seguir:

Peso de Cada Camada		Jardim de chuva
Camada 01	% de impermeabilização de Nascentes	25%
Camada 02	% de impermeabilização das nanobacias	25%
Camada 03	% de áreas desprotegias de cursos hídricos	25%
Camada 04	Carta de hipsometria	25%
Camada 05	Carta de concavidade	25%
Camada 06	Carta de declividade	50%
Camada 07	Índice de Segurança Hídrica (ISH)	25%
Camada 08	Menor distância entre áreas verde (parques e praças)	25%

Quadro 39 – Análise de adequabilidade de tipologia de jardim de chuva em nanobacias do Distrito Sede, Sobral.

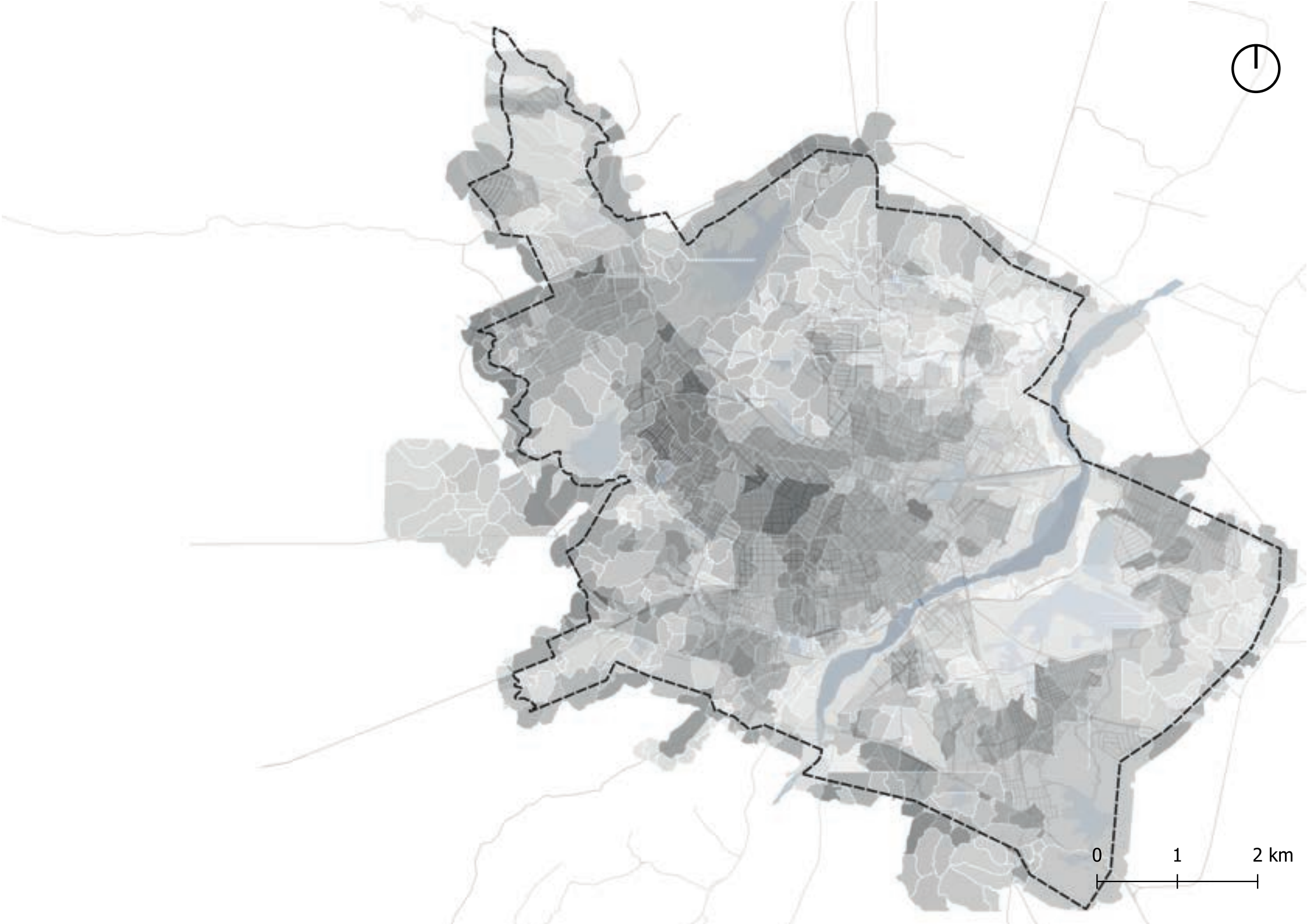
Mapa 25 - Adequabilidade das Nanobacias para Implantação de Jardim de Chuva Distrito Sede, Sobral - CE

Legenda

Limite Distrito Sede, Sobral - CE
Nanobacias
Vias

Grau de adequabilidade
Maior adequabilidade

Menor adequabilidade
Corpos Hídricos


0
1
2 km
















JARDIM DE CHUVA





4.8. ADEQUABILIDADE PARA CANTEIRO PLUVIAL

O canteiro ajardinado de drenagem pluvial é rebaixado em relação ao nível da superfície de captação, sendo caracterizado por um sistema de biorretenção de poluentes composto por pedras, substrato drenante e vegetação, que tem função de deter temporariamente o escoamento, infiltrar a água da chuva no solo e/ou extravasar a água pluvial para rede de drenagem pluvial e biorreter poluentes no sistema vegetação/solo.

Podem ser construídos imediatamente ao lado das fundações quando projetados com estrutura impermeabilizada em locais com requisitos de recuo ou outras restrições.

Apresentam ainda numerosas variações de design, sendo o projeto bastante versátil, e se adaptam aos espaços reduzidos das áreas densamente urbanizadas. Em todos os casos, a água pluvial não pode ficar detida por mais de 48 horas após o evento de precipitação.

Os canteiros pluviais são usualmente implantados lineares às calçadas, facilitando a coleta da água que escoa pela sarjeta por meio de aberturas nas guias. Nesse design, a tipologia pode ser projetada em conjunto da arborização viária.

