



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

JOHN WITYSEL SANTOS RODRIGUES

**INDICADORES DE FRAGILIDADE DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA
APLICADOS EM MICROBACIA DO MUNICÍPIO DE ITAITUBA-PA**

ITAITUBA-PA

2024

JOHN WITYSEL SANTOS RODRIGUES

**INDICADORES DE FRAGILIDADE DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA
APLICADOS EM MICROBACIA DO MUNICÍPIO DE ITAITUBA-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Itaituba, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior.

ITAITUBA-PA

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- R696i Rodrigues, John Witysel Santos
Indicadores de fragilidade do sistema de drenagem urbana aplicados em microba-
cia do município de Itaituba-PA / John Witysel Santos Rodrigues – Itaituba, 2024.
71 p. : il.
Inclui bibliografias.
- Orientador: Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do
Pará, Campus Itaituba, Curso de Bacharelado em Engenharia Civil.
1. Mudanças Climáticas. 2. Gestão Urbana. 3. Manejo de Águas Pluviais Urbanas.
4. Diagnóstico das Redes de Águas Urbanas. I. Silva Junior, Marcos Antonio Barbosa
da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 624



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao trigésimo dia do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 16h, realizou-se no auditório do Campus Universitário de Itaituba, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do discente **John Witysel Santos Rodrigues**, intitulado por “**Indicadores de Fragilidade do Sistema de Drenagem Urbana Aplicados em Microbacia do Município de Itaituba-PA**”, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Os trabalhos foram conduzidos pelo professor Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior, orientador do discente e presidente da Banca Examinadora, constituída também pelos membros convidados, a professora Marcela Santos da Silva e a professora Micaella Raíssa Falcão de Moura. Após apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do discente, considerando-o aprovado com nota 10,00. Proclamados os resultados pelo presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu, Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior, na qualidade de professor orientador do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Itaituba - PA, 30 de setembro de 2024.

Documento assinado digitalmente



MARCOS ANTONIO BARBOSA DA SILVA JUNIOR
Data: 30/09/2024 23:29:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente/orientador(a): _____.

Documento assinado digitalmente



MICAELLA RAISSA FALCAO DE MOURA
Data: 30/09/2024 19:54:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____.

Documento assinado digitalmente



MARCELA SANTOS DA SILVA
Data: 30/09/2024 20:02:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____.

AGRADECIMENTOS

A priori, considerei várias vezes sobre a obrigatoriedade dessa seção, uma vez que não conseguia contemplar como essas palavras poderiam, de fato, expressar minha gratidão. Porém, me lembrando que não há como acessarem os meus pensamentos sem expressá-los, verdadeiramente, então, gostaria de demonstrar minha profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço primeiro a Deus, que é quem tudo permite. Não há poder algum no homem, então estou extremamente agraciado pela sensação de ter realizado algo.

Em segundo, não posso deixar de agradecer à minha família, que estiveram comigo durante toda minha jornada, apoiando e fortalecendo. Agradeço a vocês: a minha mãe, Antônia Rosa; a meu pai, Widemarcos; e a meu irmão, Welleson.

Aos meus amigos mais próximos, Victor Hugo, Israel, Luís e Maysa; sou muito grato pelos momentos de apoio e por estarem ao meu lado com palavras de incentivo quando precisei.

Ao meu orientador e professor, Marcos Barbosa, agradeço por toda essa longa jornada que estivemos trabalhando juntos. Por mais de um ano, contei com sua dedicada orientação, muita paciência e apoio ao longo deste projeto. Seu conhecimento, sugestões e críticas foram essenciais para compor e refinar esse estudo.

À UFOPA e ao PIBITI/CNPq, minha sincera gratidão pelos necessários recursos disponibilizados e pelo suporte administrativo durante o processo de pesquisa.

Aos seus servidores e discentes, reconheço seu fundamental papel no processo de aprendizado e suporte em todos os âmbitos da minha formação acadêmica, e construção como pessoa.

Aos colegas, que são muito e temo citar alguns e esquecer outros, também dedico esses agradecimentos pela companhia, apoio e jornada que vencemos juntos.

Por fim, dedico essa seção a todos que, de alguma maneira, foram participativos para a conclusão deste estudo. Gratidão.

RESUMO

Tendo em vista que o Sistema de Drenagem Urbana (SDU) é dimensionado para um dado regime de chuva e que os eventos extremos de precipitação vêm se mostrando cada vez mais intensos e frequentes, mediante às mudanças do clima, vê-se a necessidade de avaliar o desempenho desses sistemas e identificar as suas fragilidades potenciais. Nesse sentido, este estudo traz um diagnóstico da macrodrenagem da microbacia do Igarapé Oriundo, um pequeno afluente do rio Tapajós e que corta o núcleo urbano da cidade de Itaituba-PA, fazendo uso dos Indicadores de Fragilidade do Sistema (IFS) categorizados em 4 naturezas: ambiental, social, técnica e institucional. Para isso, inicialmente foi feita uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a partir do *software* StArt e consulta as bases de dados da *Scopus* e *Web of Science*, para extrair e selecionar os indicadores mais utilizados no meio científico, com vistas à análise e avaliação das fragilidades que impactam no desempenho de sistemas de drenagem urbana. Na sequência, os indicadores foram aplicados, com a atribuição de pesos, em 6 pontos de interesse (PI) ao longo do Igarapé Oriundo, através de vistorias *in loco* que ocorreram em 2 momentos, com um intervalo de 1 ano. Ao todo, foram avaliados 20 indicadores, formulados a partir de 10 artigos resultantes da RSL. Para caracterizar as fragilidades de cada PI, foram calculados os Índices Gerais de Fragilidade (IFG), através da somatória dos pesos atribuídos aos IFS, os quais foram classificados em: muito baixa, baixa, média, forte e muito forte fragilidades. Desse modo, foi possível estabelecer um diagnóstico ponto-a-ponto e identificar a principal vulnerabilidade, sendo observados: média fragilidade nos PI-1 (nascente) e PI-6 (exutório), sobretudo no âmbito ambiental; forte fragilidade nos PI-2 e PI-3 (ambos parcialmente urbanizados), com destaque aos parâmetros técnico e ambiental; e muito forte fragilidade nos PI-4 e PI-5 (ambos em áreas com urbanização consolidada), com ênfase nas naturezas técnica, ambiental e social. Todos os PI demonstraram agravantes na fragilidade institucional. Por fim, foi possível indicar, em uma matriz de soluções proposta, possíveis medidas mitigadoras que poderão ser adotadas na microbacia, visando reduzir as fragilidades encontradas, destacando: promulgação do Plano Diretor de Drenagem Urbana, criação do Parque Urbano do Oriundo, adoção de técnicas compensatórias e realocação da população marginalizada.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Gestão Urbana. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Diagnóstico das Redes de Águas Urbanas.

ABSTRACT

Considering that the Urban Drainage System (UDS) is designed for a given rainfall regime and that extreme precipitation events have become increasingly intense and frequent due to climate change, there is a need to evaluate the performance of these systems and identify their potential weaknesses. In this sense, this study presents a diagnosis of the macro-drainage of the Igarapé Oriundo microbasin, a small tributary of the Tapajós River that runs through the urban center of the city of Itaituba-PA, using System Fragility Indicators (SFI) categorized into 4 types: environmental, social, technical and institutional. To this end, a Systematic Literature Review (SLR) was initially carried out, using the StArt software and consulting the Scopus and Web of Science databases, to extract and select the indicators most used in the scientific community, with a view to analyzing and evaluating the weaknesses that impact the performance of urban drainage systems. The indicators were then applied, with weights assigned, to 6 points of interest (PI) along the Igarapé Oriundo, through on-site inspections that took place in 2 moments, with an interval of 1 year. In total, 20 indicators were evaluated, formulated from 10 articles resulting from the RSL. To characterize the weaknesses of each PI, the General Fragility Indexes (GFI) were calculated by adding the weights assigned to the IFS, which were classified as: very low, low, medium, strong and very strong weaknesses. In this way, it was possible to establish a point-by-point diagnosis and identify the main vulnerability, with the following being observed: medium fragility in PI-1 (source) and PI-6 (exutory), especially in the environmental scope; strong fragility in PI-2 and PI-3 (both partially urbanized), with emphasis on the technical and environmental parameters; and very strong fragility in PI-4 and PI-5 (both in areas with consolidated urbanization), with emphasis on the technical, environmental and social natures. All PI demonstrated worsening institutional fragility. Finally, it was possible to indicate, in a matrix of proposed solutions, possible mitigating measures that could be adopted in the microbasin, aiming to reduce the weaknesses found, highlighting: promulgation of the Urban Drainage Master Plan, creation of the Oriundo Urban Park, adoption of compensatory techniques and relocation of the marginalized population.

Keywords: Climate Change. Urban Management. Urban Rainwater Management. Diagnosis of Urban Water Networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Níveis do sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.....	20
Figura 2 – Tendência da ocupação e impacto.	24
Figura 3 – Ilustração quanto ao aspecto quantitativo do efeito da urbanização sobre o SDU.	26
Figura 4 – Aplicação de TCs no contexto urbano.	28
Figura 5 – Gráfico com a disposição do número de indicadores por natureza.....	36
Figura 6 – Delimitação e hipsometria da bacia de drenagem do Igarapé Oriundo.....	38
Figura 7 – Disposição dos pontos de interesse a serem aplicados os IFS.....	41
Figura 8 - Fluxograma com representação do processo metodológico adotado na pesquisa... ..	42
Figura 9 – Registros fotográficos do PI-1 (nascente do Igarapé) em junho de 2024: A) seção hidráulica com presença de mata ciliar nas margens e leito natural; B) lançamento de esgoto e lixo em ponto adjacente à nascente; e C) deflorestamento e exposição do solo da margem... ..	45
Figura 10 – Contraste da situação de trecho a nascente do igarapé: A) mediante EPE em maio de 2023; B) em condições normais, junho de 2024.	46
Figura 11 – Registros fotográficos no PI-2 (Bairro da Liberdade) em junho de 2024, com destaque a: A) desvio do curso natural do córrego (seta vermelha); B) para novo curso (seta azul).....	46
Figura 12 – Registros fotográficos no cruzamento da Rodovia Transamazônica com o Igarapé Oriundo em junho de 2024: A) PI-3, lado esquerdo da intersecção; B) PI-4, lado direito da intersecção.	47
Figura 13 – Registros fotográficos no cruzamento da Rodovia Transamazônica com o Igarapé Oriundo em agosto de 2024: A) vista superior de galeria de microdrenagem em PI-3; e B) dispositivos de transposição do canal em PI-4.	48
Figura 14 – Registros fotográficos no ponto de interesse no PI-5 em setembro de 2024: A) Dispositivos de macrodrenagem para transposição do canal pela via; e B) canaletas com lançamento direto no canal.....	49
Figura 15 – Registros fotográficos no ponto de interesse na Tv. 15 de Agosto, com ênfase: A) tubulações auxiliares obstruídas e inutilizadas; B) habitações e entulhos no leito do córrego, C) lançamento de efluentes domésticos direto no canal.	49

Figura 16 – Situação da desembocadura do canal mediante: A) ao EPE em maio de 2023; e B) em condições normais, junho de 2024.	50
Figura 17 – Gráfico com disposição dos IGF e fragilidade correspondente.	52
Figura 18 – Rios urbanos como forma de transporte e lazer na Suíça em 2021: A) Rio Reno, Basileia; B) Rio Limmat, Zurique.	56
Figura 19 – Modelo executado de ponte de vão livre no trespasse de via pelo Igarapé.	57
Figura 20 – Edifício Dandara, centro de São Paulo: A) Prédio vazio e pichado, em 2011; e B) prédio reintegrado e habitado, em 2018.	58
Figura 21 – Antes e depois do Residencial Cachoeirinha, na Bacia dos Educandos, após ação do PROSAMIM II no ano de 2013.	58
Figura 22 – Projeto de Revitalização de Córregos em Guarulhos – SP: A) Colocação de canos de PVC para separação das águas residuais; e B) demonstração do sistema de separação com os condutos fechados para águas residuais e o canal aberto para águas pluviais.	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação de TCs conforme estrutura.	28
Quadro 2 – Relação de artigos incluídos na pesquisa.	34
Quadro 3 – Síntese do dimensionamento para a seção hidráulica do Igarapé revitalizado.	39
Quadro 4 – Localização dos pontos de interesse para aplicação dos IFS.	41
Quadro 5 – Relação dos indicadores, por natureza, e abordagem a ser aplicada.	43
Quadro 6 – Proposta de matriz de soluções para cada ponto de interesse.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices morfométricos da bacia de drenagem do Igarapé Oriundo.	38
Tabela 2 – Valores (pesos) em função da manifestação dos indicadores.	44
Tabela 3 – Índice Geral de Fragilidade: graus e intervalos.	44
Tabela 4 – Resultado da aplicação dos IFS aos pontos de interesse.	51

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
DITEC	Diretoria Técnica
EPE	Evento de Precipitação Extrema
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFS	Indicadores de Fragilidade de Sistemas
IGF	Índices Gerais de Fragilidade
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LaPES	Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software
MODCELL	Urban Flood Cell Model
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
RSB	Revisão Sistemática Bibliográfica
SDU	Sistemas de Drenagem Urbana
SEMINFRA	Secretaria Municipal de Infraestrutura
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
StArt	State of the Art through Systematic Review
TCs	Técnicas Compensatórias

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Abr.	Abril
Ago.	Agosto
cm	Centímetros
Dez.	Dezembro
<i>et al.</i>	<i>Et alli</i>
Fev.	Fevereiro
Jan.	Janeiro
Jul.	Julho
Jun.	Junho
m	Metros
Mai.	Maió
Mar.	Março
mm	Milímetros
Nov.	Novembro
Out.	Outubro
p.ex.	Por exemplo
Set.	Setembro
Tv.	Travessa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3 JUSTIFICATIVA.....	17
4 REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1 Macrocontexto da Drenagem Urbana	19
4.1.1 Cenário das Mudanças Climáticas	20
4.1.2 O Processo de Urbanização	22
4.1.3 Projetos de Mitigação de Impactos	25
4.1.4 Técnicas Compensatórias	26
4.2 Fragilidades em Sistemas de Drenagem Urbana.....	29
4.2.1 Indicadores de Fragilidade.....	29
4.2.1.1 Natureza Ambiental	29
4.2.1.2 Natureza Social	30
4.2.1.3 Natureza Técnica	30
4.2.1.4 Natureza Institucional	31
4.2.2 Abordagem dos Indicadores de Fragilidade em Estudos Científicos.....	32
4.3 Aplicação dos IFS.....	34
4.4 Macrocontexto da Microbacia Igarapé Oriundo	37
5 METODOLOGIA	40
5.1 Caracterização da Área de Estudo	40
5.2 Seleção e Aplicação dos Indicadores.....	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1 Diagnóstico Ponto-a-Ponto da Microbacia do Igarapé Oriundo	45
6.1.1 PI-1: Nascente	45

6.1.2 PI-2: “Invasão da Liberdade”.....	46
6.1.3 PI-3 e PI-4: Rodovia Transamazônica.....	47
6.1.4 PI-5: Travessa Quinze de Agosto.....	48
6.1.5 PI-6: Foz do Igarapé.....	50
6.2 Aplicação dos IFS nos Pontos de Interesse da Microbacia do Igarapé Oriundo	51
6.3 Matriz de Soluções Propostas para as Fragilidades.....	54
7 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO A - Indicadores de Fragilidade de Sistemas de Drenagem Urbana como Suporte à Avaliação do Desempenho: uma Revisão Sistemática da Literatura	71
ANEXO B - Caracterização morfo-hidrológica de pequena bacia amazônica como subsídio ao processo de revitalização de rio urbano	85

1 INTRODUÇÃO

O cenário das mudanças climáticas é um tema de crescente preocupação, uma vez que seus impactos estão cada vez mais representativos em várias partes do mundo. A infraestrutura urbana, incluindo transporte, abastecimento de água, os sistemas de saneamento e energia foram comprometidos por condições extremas com consequentes perdas econômicas, perturbações na realização de serviços e impactos no bem-estar (IPCC, 2023). O Relatório Estado dos Serviços Climáticos: Água (OMM, 2021) reportou que as chuvas extremas causaram inundações catastróficas no Japão, China, Indonésia, Nepal, Paquistão, Índia e por toda Europa; deixando milhões de mortos e desabrigados e causando danos generalizados. Além disso, as crises climáticas mostram-se como grandes ameaças à segurança alimentar e hídrica.

Desse modo, com as precipitações cada vez mais frequentes e intensas, os sistemas de drenagem urbana se mostram completamente vulneráveis. Kleidorfer *et al.* (2009) afirmam que o projeto e execução de um sistema de drenagem urbana é concebido considerando uma vida útil e uma capacidade prevista, se mostrando, assim, propenso a fatores de influência como aumento de população ou mudanças climáticas. Consoante a isso, Saboia *et al.* (2020) explicam que, devido à imprevisibilidade dos eventos climáticos, os sistemas de drenagem urbana podem ser subprojetados ou se tornarem obsoletos no futuro e, logo, esse problema pode ser mitigado com o uso de modelos de análise de risco. Portanto, enquanto houver a incerteza das chuvas, jamais haverá um sistema de drenagem invulnerável a esses eventos.

Não obstante, os problemas do sistema de drenagem podem ser complexos e marcados por características únicas de cada lugar, sendo esses fatores físicos, climáticos, hidrológicos e antropogênicos. De acordo com Rodrigues *et al.* (2023), a eliminação da cobertura vegetal natural, a impermeabilização dos solos e demais ações antrópicas estão associadas a maior frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação, ocasionando recorrentes problemas de inundações e alagamentos nos centros urbanos. Assim, dependendo do contexto em que está situado, a previsibilidade de cálculo e artificialidade do regime hídrico não podem ser aplicados efetivamente no projeto de concepção desses sistemas. Logo, urge a necessidade de projetar redes de drenagem mais resilientes, assim como métodos de avaliar o desempenho dos sistemas de drenagem urbana já existentes, que sejam eficazes e práticos (Birgani; Yazdandoost, 2018; Igroufa *et al.*, 2020).

Nesse tocante, Silva *et al.* (2004) aplicaram um método de avaliação e diagnóstico de redes de drenagem urbana, composto por um conjunto de Indicadores de Fragilidade de

Sistemas (IFS) que contemplam as naturezas ambiental, tecnológica e institucional; visando a Elaboração do Componente Drenagem do Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas, no estado da Bahia. Tal método é considerado modelo e já foi aplicado, com sucesso, na identificação das vulnerabilidades em SDU, com classificação dos índices de fragilidades variando de “muito baixa” a “muito forte”, em bacias urbanas das diversas regiões do Brasil (Feitosa; Rocha, 2017; Hayden; Silva, 2019; Santos Júnior, 2014; Silva Junior *et al.*, 2018; Steiner, 2011).

No contexto amazônico, grande parte das cidades “nasceram” dos rios, isto é, originaram-se e desenvolveram-se às margens dos grandes corpos d’águas, com eventual expansão para o interior do território. Além disso, a Amazônia é cortada por diversos igarapés, como são chamados os pequenos cursos d’água da região, que chegam a representar 90% de toda a extensão dos cursos d’água em algumas bacias hidrográficas (Leal, 2017) e, logo, são importantes meios de navegação conectando regiões. Em contrapartida, a região sofreu um acelerado processo de ocupação com um cenário desenhado por um processo de urbanização sem planejamento, promovendo vários impactos e acentuando as fragilidades desses sistemas. Na cidade de Itaituba, situada no Pará, o processo urbanístico iniciou-se às margens do Rio Tapajós e, com a explosão demográfica oriunda da exploração de ouro, expandiu-se aceleradamente para o interior do município, de jusante a montante, ocupando, inclusive, as áreas naturais de inundação na orla da cidade (centro urbano na época) e estreitando os diversos corpos d’água que desembocam no Rio Tapajós, como o Igarapé Oriundo.

Assim, os igarapés são importantes não só como ecossistemas aquáticos, mas, também, como essenciais fontes hídricas para abastecimento e manejo de águas pluviais. Defronte a isso, o presente estudo parte da avaliação da vulnerabilidade do sistema de macrodrenagem do Igarapé Oriundo utilizando IFS, a fim de identificar as fragilidades e propor soluções visando uma melhor gestão de riscos, controle de danos e formas de recuperação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o sistema de macrodrenagem da microbacia do Igarapé Oriundo, riacho afluente do rio Tapajós e que corta a cidade de Itaituba-PA, fazendo uso dos Indicadores de Fragilidade do Sistema (IFS) de natureza ambiental, social, técnica e institucional.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e mapear os pontos de críticos da rede de macrodrenagem do Igarapé Oriundo, denominados neste estudo como Pontos de Interesse (PI);
- Avaliar a manifestação dos IFS nos pontos de interesse, atribuindo valores (pesos);
- Hierarquizar os pontos de interesse, com base nos graus e classificações dos Índices Gerais de Fragilidade (IGF); e
- Apresentar uma matriz de ações propostas para reduzir os índices de fragilidade e melhorar a drenagem nos pontos críticos analisados.

3 JUSTIFICATIVA

Os eventos de precipitação extrema (EPE) estão cada vez mais intensos e frequentes. Tais eventos muitas vezes ocorrem de forma repentina e em uma escala catastrófica, sendo considerados surpresas climáticas. “Surpresas” é um termo que, no sentido das ciências climáticas, representa eventos climáticos inesperados, geralmente refletindo processos que ainda não estão incluídos nos modelos climáticos (Schneider *et al.*, 1998). A exemplo, observamos os eventos ocorridos nos meses de abril e maio de 2024, no estado do Rio Grande do Sul, onde 90% do estado foi inundado, deslocando 581.638 pessoas, com 169 mortes confirmadas e muitas outras desaparecidas (Clarke *et al.*, 2024). Segundo Fearnside e Silva (2024), vários fatores climáticos convergiram para causar um evento tão sem precedentes, desde efeitos do aquecimento global, como *El Niño*; até fenômenos inéditos, como o comportamento anômalo do anticiclone do Atlântico Sul.

Do mesmo modo, Fowler *et al.* (2024) observaram que a combinação de um forte *El Niño*, aquecimento recorde do oceano e crescentes efeitos do aquecimento global culminaram, no de 2023, uma série de eventos extremos de precipitação em todo o mundo, causando inundações repentinas, inúmeras fatalidades e enormes perdas econômicas. Entre os sinistros observados, os autores discorrem sobre a ação dos ciclones tropicais na ocorrência de chuvas extremas em muitas regiões globais, como: o ciclone tropical Freddy que inundou partes de Moçambique, com 400–800 mm de chuva em 24 horas; os efeitos da tempestade Daniel, que depositou >1.000 mm de chuva na Tessália, Grécia, em um período de 24 horas; esse mesmo ciclone mediterrâneo causou uma enchente catastrófica na Líbia, em setembro de 2023, deixando mais de 4.000 pessoas mortas e cerca de 10.000 desaparecidas, segundo Rafferty (2024); na China, conforme *Member Report (ESCAP/WMO Typhoon Committee, 2023)*, no ano de 2023 um total de 7 ciclones tropicais afligiram o país, onde o Rio Haihe sofreu uma super inundação em toda a bacia e 258 rios em toda a China registraram inundações que excederam o nível de alerta.

Não obstante, Fowler *et al.* (2024) também relatam sobre o alto número de tempestades convectivas severas que causaram inundações repentinas em muitos locais no ano de 2023, como na província de Hebei, China, onde foram registrados totais de chuva superiores a 1.000 mm em um acumulado de 3 dias; o Aeroporto de Fort Lauderdale, Flórida-USA, registrou uma precipitação de 658 mm em 24h no dia 3 de abril, sendo o dia mais chuvoso da história local caracterizado como um evento de tempo de retorno de 1000 anos.

No caso de Itaituba-PA, no dia 11 de maio de 2023, foi registrado uma precipitação de 194,6 mm em 24h, representando cerca de 93% do total previsto para o mês e se caracterizando como evento raro com tempo de retorno de 121 anos, conforme Silva Junior *et al.* (2023). Segundo os dados da Comissão Municipal de Defesa Civil, o sinistro atingiu cerca de 13 bairros e deixou 14.216 pessoas desabrigadas e/ou desalojadas.

Nesse interim, considerando que os sistemas de drenagem urbana são projetados com vida útil e capacidade prevista, diante do cenário das mudanças climáticas, com eventos de precipitação extremos cada vez mais intensos e frequentes, a funcionalidade desses sistemas é comprometida, chegando a causar falha generalizada até mesmo períodos de precipitação normal. A principal consequência do mau funcionamento de um sistema de drenagem são as inundações urbanas. Desse modo, se pondera a avaliação do sistema de macrodrenagem do Igarapé Oriundo como de suma importância para caracterizar sua vulnerabilidade e propor soluções, evitando, assim, eventuais sinistros e reduzindo impactos subsequentes.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Macrocontexto da Drenagem Urbana

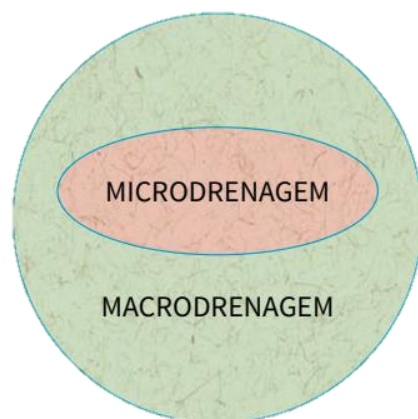
A Lei Nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007), em seu art. 3º, conceitua drenagem e manejo de águas pluviais urbanas conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas. Ou seja, a gestão da drenagem urbana é um conjunto de ações que buscar garantir o desenvolvimento urbano aliado à sustentabilidade ambiental, reduzindo os riscos de inundações e, logo, os danos humanos, ambientais e de engenharia.

Basicamente, a estrutura da drenagem urbana convencional é constituída por: sistemas de coleta (p.ex. sarjetas, bueiros e bocas-de-lobo) que captam as águas de escoamento acumuladas em superfícies impermeabilizadas e sistemas de transporte (p.ex. galerias, condutos e canais) que correspondem a condução das águas coletadas para as águas receptoras. Podemos ainda classificar o sistema de drenagem de acordo com seu porte em dois níveis:

- **Microdrenagem:** gerencia as águas pluviais em uma escala local como ruas, calçadas e lotes. Trata da coleta e transporte dessas águas e é composta por todos os elementos que desempenham essa função, como sarjetas, boca-de-lobo e galerias com diâmetro menor que 1,5 metros;
- **Macrodrenagem:** são sistemas que englobam a microdrenagem e obras concebidas para aportar grandes volumes de escoamento. Atua em maior escala envolvendo galerias de grande porte e fontes de água receptoras como canais e rios.

A Figura 1 mostra, esquematicamente, a interrelação entre os níveis que compõe o sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Figura 1 – Níveis do sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.



Fonte: Plano Municipal Saneamento Básico – FUNASA, 2016.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (FUNASA, 2016), no planejamento para concepção de um sistema de drenagem urbana é de suma importância estimar parâmetros básicos que possibilitem conhecer os volumes de escoamento, assim como a intensidade recorrente das chuvas e as características da área a ser planejada (p.ex. impermeabilização, topografia e relevo, sistemas já existentes etc.), dentre outros. Além disso, para determinar o volume de água pluvial ao qual um sistema vai ser submetido, também se faz necessário conhecer conceitos como ciclo hidrológico e características físicas de uma bacia.