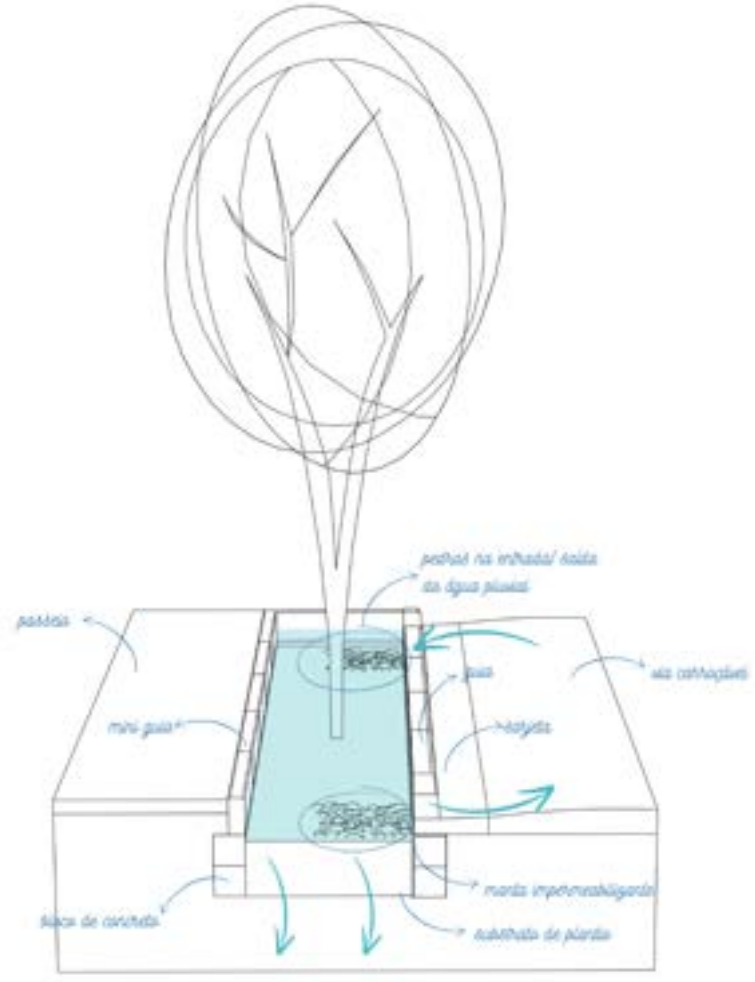


Figura 89 - Ilustração de canteiro pluvial. Fonte: Geasa, 2024

Benefícios	Co-benefícios
• **Detenção temporária do escoamento pluvial** • **Infiltração da água de chuva no solo;** • **Mitigação da poluição difusa, biorretenção e tratamento dos poluentes difusos por ação dos microrganismos e da vegetação;** • **Criação de áreas permeáveis** • **Baixo custo e execução simples**	• Melhoria da qualidade da água pluvial • Melhoria da qualidade das águas subterrâneas e dos corpos hídricos; • Melhoria da qualidade do ar: plantas absorvem gás carbônico, produzem oxigênio e controlam umidade • Infiltração da água pluvial no solo • Conservação da infraestrutura de drenagem pluvial • Redução da temperatura da água do escoamento superficial • Valorização da paisagem • Criação de habitat para a biodiversidade • Benefícios psicológicos do contato com a natureza

Diretrizes de projeto		
Avaliação do local	Análise das características do solo	Vegetação
• **Favorável para inclinações de até 8%** • **Em solos com condutividade hidráulica igual ou superior a 13mm/h indica-se a abordagem com infiltração** • **Em solos com condutividade hidráulica inferior a 13mm/h, deve ser prevista drenagem interligada à rede de águas pluviais local** • **Quando prevista a infiltração total ou parcial no solo um distanciamento de 3 metros das fundações é necessário** • **Distância de 1,2 m do lençol freático da base plana do canteiro pluvial** • **Não é recomendada a implantação em solos frágeis à água com potenciais riscos geológicos, sendo recomendado estudos geotécnicos do local** • **Não pode ser implantado sobre plumas de contaminação subterrâneas**	• Realizar teste de infiltração em campo, a critério do projetista para avaliar a condutividade hidráulica do solo • Opcionalmente realizar sondagens de simples reconhecimento do perfil do solo com SPT (ABNT NBR 6484/2001).	• As espécies de plantas nativas autóctones são as mais recomendadas com base em suas sinergias intrínsecas com o clima local, solo e condições de umidade • Espécimes herbáceas rizomatosas, arbustivas e arbóreas • Plantas com capacidade de suportar a vazão e o volume d'água esperados • Espécies adaptadas a períodos de extrema umidade e seca • Espécies adaptadas às cargas de poluição difusa; • É recomendado o plantio de mais de uma espécie de planta, para o equilíbrio ecológico do sistema, levando-se em conta os diferentes estratos na hora do plantio • O extrato vegetativo varia de acordo com o tamanho e o local de implantação do canteiro pluvial projetado, podendo ser desde plantas rasteiras até arbóreas • fasciculadas são as mais indicadas para os taludes • Na área de base plana indica-se a diversidade de extratos vegetativos, forração, arbustiva e arbóreas

Quadro 40 - Matriz benefícios, cobenefícios e diretrizes para canteiros p

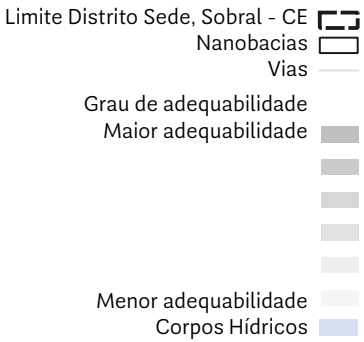
O mapa a seguir apresenta o resultado da análise de adequabilidade para implantação da tipologia de canteiro pluvial no Distrito Sede de Sobral. O gradiente de cor representa a maior ou menor adequabilidade de uma nanobacia para implantação de canteiro pluvial.