A seguir, são detalhados alguns tópicos importantes a serem considerados durante o planejamento e a concepção de um sistema de drenagem urbana, tendo em vista o cenário atual.

4.1.1 Cenário das Mudanças Climáticas

O IPCC conceitua mudança climática como o fenômeno das alterações do clima ocorridas ao longo do tempo devido à variabilidade natural ou decorrente da atividade humana (IPCC, 2021). A compreensão de tais mudanças é imprescindível para o dimensionamento de obras hidráulicas, uma vez que, segundo Ogassawara e Oliveira (2017), o cenário das mudanças climáticas provocam alterações na ocorrência e distribuição das precipitações, fator indispensável em estudos hidrológicos e no planejamento de uso dos recursos hídricos.

O ciclo hidrológico representa o movimento constante da água entre a atmosfera e a superfície do planeta, envolvendo desde a precipitação até a evaporação, para, por fim, precipitar novamente. Toda precipitação no interior de uma bacia, desde que não infiltre, esco

até um corpo receptor, e essa água, por sua vez, é descarregada através de um único exutório localizada no ponto mais baixo da região. Desse modo, conforme Villela e Mattos (1975), o escoamento superficial sofre a influência de fatores de natureza climática, relacionados à precipitação pluviométrica, com destaque aos fatores de intensidade, duração e frequência de precipitação.

Quão mais intensa uma precipitação, mais rapidamente o solo atinge sua capacidade máxima de infiltração (tornando-se saturado) e o montante adicional passará a escoar. Villela e Mattos (1975) também elucidam que a duração é proporcional a intensidade, uma vez que, no caso uma precipitação com intensidade constante, quão maior a duração, maior a probabilidade de escoamento. Por fim, quanto a frequência, os autores afirmam que um solo já encharcado devido a uma precipitação anterior terá maior facilidade de converter escoamento.

Nesse sentido, a vazão de projeto pode ser estimada com base no conhecimento das curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF). Estas, por sua vez, podem ser obtidas por meio das relações entre intensidade, duração e frequência de uma série de chuvas extremas observadas por um longo período (Castro *et al.*, 2011).

No caso de Itaituba, por exemplo, Silva Junior *et al.* (2023), a fim de caracterizar evento de precipitação extrema ocorrido em 11 de maio de 2023, utilizaram os dados da equação de chuva intensa (curva IDF) do município, definida pela CPRM com base na série histórica de dados diários de 1960 a 2013 (Pluviômetro de Itaituba, cód. ANA 00455001 e cód. INMET 82445). Nesse sentido, os autores analisaram intensidade máxima (mm/h) e tempo de retorno (TR) do evento extremo, obtendo o valor de precipitação diária de 194,6 mm, cerca de 93% do total previsto para o mês de maio (209,9 mm) segundo dados mensais das Normais Climatológicas do Brasil (1991-2020); intensidade média de 32,7 mm/h e máxima de 88 mm/h; e tempo de retorno de 121 anos, classificado como um evento raro.

Do mesmo modo, a fim de caracterizar evento extremo de precipitação ocorrido de abril-maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul, Rocha *et al.* (2024) estimaram que nas cidades de Segredo, Fontoura Xavier e Lagoa Bonita o acumulado de precipitação num período de 10 dias atingiu 812,6; 778,0 e 749,2 mm, respectivamente, representando cerca de 280% a mais do que o esperado para a região, conforme dados das Normais Climatológicas de 1991 a 2020. Assim como, Mantovani *et al.* (2024), identificou em setembro de 2023 o mês mais chuvoso de Porto Alegre em 107 anos (até aquele momento) com um acumulado mensal atingindo 413,8 mm, conforme os dados da série histórica.

Além disso, ao considerar as séries históricas de precipitações de 1950 a 2018 em quatro municípios no noroeste do México, Vega-Camarena *et al.* (2024) observaram um aumento nas frequências relativas de eventos de precipitação extremos nas últimas décadas, com um aumento evidente desde 2010, o que os autores associaram a um aumento nas vulnerabilidades populacionais e de infraestrutura na região.

Segundo Almeida (2020), além dos fatores climáticos, a variação do fluxo nas bacias hidrográficas também se dá por suas características físicas e morfológicas, todavia as ações antrópicas representam os maiores intervenientes ao se pensar no sistema como um todo. Consoante com Sousa (2020) ao afirmar que o ciclo hidrológico é gravemente impactado pelo processo de urbanização desenfreado e, logo, aumento de impermeabilização e escoamento superficial, resultando na diminuição de recarga dos aquíferos e mudanças extremas na drenagem. Nesse sentido, faz-se necessário considerar o grau de impacto das intervenções antrópicas na bacia do Oriundo.

4.1.2 O Processo de Urbanização

O escoamento de uma bacia hidrográfica sofre grande alteração quando se transforma um solo, outrora permeável, numa superfície impermeabilizada (Moura; Silva, 2015). Logo, o conhecimento da superfície urbana é elemento essencial para o planejamento urbanístico, estabelecimento de legislações próprias, dimensionamento de um sistema de drenagem etc. (Garotti; Barbassa, 2010). Desse modo, antes de considerarmos o sistema de drenagem em si, precisamos avaliar o contexto em que este está inserido, ou seja, o contexto urbano.

A urbanização no Brasil se deu de forma acelerada e desordenada, com consequências notáveis no planejamento das cidades. As grandes metrópoles surgiram gerando a poluição que obstrui os dispositivos de drenagem e a impermeabilização excessiva que aumenta o escoamento superficial, combinadas a um sistema de drenagem incompatível com a demanda, ocasionado as inundações urbanas. Desse modo, entendemos que o processo de desenvolvimento urbano desenfreado desacompanhado de infraestrutura básica, a falta de planejamento e incapacidade da gestão pública podem se materializar como recorrentes inundações urbanas.

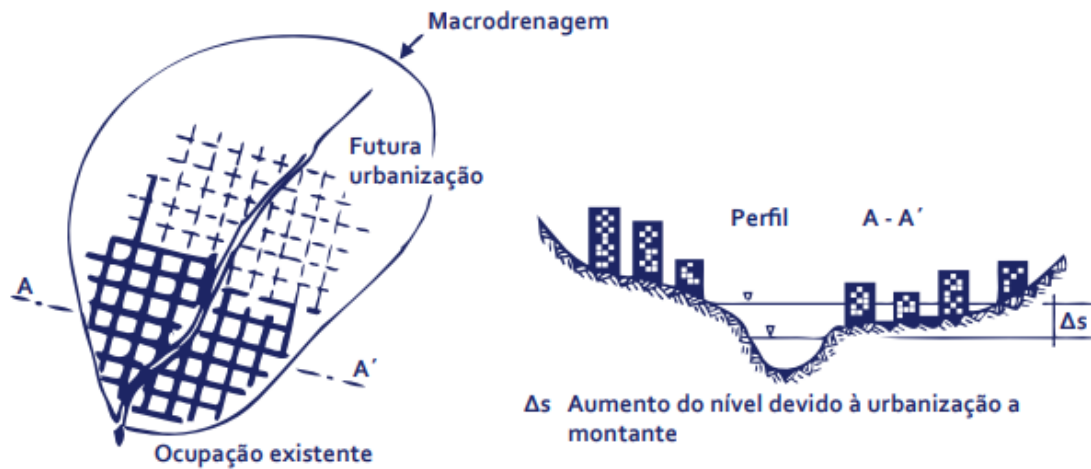
Além disso, o mau planejamento urbano e falta de controle quanto ao uso do solo favorece o surgimento massivo de assentamentos populares em áreas de risco. Corroborando

com Tucci (2003), onde afirma que em ocupações periféricas se destaca a ocupação irregular de mananciais e áreas de risco tanto de inundações quanto de deslizamentos; e com o IPCC (2023), ao afirmar que os impactos adversos provenientes de eventos climáticos extremos são observados com maior concentração entre moradores urbanos economicamente e socialmente marginalizados. Nesse sentido, podemos destacar, assim, as inundações urbanas como um fator de risco não só ambiental, mas também social.

As cidades amazônicas seculares “nasceram” dos rios, afinal a navegação era o único modo de adentrar o coração da Amazônia na época colonial. Com o surgimento dos primeiros assentamentos, para a exploração dos recursos naturais, os rios se mostraram pontos fundamentais para transporte tanto de mercadorias quanto de pessoas, conectando regiões. Assim, essas cidades sempre estiveram marcadas pelas inundações naturais, tanto que se difundiu a cultura das moradias suspensas como palafitas e marombas. Quanto ao processo de urbanização expressivo, o ciclo da borracha em meados do século XIX e a política de integração a partir de 1960 foram períodos cruciais para a expansão da ocupação na região, porém sem o planejamento ou estrutura adequados.

Em Itaituba, por exemplo, o crescimento urbano explodiu na conhecida “década áurea de garimpagem”, com a exploração do ouro nos anos 80. Segundo o IBGE (2023a), a população residente em Itaituba saltou de 38.573 habitantes, em 1980, para 94.564 habitantes, em 1996. A migração massiva para região tendeu a ocupar o entorno dos centros urbanos consolidados nas proximidades da orla da cidade, inclusive em áreas com risco de alagamento nas margens do Rio Tapajós, segundo Schuber e Moraes (2015). Com o contínuo crescimento demográfico, as áreas a serem ocupadas se mostraram ineficientes mudando, assim, o fluxo migratório em direção às margens da então recém-construída BR-230, Rodovia Transamazônica, caracterizando a ocupação de jusante a montante demonstrada por Tucci (2007) na Figura 2.

Figura 2 – Tendência da ocupação e impacto.



Fonte: Tucci (2007).

Observa-se, então, que a cidade passou por um desenvolvimento urbano acelerado e desordenado, incentivando a ocupação de áreas de risco e sem o desenvolvimento da infraestrutura básica, uma vez que, conforme os dados do SNIS (2021), na cidade de Itaituba: 91,4% da população não tem acesso à água tratada; não há sistema coleta de esgoto; 431,78 mil m³ de esgoto não é tratado; e apenas 63,03% da população é atendida com coleta de Resíduos Domiciliares, que não recebe destinação correta. Visto isso, notamos problemas seríssimos na cobertura do saneamento básico nessa região, o que corrobora com Ponte *et al.* (2016) ao afirmarem que:

Diante de uma realidade urbana amazônica, em que a pobreza econômica é um fato generalizado e que a cobertura de redes e serviços de saneamento é insuficiente, as soluções convencionais de drenagem tendem a produzir efeitos socialmente regressivos, penalizando populações em assentamentos precários, em áreas baixas alagáveis, mangues, áreas de vegetação de restinga, margens de igarapés, rios urbanos e canais de drenagem (Ponte *et al.*, 2016).

Entendemos assim que os problemas do sistema de drenagem podem ser complexos e marcados por características únicas de cada lugar, sendo esses fatores físicos, climáticos, hidrológicos e antropogênicos. Logo, é fundamental conceber projetos adaptados, sustentáveis e resilientes. Além disso, se mostra essencial implementar estratégias eficazes para avaliar e incrementar os sistemas de drenagem urbana já existentes.

4.1.3 Projetos de Mitigação de Impactos

Barros (2005) discorre que o sistema de drenagem é composto por dois tipos de intervenções no ambiente, conhecidas como medidas estruturais e as medidas não estruturais, tais quais são equivalentes às obras hidráulicas a fim de garantir uma boa drenagem do escoamento superficial. Conforme o autor, as medidas não estruturais correspondem a uma série de propostas, voltadas à redução dos efeitos das chuvas intensas na área urbana com baixo investimento e curto prazo, sem envolver grandes obras de engenharia, englobando: outorga para controle de cheias, leis de uso e ocupação do solo, normatização dos dispositivos de drenagem, incentivo ao uso de técnicas de controle na fonte, sistemas de seguridade social diante sinistros de inundação, sistemas de monitoramento e alerta, e programas de educação ambiental. Já as medidas estruturais causam impactos significativos e variam conforme as características do problema a ser resolvido, abordando: sistema de coleta de água de chuva no lote; sistema de micro e macrodrenagem; reservatórios de detenção e retenção; drenagem forçada das áreas baixas; e manutenção do sistema de drenagem existente.

Em Itaituba, a Lei Municipal nº 4.031 (Itaituba, 2023) institui o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB e dispõe sobre o Manejo das Águas Pluviais objetivando a ampliação, manutenção e construção de novas redes de drenagem; assim como o redimensionamento e adequação da rede existente com complementação de técnicas alternativas, como os sistemas facilitadores de infiltração, retenção e detenção de água e controle de escoamento na fonte.

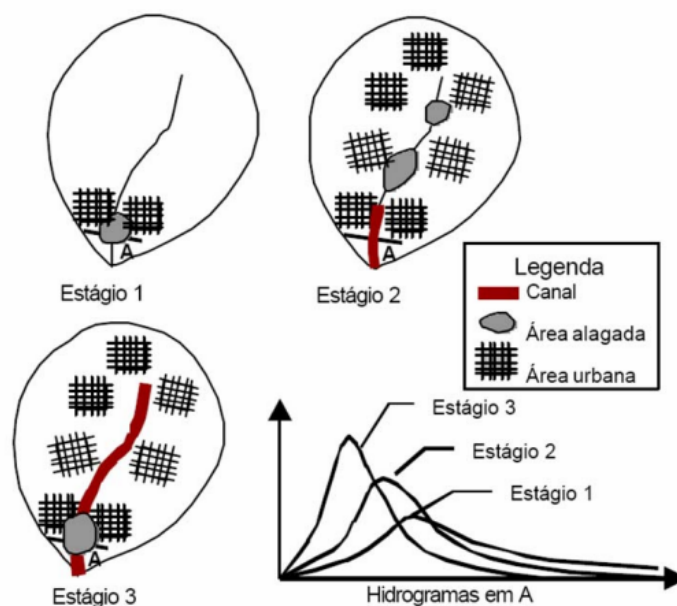
Além disso, o PMSB prevê a necessidade de planos de emergências, mitigação e controle de inundações, alagamentos e deslizamentos. Tais projetos contingenciam medidas que evitam o surgimento de novos pontos críticos de inundação, além de eliminar e reduzir os já existentes. Desse modo, pode-se planejar o sistema considerando possibilidades para o transporte, tratamento e disposição das águas pluviais urbana. Também se deve considerar medidas, estruturais ou não, alternativas ao sistema de drenagem convencional e de mitigação de impactos mediante eventos climáticos extremos.

4.1.4 Técnicas Compensatórias

O sistema de drenagem convencional segue uma antiga política higienista que visa coletar e transportar o aporte hídrico de águas pluviais da forma o mais rapidamente possível, de montante a jusante. Todavia, eventos de alagamentos e inundações são cada vez mais recorrentes e danosos no Brasil, em tempos de cheia ou não, indicando um sistema de drenagem incompatível com a demanda exigida. Não obstante, Martins (2012) afirma que a limitada disponibilidade hídrica em algumas bacias hidrográficas, essenciais para o abastecimento de cidades, alarmam quanto a necessidade do controle da poluição como um problema a ser considerado nos sistemas de drenagem, uma vez que o valor caudado gerado pelo escoamento é destinado aos corpos de água receptores, podendo atuar como dispersores de possíveis poluentes nos cursos hídricos; e tal controle de qualidade de água não é possibilitado pela maioria dos sistemas de drenagem vigentes.

Nesses sistemas, conforme Silva (2007), o problema das cheias urbanas é tratado considerando-se os trechos críticos de forma isolada, sem análises das conseqüências para a bacia e nem previstos os horizontes de ocupação, desse modo, ao solucionar o problema de inundações de um ponto crítico, o problema pode ser transferido para as seções a jusante, conforme expresso na Figura 3.

Figura 3 – Ilustração quanto ao aspecto quantitativo do efeito da urbanização sobre o SDU.



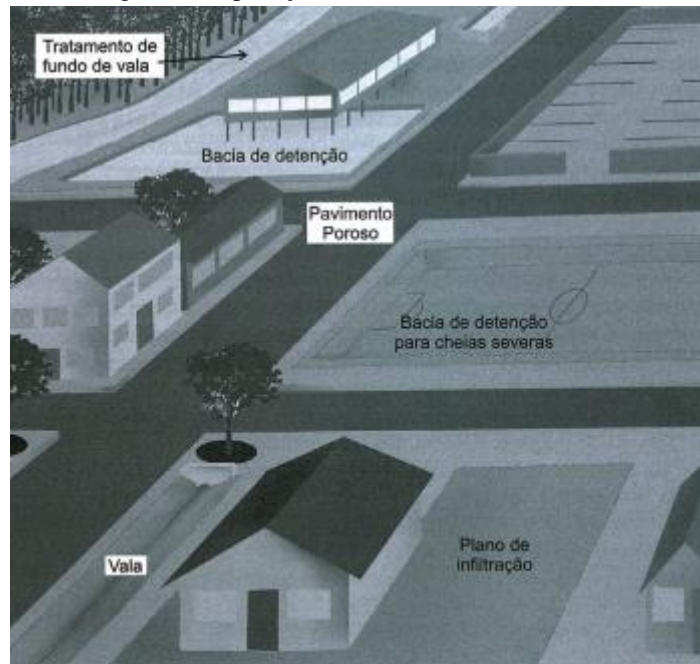
Fonte: Tucci (1995).

Nesse interim, nota-se como o sistema de drenagem convencional, também conhecido como Infraestrutura Cinza, se mostra incompatível com as atuais exigências para ótima gestão urbana, passando, assim, a ser substituído ou complementado por uma série de conceitos de sistemas alternativos ou compensatórios. Como, conforme Radcliffe (2019), podemos citar o *Low Impact Development* (LID) e *Green Infrastructures* (GI), desenvolvidos na América do Norte; Técnicas de *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS) adotadas no Reino Unido; *Water Management* e *Flooding Directives* utilizadas na gestão de bacias hidrográficas na União Europeia; similar a filosofia de *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) aplicada na Austrália; o conceito de Cidades Esponja introduzido na China; e o termo *Water-Sensitive Settlements* utilizado na África.

Tais sistemas alternativos, também denominados Soluções Baseadas na Natureza, se diferem da Infraestrutura Cinza em dois pontos principais: primeiramente, ao considerar os impactos da urbanização de forma global, tomando a bacia hidrográfica como base de estudo; segundo, ao buscar mitigar os impactos da urbanização com controle direto na fonte através de estruturas de retenção e/ou facilitadoras de infiltração, proporcionando um manejo de águas pluviais mais sustentável e efetivo, visando a diminuição ou inócuência de inundações (ReCESA, 2007; Rodrigues *et al.*, 2023; Silva, 2007).

No Brasil, se destaca a utilização de Técnicas Compensatórias (TCs), Figura 4, ou *Best Management Practices* (BMPs), tecnologia desenvolvidas nos anos 70, na América do Norte, que atribui ao meio urbano destaque ao associar-se ao paisagismo, agregando valor ao espaço urbano e o seu entorno por meio de um projeto harmonioso entre ambiente construído e natural (Gonçalves *et al.*, 2016; Miguez *et al.*, 2015).

Figura 4 – Aplicação de TCs no contexto urbano.



Fonte: Baptista *et al.* (2005).

As técnicas compensatórias podem ser classificadas de acordo com a posição de implantação da estrutura em relação à área a ser drenada pela mesma, onde podemos dispor (Quadro 1):

Quadro 1 – Relação de TCs conforme estrutura.

	Tipo	Dispositivo	Função	Aplicação
TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS	CONTROLE NA FONTE	Valas e Valetas	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar infiltração 	Implantadas junto a parcelas ou pequenos conjuntos de parcelas associadas à drenagem de pequenas áreas, como loteamentos e canteiros de rodovias.
		Trincheiras de infiltração		
		Poços de infiltração		
		Reservatórios domiciliares	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar o tempo de concentração 	
CONTROLE NO SISTEMA VIÁRIO	Pavimentos Permeáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar infiltração 	Implantadas junto aos sistemas de infraestrutura viária existentes e estacionamentos.	
CONTROLE A JUSANTE	Bacias de retenção	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar tempo de concentração; • Conter pico de vazão à jusante; • Controle de material sólido. 	Implantadas junto a parcelas ou conjuntos de parcelas associadas à drenagem de grandes áreas	
	Bacias de infiltração	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar tempo de concentração; • Conter pico de vazão à jusante; • Tratar sedimentos. 		

Fonte: Adaptado de ReCESA (2007) e Sousa (2020).

4.2 Fragilidades em Sistemas de Drenagem Urbana

A fragilidade de um sistema de drenagem corresponde ao quão suscetível a falhas esse sistema se apresenta, assim como sua capacidade de resistir aos eventos de precipitação extremos. Logo, essa vulnerabilidade deve considerar a natureza ambiental, social, técnica e institucional. A compreensão da fragilidade é essencial para desenvolver os indicadores a serem aplicados na caracterização da vulnerabilidade de um sistema de drenagem, facilitando o processo de tomada de decisões e assim compondo preceitos fundamentais para diretrizes de políticas públicas que visam o planejamento e melhor gestão urbana.

4.2.1 Indicadores de Fragilidade

Os indicadores correspondem a ferramentas compostas por uma ou mais variáveis, com o objetivo de agregar e quantificar dados, de maneira a deixar a sua relevância mais evidente. Kemerich *et al.* (2013) ressalta que, para a gestão de bacias hidrográficas, é de fundamental importância o conhecimento dos indicadores de fragilidade ou ainda de sustentabilidade, visando à caracterização da dinâmica dos problemas ambientais existentes na zona de interesse. Tais indicadores podem auxiliar os órgãos públicos, tomadores de decisão, a estabelecer uma hierarquização dos principais problemas a serem atacados a fim de conter os alagamentos urbanos (Silva Junior *et al.*, 2018).

Considerando que a fragilidade de um sistema está sob influência de diversos fatores físicos, climáticos, hidrológicos ou antropológicos; a pesquisa focou na caracterização de indicadores de natureza ambiental, social, técnica e institucional.

4.2.1.1 Natureza Ambiental

A natureza ou aspecto ambiental se refere a qualquer fator proveniente de atividades, produtos ou serviços que podem interagir com o meio ambiente, causando impactos positivos ou negativos em relação aos recursos naturais, ecossistemas e comunidades no meio em que estão inseridos. No contexto da drenagem urbana, eventos de chuva podem carrear poluentes que posteriormente afetam os ecossistemas aquáticos, assim como a saúde humana.

Birgani e Yazdandoost (2018) afirmam que é essencial para o planejamento de drenagem considerar a proteção e melhoria da qualidade das águas pluviais; porém esse fator se mostra um grande empecilho econômico nos sistemas de drenagem convencionais e, portanto, são desconsideráveis na gestão urbana com objetivo único de lidar com águas pluviais.

Considerando que na cidade de Itaituba o sistema de esgoto é da forma mista, ou seja, combinado de águas pluviais com esgoto doméstico e que não há tratamento desse esgoto, esse estudo considerará dois critérios para qualidade da água: cargas poluentes, considerando a quantidade e diversidade de poluentes lançados na água receptora, e volume de escoamento, uma vez que o carreamento de materiais sólidos e demais poluentes reduzem a velocidade do fluxo de escoamento.

4.2.1.2 Natureza Social

Os aspectos sociais representam as interações, relações e dinâmicas entre indivíduos, grupos e comunidades que compõem uma sociedade. É importante considerar os aspectos sociais para garantir que a intervenção realizada por um sistema de drenagem seja sensível as necessidades e realidades das comunidades a serem atendidas. Um sistema de drenagem pode impactar diretamente a qualidade de vida, como no caso de habitação em locais de risco ou ocupações irregulares que provocam deslocamentos e afetam a habitabilidade local.

Segundo Ellis *et al.* (2004), a abordagem sustentável é capaz de integrar medidas para melhorar condições sociais diante das chuvas (p.ex. ao evitar inundações) e manter o serviço em um nível aceitável. Técnicas compensatórias vão além e garantem a capacidade da população interagir diretamente com o sistema de drenagem, com a criação de reservatórios captadores de águas pluviais para reuso ou para extravasamento controlado.

4.2.1.3 Natureza Técnica

Aspectos técnicos se referem ao conhecimento especializado, habilidade e procedimentos técnicos. Na engenharia, por exemplo, aborda detalhes específicos ou requisitos técnicos de um produto, projeto ou sistema.

No planejamento de um sistema de drenagem, os aspectos técnicos são fundamentais pois garantem a eficácia no gerenciamento das águas pluviais e reduzem os riscos de inundações. Há muito o que se considerar na concepção de um projeto de sistema de drenagem, sobretudo fatores físicos, climáticos, hidrológicos e antropogênicos.

Os aspectos físicos se referem a composição do local como topografia, clima, hidrografia, vegetação e geologia. O estudo hidrológico caracteriza as chuvas locais, a fim de estimar a capacidade de drenagem que o sistema deve comportar, ou seja, seu dimensionamento. Considerando que, devido ao cenário das mudanças climáticas, eventos extremos de precipitação se mostram cada vez mais frequentes, nos deparamos com o sistema de drenagem urbano totalmente vulnerável a sua influência. Assim como Oliveira *et al.* (2022) afirmam:

O grande sistema de drenagem urbana é normalmente concebido para responder a um determinado evento de inundação referente, mas quando este evento é ultrapassado, a capacidade das estruturas de drenagem não será capaz de transmitir as descargas mais elevadas, falhando e inundando áreas da cidade (Oliveira *et al.*, 2022).

Geralmente os aspectos técnicos considerados no planejamento da drenagem urbana envolvem indicadores de pico de vazão e volume de inundação. Também é essencial entender quão facilitada pode ser feita a conexão entre o SDU antigo com os mais recentes, em cenários futuros. A vida útil do projeto também deve ser considerada para atender os objetivos a longo prazo e rentabilidade, o que implica necessidade de atualização e renovação do sistema.

4.2.1.4 Natureza Institucional

Os aspectos institucionais se referem à estrutura, organização, políticas e práticas de uma instituição. São fatores essenciais para otimizar a gestão e atingir os objetivos estabelecidos.

A tomada de decisão, na gestão integrada da drenagem urbana, deve considerar todas as partes interessadas na implementação dos planos e conformidade dos mesmos com as políticas de gestão. Deve se garantir que o projeto esteja de acordo com a legislação vigente, tanto para licenças quanto para regulamentações de construção. A integração com o planejamento urbano, zoneamento e uso do solo também são pontos consideráveis.

A aceitabilidade dos residentes é um fator a ser levado em conta pois representa um papel proeminente no nível de planejamento e depende do contexto cultural, educação, rendimento etc. É sempre importante destacar um resultado positivo para aumentar as expectativas com a realização do projeto. A sustentabilidade também é um ponto importante, porque pode conduzir a gestão pública a adotar alternativas ao modelo convencional ou que possam complementá-lo. Assim, evidencia-se a necessidade de avaliar a gestão urbana uma vez que, conforme afirma Dutra *et al.* (2018) destaca que o sistema de drenagem se precariza devido o inchamento da população, sendo necessário fazer uso de técnicas alternativas de gerenciamento, como sistemas de indicadores de sustentabilidade.

4.2.2 Abordagem dos Indicadores de Fragilidade em Estudos Científicos

Silva *et al.* (2004) desenvolveram um método de avaliação de sistemas de drenagem, composto por indicadores de fragilidade das naturezas ambiental, tecnológica e institucional; para Elaboração do Componente Drenagem do Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas-BA.

Objetivando avaliar a fragilidade na bacia hidrográfica do córrego das Melancias, Santos Júnior (2014) aplicou o IFS sob o sistema de drenagem pluvial urbana em três pontos de estudo – PEs mediante visita in loco na bacia em questão. Foram identificados o grau de fragilidade Muito Forte e sugeriu-se maior atenção quanto à correção e a prevenção de alagamentos e inundações.

Do mesmo modo, Feitosa e Rocha (2017) visaram avaliar o sistema de drenagem pluvial urbana do centro de Mossoró – RN, partindo da aplicação de indicadores de fragilidade de sistemas de natureza tecnológica, ambiental e institucional. As falhas encontradas no centro de Mossoró em quatro áreas-problema foram classificadas como de grau muito forte e foi sugerida uma matriz de ações por AP a fim de reduzir as fragilidades para patamares aceitáveis.

Consoante a isso, Silva Junior *et al.* (2018) avaliaram o sistema de drenagem pluvial urbano do bairro de Rio Doce, em Olinda – PE, a partir dos IFS de natureza ambiental, tecnológica e institucional. Foram observados cinco pontos de alagamento e realizadas vistorias técnicas nos períodos seco e chuvoso nas áreas selecionadas, onde foram identificados grau de fragilidade muito forte e condições de criticidade. Foi também estabelecida uma matriz com 10

ações importantes e recomendadas para cada AP, visando, sobretudo, a recuperação, desobstrução e padronização dos dispositivos existentes.

Assim como, baseado na utilização de IFS compostos de indicadores de natureza tecnológica, ambiental e institucional; Hayden e Silva (2019) obtiveram o diagnóstico do sistema de drenagem urbana da bacia hidrográfica do Una, em Belém-PA. Desse modo, foi possível características de médio grau de fragilidade, com maior relevância nos cunhos sanitário e ambiental.

Para avaliação de SDU na bacia do Rio Jacarati, Maranhão – Brasil, Pereira *et al.* (2023) gerou um modelo utilizando IFS e sua classificação via Analytic Hierarchy Process (AHP) onde seis indicadores foram escalados para natureza ambiental, tecnológica e institucional. Os resultados mostraram um grau de fragilidade forte na área de estudo, com maior preocupação na natureza ambiental.

Oliveira *et al.* (2022) visaram investigar e quantificar a resiliência urbanas as inundações na bacia do Rio Acarí, Rio de Janeiro – Brasil, utilizando um conjunto de indicadores apoiados pelo modelo computacional MODCELL na avaliação de componentes bases: Moradia; Sistema de esgoto; Mobilidade; Instalações Comunitárias; Economia; e Patrimônio Cultural. Os resultados mostraram múltiplas áreas inundadas ao longo da bacia indicando falhas generalizadas no sistema principal de drenagem.

Já Birgani e Yazdandoost (2018) buscaram um novo enquadramento da gestão de drenagem na área urbana utilizando integração de indicadores de sustentabilidade e resiliência, qualitativos e quantitativos; nos aspectos técnicos, econômicos, sociais, ambientais e de planejamento. A estrutura apresentada foi então aplicada no 22º distrito do município do noroeste da cidade de Teerã, no Irã. Devido à multiplicidade de indicadores, foi apresentado um método MCDM combinando o AAHP, Entropia e TOPSIS. Os resultados obtidos foram consistentes quanto ao comportamento dos planos de drenagem urbana contra inundações urbanas.

Por outro lado, considerando fundos de vale urbanos como áreas muito afetadas pela poluição, Pereira *et al.* (2018) utilizou indicadores relacionados: ao saneamento básico; à vegetação ciliar; aos impactos ambientais; à integração dos cursos d'água com o município e a população; e às iniciativas de educação ambiental para avaliar os córregos Mandacaru e Betty, Maringá – PR. Os resultados mostraram que as áreas foram classificadas como ruins.

Por fim, na busca de produzir uma ferramenta eficiente que possibilite avaliar a gestão das redes de drenagem, Igroufa *et al.* (2020) consideraram indicadores de desempenho como ferramentas de avaliação benéficas no gerenciamento de SDU na cidade de Bejaia, Argélia. A investigação fornece informações úteis para os gestores do Serviço de Saneamento da Argélia, visando atuar melhor nas falhas do SDU e aumentar sua vida útil.

4.3 Aplicação dos IFS

Cardoso (2008) afirma que a utilização de indicadores para a avaliação do desempenho dos operadores de serviços de águas e resíduos já eram adotados pelo Instituto Regulador de Águas e Resíduos de Portugal, em 2005, como um mecanismo de gestão pública. No Brasil, a utilização de IFS em SDU, como instrumento de gestão pública, se deu no âmbito do Plano Municipal de Saneamento de Alagoinhas/BA, em 2004. E, de acordo com Hauger *et al.* (2006), o uso de tais indicadores não é uma técnica recente. Logo, se levanta uma questão quanto a caracterização dos IFS como uma técnica possivelmente datada

Nesse sentido, foi conduzida, e publicada na Revista *Contribuciones a Las Ciencias Sociales* (ISSN 1988-7833, v.17, n.18) em 06 de agosto de 2024 por Rodrigues *et al.* (Anexo A), uma Revisão Sistemática da Literatura acerca do uso de Indicadores de Fragilidade de Sistemas de Drenagem Urbana como Suporte à Avaliação do Desempenho, abordando a aplicabilidade de IFS na avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana, visando compreender os critérios para sua utilização e os processos metodológicos mais recomendados para sua aplicação, a fim de obter resultados mais precisos quanto a situação real em que se encontram esses sistemas. Para tal, a pesquisa partiu da busca de artigos nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, e auxílio do *software* StArt para seleção e sumarização dos resultados, obtendo-se assim uma relação de 10 artigos, conforme expresso no Quadro 2.

Quadro 2 – Relação de artigos incluídos na pesquisa.

TÍTULO	AUTORES	ANO	PAÍS	REVISTA
Indicators of hazard, vulnerability and risk in urban drainage	Hauger, M.B.; Mouchel, J.M.; Mikkelsen, P.S.	2006	Dinamarca	Water science and technology
A case independent approach on the impact of climate change effects on combined sewer system performance	Kleidorfer, M.; Möderl, M.; Sitzenfrie, R.; Ulrich, C.; Rauch, W.	2009	Áustria	Water science and technology
Identifying weak points of urban drainage systems by means of VulNetUD	Möderl, M.; Kleidorfer, M.; Sitzenfrie, R.; Rauch, W.	2009	Áustria	Water science and technology

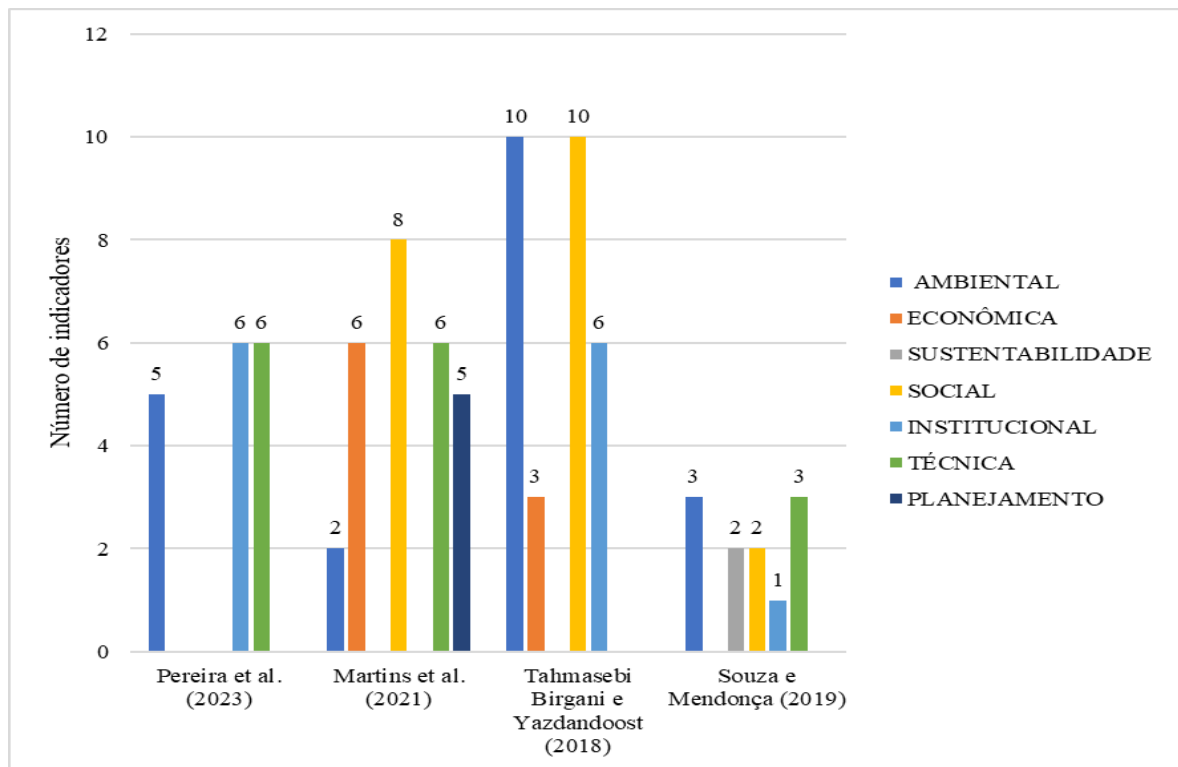
TÍTULO	AUTORES	ANO	PAÍS	REVISTA
An Integrated Framework to Evaluate Resilient-Sustainable Urban Drainage Management Plans Using a Combined-adaptive MCDM Technique	Tahmasebi Birgani, Y.; Yazdandoost, F.	2018	Irã	Water resources management
Environmental integrity preliminary assessment of valley bottoms	Pereira, P.P.; Paredes, E. A.; Okawa, C.M.	2018	Brasil	Engenharia sanitária e ambiental
A multi-objective and multicriteria methodology for performance evaluation of urban drainage systems	Souza, M.A.A. de; Mendonca, E.C.	2019	Brasil	Ingenieria del agua
Development of an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems	Igroufa, M.; Benzerra, A.; Seghir, A.	2020	Argélia	Water science and technology
Sustainable neighbourhoods: Applicable indicators through principal component analysis	Martins, M.S.; Kalil, R.M.L.; Rosa, F.D.	2021	Brasil	Urban design and planning
Evaluating the Role of Urban Drainage Flaws in Triggering Cascading Effects on Critical Infrastructure, Affecting Urban Resilience	Oliveira, A.K.B. de; Battemarco, B.P.; Barbaro, G.; Gomes, M.V.R.; Cabral, F.M.; de Oliveira Pereira Bezerra, R.; ... & Miguez, M.G.	2022	Brasil	Infrastructures
Performance evaluation of urban drainage systems: an analytic hierarchy process approach for the Jaracati basin in Brazil	Pereira, R.F.S.; Figueiredo, N.M. de; Campos Filho, L.C.	2023	Brasil	Acta scientiarum-technology

Fonte: Rodrigues *et al.* (2024).

Segundo os autores, quanto à escolha dos indicadores, nos artigos dispostos foram utilizados modelos computacionais, ferramentas auxiliaadoras e de métodos multicritérios de tomada de decisão, além da opinião de especialistas da área. Os indicadores variaram conforme o objeto de estudo, o objetivo da avaliação e a caracterização da área a ser estudada. Logo, não foi possível estabelecer um padrão ou metodologia unificada. Porém, sabe-se que existem componentes padrão em todo sistema de drenagem que devem ser avaliados para estipular uma tendência a ser considerada. Também foram mencionadas as problemáticas recorrente dos sistemas devido os índices de precipitações e inundações.

Dos artigos analisados, 5 (cinco) referem-se à classificação dos Indicadores de Fragilidade de Sistemas (IFS) que utilizaram parâmetros próprios, agrupando-os de forma arbitrária e sem relação específicas entre si. Os outros 4 (quatro), agruparam os indicadores em, pelo menos, 1 (uma) das seguintes naturezas: ambiental, econômica, sustentabilidade, social, institucional, técnica e planejamento; conforme a distribuição observada na Figura 5. Apenas 1 (um) artigo não classifica os seus indicadores.

Figura 5 – Gráfico com a disposição do número de indicadores por natureza.



Fonte: Rodrigues *et al.* (2024).

Desse modo, foi possível estabelecer uma média de, pelo menos 5 (cinco) indicadores por natureza, considerando as 7 (sete) classes. Também se observa que as naturezas ambiental, social, institucional e técnica estão presentes em, pelo menos, dois artigos distintos, expondo assim um padrão a ser observado. Destaca-se que essa metodologia é similar à utilizada no Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas/BA (Prefeitura Municipal de Alagoinhas, 2004), cujo IFS são caracterizados por natureza tecnológica, ambiental e institucional.

Também foi observado que há uma tendência de incrementar o uso de indicadores com auxílio de ferramentas de sustentabilidade, como Bream Communities, CASBEE-UD, LEED-ND, Aqua Neighbourhood, 2030 Districts e Livability Index; modelos computacionais, como VulNet UD, SWMM 5.0 e MODCELL; e métodos multicritério e de tomadas de decisão, como TOPSIS, AAHP e ELECTRE-TRI; melhorando sua eficiência, precisão e adaptabilidade em novos cenários.

Quanto à caracterização, constatou-se que os IFS de natureza ambiental, aplicados nos SDU, avaliavam a interação entre um produto, atividade ou serviço com o meio ao qual está

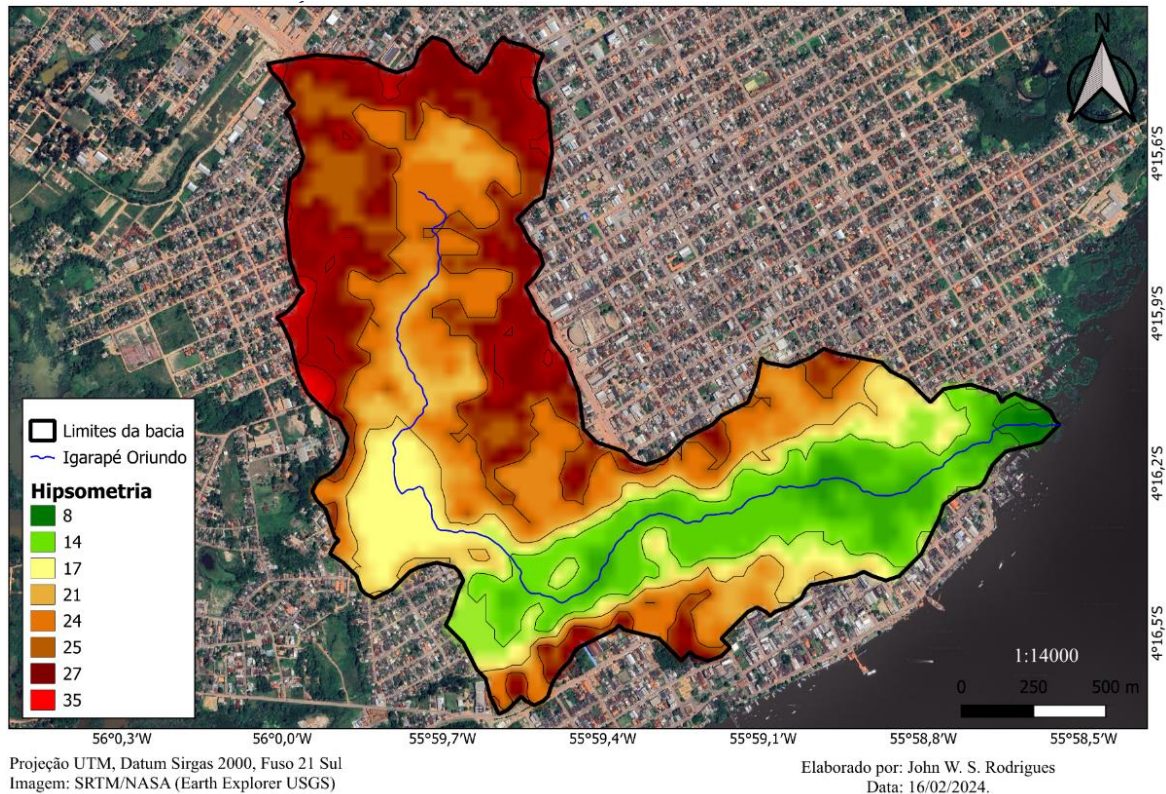
inserido, podendo ocasionar impactos negativos ou positivos; no âmbito social, se levava em consideração a sensibilidade e o atendimento às comunidades envolvidas; a natureza institucional se atenta a organização, estrutura e gestão pública; e, por fim, a natureza técnica se refere ao conhecimento específico, habilidades ou técnicas aplicadas. Visto isso, foi possível conduzir o presente estudo ao definir as melhores formas de utilizar os IFS na avaliação da vulnerabilidade dos SDU.

4.4 Macrocontexto da Microbacia Igarapé Oriundo

Martins (2012) afirma que toda bacia hidrográfica é composta por uma rede de elementos de drenagem constituída por rios, riachos, córregos e pântanos ou várzeas, que naturalmente se formaram e se mantem em função da dinâmica das precipitações e das características do terreno, como tipo de solo, declividades, cobertura vegetal, entre outros. Nesse sentido, foi conduzida, e publicada na Revista Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes (ISSN 2317-8604, v. 12, n. 35) em 20 de julho de 2024 por Rodrigues e Silva Junior (Anexo B), uma pesquisa a fim de delimitação da área de contribuição da Bacia do Igarapé Oriundo (Figura 6), assim como definir suas características físicas e morfo-hidrológicas (Tabela 1). Tal estudo partiu do uso de dados altimétricos SRTM (Earth Explorer) e análise em ambiente SIG (QGIS).

A bacia de drenagem do Igarapé Oriundo é uma sub-bacia do rio Tapajós. Possui uma área aproximada de 2,73 km², perímetro de 10,41 km e comprimento axial da bacia de 3,82 km. Em termos topográficos, apresenta uma altitude média de 21,15 m, diferença altimétrica de 27 m e declividade média de 3,97 %. O rio principal possui uma extensão total de 4,05 km.

Figura 6 – Delimitação e hipsometria da bacia de drenagem do Igarapé Oriundo.



Fonte: Rodrigues e Silva Junior (2024).


Tabela 1 – Índices morfométricos da bacia de drenagem do Igarapé Oriundo.

Parâmetros	Valores obtidos	Classificação
Coefficiente de Compacidade – Kc	2,76 km/km ²	Não sujeita a grandes enchentes
Fator de Forma – Kf	0,19 km/km	Não sujeita a enchentes
Razão de Elongação – Re	0,49 km ² /km	Bacia alongada menos sujeita a enchentes
Densidade de Drenagem – D_d	1,49 km/km ²	Drenagem regular
Razão de Relevô (Rr)	0,01 km/km	Baixa
Índice de Sinuosidade – Is	1,06 km/km	Canal retilíneo

Fonte: Rodrigues e Silva Junior (2024).

Como parâmetro hidrológico, os Rodrigues e Silva Junior (2024) optaram por calcular a vazão máxima pelo método racional, obtendo: coeficiente de escoamento superficial (C) = 0,7; tempo de concentração (t_c) de 98,61 minutos; intensidade de precipitação (i) de 55,83 mm/h, para um tempo de retorno (TR) de 10 anos, e 65,75 mm/h, para um TR de 25 anos. Desse modo, as vazões máximas calculadas para os TRs de 10 e 25 anos foram 29,64 e 34,90 m³/s, respectivamente. A partir dessas vazões, os autores estimaram uma seção hidráulica compatível com o escoamento, com vistas à revitalização e renaturalização do Igarapé, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Síntese do dimensionamento para a seção hidráulica do Igarapé revitalizado.

Proposta de revitalização para o Igarapé	Dimensionamento
	<ul style="list-style-type: none"> Para TR = 10 anos ($Q = 29,64 \text{ m}^3/\text{s}$) Considerando: $n = 0,040$, $I = 0,00395\text{m/m}$; $z = 1$; e $b = 9 \text{ m}$. Obteve-se o valor para $Y_n = 1,56\text{m}$. Assim como $A = 16,46 \text{ m}^2$, $v = 1,80 \text{ m/s}$, $B = 12,12 \text{ m}$. Para TR = 25 anos ($Q = 34,90 \text{ m}^3/\text{s}$) Considerando: $n = 0,040$, $I = 0,00395\text{m/m}$; $z = 1$; e $b = 9 \text{ m}$. Obteve-se o valor para $Y_n = 1,72\text{m}$. Assim como $A = 18,39 \text{ m}^2$, $v = 1,90 \text{ m/s}$, $B = 12,43 \text{ m}$.

Fonte: Rodrigues e Silva Junior (2024).

Tendo isso em vista, Rodrigues e Silva Junior (2024), puderam caracterizar a bacia de drenagem do Igarapé Oriundo como de pequeno porte ($2,73 \text{ km}^2$) e, logo, mais susceptível a intervenções antrópicas do que às suas características morfo-hidrológicas. Os autores explicam que tal fator pode ser observado quando se considera que, devido ao formato alongado, há uma menor susceptibilidade a enchentes; e que seu relevo de colinas suaves e terreno suavemente ondulado implicam em uma resposta hidrológica lenta, diminuindo os picos de cheia. Entretanto, o alto grau de impermeabilização observado ($C=0,70$) implica no aumento da taxa de escoamento superficial e, logo, elevação dos picos de vazão. Tais fatores, aliados à insuficiência do sistema de drenagem e ocupação irregular das margens, ocasionam frequentes casos de inundações locais, mesmo em eventos normais de chuva. Além disso, a definição da seção hidráulica ótima permitiu projetar a dimensão natural do canal a ser recuperada, o que não pode ser almejado sem a desapropriação das margens do Igarapé.

5 METODOLOGIA

5.1 Caracterização da Área de Estudo

Localizada na região sudoeste do Pará, a uma latitude 04°16'34 Sul e a uma longitude 55°59'01 Oeste, a cidade de Itaituba contava com uma população de 123.314 habitantes em 2022 e uma extensão territorial de 62.042,472 Km² (IBGE, 2023b). Em 2019, o seu núcleo urbano possuía uma área de 33,42 km², com 2,3% de urbanização das vias públicas em 2010 (IBGE, 2023b).

Segundo o relatório das condições meteorológicas características de Itaituba, com base em uma análise estatística de relatórios horários históricos e reconstruções de modelo de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016 (Weather Spark, 2023), no município a temperatura apresentava variação de 23 °C a 34 °C e raramente ficava abaixo dos 21 °C ou acima dos 37 °C. Quanto à precipitação, as estações chuvosas coincidiam com os meses de dezembro a junho, sendo fevereiro o mês mais chuvoso com média de 282 mm de precipitação; e as menos chuvosas nos meses de julho a novembro, com julho sendo o menos chuvoso com média de 46 mm.

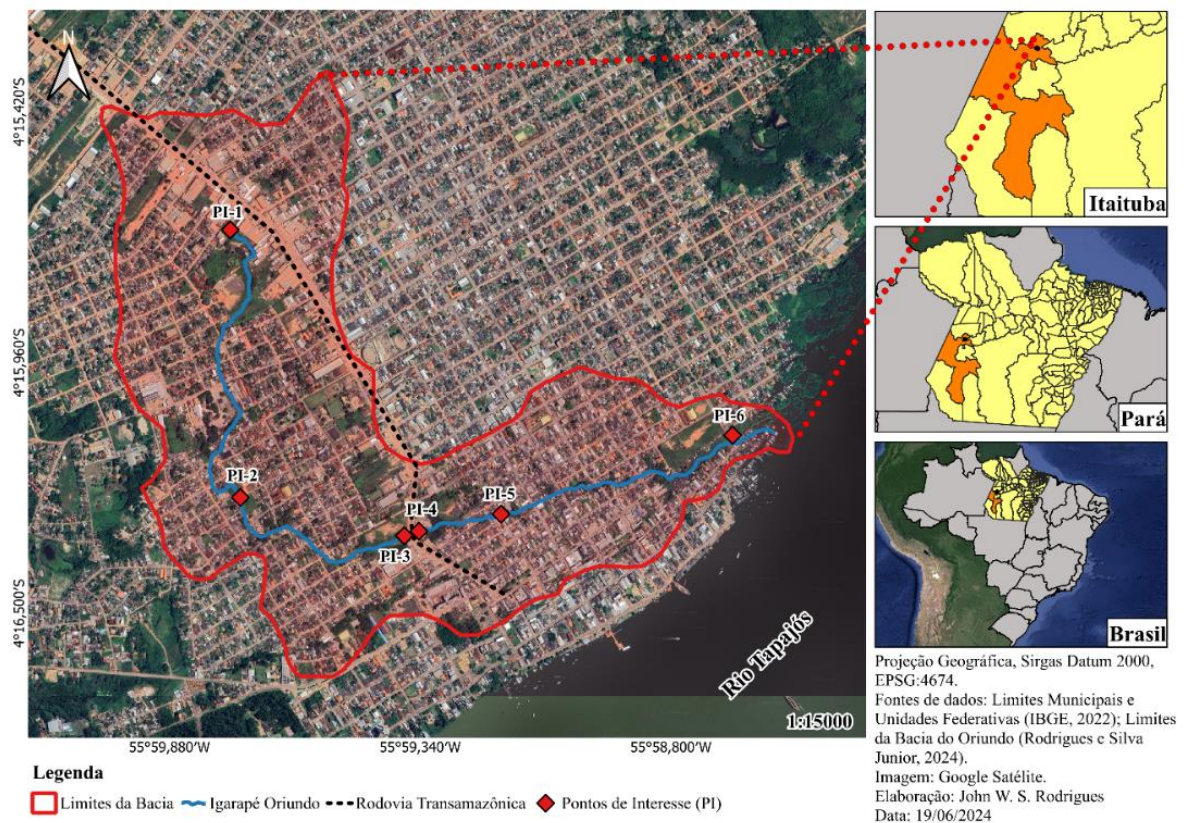
A realidade atual mostra um cenário desenhado por um processo urbanístico sem planejamento, promovendo impactos como: ocupação irregular nas margens dos cursos d'água, processos de assoreamento, eutrofização, interações negativas dos sistemas de drenagem urbana com os efluentes domésticos, disposição irregular dos resíduos sólidos, dentre outros. Tais fatores favorecem à fragilidade dos sistemas de drenagem urbana, afetando diretamente o seu desempenho durante os eventos extremos de chuva, justificando assim, a importância deste projeto de pesquisa aplicado ao município.

Neste tocante, esse fato pode ser exemplificado pelo evento de chuva ocorrido em 11 de maio de 2023 (173,4 mm entre 9h00 e 15h00, com 104 mm precipitados em 2 horas e registrados no posto pluviográfico de Itaituba – código INMET A231), que promoveu uma série de alagamentos na cidade, afetando, principalmente, os pontos estratégicos de mobilidade urbana, como a Rodovia Transamazônica (Silva Junior *et al.*, 2023).