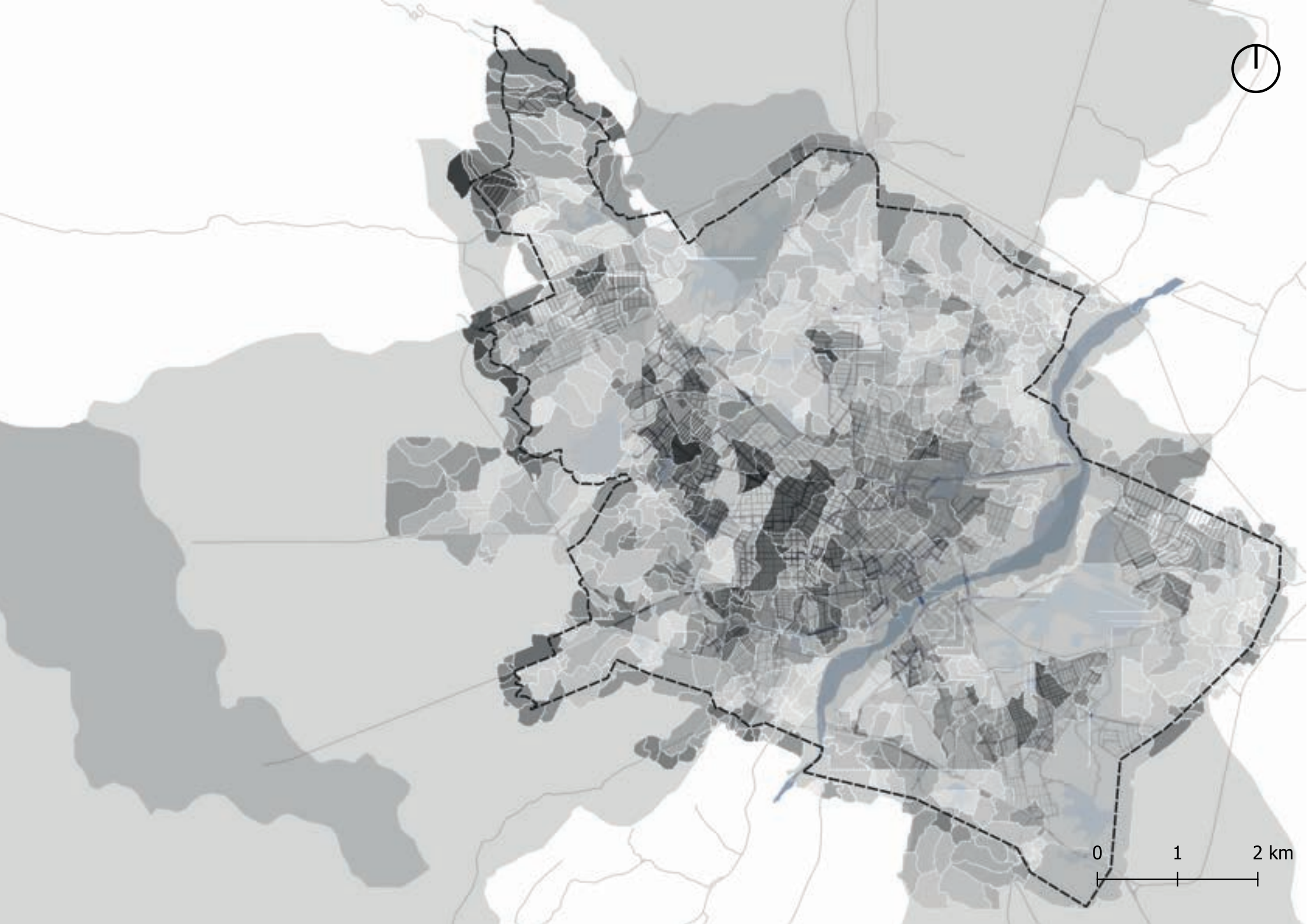
Para essa tipologia, os pesos das camadas de análise considerados são apresentados no quadro a seguir:

Peso de Cada Camada		Canteiro pluvial
Camada 01	% de impermeabilização de nascentes	25%
Camada 02	% de impermeabilização das nanobacias	50%
Camada 03	% de áreas desprotegias de cursos hídricos	25%
Camada 04	Carta de hipsometria	25%
Camada 05	Carta de concavidade	50%
Camada 06	Carta de declividade	50%
Camada 07	Índice de Segurança Hídrica (ISH)	25%
Camada 08	Menor distância entre áreas verde (parques e praças)	50%

Quadro 41 - Análise de adequabilidade de tipologia de canteiro pluvial em nanobacias do Distrito Sede, Sobral

Mapa 26 - Adequabilidade das Nanobacias para Implantacao de Canteiro Pluvial Distrito Sede, Sobral - CE




0
1
2 km

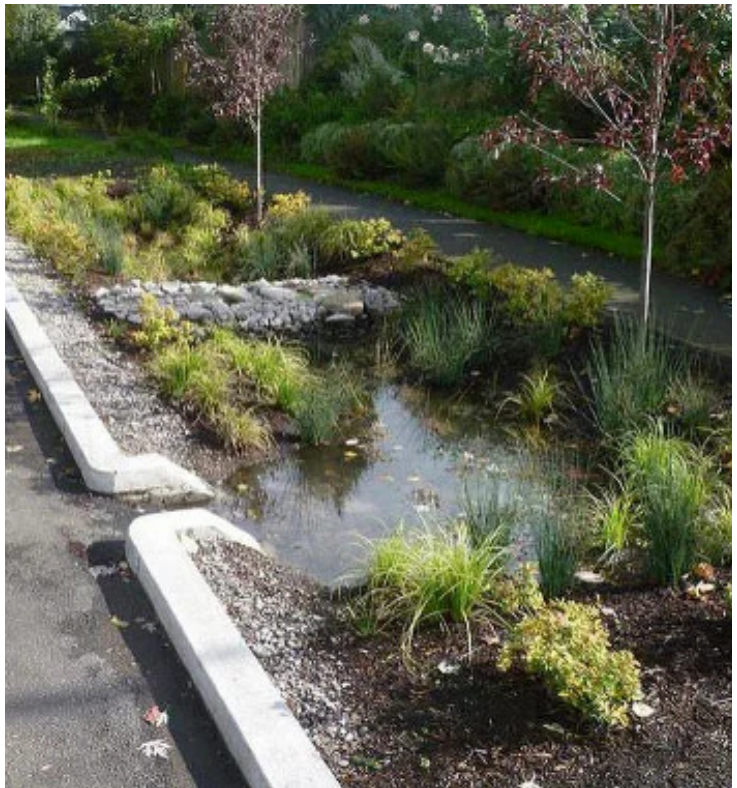



RICHARDS










4.9. ADEQUABILIDADE PARA BIOVALETA

É um canal de drenagem pluvial naturalizado, rebaixado em relação ao nível da superfície de captação e caracterizado por um sistema de biorretenção de poluentes composto por pedras, solo drenante e vegetação, que tem função de transportar o escoamento para dispositivos de descarga ou outras tipologias de manejo de água pluvial, estender o tempo do escoamento superficial, reduzir a vazão e o volume de água pluvial a jusante e biorreter poluentes no sistema vegetação/solo.