A área a ser estudada na presente pesquisa se refere ao canal de macrodrenagem natural do Igarapé Oriundo. O Igarapé está totalmente inserido no núcleo urbano da cidade de Itaituba (Figura 7), com uma extensão de cerca de 4 km, e desague no rio Tapajós, logo, caracterizando sua bacia como uma sub-bacia da Bacia do Rio Tapajós.

Por conseguinte, foi definida a localização dos pontos de interesse (PI) considerando os trechos mais susceptíveis às intervenções antrópicas, obtendo-se assim: PI-1: nascente do igarapé; PI-2: ponto de mais recente urbanização; PI-3 e PI-4: margem esquerda e direita à intersecção entre o igarapé e a Rodovia Transamazônica; PI-5: área de urbanização consolidada; e PI-6: foz do igarapé, conforme se observa na Figura 7 e Quadro 4.

Figura 7 – Disposição dos pontos de interesse a serem aplicados os IFS.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 4 – Localização dos pontos de interesse para aplicação dos IFS.

PI	Localização	Bairro	Coordenadas	
			X (Long.)	Y (Lat.)
1	R. Décima/ Primeira Tv. da Floresta	Floresta	55°59'44.94"O	4°15'40.40"S
2	9° R. da Liberdade/ Quarta Tv. da Liberdade	Liberdade	55°59'43.64"O	4°16'15.00"S
3	Margem esquerda da Rodovia Transamazônica	Liberdade	55°59'22.45"O	4°16'19.94"S
4	Margem esquerda da Rodovia Transamazônica	N. Sra. Perp. Socorro	55°59'20.55"O	4°16'19.36"S
5	Tv. Quinze de Agosto/ entre Passagem Antônio de Oliveira e Av. Juvenal Ferreira Lima	N. Sra. Perp. Socorro	55°59'9.94"O	4°16'17.15"S
6	Ponte Walmir Clímaco	São José	55°58'40.02"O	4°16'6.95"S

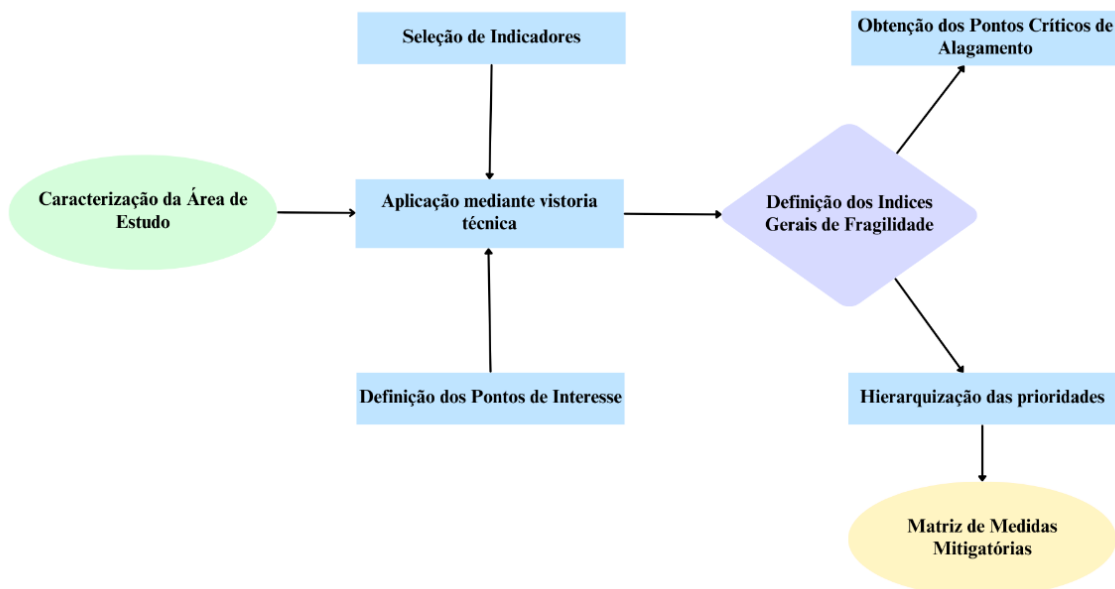
Fonte: Autoria própria.

5.2 Seleção e Aplicação dos Indicadores

Esta pesquisa está enquadrada como exploratória e descritiva, quanto aos fins, e quanto aos meios, se apoia em um estudo de caso, como técnica de coleta de dados e informações, contemplando uma análise quali-quantitativa (Marconi; Lakatos, 2017).

Após a caracterização da microbacia do Igarapé Oriundo, apresentada na seção anterior, o processo metodológico adotado nesta pesquisa pode ser resumido no diagrama explicativo da Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma com representação do processo metodológico adotado na pesquisa



Fonte: Autoria própria.

A seleção dos indicadores é baseada na metodologia desenvolvida por Silva *et al.* (2004) e incrementada, sobretudo pelos indicadores de natureza social, na relação obtida mediante Revisão Sistemática de Literatura (RSL), usando o *software* StArt e consultando as bases de dados da *Scopus* e *Web of Science*. Tal método, conduzido por Rodrigues *et al.* (2024), selecionou 10 artigos aderentes às *strings* de busca acerca dos indicadores de fragilidade aplicados na avaliação de sistemas de drenagem urbana, com destaque às metodologias de Birgani e Yazdandoost (2018), Souza e Mendonça (2019), e Pereira *et al.* (2023). Ao todo, foram utilizados, nesta pesquisa, 20 indicadores contemplando as naturezas ambiental, social, técnica e institucional, conforme se observa no Quadro 5.

Quadro 5 – Relação dos indicadores, por natureza, e abordagem a ser aplicada.

	Indicadores	Parâmetros de Análise
AMBIENTAL	1. Ocorrência de alagamentos	Considera a presença de inundações no ponto, podendo ser considerados críticos de acordo com a frequência de ocorrência.
	2. Degradação física do solo adjacente aos canais	Pondera quanto a remoção de vegetação natural das margens do igarapé e entorno, com observação da exposição do solo e estabilidade dos taludes laterais do canal.
	3. Ocupação de áreas propensas a inundações e enchentes	Observa a ocupação irregular de áreas de risco nas margens e áreas de inundação natural do igarapé.
	4. Deposição de resíduos sólidos e sedimentos em vias públicas	Pondera quanto a deposição e acúmulo de resíduos em vias de acesso, potencialmente carregados durante eventos de precipitação ou inundação.
	5. Canalização e revestimento da seção hidráulica do corpo receptor	Dispõe quanto às intervenções físicas efetuadas no igarapé, como retificação do curso natural e impermeabilização do leito e margens.
	6. Sedimentação de canais e galerias	Trata sobre o potencial de assoreamento no leito do canal e dispositivos de drenagem.
	7. Presença de cargas poluentes	Observa, de modo superficial, a presença de resíduos sólidos (lixo) e lançamento de efluentes (esgoto doméstico) no corpo receptor.
SOCIAL	8. Aceitação social do sistema de drenagem urbana	Aborda a interação da população com o igarapé quanto sistema de macrodrenagem, visando identificar a noção desta, quanto a funcionalidade e melhorias a serem implementadas.
	9. Risco e vulnerabilidade à saúde pública	Reflete acerca da exposição da população a contaminação por poluição, proliferação de pragas e as inundações urbanas.
	10. Educação ambiental	Considera a consciência da população ribeirinha em relação ao igarapé e entorno como meio ambiente no qual estão inseridos, com ênfase nas práticas de sustentabilidade conhecidas e/ou adotadas.
TÉCNICA	11. Capacidade e eficiência de coleta de microdispositivos de drenagem e escoamento superficial em vias	Avaliação do dimensionamento e eficiência dos dispositivos de microdrenagem existentes
	12. Capacidade e eficiência de escoamento da macrodrenagem	Avaliação do dimensionamento e eficiência dos dispositivos de macrodrenagem existentes
	13. Redução da vida útil das estruturas de drenagem	Caracterização da resiliência e vulnerabilidade dos dispositivos de drenagem quanto ao sucateamento devido falta de manutenção e ocorrência de eventos extremos de precipitação.
	14. Diminuição da urbanização e impermeabilização de superfícies em áreas urbanas	Identificação da diferença de uso e ocupação do solo, destacando o avanço da impermeabilização das áreas urbanas.
	15. Mitigação da obstrução por deposição de lixo e sedimentos de rios, canais e galerias	Frequência de manutenção do sistema de drenagem, com desobstrução de dispositivos devido ao acúmulo de lixo e sedimentos.
	16. Aplicação de medidas de controle estruturais e não estruturais	Presença de técnicas compensatórias alternativas ao sistema de drenagem convencional.
INSTITUCIONAL	17. Cumprimento dos planos diretor e de zoneamento	Atendimento às normas de zoneamento urbano dispostas no plano diretor municipal.
	18. Atuação dos órgãos públicos no controle de medidas estruturais e não estruturais	Normalização e fiscalização de medidas de controle estruturais e não estruturais prevista em Código de Obras municipal.
	19. Investimentos públicos em obras de drenagem	Investimento da gestão municipal na conservação e ampliação do sistema de drenagem vigente.
	20. Projetos de Mitigação de Impactos	Identificação de projetos de reação aos eventos de precipitação extremos, como o incentivo ao uso de técnicas compensatórias a fim de eliminar ou reduzir os impactos de alagamentos urbanas.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2004); Birgani e Yazdandoost (2018); Souza e Mendonça (2019); e Pereira et al. (2023).

A fim de caracterizar a fragilidade observada, foram aplicados pesos, que variam de 0 a 5, onde 0 representa que não há manifestação e 5 representa muito agravante manifestação (Tabela 2); aos IFS conforme a metodologia desenvolvida por Santos Júnior (2013). Desse modo, foram calculados e classificados os Índices Gerais de Fragilidade – IFG (Tabela 3) por ponto de interesse, obtidos a partir da somatória dos pesos atribuídos aos IFS.

Tabela 2 – Valores (pesos) em função da manifestação dos indicadores.

Valores (Pesos)	Manifestação dos Indicadores
0	Fator Inexistente no Ponto
1	Sem agravante
2	Pouco agravante
3	Medianamente agravante
4	Moderadamente agravante
5	Muito agravante

Fonte: Adaptado de Santos Júnior (2013).

Tabela 3 – Índice Geral de Fragilidade: graus e intervalos.

Graus de fragilidade	Intervalos
Muito Baixa	0 a 20
Baixa	21 a 41
Média	42 a 62
Forte	63 a 83
Muito Forte	84 a 104

Fonte: Adaptado de Santos Júnior (2014).

Para a atribuição dos pesos aos IFS, foram procedidas vistorias técnicas *in loco* na microbacia do Igarapé Oriundo, que se iniciou a partir de sua nascente, na R. Décima/ Primeira Tv. Do Bairro da Floresta, e seguiu pelos pontos de interesse dispostos até a sua desembocadura no Rio Tapajós. Os seis pontos de interesse foram vistoriados em duas campanhas realizadas em maio de 2023 e junho de 2024, ambos no período de inverno amazônico. Na oportunidade, foram realizados registros fotográficos dos componentes da macrodrenagem, destacando as fragilidades observadas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Diagnóstico Ponto-a-Ponto da Microbacia do Igarapé Oriundo

6.1.1 PI-1: Nascente

A nascente do Igarapé (PI-1) é o ponto mais preservado, com mata ciliar ainda presente, sem ocupação irregular em suas margens, com estabilidade dos taludes e leito natural presente (Figura 9a). Por outro lado, foi observado um preocupante despejo irregular de resíduos sólidos e efluentes domésticos direto no canal (Figura 9b), comprometendo a qualidade da água e, por conseguinte, todo o ecossistema aquático local. Além disso, foi possível observar uma redução gradativa da cobertura vegetal e exposição do solo em trechos próximos à região da nascente (Figura 9c). Segundo o disposto pelo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012), as regiões no entorno das nascentes devem apresentar Áreas de Preservação Permanente (APP) de no raio mínimo de cinquenta metros, porém, no ponto observado, a APP não supera dez metros de raio.

Figura 9 – Registros fotográficos do PI-1 (nascente do Igarapé) em junho de 2024: A) seção hidráulica com presença de mata ciliar nas margens e leito natural; B) lançamento de esgoto e lixo em ponto adjacente à nascente; e C) deflorestamento e exposição do solo da margem.



Fonte: Autoria própria.

É válido considerar que, segundo Silva Junior *et al.* (2023), o igarapé sofreu fortes alterações no período de maio de 2023 por conta de um evento de precipitação extrema, com notável diferença na cobertura vegetal, exposição das margens e carreamento do revestimento natural do leito (Figura 10). Corroborando com Cavalcante *et al.* (2020) ao dispor que a cobertura vegetal do solo pode ser alterada desde ações antrópicas a eventos climáticos.

Figura 10 – Contraste da situação de trecho a nascente do igarapé: A) mediante EPE em maio de 2023; B) em condições normais, junho de 2024.



Fonte: Autoria própria.

6.1.2 PI-2: “Invasão da Liberdade”

No PI-2, área de recente urbanização, foi observado o avanço da ocupação sobre a área de várzea do Igarapé, com estrangulamento de sua seção irregular e canalização da mesma, culminando no desvio do curso natural do Igarapé (Figura 11a). A nova seção é no formato trapezoidal e sem revestimento, com assoreamento considerável (Figura 11b). Não foi notado nenhum tipo de dispositivo de microdrenagem para coleta e condução das águas pluviais nas vias adjacentes ao Igarapé.

Figura 11 – Registros fotográficos no PI-2 (Bairro da Liberdade) em junho de 2024, com destaque a: A) desvio do curso natural do córrego (seta vermelha); B) para novo curso (seta azul).



Fonte: Autoria própria.

Quanto à natureza institucional, a Lei Municipal de Zoneamento Urbano, nº 2.885/2015 (Itaituba, 2015), constitui a Zona de Interesse Ambiental (ZIA) do Oriundo como uma faixa irregular de 30 metros de cada margem ao longo do Igarapé Oriundo, desde o Bairro Bom

Remédio, até o limite da primeira quadra do Bairro Bela Vista adjacente à Rodovia Transamazônica. Condizente ao disposto no Código Florestal (Brasil, 2012), que estabelece faixa de APP de, no mínimo, 30 m para corpos d'água urbanos com menos de 10 m de largura.

Não obstante, a Lei Municipal de Zoneamento Urbano (Itaituba, 2015) dispõe que, em uma ZIA, os índices urbanísticos de taxa de ocupação (TC) deve ser de, no máximo, 5%; coeficiente de permeabilidade (CP) de, no mínimo 0,9; e cobertura vegetal arbórea mínima de 0,6. Segundo Rodrigues e Silva Junior (2024), o coeficiente de escoamento superficial (C) estimado para a bacia de drenagem do Igarapé Oriundo foi de 0,7 e, logo, o coeficiente de permeabilidade seria de 0,3. Nesse sentido, pode-se observar que esse critério se torna agravante conforme avança a ocupação nesse ponto.

6.1.3 PI-3 e PI-4: Rodovia Transamazônica

Na intersecção entre o canal do Igarapé Oriundo com a Rodovia Transamazônica (BR-163), foram observadas diferenças significativas entre a margem esquerda (PI-3) e direita (PI-4). Naturalmente, no PI-3 se observa uma “lagoa” (grande área de várzea do Igarapé) com cobertura vegetal total do espelho d'água e fluxo lento, funcionando como uma bacia de detenção natural. Intervenções antrópicas preliminares são observadas nas suas margens, com progressivo aterramento da área de várzea e lançamento de entulhos (Figura 12a). Por outro lado, no PI-4 a ocupação das margens do igarapé já se encontra consolidada, apresentando acentuados estreitamentos de sua seção hidráulica (Figura 12b), e corroborando com o observado por Tucci (2007), onde afirma que a ocupação tende a ser de jusante para montante.

Figura 12 – Registros fotográficos no cruzamento da Rodovia Transamazônica com o Igarapé Oriundo em junho de 2024: A) PI-3, lado esquerdo da intersecção; B) PI-4, lado direito da intersecção.



Fonte: Autoria própria.

No quesito técnico, foi possível identificar a presença de dispositivos de coleta e condução de águas pluviais na Rodovia Transamazônica, porém somente no lado esquerdo da via (PI-3), conforme se observa na Figura 13a. No lado direito, foi observado a existência, apenas, de canaletas trapezoidais com lançamento direto no igarapé, onde muitas destas estão desgastadas ou são inexistentes em alguns trechos. Na transposição do igarapé pela Rodovia, há três bueiros tubulares com diâmetros de 1,0, 1,2 e 2,0 m (Figura 13b), e altura entre a geratriz superior dos tubos até o asfalto da Rodovia de cerca 1,0 m (em PI-3) e 0,6 m (PI-4). Foi observada obstrução de tubulação central devido ao assoreamento e vegetação e, por isso, inutilização destas com desvio do fluxo para as auxiliares.

Figura 13 – Registros fotográficos no cruzamento da Rodovia Transamazônica com o Igarapé Oriundo em agosto de 2024: A) vista superior de galeria de microdrenagem em PI-3; e B) dispositivos de transposição do canal em PI-4.



Fonte: A autoria própria.

6.1.4 PI-5: Travessa Quinze de Agosto

No PI-5, o igarapé trespassa a Travessa Quinze de Agosto por meio de um conduto tubular em aço, com cerca de 1,20 m de diâmetro e duas tubulações auxiliares de 70 cm (Figura 14a). Quanto à microdrenagem, notou-se a presença, apenas, de canaletas com lançamento direto no canal, conforme Figura 14b.

Figura 14 – Registros fotográficos no ponto de interesse no PI-5 em setembro de 2024: A) Dispositivos de macrodrenagem para transposição do canal pela via; e B) canaletas com lançamento direto no canal.



Fonte: Autoria própria.

Pode ser observada a presença de edificações não apenas nas margens, mas também estruturadas no leito do igarapé, conhecidas como palafitas (Figura 15a). Nesse ponto, pôde ser observada a estagnação da vazão devido ao acúmulo de resíduos e vegetação, inclusive obstrução das tubulações auxiliares (Figura 15b), com a água de coloração sempre turva e fluxo desacelerado. Além disso, destaca-se também o lançamento de esgoto e dejetos domésticos direto no corpo d'água, favorecendo a proliferação de doenças (Figura 15c).

Figura 15 – Registros fotográficos no ponto de interesse na Tv. 15 de Agosto, com ênfase: A) tubulações auxiliares obstruídas e inutilizadas; B) habitações e entulhos no leito do córrego, C) lançamento de efluentes domésticos direto no canal.



Fonte: Autoria própria.

Segundo o Coordenador da Diretoria Técnica (DITEC) da Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEMINFRA) de Itaituba, Engenheiro Civil José Alcir Oliveira da Silva Júnior (CREA 151525739-8 PA), todos os locais, desde a foz até a Rodovia Transamazônica, em que o igarapé é trespassado por vias, são caracterizados como pontos críticos de alagamento, como o caso do PI-5. Isso ocorre devido à rede de macrodrenagem estar subdimensionada ou

insuficiente para a demanda de vazão, problema esse acentuado pelo pouco serviço de manutenção e obstrução parcial ou total dos condutos, conforme observado.

Além disso, todo o trecho do igarapé limitado entre a Rodovia Transamazônica e a sua foz, é definido como Zona Especial de Interesse Social (ZEIS) do Oriundo, pela Lei Municipal de Zoneamento Urbano (Itaituba, 2015). As ZEIS são áreas urbanas marcadas pela fragilidade e caráter precário de ocupação, com presença da população de baixa renda. Assim, podemos considerar inundações urbanas nesses trechos como caso de saúde pública.

6.1.5 PI-6: Foz do Igarapé

Por fim, o PI-6 corresponde a desembocadura do Igarapé Oriundo no Rio Tapajós. É o trecho com mais larga área de inundação natural em comparação a seção do igarapé, com densa cobertura vegetal em todo o leito. Esse trecho sofre com remanso proveniente da variação de nível do Rio Tapajós durante a época de cheia. Segundo Silva (2014), a ocorrência do remanso é responsável por provocar um fluxo inverso (refluxo) das águas pluviais culminando no afogamento das galerias e, logo, na inundação de diversos pontos a montante.

Todavia, não há canalização do igarapé e nem dispositivos de macrodrenagem nesse trecho, portanto o efeito do remanso é concentrado na área de inundação. Corroborando com a avaliação de Silva Junior *et al.* (2023), onde foi observado que a desembocadura do canal é o ponto com maior resiliência aos efeitos de eventos de precipitação extremos devido, sobretudo, a baixas intervenções na área de inundação natural e alto relevo das margens propiciando a formação de um grande lago de amortecimento de vazão, conforme Figura 16.

Figura 16 – Situação da desembocadura do canal mediante: A) ao EPE em maio de 2023; e B) em condições normais, junho de 2024.



Fonte: Autoria própria.

Além disso, conforme se observa na Figura 16a, se identifica o lançamento de efluentes domésticos e resíduos sólidos provenientes das moradias ribeirinhas nas áreas adjacentes, afetando o equilíbrio ecológico na região.

6.2 Aplicação dos IFS nos Pontos de Interesse da Microbacia do Igarapé Oriundo

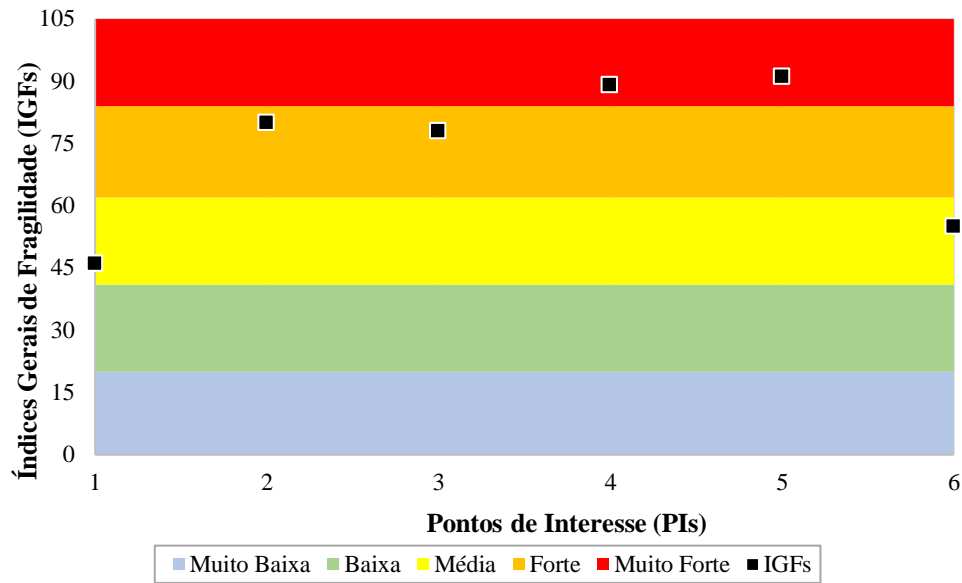
Considerando o diagnóstico conduzido nos pontos, foi possível aplicar os pesos aos IFS e obter o IGF, conforme se observa na Tabela 4 e Figura 17.

Tabela 4 – Resultado da aplicação dos IFS aos pontos de interesse.

	Indicadores	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PI-5	PI-6
AMBIENTAL	1. Ocorrência de alagamentos	0	4	3	5	5	0
	2. Degradação física do solo adjacente aos canais	3	4	3	5	5	3
	3. Ocupação de áreas propensas a inundações e enchentes	2	5	3	5	5	3
	4. Deposição de resíduos sólidos e sedimentos em vias públicas	0	0	0	0	2	0
	5. Canalização e revestimento da seção hidráulica do corpo receptor	0	0	3	4	4	0
	6. Sedimentação de canais e galerias	2	3	4	4	4	0
	7. Presença de cargas poluentes	5	5	5	5	5	5
	Somatório das Fragilidades de Natureza Ambiental	12	21	21	28	30	11
SOCIAL	8. Aceitação social do sistema de drenagem urbana	0	5	5	5	5	5
	9. Risco e vulnerabilidade à saúde pública	3	5	5	5	5	3
	10. Educação ambiental	0	5	5	5	5	4
	Somatório das Fragilidades de Natureza Social	3	15	15	15	15	12
TÉCNICA	11. Capacidade e eficiência de coleta de microdispositivos de drenagem e escoamento superficial em estradas	0	5	2	5	5	2
	12. Capacidade e eficiência de escoamento da macrodrenagem	0	3	4	4	4	0
	13. Redução da vida útil das estruturas de drenagem	0	3	4	4	4	0
	14. Diminuição da urbanização e impermeabilização de superfícies em áreas urbanas	4	5	4	5	5	3
	15. Mitigação da obstrução por deposição de lixo e sedimentos de rios, canais e galerias	3	4	5	5	5	3
	16. Aplicação de medidas de controle estruturais e não estruturais	5	5	5	5	5	5
	Somatório das Fragilidades de Natureza Técnica	12	25	24	28	28	13
INSTITUCIONAL	17. Cumprimento dos planos diretor e de zoneamento	5	5	5	5	5	5
	18. Atuação dos órgãos públicos no controle de medidas estruturais e não estruturais	4	4	4	4	4	4
	19. Investimentos públicos em obras de drenagem	5	5	5	5	5	5
	20. Projetos de mitigação de impactos	5	5	4	4	4	5
	Somatório das Fragilidades de Natureza Institucional	19	19	18	18	18	19
ÍNDICE GERAL DE FRAGILIDADE - IGF		46	80	78	89	91	55
HIERARQUIZAÇÃO DE PRIORIDADES		6º	3º	4º	2º	1º	5º

Fonte: Autoria própria.

Figura 17 – Gráfico com disposição dos IGF e fragilidade correspondente.



Fonte: Autoria própria.

Conforme análise do IGF obtido, podemos identificar média fragilidade em PI-1 e PI-6, com destaque nas naturezas ambiental; forte fragilidade em PI-2 e PI-3, exigindo maior atenção nos aspectos técnico e ambiental; e muito forte fragilidade em PI-4 e PI-5, sobretudo nos parâmetros técnico, ambiental e social. Além disso, nota-se uma avassaladora fragilidade na natureza institucional em todos os pontos. De modo geral, a média de peso por indicador para cada natureza foi de: 5 (muito agravante) para natureza institucional; 4 (moderadamente agravante) para as naturezas técnica e social; e 3 (medianamente agravante) para a natureza ambiental.

O ponto com pior avaliação foi o PI-5, na Travessa Quinze de Agosto, com IGF 91 de 100, com máxima fragilidade na natureza social e tendo o maior índice de fragilidade na natureza ambiental entre os pontos analisados. Essa vulnerabilidade pode ser explicada por um conjunto de fatores, partindo do fato de ser um ponto crítico de alagamento. Além disso, se destaca a ocupação massiva da área de inundação natural do igarapé, com edificações sobre o seu leito (palafitas), culminando no estreitamento do curso d'água e no estrangulamento da vazão. Além disso, o subdimensionamento dos condutos de trespasse da vazão pela Travessa Quinze de Agosto; obstrução dos mesmos pelo lançamento de resíduos sólidos e falta de manutenção; e inexistência de dispositivos de coleta de microdrenagem atribuíram a esse ponto o único com observável disposição de sedimentos na via.

Em contrapartida, o PI-1 (nascente) foi o ponto com melhor avaliação entre os analisados, com IGF 46 de 100. Além disso, foi o ponto com menor fragilidade social (3/15) e técnica (12/30), devido a improbabilidade ocupacional de uma área referente a nascente. Apesar disso, se observou agravantes fragilidades no fator ambiental, sobretudo o lançamento de esgoto e depósito de resíduos sólidos; e descumprimento das disposições institucionais.

Em uma análise mais minuciosa, podemos observar que, no caráter ambiental, o igarapé ainda apresenta revestimento natural em quase toda sua extensão. Por outro lado, o indicador referente a presença de cargas poluentes foi muito agravante em todos os pontos de interesse observados, levantando uma questão quanto aos riscos ao equilíbrio do ecossistema. Além disso, foi considerada agravante a ocupação de áreas de risco, degradação física do solo nas áreas adjacentes e sedimentação do canal e dispositivos de drenagem; sendo esses fatores críticos para o funcionamento adequado de um sistema de drenagem.

Não obstante, a ocorrência de alagamentos foi considerada como agravante em todos os pontos de urbanização (de PI-2 a PI-5), o que corrobora com o elucidado por Rodrigues e Silva Junior (2024) ao relacionar os impactos antropogênicos à ocorrência de alagamentos mesmo em períodos normais de precipitação na bacia de drenagem do Oriundo; e com Oliveira *et al.* (2022) ao identificarem que regiões com massiva ocupação das áreas ribeirinhas sofrem o déficit funcional do sistema de drenagem existente.

Já em relação a natureza social, os pontos de PI-2 a PI-5 se destacam negativamente, maximizando a fragilidade possível para essa natureza (15/15). Isso foi devido a contemplação da falta de percepção da população do Igarapé Oriundo tanto como meio ambiente quanto como sistema de macrodrenagem, com extremos através da ocupação de áreas de inundação natural e, logo, retificação e estreitamento do canal; lançamento de esgoto e efluentes domésticos, favorecendo a proliferação de doenças e aumentando o risco de contaminação; depósito de resíduos sólidos e, logo, obstrução de condutos. Condizente com Pereira *et al.* (2018) ao relacionar o descarte inadequado de resíduos sólidos e líquidos com a existência de população ribeirinha no córrego Mandacaru, colocando essa população e o ecossistema em risco.

Por conseguinte, no quesito técnico, se destaca a falta de aplicação de medidas de controle estruturais e não estruturais como muito agravante em todos os seis pontos de interesse observados. A obstrução de condutos por depósito de lixo, sedimentação dos canais e considerável aumento a impermeabilização do solo são agravantes consideráveis no funcionamento técnico do sistema. Steiner (2011) demonstra que a falta de manutenção nos dispositivos de coleta se reflete na ineficiência operacional do sistema de drenagem pluvial,

cabendo a gestão se atentar ao papel do sistema de drenagem como ferramenta essencial no bem-estar social. Desse modo, se observa um sistema quase obsoleto e com notável redução na vida útil; marcado pela insuficiência dos dispositivos de drenagem e necessidade de ampliação, além da necessidade de aplicação de medidas auxiliares a esse sistema, como controle na fonte.

Por fim, no caráter institucional se mostraram as piores avaliações dos indicadores, com agravantes em todos os pontos de interesse (média de 95% do máximo de fragilidade possível para a natureza). A falta de observação do disposto nas legislações municipais, plano diretor e de zoneamento se materializam com: contaminação da nascente; ocupação irregular de áreas de risco e eventual estrangulamento da seção; aumento da população vivendo em situação de vulnerabilidade social; e, por fim, em recorrentes eventos de inundação mesmo em períodos normais de precipitação. Os indicadores referentes à atuação dos órgãos públicos no controle de medidas e projetos de mitigação de impactos desfalecem diante da falta de investimentos públicos em obras de drenagem, uma vez que, conforme disposto pelo Balanço Geral (Prefeitura Municipal de Itaituba, 2024), nos últimos cinco anos não houve investimento algum em obras de macrodrenagem do Igarapé no sentido que liga a Rodovia Transamazônica ao Rio Tapajós.

Nesse sentido, observamos uma linha tênue na relação entre as distintas naturezas, com clara influência do fator social sobre o ambiental e técnico; e da natureza institucional sobre todos esses, uma vez que, de acordo com Baum (2022), a negligência ao planejamento impacta toda a dinâmica urbana com a falta integração de um sistema com os demais projetos urbanos. Condizente com Martins (2012) ao afirmar que:

A institucionalização do setor como serviço público, assim como os sistemas de água, esgotos e resíduos sólidos, a ampliação da formação técnica dos gestores urbanos para incluir a gestão da drenagem, a garantia de fontes de investimento e custeio são os desafios a serem vencidos além da tecnologia (Martins, 2012).

6.3 Matriz de Soluções Propostas para as Fragilidades

A aplicação dos indicadores nos pontos de interesse permitiu classificar a fragilidade do sistema de macrodrenagem do Igarapé Oriundo e identificar os pontos críticos, permitindo assim propor soluções para gestão urbana e visar a melhoria do sistema de drenagem. Com a caracterização da fragilidade do sistema, foi considerada, a partir da metodologia de Silva Junior *et al.* (2018), uma matriz de resposta detalhada para possíveis soluções e melhoras ao sistema, a fim de garantir a segurança e eficiência do mesmo, conforme disposto no quadro 6.

Quadro 6 – Proposta de matriz de soluções para cada ponto de interesse.

Ações	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PI-5	PI-6
1. Elaboração de projetos básico e executivo; ou estudos preliminares	X	X	X			X
2. Execução de obras de microdrenagem		X		X	X	X
3. Execução de obras de macrodrenagem			X	X	X	
4. Desobstrução e limpeza dos dispositivos hidráulicos			X	X	X	
5. Recuperação, adequação e melhoria dos dispositivos existentes			X	X	X	
6. Limpeza e remoção do assoreamento no corpo receptor	X	X	X	X	X	
7. Reparo na pavimentação					X	
8. Controle de sedimentos e prevenção de erosão	X	X		X	X	
9. Elaboração de dispositivos legais e normativos para padronização dos dispositivos	X	X	X	X	X	X
10. Ação conjunta entre os componentes do saneamento ambiental	X	X	X	X	X	X
11. Desapropriação e realocação de moradores de áreas de risco		X		X	X	X
12. Investimento público em técnicas compensatórias ao sistema de drenagem convencional	X	X	X	X	X	X
13. Fiscalização e cumprimento da lei municipal de zoneamento urbano	X	X	X	X	X	X

Fonte: Adaptado de Silva Junior et al. (2018).

A priori, o PMSB municipal (Itaituba, 2023) prevê a necessidade de planos de emergências, mitigação e controle de inundações, alagamentos e deslizamentos. Tais projetos contingenciam medidas que evitam o surgimento de novos pontos críticos de inundação, além de eliminar e reduzir os já existentes. Nesse sentido, se faz necessária a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana com medidas eficazes para gestão das águas pluviais, abordando desde a normatização e regulamentação dos dispositivos de drenagem até a criação de projetos de mitigação de impactos provenientes de eventos de precipitação extrema.

Além disso, se faz necessário criar legislações que incentivem a integração do espaço natural do igarapé com o meio urbano, uma vez que a incorporação do igarapé às atividades humanas garante a proteção ambiental do mesmo, reduzindo o risco de invasões e ocupação irregular; proporcionando acesso a lazer, aumentando a qualidade de vida; e incentivando interação da sociedade com o meio ao qual estão inseridas, promulgando a educação ambiental.

Por exemplo, na Suíça, os moradores têm o costume de utilizar o Rio Reno como forma de transporte no percurso entre casa e o trabalho, e vice-versa. Segundo o Departamento Federal de Relações Exteriores (FDFA, 2021), a "natação selvagem" representa a busca pura do prazer, se caracterizando como uma atividade multicultural e típica no país. Andreas Ruby, diretor Museu de Arquitetura de Basileia, vai além ao afirmar que o passeio aquático conduz direto para o coração da cidade, proporcionando uma nova perspectiva sobre sua paisagem e, não

obstante, destaca que o rio se torna o local de uma nova igualdade, devido o acesso a um espaço democrático de lazer. Desse modo, além de representar um meio de locomoção não poluente, os rios urbanos servem como fonte de lazer e conforto, tanto para moradores quanto para turistas, durante período de calor no país, conforme observamos na Figura 18.

Figura 18 – Rios urbanos como forma de transporte e lazer na Suíça em 2021: A) Rio Reno, Basileia; B) Rio Limmat, Zurique.



Fonte: <https://houseofswitzerland.org/swissstories/society/wild-swimming-speciality-swiss-cities>.

Quanto às medidas estruturais, segundo Rodrigues *et al.* (2023), é possível apontar que as medidas variam em termos de escala espacial de implantação. Assim, em alguns casos, ocorre a necessidade de disposição de áreas grandes, à exemplo dos parques urbanos. Por outro lado, em determinadas situações, as soluções podem ser aplicadas em espaços menores, à exemplo de jardins de chuva.

A fim de reduzir ou eliminar pontos críticos de alagamentos identificados, se propõe, em todos os cruzamentos de vias pelo Oriundo, a substituição do trespasse sobre o Igarapé, antes feita por condutos fechados, por pontes de vão livre, conforme o executado na 12ª Rua da Liberdade entre 4ª e 6ª Tv. da Liberdade (Figura 19).

Figura 19 – Modelo executado de ponte de vão livre no trespasse de via pelo Igarapé.



Fonte: Autoria própria.

Não obstante, foi confirmado pela Coordenação da DITEC da SEMINFRA de Itaituba que, além do valor caudal gerado na área de contribuição da bacia, a macrodrenagem do igarapé recebe ainda o aporte pluvial gerado no sistema da Lagoa dos Patinhos e redondezas do Hospital Regional do Tapajós. Desse modo, nota-se a sobrecarga de um sistema já deteriorado sendo necessárias ações para o desfogamento deste. Para remediar isso, há o projeto de “sangramento” do canal (alívio de vazão), conectando, por meios de um complexo sistema de galerias, o fluxo gerado no Igarapé até área adjacente ao Rio Bom Jardim.

Quanto à problemática de ocupação ribeirinha massiva, pela Lei Federal (Código Florestal), esses assentamentos populares não poderiam estar nas margens do igarapé e a problemática gira em torno de uma desocupação geral das margens. Todavia, partindo do pressuposto de que as inundações urbanas são, também, um fator social, uma vez que a população mais afetada é aquela que vive às margens; deve-se adotar medidas que evitem a remarginalização dessa população. Desse modo, se sugere a adoção de um projeto de recuperação e reabilitação de edifícios públicos e privados abandonados nos centros urbanos, tal qual o projeto de reintegração do Edifício Dandara no centro da cidade de São Paulo (Anitelli, 2021), garantindo qualidade de vida e dignidade, conforme Figura 20.

Figura 20 – Edifício Dandara, centro de São Paulo: A) Prédio vazio e pichado, em 2011; e B) prédio reintegrado e habitado, em 2018.



Fonte: Adriano Vizoni – 26 mai 2011/Folhapress; Hugo Fanton – 11 mai 2018/Autogestão&Moradia.

Do mesmo modo, uma outra alternativa viável seria a adoção de um projeto similar ao Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus – PROSAMIM (RIMA, 2004), que visou recuperar áreas degradadas e garantir melhoria na qualidade de vida da população ocupante da Bacia dos Educandos, através da construção de habitações comunitárias com acesso ao espaço urbano, esporte, lazer e infraestrutura básica; conforme apresenta a Figura 21.

Figura 21 – Antes e depois do Residencial Cachoeirinha, na Bacia dos Educandos, após ação do PROSAMIM II no ano de 2013.



Fonte: <https://www.ugpe.am.gov.br/programas/prosamim/>

Por outro lado, segundo Menezes *et al.* (2014), a canalização de rios urbanos apresenta custos astronômicos e por esta razão se discute o desenvolvimento de alternativas, como o caso do projeto de revitalização de córregos aplicado na cidade de Guarulhos em 2012. Tal projeto, conforme a Prefeitura de Guarulhos (2013), objetivou a não remoção de famílias (desapropriação), atingindo, assim, uma redução de custos de 10 a 20 vezes maior do que quando comparado a um processo que parte da canalização convencional.

Menezes *et al.* (2014) afirmam dentre as medidas adotadas, a fiscalização intensa, em combate as ações nocivas ao meio, é essencial, evitando retirada da vegetação natural, assoreamento dos rios e diminuição da qualidade dos mananciais. Outro ponto fundamental no programa, conforme os autores, é um sistema de drenagem urbana de separação absoluta, canalizando as águas poluídas dos córregos e do esgoto utilizando tubos de PVC separadas do sistema de coleta de águas pluviais (Figura 22). Os autores afirmam que esse método, além de garantir maior qualidade do manancial ao dar destinação correta aos efluentes domésticos, também causa baixo impactos e uso de equipamento pesados, evitando a relocação de moradores. Desse modo, promove integração entre a comunidade e o zelo pelo meio em que estão inseridos, incentivando a preservação do meio ambiente local.

Figura 22 – Projeto de Revitalização de Córregos em Guarulhos – SP: A) Colocação de canos de PVC para separação das águas residuais; e B) demonstração do sistema de separação com os condutos fechados para águas residuais e o canal aberto para águas pluviais.



Fonte: Menezes *et al.* (2014).

7 CONCLUSÕES

Para que ocorra o desenvolvimento urbano de forma sustentável, urge a necessidade do planejamento estratégico e investimento. Diante do cenário das mudanças climáticas e com precarização do serviço de saneamento básico, os sistemas de drenagem urbana se mostram suscetíveis as falhas, causando as inundações urbanas. Nesse sentido, a partir dos resultados da RSL conduzida, observou-se que os indicadores de fragilidade (ou desempenho) como um método benéfico para avaliação de SDU e facilitadores da melhor gestão urbana, identificando pontos críticos que merecem atenção e indicando melhorias em parâmetros como resiliência e sustentabilidade.

Quanto aos problemas técnicos, a identificação dos pontos mais suscetíveis e vulneráveis, sobretudo nos PI-5, PI-4 e PI-2, permite sugerir intervenções eficazes para as problemáticas encontradas. O caráter ambiental apresentou agravante fragilidade referente a contaminação do manancial, da nascente a foz, com a necessidade de pesquisas no sentido de renaturalização do Igarapé Oriundo e sua introdução no meio urbano, como o estabelecimento de parques lineares. Quanto ao caráter institucional, o âmbito de grave fragilidade em todos os pontos, se espera a definição de um Plano Diretor de Drenagem Urbana; investimentos reais em projetos de mitigação de impactos, ampliação e melhoria do sistema existente com largo incentivo a adoção de técnicas alternativas ao sistema de drenagem convencional.

A densa ocupação ribeirinha do Igarapé Oriundo, inclusive em áreas de proteção ambiental e áreas de risco de inundações (PI-2 a PI-6), se materializa como uma população de baixa renda, vítima das desigualdades sociais e, logo, excluída das áreas urbanizadas. Destacamos assim, as inundações urbanas como um fator não apenas ambiental, como também social. Para cumprimento da lei, e proteção dessa população em risco, se faz necessário a criação de espaços seguros para habitação. Todavia, para evitar a remarginalização advinda do realocamento forçado, se recomenda a reintegração de prédios abandonados (públicos ou privados) a fim de garantir moradias dignas nos centros urbanos. Além disso, se faz necessário um trabalho complexo de educação ambiental e aceitação social do igarapé tanto quanto sistema de macrodrenagem como meio ambiente.

Para trabalhos futuros, se sugere o desenvolvimento de um projeto de revitalização do Igarapé Oriundo, visando garantir sua conservação ambiental e ótimo funcionamento do sistema de macrodrenagem ao integrá-lo efetivamente ao centro urbano ao qual está inserido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Isis De Castro. **Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana: Uma Proposta para a Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro, em Juiz De Fora–MG.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental)-Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz De Fora–MG, 2020. Disponível em:

<https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental//files/2020/10/TFC2-Isis-de-Castro-Almeida1.pdf>. Acesso em 15 jun. 2024.

ANITELLI, Felipe. Reabilitação do Edifício Dandara: Habitação Social e Arquitetura Moderna. *In: SEMINÁRIO DOCOMOMO BRASIL*, 14. 2021, Belém. **Anais [...]** Belém-PA, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://docomomobrasil.com/wp-content/uploads/2021/12/reab-dandara.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2024.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), Porto Alegre, , v. 1, n.1, 2005, 266 p.

BARROS, Mario Thadeu Leme de. **Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento. Saneamento, saúde e ambiente : fundamentos para um desenvolvimento sustentável.** Tradução. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública/Núcleo de Informações em Saúde Ambiental, 2005. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/cb101106-8f97-43e1-b8c9-054850eb1b5a/Barros-2005-drenagem%20urbana.pdf>. Acesso em 17 jun. 2024.

BAUM, Camila Angélica. **Gerenciamento municipal de águas pluviais urbanas: proposta de ferramenta baseada em indicadores.** 2022. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/252924>. Acesso em 5 jul. 2024.

BIRGANI, Yaser T.; YAZDANDOOST, Farhad. An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. **Water Resources Management**, v. 32, p. 2817-2835, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1960-2>.

BRASIL. Lei Nº 11.455, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em 28 nov. 2023.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília. 2012. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em 01 dez. 2023.

CARDOSO, M.A. **Avaliação do Desempenho de Sistemas de Drenagem Urbana**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 403 p., 2008. Disponível em: <https://repositorio.lnec.pt/jspui/handle/123456789/17207>. Acesso em 06 mai. 2024.

CASTRO, A. L. P. de; SILVA, C. N. P.; SILVEIRA, A. Curvas Intensidade-Duração-Frequência das precipitações extremas para o município de Cuiabá (MT). **Revista Ambiência**. v. 7, n. 2, p. 305-315, jan-abr, 2011. DOI: <http://doi.org/10.5777/ambiencia.2011.02.08>.

CAVALCANTE, A. E. D. Q. M., JUSTINO, S. T. P., DE SOUSA SILVA, R. P., DE HOLANDA LEITE, M. J., DE MORAES ALMEIDA, Á. B., DA SILVA FIGUEROA, L., ... & MENDES, M. K. S. Levantamento do Uso e Cobertura Vegetal da Microbacia Hidrográfica do Rio Farinha. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites E Potencialidade**, Editora Científica Digital, v.1, p. 540-551, 2020. DOI: <http://doi.org/10.37885/200801134>.

CLARKE, B., C. BARNES, R. RODRIGUES, M. ZACHARIAH, L.M. ALVES, R. HAARSMA, I. PINTO, W. YANG, M. VAHLBERG, G. VECCHI, K. IZQUIERDO & J. KIMUTAI. **Climate change, El Niño and infrastructure failures behind massive floods in southern Brazil**. Grantham Institute, Imperial College London, Reino Unido. 2024, 56 p. DOI: <https://doi.org/10.25561/111882>.

DUTRA, V. A. B., GONÇALVES, P. V. DOS S., CAMPOS, M. V. A., TAVARES, P. A., & BELTRÃO, N. E. S. Saneamento Em Áreas Urbanas Na Amazônia: Aplicação Do Sistema De Indicadores Peir. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.7, n. 2, p. 652–671, 2018. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018652-671>.

ELLIS, J.B.; DEUTSCH, J.C.; MOUCHEL J.M.; SCHOLE S L.; REVITT M.D. Multicriteria decision approaches to supportsustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff. **Sci Total Environ** 334–335: p.251–260, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.066>.

ESCAP/WMO Typhoon Committee. MEMBER REPORT [China]. **ESCAP/WMO Typhoon Committee**, 18th Integrated Workshop ESCAP - UN Conference Center, Bangkok, Thailand 28 November – 1 December 2023. 2023. Disponível em: <https://www.typhooncommittee.org/18IWS/docs/Members%20Report/CHina/Member%20Report%EF%BC%88CHINA%EF%BC%892023-revise.pdf>. Acesso em 10 set. 2024.

FDFA – Federal Department of Foreign Affairs. Wild swimming: a speciality of Swiss cities. *In: House of Switzerland*, 24 de março de 2021. Disponível em:

<https://houseofswitzerland.org/swissstories/society/wild-swimming-speciality-swiss-cities>. Acesso em 17 set. 2024.

FEARNSIDE, P.M.; SILVA, R.A. Surpresas climáticas: a Amazônia e as lições da enchente catastrófica no Rio Grande do Sul. **Amazônia Real**, 14 p., 2024. Disponível em: https://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2024/Fearnside_&Silva-2024-Surpresas_climaticas-Amazonia-&Rio_Grande_do_Sul.pdf. Acesso em 10 set. 2024.

FEITOSA, C. L.; ROCHA, V. A. G. M. Avaliação do índice de fragilidade do sistema de drenagem pluvial urbano. estudo de caso: Centro de Mossoró. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais** [...] Florianópolis – SC: ABRHidro, 2017. p. 1-8. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2996>. Acesso em 14 jul. 2024.

FOWLER, H.J.; BLENKINSOP, S.; GREEN, A; DAVIES, P.A. Precipitation extremes in 2023. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 5, n. 4, p. 250–252, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00547-9>.

FUNASA – Fundação Nacional De Saúde. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Cadernos Temáticos Saneamento Básico - Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas**. Junho de 2016. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Drenagem+e+Manejo+das+%C3%81guas+Pluviais+Urbanas.pdf/72c03623-99ee-40d8-b1e8-107c182daf8e?version=1.0>. Acesso em 01 dez. 2023.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 15, n. 1, pp. 19–28, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522010000100003>.

GONÇALVES, L.M.; BAPTISTA, L. F. S.; RIBEIRO, R.A. O uso de Técnicas Compensatórias de drenagem para controle dos Impactos da urbanização. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 12, n. 1, 2016. DOI: [10.17271/1980082712120161366](https://doi.org/10.17271/1980082712120161366). Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1366. Acesso em: 11 jul. 2024.

HAUGER, M.B.; MOUCHEL L, J.M.; MIKKELSEN, P.S. Indicators of hazard, vulnerability and risk in urban drainage. **Water science and technology**, v. 54, n. 6-7, p. 441-450, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2006.622>.

HAYDEN, D.A.; SILVA, A.H.P.M. Diagnóstico Ambiental: Indicadores de Fragilidade em um Sistema de Drenagem Urbana e depósitos irregulares de lixo em Belém/PA-Amazônia.

Revista GeoAmazônia, v. 7, n. 14, p. 21-48, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/geo.v7i14.12553>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *In: Cidades: Censo – Séries históricas. População Residente*. 2023a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/itaituba/pesquisa/43/30281?tipo=grafico>. Acesso em 27 nov. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *In: Cidades: Panorama*. 2023b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/itaituba/panorama>. Acesso em 27 nov. 2023.

IGROUFA, M.; BENZERRA, A.; SEGHIR, A. Development of an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems. **Water Science and Technology**, v. 82, n. 3, p. 537-548, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2020.356>.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. **Climate Change 2023 – Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, 2023. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. Sections. **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis**. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. iii – iv. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

ITAITUBA. **Lei Municipal Nº 2.885, de 21 de dezembro de 2015**. Dispõe sobre a criação da lei de zoneamento urbano e disciplina o uso e a ocupação do solo urbano no município de Itaituba e dá outras providências. Itaituba, PA: Gabinete da Prefeitura, 2015. Disponível em: <https://www.itaituba.pa.leg.br/leis/legislacao-municipal/2015/lei-2885-2015-dispoe-sobre-a-criacao-da-lei-de-zoneamento-urbano-e-disciplina-o-uso-e-a-ocupacao-do-solo-urbano-do-municipio-de-itaituba-e-da-outras-providencias/view>. Acesso em 01 ago. 2024.

ITAITUBA. **Lei Municipal Nº 4.031, de 19 de dezembro de 2023**. Institui a política municipal de saneamento básico, dispõe sobre o plano municipal de saneamento básico, e dá outras providências. Itaituba, PA: Gabinete da Prefeitura, 2023. Disponível em: https://www.itaituba.pa.leg.br/leis/legislacao-municipal/leis-ordarias-2023/lei_4031-2023-plano-municipal-de-saneamento-basico.pdf. Acesso em 01 ago. 2024.

KEMERICH, P. D. da C.; MARTINS, S. R.; KOBİYAMA, M.; BURIOL, G. A.; BORBA, W. F. de; RITTER, L. G. Avaliação Da Sustentabilidade Ambiental Em Bacias Hidrográficas Mediante A Aplicação Do Modelo P-E-R. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 10, n. 10, p. 2140–2150, 2013. DOI: 10.5902/223611707658. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/7658>. Acesso em: 21 jul. 2024.

KLEIDORFER, M.; MÖDERL, M.; SITZENFREI, R.; URICH, C.; RAUCH., W. A case independent approach on the impact of climate change effects on combined sewer system performance. **Water science and technology**, v. 60, n. 6, p. 1555-1564, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.520>.

LEAL, Cecília Gontijo. Por que os pequenos rios da Amazônia são fundamentais. **Ambiental Media**, 3 de dezembro de 2017. Disponível em: <https://www.ambiental.media/artigos/por-que-os-pequenos-rios-da-amazonia-sao-fundamentais/>. Acesso em 15 ago. 2024.

MANTOVANI, J.; ALCÂNTARA, E.; PAMPUCH, L.A.; BAIÃO, C. F. P.; PARK, E.; CUSTÓDIO, M S; GOZZO, L. F.; BORTOLOZO, C. A. Assessing flood risks in the Taquari-Antas Basin (Southeast Brazil) during the September 2023 extreme rainfall surge. **npj Natural Hazards**, v.1, n. 9, p.15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s44304-024-00009-8>.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?**. Artigo Científico, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

MENEZES, C. M. V. M. C.; MENEZES, A. L .C.; PENDLOSKI, C. J. S.; CAMPOS, C. J. Revitalização de córregos na cidade de Guarulhos/SP. *In*: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 16., 2014, São Paulo. **Anais** [...] Butantã, São Paulo – SP: FEA-USP, dez. 2014. p. 10. Disponível em: <https://www.engema.org.br/XVIENGEMA/385.pdf>. Acesso em: 05 set. 2024.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 384 p.

MOURA, E. F. S; SILVA, S. R. Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife-PE. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades** , [S. l.], v. 3, n. 15, 2015. DOI: 10.17271/231884723152015993. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/993. Acesso em: 11 set. 2024.

OGASSAWARA, J.F.; OLIVEIRA, L.J.C. Determinação das curvas de intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para Itaqui-RS. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 22., 2017, Florianópolis. **Anais** [...] Florianópolis, Santa Catarina: ABRHidro, nov. 2017. p. 8. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/60/PAP022069.pdf>. Acesso em: 05 set. 2024.