Na infraestrutura verde, as biovaletas são usadas para conduzir o escoamento superficial a outras tipologias, como jardins de chuva e bacias vegetadas, ou diretamente para o corpo hídrico.

Dependendo do caso, as biovaletas não excluem as vias convencionais de drenagem na infraestrutura cinza, que passa a atuar como backup da rede de infraestrutura verde, recebendo o excedente do escoamento nos eventos de chuvas mais intensas e/ou prolongadas.

Possui design formal ou informal que permite adequação aos requisitos do local de implantação. Em todos os casos, a água pluvial não pode ficar detida por mais de 48 horas após o evento de precipitação.

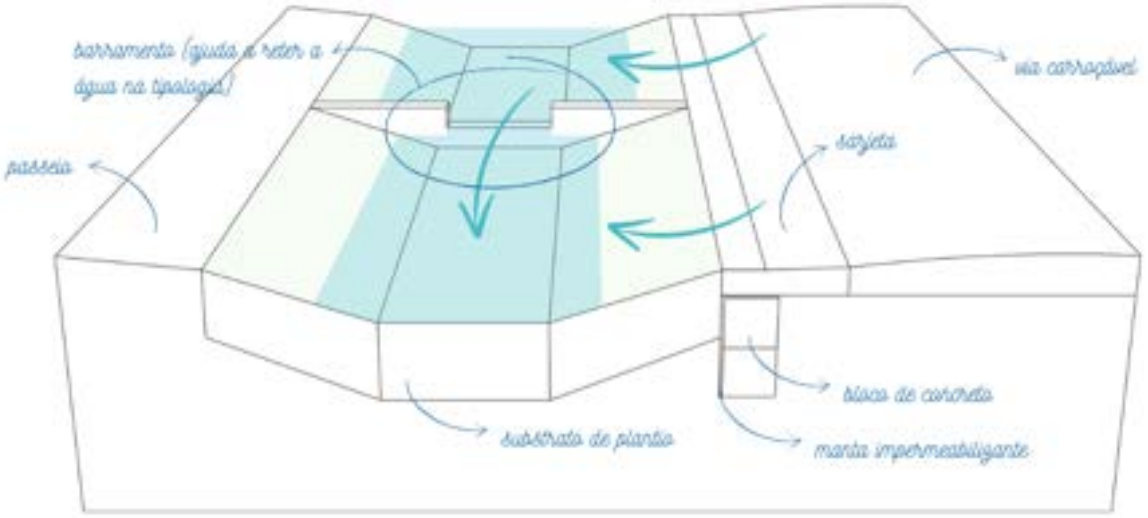


Figura 90 - Ilustração de biovaleta. Fonte: Geasa, 2024 .

Benefícios	Co-benefícios
• **Extensão do tempo do escoamento superficial pela redução da velocidade** • **Redução da vazão** • **Mitigação da poluição difusa por biorretenção e tratamento de poluentes por ação dos microrganismos e plantas** • **Condução do escoamento para dispositivos de descarga, verdes e/ou cinzas** • **Criação de áreas permeáveis** • **Redução da erosão**	• Melhoria da qualidade da água pluvial • Melhoria da qualidade das águas dos corpos hídricos • Melhoria da qualidade do ar: plantas absorvem gás carbônico, produzem oxigênio e controlam umidade • Infiltração da água pluvial no solo • Conservação da infraestrutura de drenagem pluvial • Redução da temperatura da água do escoamento superficial • Valorização da paisagem • Criação de habitat para a biodiversidade • Benefícios psicológicos do contato com a natureza

Diretrizes de projeto		
Avaliação do local	Análise das características do solo	Vegetação
• **Favorável para inclinações acima 0,2%;** • **Não é recomendada a implantação em solos frágeis à água com potenciais riscos geológicos, sendo recomendado estudos geotécnicos do local;** • **Em solos com condutividade hidráulica igual ou superior a 13mm/h indica-se a abordagem com infiltração;** • **Em solos com condutividade hidráulica inferior a 13mm/, deve ser prevista drenagem interligada à rede de águas pluviais local;** • **Quando prevista a infiltração total ou parcial no solo deve ter um distanciamento de 3 m das fundações;** • **Distância de 1,2 m do lençol freático da base plana da biovaleta;** • **Não pode ser implantada sobre plumas de contaminação subterrâneas.**	• Realizar teste de infiltração em campo, a critério do projetista para avaliar a condutividade hidráulica do solo; • Opcionalmente realizar sondagens de simples reconhecimento do perfil do solo com SPT (ABNT NBR 6484/2001).	• As espécies de plantas nativas autóctones são as mais recomendadas com base em suas sinergias intrínsecas com o clima local, solo e condições de umidade; • Plantas herbáceas rizomatosas e as plantas com raízes profundas e espessas • Plantas com capacidade de suportar a vazão e o volume d'água esperados; • Espécies adaptadas a períodos de extrema umidade e seca; • Espécies adaptadas às cargas de poluição difusa; • É recomendado o plantio de mais de uma espécie de planta, para o equilíbrio ecológico do sistema, levando-se em conta os diferentes estratos na hora do plantio; • As gramíneas e herbáceas rasteiras com raízes fasciculadas são as mais indicadas para os taludes; • Na área de base plana indica-se a diversidade de extratos vegetativos, forração, arbustiva e arbóreas.

Quadro 42 - Matriz benefícios, cobenefícios e diretrizes para biovaleta.