OLIVEIRA, A.K.B.; BATTEMARCO, B.P.; BARBARO, G.; GOMES, M.V.R.; CABRAL, F.M.; DE OLIVEIRA PEREIRA BEZERRA, R.; DE ARAÚJO RUTIGLIANI, V.; LOURENÇO, I.B.; MACHADO, R.K.; REZENDE, O.M.; MAGALHÃES, P.C.; VERÓL, A.P.; MIGUEZ, M.G. Evaluating the Role of Urban Drainage Flaws in Triggering Cascading Effects on Critical Infrastructure, Affecting Urban Resilience. **Infrastructures**, v. 7, n. 153, p.1-26, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures7110153>.

OMM – Organização Meteorológica Mundial. **Relatório Estado dos Serviços Climáticos: Água**. Geneva, Suíça. 2021. Disponível em: https://library.wmo.int/viewer/57630/download?file=1278_en.pdf&type=pdf&navigator=1. Acesso em 07 jan. 2024.

PEREIRA, P.P.; PAREDES, E.A.; OKAWA, C.M. Diagnóstico preliminar da integridade ambiental de fundos de vale. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 739-749, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018169928>.

PEREIRA, R. F. S.; DE FIGUEIREDO, N. M.; CAMPOS FILHO, L. C. Performance evaluation of urban drainage systems: an analytic hierarchy process approach for the Jaracati basin in Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 45, p. e63176-e63176, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v45i1.63176>.

PONTE, J. P. X., LIMA, J. J., & RODRIGUES, R. M. **Parâmetros de planejamento urbano para cidades amazônicas em áreas alagáveis**. *In: Gestão e governança local para a Amazônia sustentável: notas técnicas – 2*, p.27 / Orgs. Maria Cristina Soares de Almeida e Peter H. May. - Rio de Janeiro: IBAM, 2016. Disponível em: https://anaviolatoespada.com/wp-content/uploads/2018/06/144-ibam_vol2_site.pdf#page=24. Acesso em 27 nov. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARULHOS. Guarulhos sai na frente com novo sistema de drenagem urbana. *In: Opção Guarulhos*. 2013. Disponível em: http://www.opcaoguarulhos.com.br/le_artigo.php?idartigo=2705&idcategoria=4. Acesso em: 28/08/2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAITUBA. **Balço Anual: 2019, 2020, 2021, 2022, 2023**. Itaituba-PA, 2024. Disponível em: <https://itaituba.cr2.net.br/portal-da-transparencia/balanco-anual/>. Acesso em 06 ago. 2024.

RADCLIFFE, John C. History of water sensitive urban design/low impact development adoption in Australia and internationally. *In: Approaches to water sensitive urban design*. Woodhead Publishing. p. 1-24, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00001-0>.

RAFFERTY, J. P. Libya flooding of 2023. *Encyclopedia Britannica*, 3 de setembro de 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/event/Libya-flooding-of-2023>. Acesso em 10 set. 2024.

ReCESA – Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Águas pluviais : técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas : guia do profissional em treinamento : nível 2 e 3** / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte : ReCESA, 2007. 52 p. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/tecnicascompensatoriasparacontroledecheiasurbanas-nivel2e3.pdf. Acesso em 27 nov. 2023.

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental . **Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus**. UFAM/CONCREMAT, 139 p. Jul, 2004. Disponível em: <https://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/RIMA-PROSAMIM.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

ROCHA, R.P.; REBOITA, M.S.; CRESPO, N.M. Análise do evento extremo de precipitação ocorrido no Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024. *Journal Health NPEPS*, [S. l.], v. 9, n. 1, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/jhnpeps/article/view/12603>. Acesso em: 1 set. 2024.

RODRIGUES, J. W. S.; SILVA JUNIOR, M. A. B. da. Caracterização morfo-hidrológica de pequena bacia amazônica como subsídio ao processo de revitalização de rio urbano. *Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes*, [S. l.], v. 12, n. 35, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17271/23178604123520245095>. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades_verdes/article/view/5095. Acesso em: 8 jul. 2024.

RODRIGUES, J. W. S.; SILVA JUNIOR, M. A. B. DA; LIMA, M. C. A. de. Indicadores de fragilidade de sistemas de drenagem urbana como suporte à avaliação do desempenho: uma revisão sistemática da literatura. *Contribuciones A Las Ciencias Sociales*, v17., n. 8, p.e9133, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.8-055>.

RODRIGUES, M. S. C.; QUARESMA, C. C.; PEREIRA, R. K.; RIBEIRO, A. P. The use of Nature-Based Solutions in the fight against Urban Floods: trends, actors and solutions adopted. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista*, v. 19, n. 3, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17271/1980082719320233764>.

SABOIA, M. A. M.; SOUZA FILHO, F. A.; HELFER, F.; RLIM, L. Z. R. Robust strategy for assessing the costs of urban drainage system designs under climate change scenarios. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 146, n. 11, p. 05020022, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001281](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001281).

SANTOS JÚNIOR, V. J. **Avaliação da drenagem pluvial da bacia hidrográfica do córrego Cintra em Montes Claros/MG**. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas Santo Agostinho – FACET, Montes Claros, 2013.

SANTOS JÚNIOR, V. J. dos. Avaliação da fragilidade no sistema de drenagem pluvial urbana: o caso da bacia hidrográfica do córrego das Melancias em Montes Claros – MG. **Revista Monografias Ambientais**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 3986–3997, 2014. DOI: 10.5902/2236130815125. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/15125>. Acesso em 17 set. 2024.

SCHNEIDER, S.H.; TURNER, B.; GARRIGA, H. Imaginable surprise in global change science. **Journal of Risk Research**, v. 1, n. 2, p.165-185, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1080/136698798377240>.

SCHUBER, E. S. M.; MORAES, S. C. Desenvolvimento Regional do Tapajós: Um Olhar Sob o Cenário Socioeconômico na Região de Integração do Tapajós. **Revista De Estudos Sociais**, v. 17, n. 34, p. 93–111, 2015. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/view/2591>. Acesso em 25 jan. 2024.

SILVA JUNIOR, M. A. B.; CÂMARA, C.P.S.; FONSECA NETO, G. C.; CABRAL, J. J. S. P. Avaliação dos indicadores de fragilidade do sistema de drenagem urbana de um bairro em Olinda-PE. In: Encontro Nacional de Águas Urbanas. 12., 2018, Maceió. **Anais [...]** Maceió/AL: ABRHidro, nov. 2018. 10 p. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/works/4398>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SILVA JUNIOR, M. A. B.; SANTOS, A. O; FARIAS, W. A.; MARTINS, A. M. S.; SILVA, A. K. C. Eventos extremos de precipitação em cidades amazônicas: uma análise dos impactos em Itaituba, sudoeste do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 25., 2023, Aracaju. **Anais [...]** Aracaju- SE: ABRHidro, 2023. p. 1-10, Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15231>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SILVA, B. J. da; PEREIRA, O. S.; ASSIS, W. A. V. de; MORAIS, L. R. S. **O Componente Drenagem Urbana no Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas, Bahia**. 2004.

SILVA, J.P. **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração**. 2007. Dissertação de (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/3054/4903>. Acesso em 01 set. 2024.

SILVA, Maria José Carvalho. **A problemática do remanso dos eixos de macrodrenagem nas galerias urbanas: estudo de caso sobre a modelagem da cheia do Rio Poty no ano de 2009 em Teresina-PI**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/11593>. Acesso em 05 jul. 2024.

SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Série histórica**. 2021. *In*: Painel Saneamento Brasil. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/localidade?id=150360>. Acesso em 29 nov. 2023.

SOUSA, João Vitor dos Santos. **Drenagem urbana: o uso de técnicas compensatórias de manejo de águas pluviais como medidas mitigadoras para as cheias urbanas da Avenida Heráclito Graça em Fortaleza-ce**. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Unichristus. Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/handle/123456789/1070>. Acesso em 05 ago. 2024.

SOUZA, M. A. A.; MENDONÇA, E. C. Uma metodologia multiobjetivo e multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. **Ingeniería del agua**, v. 23, n. 2, p. 89-106, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4995/ia.2019.10214>.

STEINER, L. **Avaliação do sistema de drenagem pluvial urbana com aplicação do índice de fragilidade. Estudo de caso: microbacia do Rio Criciúma**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma. 2011. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/1356>. Acesso em 27 nov. 2023.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana**. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, Dec. 2003. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso. Acesso em 27 nov. 2023.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, Editora da UFRGS, v. 1, n. 1, 1995. 428 p.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, v. 11, n. 1, 2007. 393 p.

VEGA-CAMARENA, José P.; BRITO-CASTILLO, Luis; FARFÁN, Luis M. Precipitation in Northwestern Mexico: daily extreme events. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, n. 4, p. 2689-2703, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04789-3>.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 237 p.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias no Itaituba no ano todo**. 2023. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/149890/Clima-caracter%C3%ADstico-no-Itaituba-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em 17 dez. 2023.

**ANEXO A - Indicadores de Fragilidade de Sistemas de Drenagem Urbana como Suporte
à Avaliação do Desempenho: uma Revisão Sistemática da Literatura**



REVISTA
**CONTRIBUCIONES
A LAS CIENCIAS
SOCIALES**

**Indicadores de Fragilidade de Sistemas de Drenagem Urbana como
Suporte à Avaliação do Desempenho: uma Revisão Sistemática da
Literatura**

**Fragility Indicators of Urban Drainage Systems to Support
Performance Assessment: a Systematic Literature Review**

**Indicadores de fragilidad de los sistemas de drenaje urbano para
apoyar la evaluación del desempeño: una revisión sistemática de la
literatura**

DOI: 10.55905/revconv.17n.8-055

Originals received: 06/28/2024

Acceptance for publication: 07/19/2024

John Witysel Santos Rodrigues

Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal Oeste do Pará (UFOPA):
Endereço: Itaituba – Pará, Brasil
E-mail: john.wsr@discente.ufopa.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-4064-9887>

Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior

Docente e Mestre em Engenharia Civil
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA):
Endereço: Itaituba – Pará, Brasil
E-mail: marcos.abs@ufopa.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2678-9420>

Maria Cristina Alves de Lima

Mestra em Engenharia Civil
Universidade de Pernambuco (UPE):
Endereço: Recife – Pernambuco, Brasil
E-mail: mcristina.2411@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2166-0273>

RESUMO

Considerando que um Sistema de Drenagem Urbana (SDU) é projetado para um determinado regime de chuva e que os eventos extremos de precipitação se mostram cada vez mais intensos e frequentes, vê-se a necessidade de avaliar o desempenho desses sistemas, identificar as suas fragilidades e propor soluções cabíveis. Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa é caracterizar a aplicação de Indicadores de Fragilidade de Sistemas (IFS) na avaliação de desempenho da infraestrutura de drenagem urbana, destacando a sua funcionalidade e técnicas ótimas de aplicação. Para tanto, a presente pesquisa fundamentou-se em uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), suportada pelo *software* StArt, considerando como base de dados a Scopus e Web of Science. Como resultados, foram encontrados um total de 627 artigos relacionados à temática da pesquisa, porém, após as etapas de identificação, triagem e inclusão, considerou-se 10 artigos aderentes à proposta da pesquisa. De maneira geral, foi possível observar que os indicadores de fragilidades são, usualmente, classificados e/ou categorizados nas naturezas ambiental, técnica, econômica, institucional e social; e adota-se uma média de cinco indicadores por classe/categoria. Além disso, o uso dos indicadores é, geralmente, apoiado por modelos computacionais, ferramentas de avaliação e métodos multicritérios ou de tomada de decisões; e conta com a opinião de especialistas da área, principalmente para atribuição de pesos. Desse modo, concluiu-se que a utilização de indicadores de fragilidades na avaliação de sistemas de drenagem urbana é funcional, dando ênfase em sua praticidade, eficiência e versatilidade.

Palavras-chave: Águas Pluviais, Gestão Urbana, *Software* StArt, Artigos, Bibliometria.

ABSTRACT

Considering that an Urban Drainage System (UDS) is designed for a specific rainfall regime and that extreme precipitation events are increasingly intense and frequent, there is a need to evaluate the performance of these systems and identify their weaknesses. and propose appropriate solutions. In this sense, the objective of this research is to characterize the application of System Fragility Indicators (SFI) in evaluating the performance of urban drainage infrastructure, highlighting their functionality and optimal application techniques. To this end, this research was based on a Systematic Literature Review (SLR), supported by the StArt software, considering Scopus and Web of Science as databases. As results, a total of 627 articles related to the research theme were found, however, after the identification, screening and inclusion stages, 10 articles were considered to adhere to the research proposal. In general, it was possible to observe that indicators of weaknesses are usually classified and/or categorized into environmental, technical, economic, institutional and social natures; and an average of five indicators per class/category is adopted. Furthermore, the use of indicators is generally supported by computational models, assessment tools and multi-criteria or decision-making methods; and relies on the opinion of experts in the field, mainly for assigning weights. Therefore, it was concluded that the use of weakness indicators in the evaluation of urban drainage systems is functional, placing emphasis on their practicality, efficiency and versatility.

Keywords: Stormwater, Urban Management, StArt Software, Articles, Bibliometrics

RESUMEN

Considerando que un Sistema de Drenaje Urbano (SDU) está diseñado para un régimen de precipitaciones específico y que los eventos de precipitación extrema son cada vez más intensos y frecuentes, surge la necesidad de evaluar el desempeño de estos sistemas e identificar sus debilidades y proponer soluciones adecuadas. En este sentido, el objetivo de esta investigación es caracterizar la aplicación de Indicadores de Fragilidad del Sistema (IFS) en la evaluación del desempeño de la infraestructura de drenaje urbano, destacando su funcionalidad y técnicas óptimas de aplicación. Para ello, esta investigación se basó en una Revisión Sistemática de Literatura (RSL), apoyada en el software StArt, considerando como bases de datos Scopus y Web of Science. Como resultados se encontraron un total de 627 artículos relacionados con el tema de investigación, sin embargo, luego de las etapas de identificación, cribado e inclusión, se consideró que 10 artículos adhirieron a la propuesta de investigación. En general, se pudo observar que los indicadores de debilidades suelen clasificarse y/o categorizarse en naturaleza ambiental, técnica, económica, institucional y social; y se adopta un promedio de cinco indicadores por clase/categoría. Además, el uso de indicadores generalmente está respaldado por modelos computacionales, herramientas de evaluación y métodos multicriterio o de toma de decisiones; y se basa en la opinión de expertos en la materia, principalmente para la asignación de pesos. Por lo tanto, se concluyó que el uso de indicadores de debilidad en la evaluación de los sistemas de drenaje urbano es funcional, poniendo énfasis en su practicidad, eficiencia y versatilidad.

Palabras clave: Aguas Pluviales, Gestión Urbana, Software StArt, Artículos, Bibliometría.

1 INTRODUÇÃO

Os indicadores correspondem a ferramentas compostas por uma ou mais variáveis, com o objetivo de agregar e quantificar dados, de maneira a deixar a sua relevância mais evidente. A fragilidade fundamenta-se em preceitos abrangentes que podem ser usados como diretrizes para as políticas públicas, que tem como objetivo o planejamento, gerenciamento e a escolha do caminho que levarão aos melhores resultados (Santos Junior, 2014; Ripol e Silva *et al.*, 2013; Silva Junior *et al.*, 2018).

Diante do cenário de mudanças climáticas, onde as precipitações extremas se mostram cada vez mais intensas e frequentes, e considerando um histórico problema de planejamento urbano e gestão pública dos centros urbanos, urge a necessidade de conhecer e identificar as fragilidades dos Sistemas de Drenagem Urbana (SDU) a fim de medidas serem tomadas.

Os SDU sempre tratarão do escoamento das águas provenientes da precipitação, todavia o desempenho desses é o que define a intensidade dos benefícios ou prejuízos à população. Em outras palavras, a qualidade de um SDU deve considerar que o mesmo é

projetado para determinada capacidade de precipitação (e padrão urbanístico) e está à mercê da imprevisibilidade das chuvas, assim como dos efeitos de sua vida útil e da falta de manutenção, que comprometem também o seu desempenho. Assim, faz-se necessário adequar o desenvolvimento de projetos de SDU, dando funcionalidade, sobretudo devido à severidade das precipitações (Wang *et al.*, 2021; Yin *et al.*, 2020).

Nesse sentido o uso de indicadores é um método benéfico para gerenciar e diagnosticar um SDU, pois podem se adaptar às diversas características e são capazes de identificar as fraquezas críticas e questões mais cruciais podendo, assim, atuar como ferramentas de auxílio na tomada de decisões da gestão pública (Silva; Pinheiro, 2019; Muwafu *et al.*, 2024). De acordo com Cardoso (2008), a utilização de indicadores para a avaliação do desempenho dos operadores de serviços de águas e resíduos já eram adotados pelo Instituto Regulador de Águas e Resíduos de Portugal, em 2005, como um mecanismo de gestão pública; logo, se caracterizando como uma técnica possivelmente datada. No Brasil, a utilização de Indicadores de Fragilidade do Sistema (IFS) em SDU, como instrumento de gestão pública, se deu no âmbito do Plano Municipal de Saneamento de Alagoinhas/BA, em 2004. Tal metodologia foi empregada no sobredito Plano para diagnosticar o SDU da cidade, realçando as fragilidades no desempenho do sistema, propondo medidas de reabilitação e estabelecendo uma hierarquização dos principais problemas a serem solucionados.

Como visto, e de acordo com Hauger *et al.* (2006), o uso de tais indicadores não é uma técnica recente. Souza e Mendonça (2019, p. 90) afirmam que:

[...] No contexto da seleção dos processos e medidas para controle de inundações e drenagem urbana, é comum a utilização de métodos de auxílio a decisão, principalmente em função da simplificação que esses métodos promovem em uma análise com múltiplos critérios, objetivos e interesses.

Yang e Zhang (2021) também evidenciam o desenvolvimento de processos que envolvem múltiplos critérios e auxiliares na tomada de decisões como ferramentas capazes de melhorar e avaliar a eficiência dos sistemas de drenagem. Assim, pode-se dizer que o uso de indicadores pode e deve ser incrementado com auxílio de ferramentas de tomada de decisão e/ou métodos de múltiplos critérios.

Nesse contexto, surge a questão: qual a melhor forma de se avaliar um SDU? Sendo assim, essa Revisão Sistemática da Literatura (RSL) objetiva analisar a aplicabilidade de Indicadores de Fragilidade de Sistemas (IFS) utilizados na avaliação do

desempenho de sistemas de drenagem urbana, visando compreender os critérios para sua utilização e os processos metodológicos mais recomendados para sua aplicação, a fim de obter resultados mais precisos quanto a situação real em que se encontram esses sistemas.

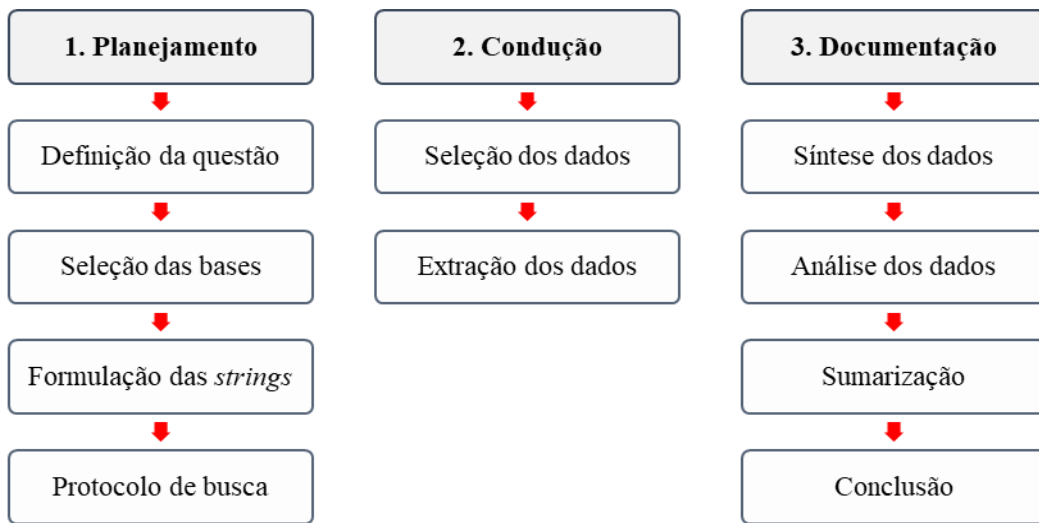
A partir de pesquisas exploratórias acerca do tema, observou-se que o objeto de estudo é amplamente abordado em artigos de congresso e trabalhos acadêmicos de autores brasileiros, como um método simples para avaliação do desempenho dos SDU (Santos Júnior, 2014; Vargas; Miranda, 2016; Moraes *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2018; Silva Junior *et al.*, 2018; Silva; Pinheiro, 2019). Porém, a ideia central dessa pesquisa é verificar a difusão do tema em periódicos hospedados nas principais bases de dados bibliográficas.

2 METODOLOGIA

Segundo Ocaña-Fernandez e Fuster-Guillén (2021), o artigo de revisão da literatura como metodologia corresponde a um meio de realizar pesquisas sobre a realidade vivenciada, por meio do gerenciamento de informações em banco de dados e diferentes mídias, quando a realização de trabalho experimental ou em campo é impossibilitado. Reyes (2020) e Souza *et al.* (2024) definem o processo de Revisão Sistemática da Literatura como uma análise de um compilado de estudos de forma retrospectiva na literatura sobre um determinado tema. Assim, este estudo partiu de uma RSL, conforme a metodologia utilizada por Lima *et al.* (2024), utilizando-se da ferramenta de protocolo *State of the Art through Systematic Review (StArt)*, versão 3.0.3 BETA, *software* desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES), da Universidade Federal de São Carlos (LaPES UFSCar, 2017).

A pesquisa realizou-se em três etapas: planejamento, condução e documentação. Na fase planejamento, foram definidas as questões de pesquisa, a seleção das bases de dados, a formulação das *strings* e o preenchimento do protocolo de busca. Na fase de condução, ocorreu a seleção e extração dos dados. Por fim, na fase de documentação, procedeu-se a síntese e análise dos dados, a sumarização e a conclusão da RSL. A Figura 1 apresenta as fases da RSL.

Figura 1. Fases da Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: Elaborada pelos autores.

1. Planejamento: nessa fase ocorreu a definição da questão de pesquisa, que buscou responder qual a melhor forma de utilizar os indicadores para avaliar a fragilidade ou o desempenho de sistemas de drenagem urbana. A escolha das bases de dados visou a abrangência e a relevância dos artigos na área de engenharia. E a formulação das *strings* de busca partiram de palavras-chave, combinadas a descritores booleanos (AND e OR), executadas em várias tentativas até a obtenção dos melhores resultados. Concluiu-se essa fase com o preenchimento do protocolo de busca, com: título, objetivo, questão, palavras-chave, critérios de inclusão e exclusão e resultados esperados. As bases de dados escolhidas foram a *Scopus* e a *Web of Science*, e as palavras-chave utilizadas nas *strings* foram: “*urban drainage*”, “*indicators*”, “*system fragility indicators*”, “*fragility*”, “*stormwater runoff*” e “*urban water rivers*”. As limitações da RSL compreenderam o tipo de publicação, o recorte temporal, o idioma e o tipo de acesso, conforme a seguir:

- ✓ Tipo de publicação – artigos publicados em periódicos ou de conferência;
- ✓ Recorte temporal – de 2000 a 2023;
- ✓ Idioma dos artigos – português, inglês e espanhol;
- ✓ Tipo de acesso – aberto ou texto completo disponível.

2. Condução: essa fase foi executada no *software* StArt, também utilizado em outros

trabalhos de RSL como Saraiva *et al.* (2024) e Flôres *et al.* (2024), com áreas de conhecimento distintas à desta pesquisa. No StArt ocorreu a seleção dos dados a partir da exclusão dos artigos duplicados e que não apresentaram os termos de busca no título, palavras-chave e resumos. Apenas estudos primários referentes ao tema foram selecionados. Para a extração dos dados foram considerados os critérios de inclusão e exclusão, para que apenas os artigos aderentes a pesquisa fossem aceitos na filtragem. O Quadro 1 mostra os critérios de inclusão e exclusão da RSL.

Quadro 1. Critérios de inclusão e exclusão dos artigos da RSL.

Critérios	Descrição dos Critérios de Inclusão (CI)
CI-1	Utiliza indicadores de fragilidade de sistemas de drenagem urbana
Critérios	Descrição dos Critérios de Exclusão (CE)
CE-1	Duplicado
CE-2	Não apresenta os termos de busca das <i>strings</i> no título, palavras-chave e resumo
CE-3	Apresenta os termos de busca, mas não é aderente ao tema da pesquisa

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na sequência, os artigos passaram pelos critérios de qualidade, que levaram em consideração a coerência e coesão textual dos artigos, se o desenho metodológico era claro e replicável, bem como se atendiam os objetivos da RSL. A extração dos dados levou em consideração os critérios de elegibilidade, em que foi respondido se “houve” ou “não houve” a extração de dados do artigo.

3. Documentação: essa fase compreendeu a síntese dos dados utilizando-se das ferramentas StArt, Excel e Word. A análise ocorreu de forma cautelosa a partir dos dados obtidos na fase de síntese. Em prosseguimento, realizou-se o processo de sumarização das informações, por meio da elaboração de fluxograma e gráficos, a fim de melhor apresentar a análise descritiva dos dados encontrados. O Quadro 2 mostra o resumo do procedimento metodológico da RSL.

Quadro 2. Resumo do procedimento metodológico da RSL.