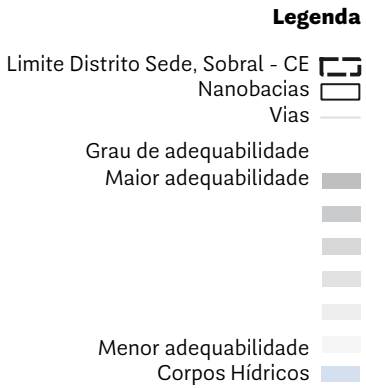
O mapa a seguir apresenta o resultado da análise de adequabilidade para implantação da tipologia de biovaleta no Distrito Sede de Sobral. O gradiente de cor representa a maior ou menor adequabilidade de uma nanobacia para implantação de biovaleta.

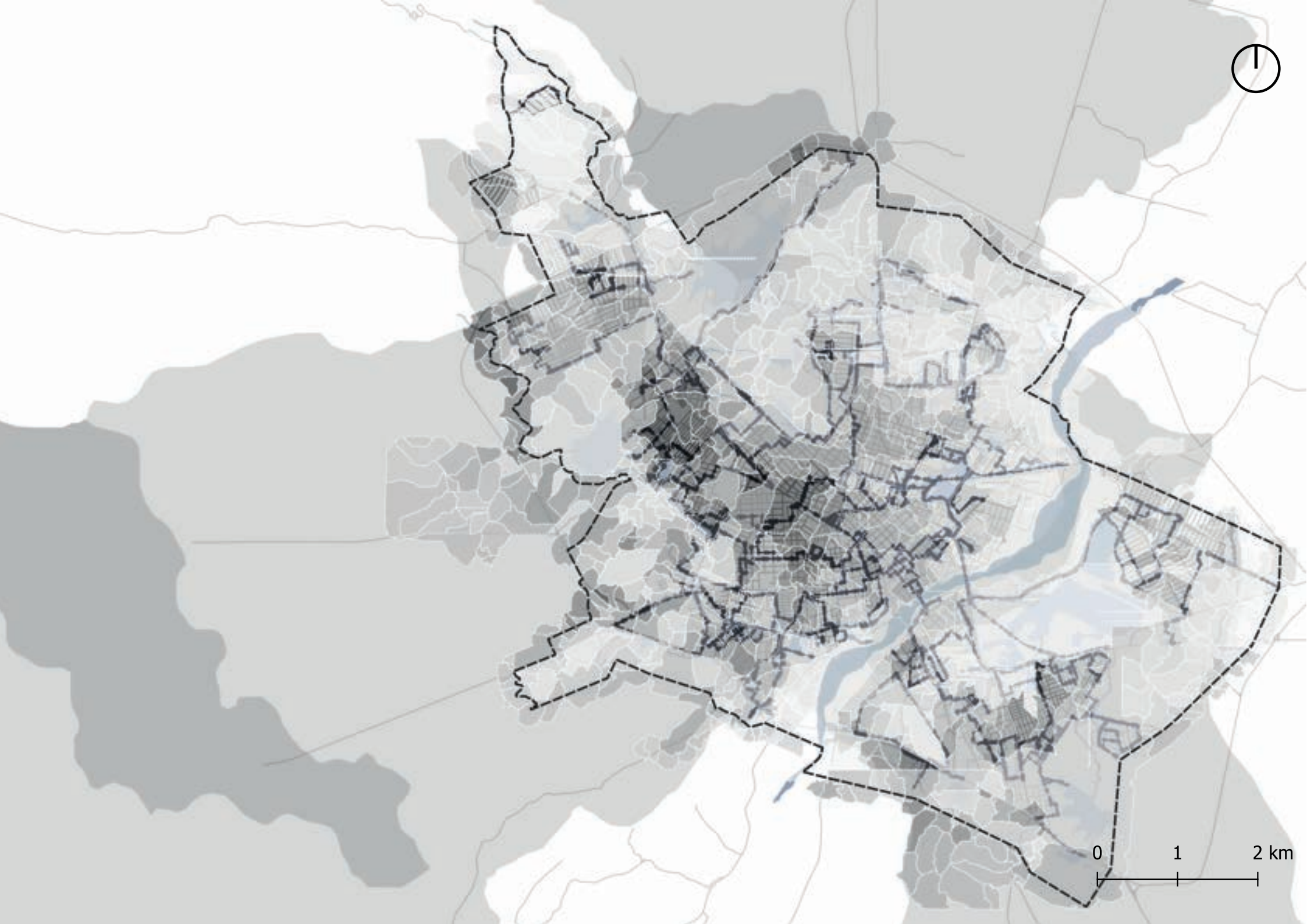
Para essa tipologia, os pesos das camadas de análise considerados são apresentados no quadro a seguir:

Peso de Cada Camada		Biovaleta
Camada 01	% de impermeabilização de nascentes	25%
Camada 02	% de impermeabilização das nanobacias	50%
Camada 03	% de áreas desprotegias de cursos hídricos	10%
Camada 04	Carta de hipsometria	0%
Camada 05	Carta de concavidade	50%
Camada 06	Carta de declividade	50%
Camada 07	Índice de Segurança Hídrica (ISH)	0%
Camada 08	Menor distância entre áreas verde (parques e praças)	50%

Quadro 43 - Análise de adequabilidade de tipologia de biovaleta em nanobacias do Distrito Sede, Sobral.

Mapa 27 - Adequabilidade das Nanobacias para Implantação de Biovaleta Distrito Sede, Sobral - CE




0
1
2 km

















4.10. ADEQUABILIDADE PARA ALAGADO CONSTRUÍDO

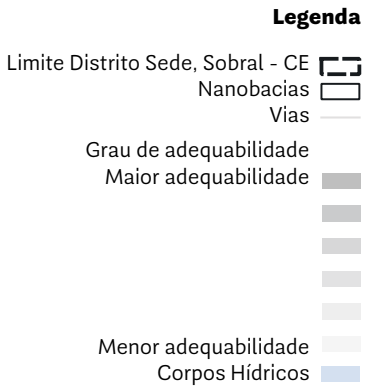
O mapa a seguir apresenta o resultado da análise de adequabilidade para implantação da tipologia de alagado construído no Distrito Sede de Sobral. O gradiente de cor representa a maior ou menor adequabilidade de uma nanobacia para implantação de alagado construído.