FASE DE PLANEJAMENTO	Ferramentas de pesquisa	Entregas
	Plataforma Sucupira da CAPES	Definição da questão
	<i>Scopus e Web of Science</i>	Seleção das bases de dados
	StArt	Formulação das <i>strings</i> de busca
FASE DE CONDUÇÃO	Atividades utilizando o StArt	Entregas
	Seleção dos dados	Identificação e separação dos conteúdos
	Extração dos dados	Formatação do texto
FASE DE DOCUMENTAÇÃO	Atividades utilizando o StArt, Excel e o Word (inclusão)	Entregas
	Síntese dos dados	Atendimento aos objetivos, confecção dos quadros, gráficos e fluxograma, e a redação final do artigo.
	Análise dos dados	
	Sumarização	
	Conclusão	

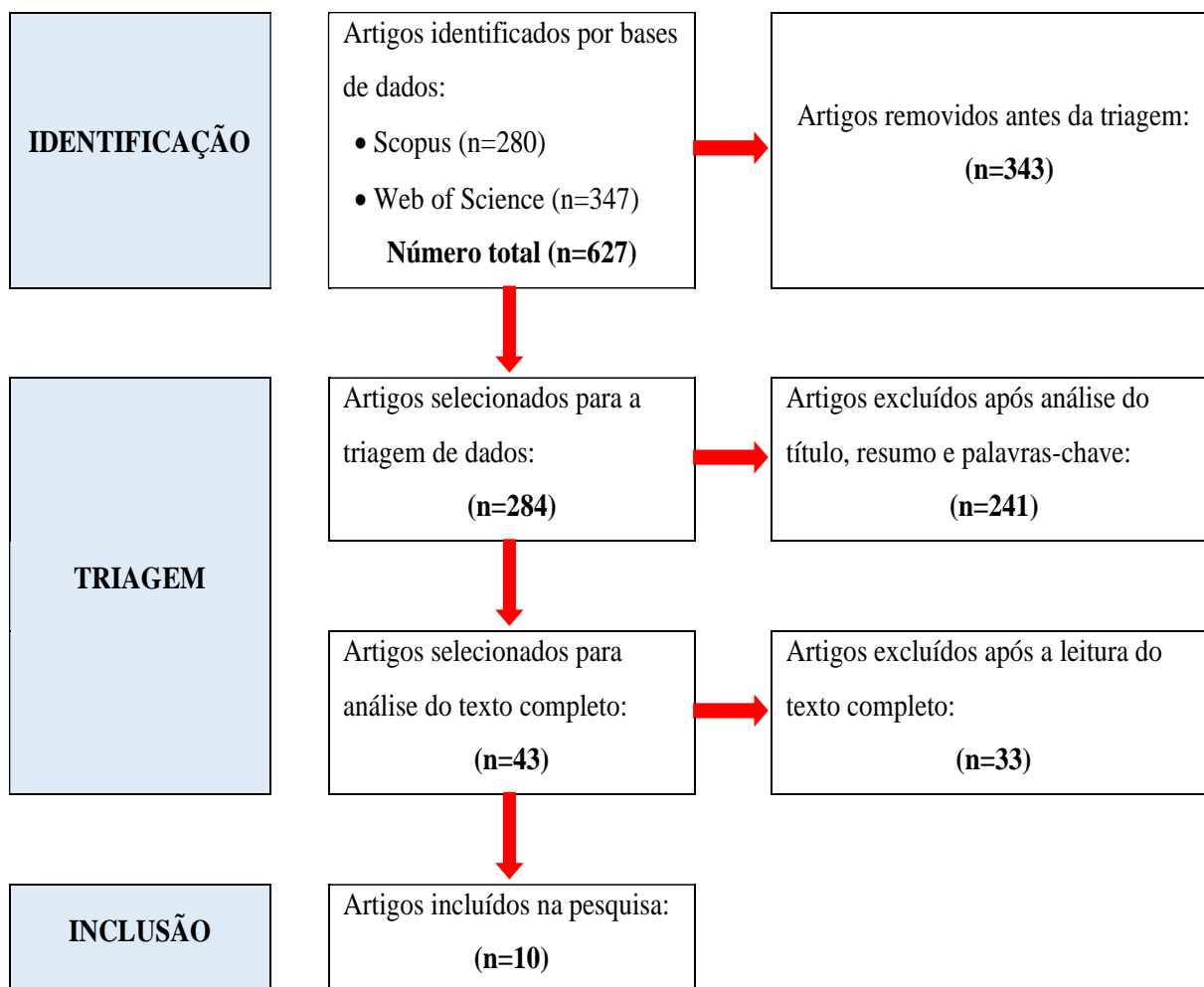
Fonte: Elaborado pelos autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontrados um total de 627 artigos considerados aderentes a pesquisa, dos quais 280 (44,66%) da *Scopus* e 347 (55,34%) da *Web of Science*. Antes da fase de triagem 343 artigos foram removidos por serem duplicados ou não atenderem o tipo de publicação, recorte temporal, idioma e tipo de acesso. Após o primeiro filtro, 241 artigos foram excluídos por não apresentarem os termos de busca no título, resumo e palavras-chave, dos artigos resgatados.

Dos 43 artigos que sobraram, 10 foram aceitos e 33 foram rejeitados. As fases de identificação, triagem e inclusão, se encontram descritas da Figura 2.

Figura 2. Quantidade de artigos aceitos por base.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Dos 10 artigos aderentes a pesquisa, 3 são da *Scopus* e 7 da *Web of Science*. Quanto a origem dos grupos de pesquisa, 5 são do Brasil, 2 da Áustria e os outros 3 da Dinamarca, Irã e Argélia. A seguir, encontra-se o Quadro 3 com a identificação dos artigos incluídos na pesquisa.

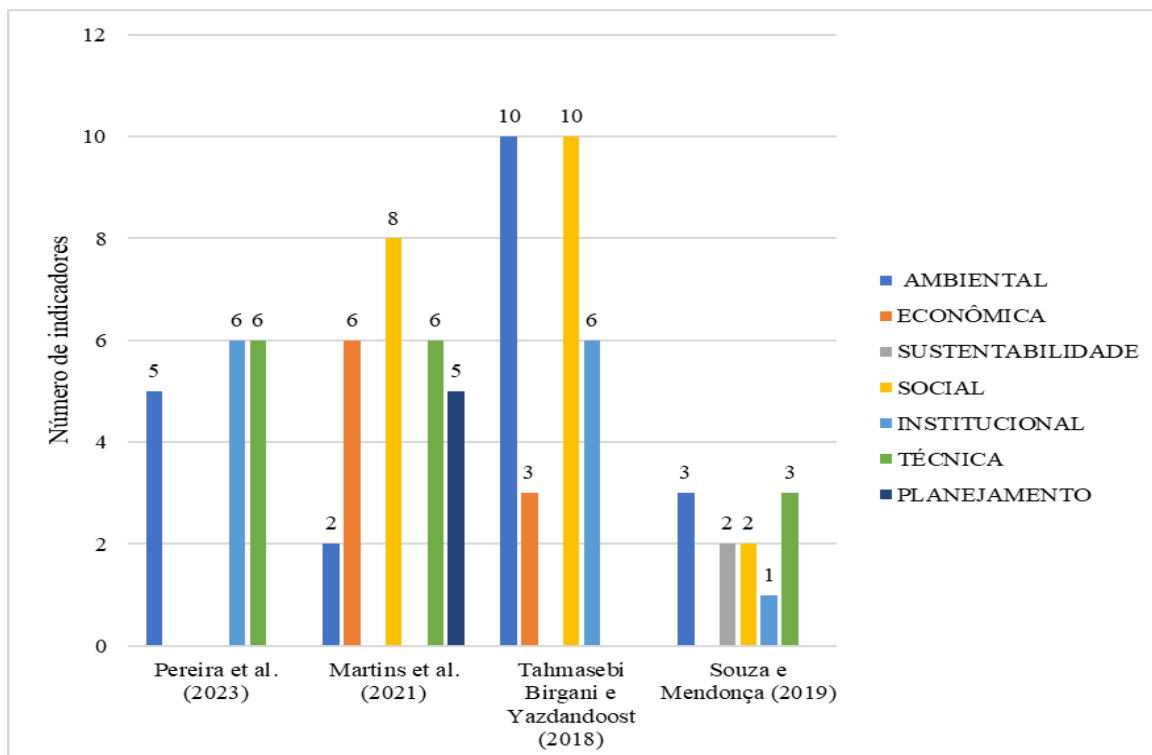
Quadro 3. Relação de artigos incluídos na pesquisa.

TÍTULO	AUTORES	ANO	PAÍS	REVISTA
Indicators of hazard, vulnerability and risk in urban drainage	Hauger, M.B.; Mouchel, J.M.; Mikkelsen, P.S.	2006	Dinamarca	Water science and technology
A case independent approach on the impact of climate change effects on combined sewer system performance	Kleidorfer, M.; Möderl, M.; Sitzenfrei, R.; Urich, C.; Rauch, W.	2009	Áustria	Water science and technology
Identifying weak points of urban drainage systems by means of VulNetUD	Möderl, M.; Kleidorfer, M.; Sitzenfrei, R.; Rauch, W.	2009	Áustria	Water science and technology
An Integrated Framework to Evaluate Resilient-Sustainable Urban Drainage Management Plans Using a Combined-adaptive MCDM Technique	Tahmasebi Birgani, Y.; Yazdandoost, F.	2018	Irã	Water resources management
Environmental integrity preliminary assessment of valley bottoms	Pereira, P.P.; Paredes, E. A.; Okawa, C.M.	2018	Brasil	Engenharia sanitária e ambiental
A multi-objective and multicriteria methodology for performance evaluation of urban drainage systems	Souza, M.A.A. de; Mendonca, E.C.	2019	Brasil	Ingenieria del agua
Development of an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems	Igroupfa, M.; Benzerra, A.; Seghir, A.	2020	Argélia	Water science and technology
Sustainable neighbourhoods: Applicable indicators through principal component analysis	Martins, M.S.; Kalil, R.M.L.; Rosa, F.D.	2021	Brasil	Urban design and planning
Evaluating the Role of Urban Drainage Flaws in Triggering Cascading Effects on Critical Infrastructure, Affecting Urban Resilience	Oliveira, A.K.B. de; Battemarco, B.P.; Barbaro, G.; Gomes, M.V.R.; Cabral, F.M.; de Oliveira Pereira Bezerra, R.; ... & Miguez, M.G.	2022	Brasil	Infrastructures
Performance evaluation of urban drainage systems: an analytic hierarchy process approach for the Jaracati basin in Brazil	Pereira, R.F.S.; Figueiredo, N.M. de; Campos Filho, L.C.	2023	Brasil	Acta scientiarum-technology

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observou-se, no Quadro 3, que 40% dos artigos incluídos na pesquisa foram publicados em, apenas, 1 (um) periódico com fator de impacto de 2,43 (2023-2024), o *Water Science and Technology*. A Figura 3 ilustra a nuvem de palavras-chave dos artigos aderentes à pesquisa.

Figura 4. Gráfico com a disposição do número de indicadores por natureza.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Com a análise da distribuição do gráfico da Figura 4, foi possível estabelecer uma média de, pelo menos 5 (cinco) indicadores por natureza, considerando as 7 (sete) classes. Também se observa que as naturezas ambiental, econômica, social, institucional e técnica estão presentes em, pelo menos, dois artigos distintos, expondo assim um padrão a ser observado. Destaca-se que essa metodologia é similar à utilizada no Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas/BA (Prefeitura Municipal de Alagoinhas, 2004), cujo IFS são caracterizados por natureza tecnológica, ambiental e institucional. Adicionalmente, outros autores brasileiros, nos seus trabalhos acadêmicos e com artigos publicados em anais de congressos, também aplicaram o mesmo método de aplicação dos IFS (em natureza: tecnológica, ambiental e institucional) na avaliação dos sistemas de macro e microdrenagem dos seus estudos de caso (Santos Júnior, 2014; Vargas; Miranda, 2016; Moraes *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2018; Silva Junior *et al.*, 2018; Silva; Pinheiro, 2019).

Quanto à caracterização, constatou-se que os IFS de natureza ambiental, aplicados nos SDU, avaliavam a interação entre um produto, atividade ou serviço com o meio ao qual está inserido, podendo ocasionar impactos negativos ou positivos; já os de natureza econômica, avaliavam o quanto as fragilidades oneravam a viabilidade do projeto a longo

prazo, a eficácia do sistema e a sustentabilidade; no âmbito social, se levava em consideração a sensibilidade e o atendimento às comunidades envolvidas; a natureza institucional se atenta a organização, estrutura e gestão pública; e, por fim, a natureza técnica se refere ao conhecimento específico, habilidades ou técnicas aplicadas.

3.2 MÉTODOS DE APLICAÇÃO DOS INDICADORES DE FRAGILIDADE DE SISTEMAS

A análise mostrou que, quanto à metodologia, 2 (dois) artigos se basearam integralmente na revisão de literatura, enquanto 8 (oito) utilizam *softwares* ou ferramentas auxiliares. Foram identificados o uso dos modelos computacionais: SWMM, VultNetUD e MODCELL; os métodos multicritérios e de tomada de decisão: APH, AAHP, FAHP, Entropia, TOPSIS e ELECTRE-TRI; e as ferramentas de avaliação de sustentabilidade: BREEAM communities, CASBEE-UD, LEED-ND, Aqua neighbourhood, 2030 Districts e Livability index.

A classificação da fragilidade é de suma importância por possibilitar visualizar a real situação do SDU e o grau de urgência do problema. Dos artigos aceitos, 7 (sete) utilizam algum indicador para avaliação de SDU e classificam os resultados, quanto à condição em que se encontram, nos seguintes rótulos: muito ruim, ruim, regular, bom ou muito bom. Há pequenas variações na forma de classificação dos indicadores (por exemplo: pontuando de 0 a 5 de acordo com a fragilidade encontrada ou associando aos rótulos), no entanto são métodos replicáveis.

A opinião dos especialistas foi considerada em 60% dos artigos, dos quais 5 (cinco) para atribuição de pesos aos indicadores e 1 (um) para a seleção dos indicadores a serem utilizados. Os demais artigos aplicaram formas arbitrárias de avaliação dos indicadores, de acordo com a realidade local. Importante destacar que a seleção dos indicadores pode ser baseada na literatura e os pesos atribuídos com base na experiência e nível de conhecimento dos especialistas.

Para a análise de propostas de intervenção em SDU, visando a definição de um possível *modus operandi* diante da fragilidade identificada, 90% dos artigos sugeriram e recomendaram IFS aliados à modelos e ferramentas para o gerenciamento de riscos, elaboração de estratégias de reabilitação e controle de danos, a partir da gestão dos pontos críticos e aumento da vida útil dos SDU. Em grande dos artigos, os autores apresentaram

sugestões de melhorias na aplicação da metodologia desenvolvida, explorando novos âmbitos e se adequando a outras realidades. Quanto às intervenções sugeridas para redução das fragilidades e melhoria no desempenho dos SDU dos artigos analisados, apontou-se para adequações na gestão urbana, implantação de SDU tradicionais e sustentáveis, e educação ambiental da população.

3.3 SÍNTESE DOS ESTUDOS

Com a análise cronológica das publicações dos artigos incluídos nesta pesquisa, tornou-se possível visualizar as mudanças que ocorreram sobre a aplicação IFS na avaliação de SDU. No começo dos anos 2000, Hauger *et al.* (2006) já afirmavam que o uso de indicadores não era uma técnica nova, e Möderl *et al.* (2009) e Kleidorfer *et al.* (2009) já apresentavam simulações computacionais utilizando indicadores de desempenho para cenários climáticos futuros. Assim como nos demais artigos incluídos nesta pesquisa, foi possível observar eficácia e praticidade na utilização de modelos computacionais, *softwares* e métodos de análise como ferramentas de aplicação dos indicadores. Nesse contexto, foi possível notar uma tendência de mecanização na aplicação de indicadores em uma avaliação de SDU, tornando o processo mais eficiente, preciso e dinâmico.

O Quadro 4 apresenta o resultado da sumarização dos artigos, detalhando a justificativa do estudo, o método adotado, os resultados encontrados e as principais conclusões. Desse modo, é possível notar as congruências, discrepâncias e medidas adotadas com a problemática exposta.

Quadro 4. Resumo dos artigos incluídos na pesquisa.

AUTORES	RESUMO
Hauger <i>et al.</i> (2006)	Nessa pesquisa considerou-se que o uso de indicadores de riscos bem escolhidos é algo sensato para uma análise preliminar de riscos potenciais. Dessa forma, o objetivo deste artigo foi (1) destacar o uso de indicadores na avaliação de risco de drenagem urbana, (2) mostrar que há uma diferença na fonte e no objeto do risco, (3) trazer o uso de indicadores de risco, e especialmente indicadores de risco relacionados com a vulnerabilidade no centro das atenções. Concluiu-se que o uso de indicadores não é uma tecnologia nova, porém é funcional; devido a imprevisibilidade dos fenômenos naturais, reduzir o risco iminente é reduzir a vulnerabilidade; os indicadores permitem distinguir entre o perigo relacionado com a fonte do risco e a vulnerabilidade relacionada com o objeto do risco.

AUTORES	RESUMO
Kleidorfer <i>et al.</i> (2009)	No artigo foram comparados o comportamento de diferentes indicadores de desempenho de sistema de esgoto misto considerando os efeitos das alterações ambientais a longo prazo. Este trabalho se baseou em simulação computacional hidrodinâmica de sistemas mistos de esgoto, utilizando o conhecido modelo hidrodinâmico SWMM 5.0. Indicadores de desempenho atuaram como informações-chave para avaliar a eficiência de sistema de esgoto. Foi observado no estudo que o aumento na intensidade das chuvas tem o maior impacto no desempenho do sistema, seguido pelo impacto de uma variação na área impermeável. Também foi possível concluir o impacto de possíveis cenários de mudança ambiental é bastante semelhante para sistemas diferentes.
Möderl <i>et al.</i> (2009)	No estudo em questão foi utilizado um modelo baseado na aproximação para avaliar o risco onde as informações de vulnerabilidade de um SDU são mescladas com informações sobre magnitude e frequência dos riscos causados por impactos naturais ou antropogênicos e alterações ambientais – VulNetUD. A mudança no desempenho de um SUD causado por um impacto em um componente é estimado por meio da comparação de indicadores de desempenho (IDS) que visam estimar a vulnerabilidade intrínseca a um componente levando em conta o desempenho de todo o sistema. Foi possível concluir que os estudos de caso virtuais são capazes de gerar valores de desempenho que sejam representativos para sistemas do mundo real.
Tahmasebi Birgani e Yazdandoost (2018)	Este artigo apresenta um novo enquadramento da gestão de drenagem na área urbana utilizando integração de indicadores de sustentabilidade e resiliência. Devido a multiplicidade de indicadores e complexibilidade do planejamento de drenagem urbana, foi adotada uma técnica de tomada de decisão-problema e a tomada de decisão multicritério (MCDM) combinada do método adaptado do AHP (AAHP), aplicando a estrutura apresentada a um estudo de caso real no 22º distrito do município do noroeste da cidade de Teerã, no Irã. Pôde ser observado que a aplicação do AAHP pode reduzir impressionantemente o tempo de construção da matriz de comparação pareada (MCP) embora satisfaça os critérios de consistência. Também foi demonstrado que a técnica da Entropia pode amplificar o papel dos critérios cujos valores são significativamente diferentes para vários planos de drenagem urbana (PDUs).
Pereira <i>et al.</i> (2018)	Foi aplicada uma metodologia para um diagnóstico ambiental preliminar de fundos de vale em áreas urbanizadas, considerando indicadores relacionados: ao saneamento básico; à vegetação ciliar; aos impactos ambientais; à integração dos cursos d'água com o município e a população; e às iniciativas de educação ambiental. Os indicadores foram selecionados da literatura e da legislação nacional e submetidos a 30 profissionais para atribuição de pesos. A aplicação dos indicadores foi realizada em dois fundos de vale localizados na cidade de Maringá, Paraná: córrego Mandacaru e córrego Betty. Os indicadores propostos para avaliar áreas de fundos de vale dos córregos Mandacaru e Betty foram atendidos em 35,88 e 43,20%, respectivamente. Logo, as áreas se encontram em situação classificada como ruim. Conclui-se que a promoção de palestras e cursos sobre educação ambiental é fundamental para que a população possa valorizar áreas verdes fragmentadas no meio urbano e estas poderão ser efetivamente utilizadas da forma que se espera.
Souza e Mendonça (2019)	Para que se tenha um manejo eficiente das águas pluviais urbanas é fundamental a realização do controle das inundações. Optou-se pelos métodos TOPSIS e ELECTRE-TRI como auxílio a decisão na seleção dos processos e medidas para controle de inundações e drenagem urbana. As dimensões de avaliação foram as seguintes: dimensão legal, dimensão econômica, dimensão social, dimensão ambiental, dimensão de práticas sustentáveis e dimensão técnica. O estudo de caso selecionado contempla uma área urbanizada do município de Goiânia, capital do estado de Goiás, Brasil. A metodologia proposta para avaliação global de sistemas de drenagem urbana é de fácil aplicação, apresenta o problema de forma simples, e permite a identificação dos aspectos mais eficientes e dos mais precários associados aos sistemas de drenagem urbana.

AUTORES	RESUMO
Igroufa <i>et al.</i> (2020)	Considerando os indicadores de desempenho como ferramentas de avaliação benéficas no gerenciamento de SDU, o estudo de caso se dá na rede de drenagem da cidade de Bejaia. É apresentada a avaliação de desempenho dos dois objetivos identificados: 1. Garantir uma boa gestão da infraestrutura e 2. Garantir uma boa exploração da rede. Os resultados obtidos mostraram um bom desempenho para o primeiro objetivo, mas vários dos seus indicadores revelaram um mau desempenho. Além disso, um desempenho medíocre foi encontrado para o segundo objetivo, como evidência do grau de divergência nas ações das partes interessadas. Foi possível concluir que a exploração dos resultados obtidos permite atuar melhor nas falhas do SDU e aumentar a sua vida útil.
Martins <i>et al.</i> (2021)	O objetivo deste estudo é identificar os principais componentes em quatro dimensões: ambientais, sociais, econômicos e institucionais; com base na opinião de um grupo de especialistas e cidadãos. A metodologia se deu pela seleção de seis ferramentas de avaliação de sustentabilidade e propor uma estrutura geral para comparar seus indicadores. A análise se concentra em identificar quais indicadores refletem as principais contribuições para os objetivos de sustentabilidade. Os critérios de seleção resultaram em um conjunto variável de 43 indicadores iniciais, com enfoque na dimensão ambiental. A análise dos cinco componentes mostra que 46% das variáveis pertenciam à dimensão social, 38% à dimensão ambiental, 8% à dimensão econômica e 8% à dimensão institucional. Esses resultados estão em linha com os problemas urbanos observados em o contexto brasileiro, o que pode aumentar a sensibilização para a necessidade de desenvolver e manter a sustentabilidade de uma área urbana, contribuindo para o desenvolvimento de políticas que promovam mudar.
Oliveira <i>et al.</i> (2022)	O presente trabalho propõe investigar e quantificar a resiliência urbana às inundações, oferecendo uma abordagem metodológica quantitativa integrada. Um conjunto de indicadores e procedimentos integrados são propostos como principal contribuição ao conhecimento desta área de pesquisa, simulando o comportamento hidrodinâmico do Rio Acari. Os resultados da simulação mostraram que a bacia hidrográfica apresenta múltiplas áreas inundadas, o que indica falhas generalizadas no sistema principal de drenagem. A principal conclusão foi a constatação de que projetar um sistema adequado sistema de drenagem exige reconhecer as necessidades da dinâmica natural da água e a capacidade de carga da bacia.
Pereira <i>et al.</i> (2023)	O artigo considerou o uso de indicadores de fragilidade como essenciais para o planejamento urbano uma vez que servem como parâmetros para avaliar o desempenho do SDU quanto a qualidade de eficiência. Foi desenvolvido um modelo de avaliação utilizando IFS e sua ordenação via <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP), na bacia do rio Jaracati, Estado do Maranhão, Brasil. Foram criados três grupos de indicadores: grupo de natureza ambiental, grupo de natureza tecnológica e grupo de natureza institucional; cada grupo contendo seis indicadores. Com o objetivo de coletar informações censitárias, por meio da atribuição de pesos, foram aplicados questionários a uma amostra de vinte profissionais atuantes na área de drenagem urbana. A classificação objetiva do estudo de caso mostrou que a bacia do Rio Jaracati possui um grau de fragilidade forte, com a natureza ambiental exigindo maior atenção.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 CONCLUSÃO

Diante do cenário de mudanças climáticas, se faz necessário projetar um sistema mais resiliente e sustentável para evitar futuras medidas adaptativas. Além disso, identificar a vulnerabilidade dos SDU existentes se mostra necessário para o seu melhor aproveitamento, auxiliando na gestão de riscos, controle de danos e formas de

recuperação. Consoante a isso, urge a avaliação dos SDU e, portanto, há a procura constante por um método mais prático e eficiente para tal.

Nesse contexto, foi possível observar que a aplicação de IFS na avaliação de um SDU se destaca devido à fácil aplicação e grande versatilidade. Possui um processo metodológico consistente, podendo se adaptar conforme a área de interesse especificada. Para a caracterização dos indicadores, observou-se uma tendência de classificá-los em 5 (cinco) naturezas: ambiental, econômica, técnica, institucional e social; considerando, em média, 5 (cinco) indicadores por natureza. Recomenda-se o uso dos IFS em conjunto com modelos computacionais, ferramentas auxiliaadoras e métodos multicritérios e de tomadas de decisão, para expandir sua aplicabilidade e eficiência. Ressalta-se, também, a importância de contar com a opinião de especialistas da área, tanto na atribuição de pesos aos indicadores quanto na seleção desses indicadores, visando aumentar a confiabilidade e relevância dos resultados.

Quanto ao procedimento metodológico da RSL, o *software* StArt se mostrou eficiente, prático e metódico, otimizando os processos massivos de uma revisão literária, facilitando a extração de dados essenciais para sumarização e, logo, evidenciando os resultados da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de iniciação tecnológica (PIBITI).

REFERÊNCIAS

CARDOSO, M.A. **Avaliação do Desempenho de Sistemas de Drenagem Urbana**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 403 p., 2008. Acesso em: 06/05/2024. Disponível em: <https://repositorio.lnec.pt/jspui/handle/123456789/17207>

CARVALHO, L.S.; MACHADO, R.S.; AMARAL, L.C.; OLIVEIRA, E.P.; CARVALHO JUNIOR, W.C. Índice de fragilidade em drenagem pluvial para mapeamento de áreas de risco de inundações. **Connection Line – Revista Eletrônica do UNIVAG**, n. 19, p. 63-78, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18312/connectionline.v0i19.1196>

FLÔRES, A.F.; BERNART, M.L.; CAMPOS, J.R.R.; GODOY, C.M.T. Revisão sistemática sobre ecossistemas de inovação: um olhar a partir do Método Ordinatio. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 2135–2152, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-125>

HAUGER, M.B.; MOUCHEL L, J.M.; MIKKELSEN, P.S. Indicators of hazard, vulnerability and risk in urban drainage. **Water science and technology**, v. 54, n. 6-7, p. 441-450, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2006.622>

IGROUFA, M.; BENZERRA, A.; SEGHIR, A. Development of an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems. **Water Science and Technology**, v. 82, n. 3, p. 537-548, 2020. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.356>

KLEIDORFER, M.; MÖDERL, M.; SITZENFREI, R.; URICH, C.; RAUCH, W. A case independent approach on the impact of climate change effects on combined sewer system performance. **Water science and technology**, v. 60, n. 6, p. 1555-1564, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.520>

LaPES UFSCar. 2017. **Termos e Condições de Uso Da Ferramenta StArt**. Acesso em: 06/03/2024. Disponível em: <https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools-1/start-1>.