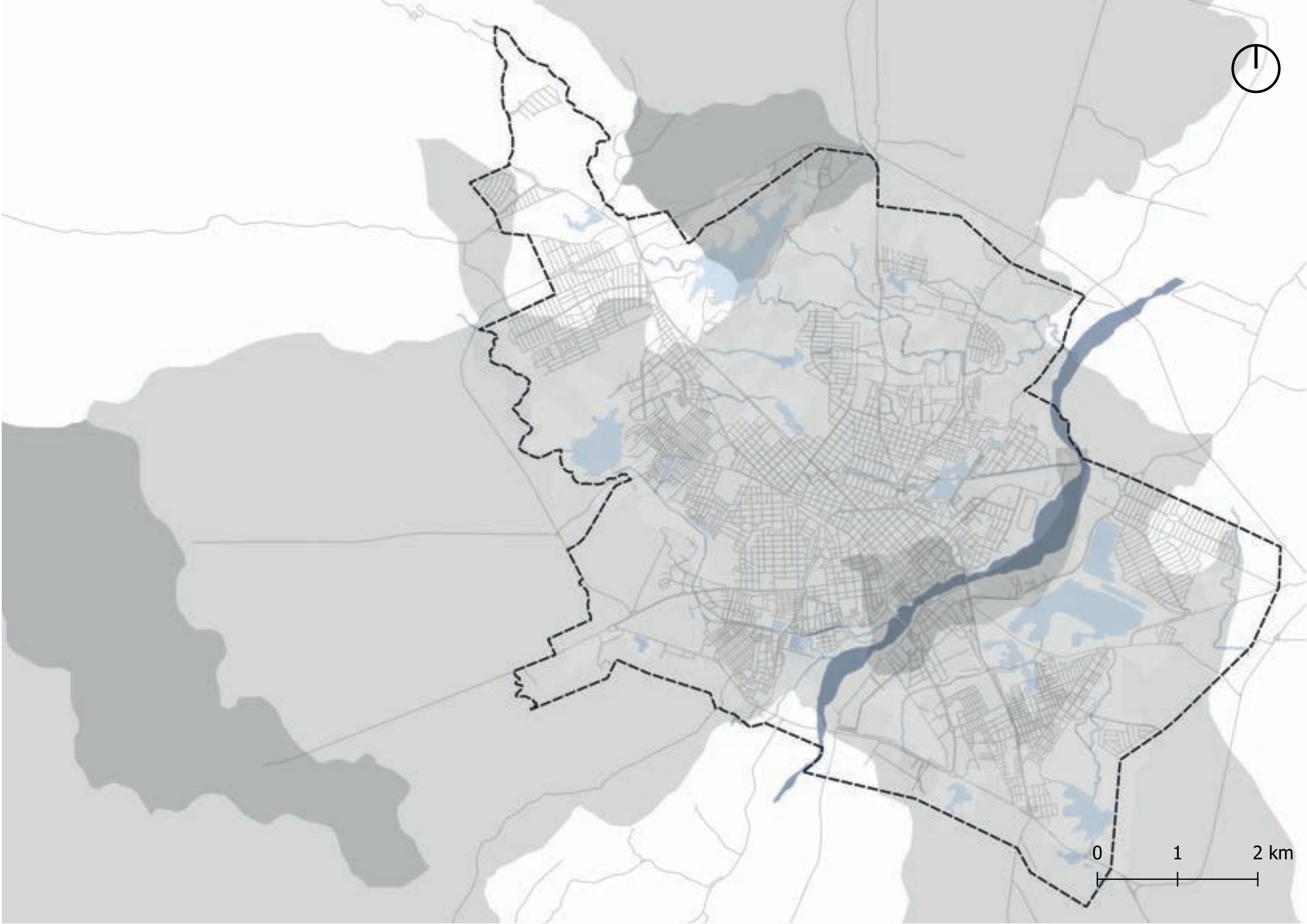
Para essa tipologia, os pesos das camadas de análise considerados são apresentados no quadro a seguir:

Peso de Cada Camada		Alagados Construídos
Camada 01	% de impermeabilização de nascentes	0%
Camada 02	% de impermeabilização das nanobacias	0%
Camada 03	% de áreas desprotegias de cursos hídricos	50%
Camada 04	Carta de hipsometria	0%
Camada 05	Carta de concavidade	0%
Camada 06	Carta de declividade	0%
Camada 07	Índice de Segurança Hídrica (ISH)	50%
Camada 08	Menor distância entre áreas verde (parques e praças)	0

Quadro 44 - Análise de adequabilidade de tipologia de alagado construído em nanobacias do Distrito Sede, Sobral.

Mapa 28 - Adequabilidade das Nanobacias para Implantação de Alagado Construído Distrito Sede, Sobral - CE




0
1
2 km








FILTRO HORIZONTAL-AREIA







CONCLUSÃO

Localizada às margens do rio Acaraú, a cidade de Sobral tem suas águas como um eixo estruturante das atividades socioculturais locais e, por isso, vem dedicando esforços em políticas de desenvolvimento sustentável para a gestão dos recursos hídricos. Esse é o caso dos sistemas de jardins filtrantes implantados no Parque da Cidade e Parque Pajeú.

O estudo para avaliação de impacto do projeto de jardins filtrantes do riacho Pajeú foi realizado pelo consórcio Geasa/Certare, no âmbito do Programa de Desenvolvimento Socioambiental de Sobral – PRODESOL, por meio do edital do Banco de Desenvolvimento da América Latina – CAF. O objetivo principal foi elaborar insumos metodológicos e de conhecimento sobre os jardins filtrantes em relação à qualidade das águas, na biodiversidade, na comunidade de pessoas e na economia local, e estudar o potencial de replicabilidade dos jardins filtrantes e outras soluções baseadas na natureza em escala abrangente.

No estudo foram identificados os benefícios socioambientais e econômicos da implantação desse equipamento na cidade e os seus desafios de gestão e operação.

Em termos de qualidade da água, o sistema de alagados construídos no Parque da Cidade e Parque Pajeú, embora reduza parte das concentrações de alguns parâmetros como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), apresenta ainda um impacto limitado na melhoria da qualidade da água poluída por esgoto doméstico. A partir dessa análise, foram indicadas metodologias e ações de curto prazo, objetivando melhorias imediatas no operacional, como o monitoramento das atividades de operação e manutenção, uma atividade de baixo custo que fornecerá dados importantes para a adaptação do sistema hidráulico. E a médio e longo prazo, as ações incluem revalidação do sistema hidráulico, aspectos construtivos e adaptações de processo. Essas ações de melhorias propostas têm como propósito melhorar a eficiência dos jardins filtrantes no tratamento das águas e potencializar os seus benefícios sociais, ambientais e econômicos.

No que toca à biodiversidade, o estudo conclui que a implantação dos jardins filtrantes do riacho Pajeú colaborou para o aumento da diversidade de espécies da fauna, especialmente da avifauna, gerando impacto positivo na biodiversidade.

A avaliação da percepção dos usuários do Parque da Cidade e Parque Pajeú, dos agentes da prefeitura envolvidos na execução do projeto e de referentes acadêmicos sobre os impactos socioambientais e econômicos gerados pelos jardins filtrantes proporcionou uma visão abrangente, mostrando a complexidade da análise e relevância da integração de SbN no desenvolvimento sustentável. Revelou ainda impactos significativos nas dimensões social, ambiental, econômica, de funcionalidade e segurança, com resultados positivos para identificar as áreas de melhoria. Nessas dimensões, o projeto demonstrou ser uma intervenção relevante no contexto urbano, contribuindo para o bem-estar da comunidade e para um processo de sustentabilidade ambiental. O Índice de Impacto Socioambiental e Econômico (ISAE) consolidou essas percepções ao quantificar os efeitos dos jardins filtrantes nas dimensões social, ambiental, econômica, de funcionalidade e segurança, sendo o impacto social o mais valorizado, representando a maior parte do índice, devido à relevância das melhorias nas áreas de lazer e ao fortalecimento da coesão comunitária. Entre as principais aprendizagens, destaca-se a necessidade de fortalecer a participação comunitária na gestão dos parques para garantir a sustentabilidade a longo prazo.

A utilização de indicadores de segurança hídrica e de qualidade ambiental, por meio da aplicação das metodologias de Análise de Adequabilidade, da Universidade Federal do Ceará, e do Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, revelou a aptidão do território às tipologias de infraestrutura verde: corredor verde, jardim de chuva, biovaleta e alagados construídos. Através da utilização dessas metodologias, foi possível identificar as áreas de contribuição de nascentes, as áreas de nanobacias e de preservação de cursos hídricos de alta, média e baixa prioridade para implantação de infraestrutura verde, considerando os indicadores: i. % de áreas de contribuição de nascentes impermeabilizadas; ii. % de áreas impermeabilizadas em nanobacias; iii. % de áreas desprotegidas de cursos hídricos. Essa análise mostrou que 29% das áreas de contribuição de nascentes e 35% da área total de nanobacias possuem alta prioridade para projetos de SbN, enquanto apenas 5% das APP de curso hídrico têm alta prioridade.

A pesquisa também concluiu que o Distrito Sede tem potencial para criação de uma rede de corredores verdes de 103.938 metros lineares, garantindo a rota mais curta de conexão entre praças e parques existentes. Os corredores verdes beneficiam a biodiversidade, favorecendo o fluxo gênico e as pessoas pela regulação do microclima, o que, consequentemente, incentiva a mobilidade ativa e o bem-estar das pessoas. Corredores verdes-azuis são elementos estruturantes de infraestrutura natural das cidades que podem funcionar para a arborização e drenagem superficial com biovaletas, jardins de chuva e canteiros pluviais. Já os alagados construídos são incentivados nas áreas próximas aos cursos hídricos, onde são observadas áreas mais planas e áreas com baixo Índice de Segurança Hídrica (ISH).

Desse modo, conclui-se que o Distrito Sede tem vários aspectos que favorecem o planejamento de uma infraestrutura verde-azul, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, sendo eles: ***ODS 6 – Água Potável e Saneamento; ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis; ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis; ODS 13 – Ação conta a Mudança Global do Clima; e ODS 15 – Vida Terrestre.***

Os resultados obtidos nesta pesquisa valorizam as SbN e mostram ser positiva a replicabilidade do projeto em outros contextos e escalas, do Distrito Sede para o Brasil, colaborando com o planejamento de novas ações em SbN na cidade de Sobral e outros municípios brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Plano Nacional de Segurança Hídrica / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, 2019. 112 p.: il. ISBN: 978-85-8210-059-2.

2. Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira / Vanderlise Giongo, Francislene Angelotti, editoras técnicas. – Brasília, DF :Embrapa, 2022. PDF (256 p.).: il. color. ISBN 978-65-89957-12-6

3. AMADEU, I. E. C.; MELO, E. D. O paisagismo em Wetlands Construídos. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.9, p.349-362, 2021. DOI: http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0027

4. AMARANTE, C.B. et al. Caracterização física, química e nutricional dos frutos da Aninga. Artigos Planta daninha 29 (2). Jun 2011 https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000200007

5. BRANDÃO, Ricardo de Lima. Geodiversidade do estado do Ceará. Fortaleza: Edições da CPRM, 2014. 214p.

6. BONZI, Ramón Stock. Andar sobre Água Preta: a aplicação da Infraestrutura verde em áreas densamente urbanizadas. São Paulo: SiBi-USP, 2015. 159 p. https://doi.org/10.11606/D.16.2015.tde-29102015-111924

7. BRYANT, M.M., TURNER, J.S. From thermodynamics to creativity: McHarg's ecological planning theory and its implications for resilience planning and adaptive design. Socio Ecol Pract Res 1, 325–337 (2019). https://doi.org/10.1007/s42532-019-00027-1BRASIL.

8. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – Cetesb. IQA – Índice de Qualidade da Água, disponível em https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/02.pdf

9. Lei nº 11.891 de 24 de dezembro de 2008 do Instituo Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBIO. Área de Proteção Ambiental da Serra da Meruoca. Bioma Caatinha. Brasília, 2008.

10. Catálogo de Soluções baseadas na Natureza para Espaços Livres. [livro eletrônico] / [organizadora Adriana Afonso Sandre]. São Paulo: GIZ - Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit, 2023.

11. CONRAD, O., BECHTEL, B., BOCK, M., DIETRICH, H., FISCHER, E., GERLITZ, L., WEHBERG, J., WICHMANN, V., AND BÖHNER, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.

12. COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - COGERH. Relatório de Gestão de Recursos Hídricos, 2022. Disponível em: < https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2022/11/V3-RELATORIO--GESTAO-2022_COMPLETO.pdf>

13. CORMIER, Nathaniel S. & PELLEGRINO, Paulo R. M. "Infraestrutura verde: uma Estratégia Paisagística para Água Urbana". In: Paisagem e Ambiente: ensaios, n. 25, 2008, p. 127 - 142.

14. COSTA, Ana Lívia Ferreira da et al. SISTEMA DE INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL (IVA) EM SOBRAL-CE. In: Anais do Geodesign South America: talks about transformations - urban waters. Anais...Fortaleza (CE) Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Design da Univer-

sidade Federal do Ceará, 2024. Disponível em: https//www.even3.com.br/anais/geodesign-south-america/752869-SISTEMA-DE-INFRAESTRUTURA-VERDE-E-AZUL-(IVA) -EM-SOBRAL-CE. Acesso em: 27/09/2024.

15. FACCENDA, H. B. Perdas de água por evapotranspiração em wetland construído de fluxo vertical transplantado com Canna spp. Anais do 3º Simpósio Brasileiro Sobre Wetlands Construídos. Grupo Wetlands Brasil. ISSN: 2446-631X.

16. Guia metodológico para implantação de infraestrutura verde [livro eletrônico] / [organizadora Maria Lucia Solera]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: Fundação de apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – FIPT, 2020 (IPT Publicação; 3035).

17. GOMES et al. ANÁLISE TÊMPORO-ESPACIAL DAS OCORRÊNCIAS DE FOCOS DE CALOR NO ESTADO DO CEARÁ: CONFIGURAÇÃO DOS CENÁRIOS NO CONTEXTO DAS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS E DAS MACRORREGIÕES DE PLANEJAMENTO. IPECE. Fortaleza, 2010.

18. Instituto Brasileiro de Florestas (2020). Bioma Caatinga. © 2020 Instituto Brasileiro de Florestas.

19. IUCN - International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2020). Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of Nature-based Solutions. First edition. Gland, Switzerland: IUCN.

20. KVAM, Reidar. Avaliação de impacto social: como integrar questões sociais a projetos de desenvolvimento. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2018.

21. LIMA, M. X. de. (2017) Tijolo vermelho como substrato de wetlands construídos para remoção de matéria carbonácea, nitrogenada e fosforada de esgotos sanitários. Anais do 3º Simpósio Brasileiro Sobre Wetlands Construídos. Grupo Wetlands Brasil. ISSN: 2446-631X.

22. MCHARG, I. L. Design With Nature. New York: Doubleday / National History Press, 1971.

23. MARQUES, T. H. N, et al (2024) Soluções baseadas na Natureza. Conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto Latino-Americano, casos do Brasil e Peru. Revista LABVERDE. FAUUSP. São Paulo, v. 11, n. 01, e193142, 2021. https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.193142.

24. MOURA, Newton Celio Becker de. Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas da chuva. São Paulo: SiBi-USP, 2013.

25. MUNIZ, Francisco Gerson Lima; CARACRISTRI, Isorlanda. Urbanização, conforto térmico e análise sazonal microclimática da cidade de Sobral (CE). Revista Casa da Geografia de Sobral, Sobral, v. 17, n. 1, p. 4-17, mar. 2015. Disponível em: https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/196. Acesso em: 22 out. 2024.

26. NETO, A. Sobral – Cidade das Aves: Um Registro Fotográfico da Fauna Ornitológica. Sobral, 2022.

27. PATRÍCIO, M. B. (2017). Utilização do sistema de wetlands construídos no tratamento de esgoto de propriedade rural. Anais do 3º Simpósio Brasileiro Sobre Wetlands Construídos. Grupo Wetlands Brasil. ISSN: 2446-631X.

28. PINHEIRO, Maitê Bueno. Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo: identificação de critérios para seleção de espécies. 2017. Dissertação (Mestrado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.16.2017.tde-27062017-141958.

29. POÇAS, C. D. Panorama das macrófitas e substratos aplicados nos jardins filtrantes no Brasil. Anais do 3º Simpósio Brasileiro Sobre Wetlands Construídos. Grupo Wetlands Brasil. ISSN: 2446-631X.

30. PRAPA, S.; SUNTUD S. Feasibility of using constructed wetland treatment for molasses wastewater treatment. Bioresource Technology. Volume 99, Issue 13, September 2008, Pages 5610-5616https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.033.

31. PREFEITURA DE SOBRAL - Início. Disponível em: <https://sobral.ce.gov.br/>.

32. RESOLUÇÃO No- 54, de 28 de novembro de 2005 do CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.

33. RESOLUÇÃO COEMA 2/2017: Coema - Superintendência Estadual do Meio Ambiente Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002.

34. RESOLUÇÃO CONAMA No. 357 RESOLUÇÃO CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

35. RESOLUÇÃO CONAMA No. 430 de 13 maio de 2011. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

36. SEZERINO, P. et al. (2015). Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. Eng Sanit Ambient, v.20 n.1, jan/mar 2015, pag. 151-158.

37. SOARES, D. B. Indicadores abióticos de desertificação na bacia hidrográfica do Pajeú, Pernambuco, Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, 2016. https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/25990.

38. UNITED NATIONS WATER (UN-WATER). Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018. Soluções baseadas na Natureza de Gestão das Águas. Relatório Executivo. Programa Mundial das Nações Unidas para Avaliação dos Re-

curso Hídricos. Gabinete do Programa de Avaliação Global da Água. Divisão de Ciências Hídricas, UNESCO. Itália, 2018.

39. UNITED NATIONS WATER (UN-WATER). Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020. Água e Mudança Climática. Relatório Executivo. Programa Mundial das Nações Unidas para Avaliação dos Recurso Hídricos. Gabinete do Programa de Avaliação Global

40. WETLANDS BRASIL. VON SPERLING, M.; SEZERINO P.H. (2018). Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548.Wetlands Brasil (2018).

41. YANG, B., & LI, S. (2016). Design with Nature: Ian McHarg's ecological wisdom as actionable and practical knowledge. Landscape and Urban Planning, 155, 21–32. doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.04.010.


GEASA
certare
engenharia e consultoria
BANCO DE DESENVOLVIMENTO
DA AMÉRICA LATINA
E CARIBE
SOBRAL
PREFEITURA
UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ
LED