LIMA, M.C.A.; KOHLMAN RABBANI, E.R.; MIRANDA COSTA, A.L.; SILVA JUNIOR, M.A.B.; SILVA, A.K.B; FERREIRA, H.S. Aspectos de formação sustentável nos cursos de engenharia: uma revisão da literatura. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 20, n. 2, p. 252-269, 2024. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.520>

MARTINS, M.S.; KALIL, R.M.L.; ROSA, F.D. Sustainable neighbourhoods: applicable indicators through principal component analysis. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Urban Design and Planning**, v. 174, n. 1, p. 25-36, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1680/jurdp.20.00058>

MÖDERL, M.; KLEIDORFER, M.; SITZENFREI, R.; RAUCH, W. Identifying weak points of urban drainage systems by means of VulNetUD. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 10, p. 2507-2513, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.664>

MORAES, G.F.; MELLO, T.M.P.; TEIXEIRA, N.C.; MARTINS, T.S. Avaliação da Fragilidade do Sistema de Drenagem Pluvial Urbana: o caso da bacia hidrográfica do Córrego Quarta-Feira em Cuiabá – MT. *In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, nº 27, 2017, São Paulo. Anais. São Paulo: ABES, 2017, p. 1-7. Acesso em: 16/04/2024. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/06/IX-106.pdf>

MUWAFU, S.P., RÖLFER, L., SCHEFFRAN, J., COSTA, M.M. A framework for assessing social structure in community governance of sustainable urban drainage systems: insights from a literature review. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, v. 29, n. 42, p. 1-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10136-2>

OCAÑA-FERNANDEZ, Y., FUSTER-GUILLÉN, D. The bibliographical review as a research methodology. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, v. 14, n. 33, p. e15614, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.20952/revtee.v14i33.15614>

OLIVEIRA, A.K.B.; BATTEMARCO, B.P.; BARBARO, G.; GOMES, M.V.R.; CABRAL, F.M.; BEZERRA, R.O.P.; RUTIGLIANI, V.A.; LOURENÇO, I.B.; MACHADO, R.K.; REZENDE, O.M.; MAGALHÃES, P.C.; VERÓL, A.P.; MIGUEZ, M.G. Evaluating the Role of Urban Drainage Flaws in Triggering Cascading Effects on Critical Infrastructure, Affecting Urban Resilience. **Infrastructures**, v. 7, n. 153, p. 1-26, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures7110153>

PEREIRA, P.P.; PAREDES, E.A.; OKAWA, C.M. Environmental integrity preliminary assessment of valley bottoms. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, p. 739-749, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018169928>

PEREIRA, R.F.S.; FIGUEIREDO, N.M.; CAMPOS FILHO, L.C. Performance evaluation of urban drainage systems: an analytic hierarchy process approach for the Jaracati basin in Brazil. **Acta Scientiarum Technology**, v. 45, n. 1, p. e63176, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v45i1.63176>

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALAGOINHAS. **Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas** (Tomo I). UFBA, Salvador, 2004, 559 p.

REYES, B.H. Artículos de revisión. **Revista Médica de Chile**, v. 148, n. 1, p. 103-108, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872020000100103>

RIPOL E SILVA, B.; PINHEIRO, H.; LOPES, D.D. Seleção de indicadores de sustentabilidade para avaliação do sistema de drenagem urbana. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 1, n.1, p. 30-44, 2013. DOI: <https://doi.org/10.17271/23188472112013434>

SANTOS JÚNIOR, V.J. Avaliação da fragilidade no sistema de drenagem pluvial urbana: o caso da bacia hidrográfica do córrego das Melancias em Montes Claros–MG. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 3986-3997, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236130815125>

SARAIVA, A.F.S.; BRAGA, C.A.M.; SILVA, A.P.; MONTE, C.G.I.; SANTOS, M.C.O.; SILVA, N.G.; TAVARES, P.A.; LOPES, W.S. Desigualdades salariais por gênero no mercado de trabalho: uma revisão sistemática de literatura. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 7, p. e8269, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.7-128>

SILVA JUNIOR, M.A.B.; CÂMARA, C.P.S.; FONSECA NETO, G.C.; CABRAL, J.J.S.P., 2018. Avaliação dos indicadores de fragilidade do sistema de drenagem urbana de um bairro em Olinda-PE. *In*: **ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS**, nº 12, 2018, Maceió. Anais. Porto Alegre: ABRHidro, 2018, p. 1-10. Acesso em: 17/04/2024. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=4398>

SILVA, A.H.P.M.; PINHEIRO, A.V.R. **Indicadores de Fragilidade de Sistema de Drenagem Urbana**: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Una-PA. Portal Saneamento Básico, Abastecimento de Água, Acervo Técnico, p. 1-18, 2019. Acesso em: 16/04/2024. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2019/10/INDICADORES-DE-FRAGILIDADE-EM-UM-SISTEMA->

DE-DRENAGEM-URBANA-ESTUDO-DE-CASO-DA-BACIA-HIDROGR%C3%81FICA-DO-UNA-PA.pdf

SOUZA, M.A.A.; MENDONÇA, E.C. Uma metodologia multiobjetivo e multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. **Ingeniería del agua**, v. 23, n. 2, p. 89-106, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4995/ia.2019.10214>

SOUZA, N.L.; NÓBREGA, R. S.; TORRES, M.F.A.; FERREIRA JUNIOR, A.V. A bibliometric review of ecosystem services and coastal zones: diagnoses and trends. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 59, p. e1708, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781708>

TAHMASEBI BIRGANI, Y.; YAZDANDOOST, F. An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. **Water Resources Management**, v. 32, p. 2817-2835, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1960-2>

VARGAS, I.E.O.; MIRANDA, T.C. Avaliação do índice de fragilidade do sistema de drenagem pluvial urbano. Estudo de caso: Setor Jardim América Porto Nacional – TO. *In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, nº 13, 2016, Aracaju. Anais. Porto Alegre: ABRHidro, 2016, p. 1-10. Acesso em: 16/04/2024. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=691>

WANG, M.; FANG, Y.; SWEETAPPLE, C. Assessing flood resilience of urban drainage system based on a ‘do-nothing’ benchmark. **Journal of Environmental Management**, v. 288, n. 15, p. 1-3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112472>

YANG, W.; ZHANG, J. Assessing the performance of gray and green strategies for sustainable urban drainage system development: A multi-criteria decision-making analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, p. 126191, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126191>

YIN, H.; ZHENG, F.; DUAN, H.F.; ZHANG, Q.; BI, W. Enhancing the effectiveness of urban drainage system design with an improved ACO-based method. **Journal of Hydro-Environment Research**, v. 38, p. 96-105, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jher.2020.11.002>

ANEXO B - Caracterização morfo-hidrológica de pequena bacia amazônica como subsídio ao processo de revitalização de rio urbano

Caracterização morfo-hidrológica de pequena bacia amazônica como subsídio ao processo de revitalização de rio urbano

Morpho-hydrological characterization of a small Amazon basin as a support for the urban river revitalization process

Caracterización morfohidrológica de una pequeña cuenca amazónica como apoyo al proceso de revitalización fluvial urbana

John Witysel Santos Rodrigues

Bacharelado em Engenharia Civil, UFOPA, Brasil.
johnwitysel@outlook.com

Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior

Professor Mestre, UFOPA, Brasil. marcos.abs@ufopa.edu.br

RESUMO

No cenário urbano, os rios estão vulneráveis à diversas ações antrópicas que impactam a sua funcionabilidade, como: ocupações marginais irregulares, lançamento de efluentes, descarte de resíduos e obras hidráulicas inadequadas. É neste contexto que se encontra o Igarapé Oriundo, um pequeno rio urbano do município de Itaituba, sudoeste do Pará. Como um passo inicial para o seu eventual processo de revitalização, este artigo realizou uma caracterização morfo-hidrológica de sua bacia de drenagem em ambiente SIG. Para isso, foram utilizadas imagens SRTM, como fonte de dados altimétricos, e o software QGIS, para o processamento e análise dos dados. Definidos os limites da área de contribuição da bacia, foram obtidas e avaliadas as suas características: físicas, morfométricas e hidrológicas. Quanto às características físicas, a área de drenagem obtida foi de 2,73 km², perímetro de 10,41 km, altitude média de 21,15 m, declividade média de 3,97% e comprimento axial da bacia de 3,82 km. Foi identificado o Igarapé Oriundo como único canal contribuinte, com extensão de cerca de 4,05 km. Em relação a morfometria, a bacia apresentara coeficiente de compactidade de 2,76, fator de forma de 0,19 e razão de alongação de 0,49; assim como densidade de drenagem de 1,49 km/km², razão de relevo de 0,01 e índice de sinuosidade de 1,06. As vazões máximas obtidas, considerando uma chuva com TR de 10 anos e 25 anos, foram de 29,64 e 34,90 m³/s. Nesse viés, conclui-se que a bacia possui baixa susceptibilidade a enchentes em condições normais de precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia hidrográfica. Morfometria. QGIS.

SUMMARY

In the urban scenario, rivers are vulnerable to various human actions that impact their functionality, such as: irregular marginal occupations, discharge of effluents, waste disposal and inadequate hydraulic works. It is in this context that the Igarapé Oriundo, a small urban river in the municipality of Itaituba, southwest of Pará, is found. As an initial step towards its eventual revitalization process, this article carried out a morpho-hydrological characterization of its drainage basin in an environment SIG. For this, SRTM images were used as a source of altimetric data, and the QGIS software was used for data processing and analysis. Once the limits of the basin's contribution area were defined, its characteristics were obtained and evaluated: physical, morphometric and hydrological. As for the physical characteristics, the drainage area obtained was 2.73 km², perimeter of 10.41 km, average altitude of 21.15 m, average slope of 3.97% and axial length of the basin of 3.82 km. Igarapé Oriundo was identified as the only contributing channel, with a length of around 4.05 km. Regarding morphometry, the basin had a compactness coefficient of 2.76, a shape factor of 0.19 and an elongation ratio of 0.49; as well as drainage density of 1.49 km/km², relief ratio of 0.01 and sinuosity index of 1.06. The maximum flows obtained, considering rainfall with TR of 10 years and 25 years, were 29.64 and 34.90 m³/s. In this sense, it is concluded that the basin has low susceptibility to flooding under normal precipitation conditions.

KEYWORDS: Watershed. Morphometry. QGIS.

RESUMEN

En el escenario urbano, los ríos son vulnerables a diversas acciones humanas que impactan su funcionalidad, tales como: ocupaciones marginales irregulares, descargas de efluentes, disposición de residuos y obras hidráulicas inadecuadas. Es en este contexto que se encuentra el Igarapé Oriundo, un pequeño río urbano del municipio de Itaituba, al suroeste de Pará. Como paso inicial hacia su eventual proceso de revitalización, este artículo realizó una caracterización morfohidrológica de su cuenca de drenaje en un entorno SIG. Para ello se utilizaron imágenes SRTM como fuente de datos altimétricos y para el procesamiento y análisis de datos se utilizó el software QGIS. Una vez definidos los límites del área de aporte de la cuenca, se obtuvieron y evaluaron sus características: físicas, morfométricas e hidrológicas. En cuanto a las características físicas, el área de drenaje obtenida fue de 2,73 km², perímetro de 10,41 km, altitud promedio de 21,15 m, pendiente promedio de 3,97% y longitud axial de la cuenca de 3,82 km. Igarapé Oriundo fue identificado como el único canal contribuyente, con una longitud de alrededor de 4,05 km. En cuanto a la morfometría, la cuenca tuvo un coeficiente de compactidad de 2,76, un factor de forma de 0,19 y un índice de elongación de 0,49; así como una densidad de drenaje de 1,49 km/km², relación de relieve de 0,01 e índice de sinuosidad de 1,06. Los caudales máximos obtenidos, considerando precipitaciones con TR de 10 años y 25 años, fueron 29,64 y 34,90 m³/s. En este sentido, se concluye que la cuenca tiene baja susceptibilidad a inundaciones en condiciones normales de precipitación.

PALABRAS CLAVE: Cuenca. Morfometría. QGIS.

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal N° 9433/97, e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH (BRASIL, 1997). A Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA, 2011) define bacia hidrográfica (BH) como uma região pertencente a um dado território e delimitada por divisores de água. Toda precipitação no interior dessa área, e que não infiltra, escoar até um curso d'água e essa água, por sua vez, geralmente converge e é descarregada através de um único exutório localizada no ponto mais baixo da região.

Através de cartas topográficas ou imagens de satélite, é possível estabelecer os limites da área de uma bacia, partindo de um ponto pré-definido como exutório e contornando a região seguindo as cristas de maior elevação no terreno. Para isso, atualmente, essa abordagem requer o uso de técnicas de geoprocessamento a fim de obter, processar e exibir a informação espacial de forma atempada e econômica.

A aplicação do software QGIS para o processamento de um Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido a partir de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), e sua aplicação efetiva no processo de caracterização de bacias hidrográficas é atestada e recomendada por diversos pesquisadores no mundo, pois além de garantir maior precisão, também proporcionam economia de tempo, menor exatidão e, logo, maior praticidade (SCHMITT; MOREIRA, 2015; SILVA JUNIOR et al., 2019; SOUZA et al., 2021). O uso do SIG permite, também, atualizar ou recuperar informações georreferenciadas, derivar modelos cartográficos diversos e gerar mapas interativos.

Parâmetros físicos, morfométricos e climáticos influenciam, diretamente, na dinâmica hidrológica de uma bacia e, por isso, é necessário conhecer suas características (SILVA JUNIOR et al., 2019). Em uma bacia urbana, Rocha (2022) ressalta que o ponto de partida para a escolha e definição dos dispositivos de drenagem em um projeto de infraestrutura corresponde à vazão máxima de contribuição. Consoante a isso, o dimensionamento de dispositivos e unidades de um sistema de drenagem deve levar em conta o aporte de água pluvial que deve escoar e, logo, a área de contribuição da bacia de drenagem e suas características morfo-hidrológicas.

Assim como a maioria das cidades amazônicas, Itaituba, situada no sudoeste do Pará, “nasceu” dos rios. O município está inserido na bacia hidrográfica do Rio Tapajós, que é um dos principais afluentes do Rio Amazonas. Na região do Tapajós, segundo Schuber e Moraes (2015), a urbanização foi intensificada na conhecida “década áurea da garimpagem” nos anos de 1980 e, desde então, se observou um processo de expansão explosivo sem o acompanhamento da infraestrutura básica. Nesse cenário, nos deparamos com a ocupação massiva das áreas mais próximas do rio Tapajós (inclusive nas zonas alagadiças, em palafitas, como a conhecida “Vila Caçula”, no bairro de São José) e a expansão para o interior do território, de jusante a montante. Deste modo, o Igarapé Oriundo como um pequeno rio afluente do Tapajós, que corta a cidade, é marcado pela ocupação ribeirinha irregular e desordenada, sofrendo ações antrópicas e tendo que se moldar ao progresso.

Entendemos, assim, que a ocupação irregular dessas áreas não representa apenas um risco ambiental, mas também social. Segundo Vieira et al. (2023), entre o período de 2002 e

2020, 26.248 pessoas estavam expostas ao risco de inundação em Itaituba. Nesse tocante, uma pesquisa a cerca de drenagem urbana sustentável é entendida como um meio para revitalizar essas áreas críticas nos centros urbanos, a fim de reduzir a deterioração e re-marginalização dessa população, prezando a qualidade de vida e um funcionamento ótimo das cidades. Portanto, partimos da delimitação e caracterização morfo-hidrológica da bacia de drenagem do Igarapé Oriundo, uma vez que são informações inexistentes no município e na literatura, como o primeiro passo em um estudo futuro para reabilitar todo o sistema fragilizado.

2 OBJETIVO

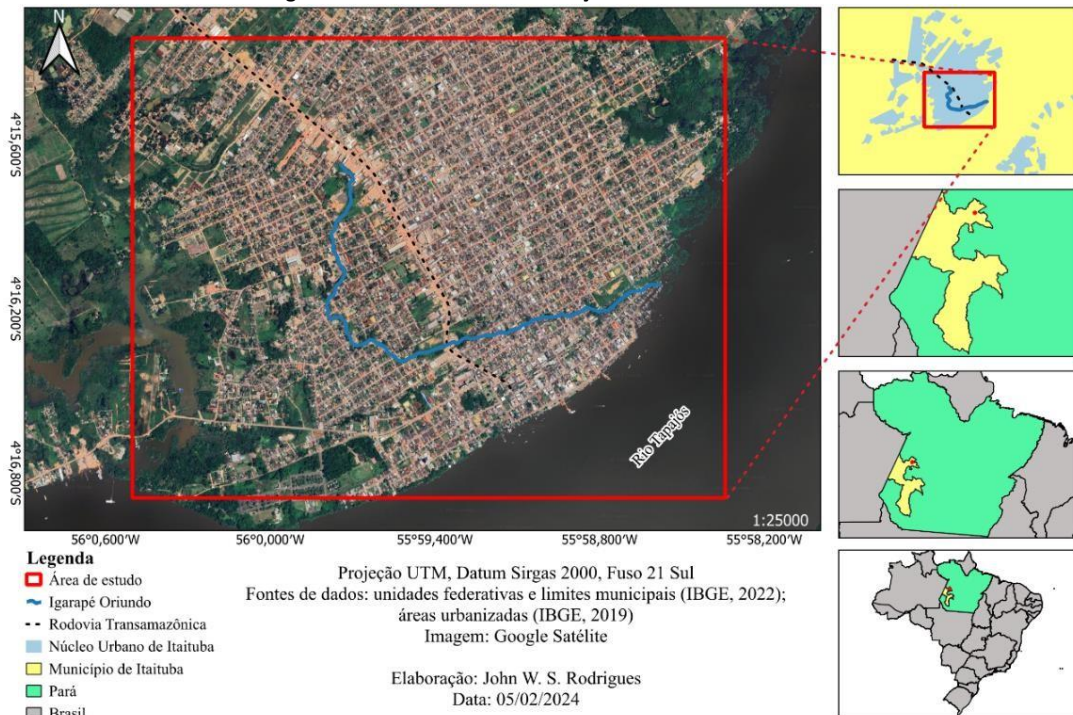
Realizar a caracterização morfo-hidrológica da bacia de drenagem do Igarapé Oriundo, utilizando técnicas de geoprocessamento, de modo a fornecer subsídios para eventual processo de revitalização do seu curso d'água e sistema integrante.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

Considerando o Igarapé Oriundo como um curso de água urbano, este estudo partiu da análise da região ocupada da cidade ao qual o corpo d'água está inserido, gerando uma área de estudo com área de cerca de 12,38 km² e coordenada média de latitude 4° 16' 4.210" S e longitude 55° 59' 24.831" O, conforme se observa na Figura 1.

Figura 1 – Quadrante de localização da área de estudo.



O Igarapé Oriundo é um afluente do Rio Tapajós e está totalmente inserido no núcleo urbano da cidade de Itaituba, localizada na região sudoeste do Pará. O município possui uma população de 123.314 habitantes e uma extensão territorial de 62.042,472 Km² (IBGE, 2023). Em 2019, o seu núcleo urbano possuía uma área de 33,42 km², com 2,3% de urbanização das vias públicas em 2010 (IBGE, 2023). O clima da região apresenta temperatura mínima superior a 18°C e a umidade relativa superior aos 80% em quase todos os meses do ano. Outro fator relevante é que as estações chuvosas de maiores intensidades ocorrem entre dezembro e junho, com índices pluviométricos próximos dos 2065 mm/ano. E, de acordo com o balanço hídrico climatológico, o excedente de água no solo aumenta nos meses de fevereiro a abril, que somando chega a 884 mm (SILVA JUNIOR et al., 2023).

Conforme relata Silva Junior et al. (2023), o atual cenário urbanístico de Itaituba, desenhado por um processo de ocupação sem planejamento, vem promovendo uma série de impactos na infraestrutura da cidade, como: ocupação irregular nas margens dos cursos d'água; aumento do escoamento superficial; processos de assoreamento; eutrofização; interações negativas dos sistemas de drenagem urbana com os efluentes domésticos; disposição irregular dos resíduos sólidos urbanos; dentre outros. Tais fatores, favorecem à fragilidade do sistema de drenagem urbana, afetando diretamente o seu desempenho durante os eventos de chuva.

O Igarapé Oriundo apresenta uma extensão aproximada de 4 km, com nascente na R. Décima/1ª Tv. do Bairro da Floresta e desaguando no Rio Tapajós, atravessando os bairros da Floresta, Liberdade, Nossa Senhora do Perpétuo Socorro e São José. Sua seção hidráulica é sem revestimentos e irregular, com trechos retificados e seção estreitada (com largura variando de 2,4 a 8,5m) devido a ocupação ribeirinha, depósito de resíduos e assoreamento (Figura 2).

Figura 2 – Trechos estreitados do Igarapé devido ao assoreamento e ocupação irregular no Bairro da Liberdade.



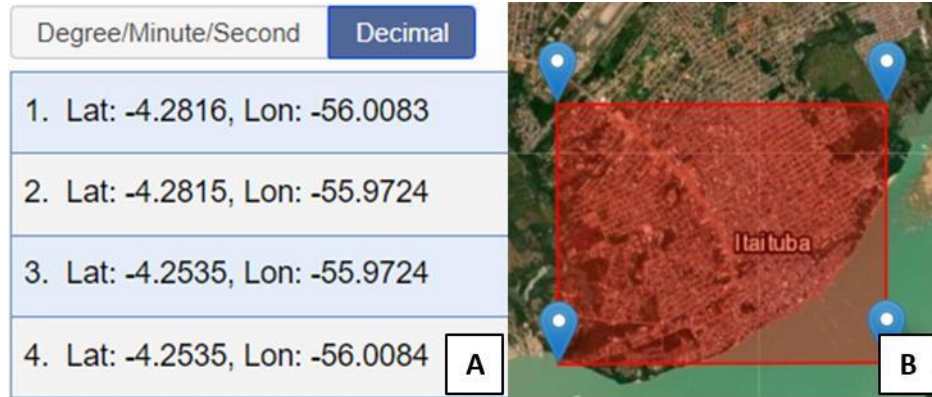
Fonte: Autores.

3.2 Obtenção e tratamento das imagens SRTM

Com a área de estudo estabelecida, foram inseridas as coordenadas decimais (Figura 3a) na plataforma *Earth Explorer USGS* (NASA) e definida a área de interesse (Figura 3b), a fim de obter as imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), de resolução (tamanho de pixel) de 30 m, com os dados altimétricos necessários. Como resultado, foram geradas duas cenas e, portanto, houve a necessidade de junção das mesmas no software QGIS, através da ferramenta “Mosaico”. Considerando que as imagens STRM são representações de uma superfície tridimensional em um plano, se fez necessário o tratamento das imagens para evitar distorções.

Desse modo, foi realizada a reprojeção da camada *raster* de graus (SRC de origem) para métrico (Sirgas 2000/UTM Zone 21S). Realizada a reprojeção, prosseguiu-se com recorte da área de estudo de acordo com as dimensões e coordenadas já dispostas anteriormente, no item 3.1.

Figura 3 – Obtenção de dados altimétricos: (a) Representação das coordenadas inseridas para obtenção de imagem SRTM e (b) visualização da área definida.



Fonte: Autores.

3.3 Delimitação da bacia de drenagem

Ainda no QGIS, com o Modelo Digital de Elevação (MDE) reprojetado e recortado para a área de interesse, seguiu-se com a definição dos limites da bacia de drenagem. Na Figura 4 é possível visualizar os processos realizados.

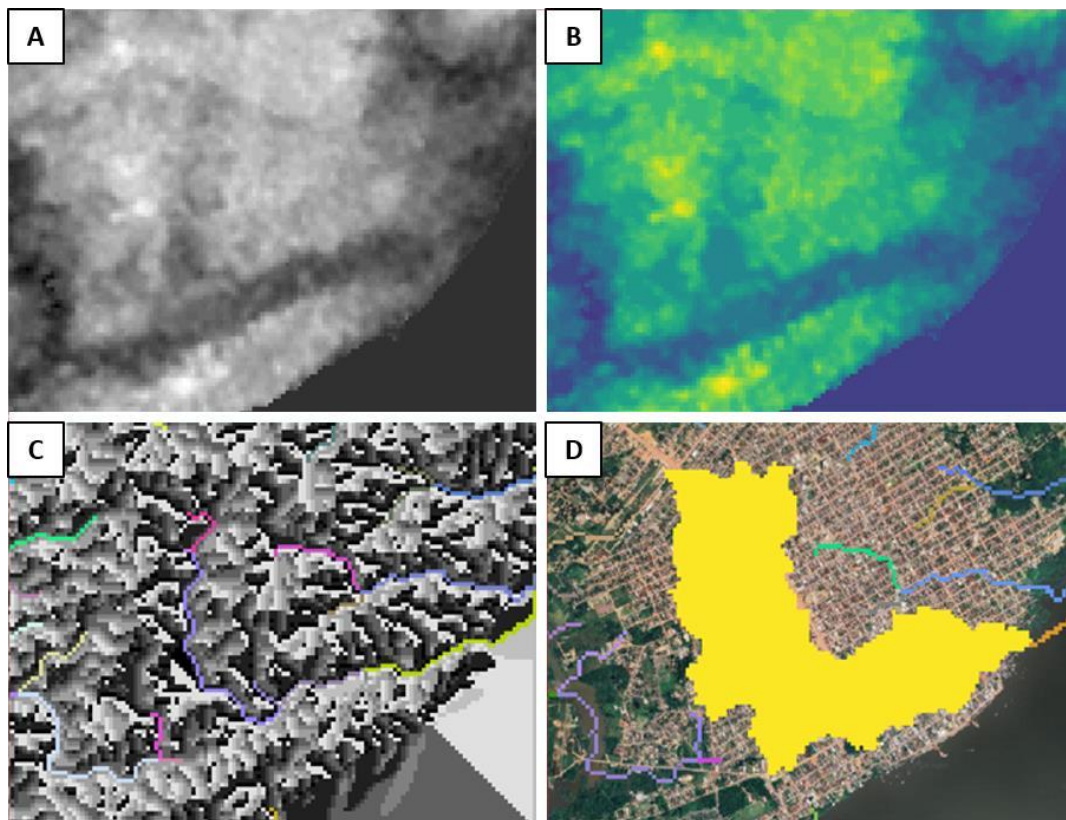


Figura 4 – Processo de delimitação da bacia: (a) Resultante do recorte do MDE com a camada de área de estudo como máscara; (b) Camada com preenchimento das depressões; (c) Representação da direção de fluxo e segmentos de fluxo identificados na região; (d) Visualização da área de contribuição da bacia definida através do exutório.

Fonte: Autores.

Como um MDE bruto e não processado tem artefatos, como depressões, essas precisam ser removidas (preenchidas) para uma análise hidrológica (Figura 4a). Para isso, foi instalado e habilitado o plugin “Grass”, onde utilizou-se o programa *fill (r.fill.dir)* no MDE com o objetivo de gerar uma camada com o preenchimento dessas depressões (*Depressionless DEM*) (Figura 4b). O próximo passo para a delimitação da bacia foi identificar a direção dos fluxos e os segmentos de fluxo, com a ferramenta *r.watershed*. Utilizando a camada com as depressões preenchidas, definiu-se o tamanho mínimo das bacias exteriores num valor de 100 e foram geradas, assim, camadas para direção de drenagem (*drainage direction*) e segmento de fluxo (*stream segment*) (Figura 4c). Com a representação dos corpos d’água situados na área, definindo a camada de direção de drenagem como base e tendo conhecimento que exutório requerido é o ponto onde o Igarapé Oriundo deságua no Rio Tapajós, utilizou-se o programa *r.water.outlet* para a “criação” da bacia hidrográfica a partir desse ponto (Figura 4d).

3.4 Caracterização física

Para determinar as características morfométricas e hidrológicas de uma dada bacia, primeiro se faz necessário conhecer os seus valores físicos (geométricos e de relevo). Nesse estudo, foram obtidos os seguintes parâmetros: a área da bacia; perímetro; comprimento e quantidade de canais; e valores altimétricos. Para tanto, foram utilizadas as ferramentas de “Estatísticas Zonais” e a “Calculadora de Campo” do QGIS, como se observa na Tabela 1.

Tabela 1 – Disposição dos índices físicos e de relevo obtidos.

Índice	Ferramenta	Função	Descrição
Área	Calculadora de campo	= \$area / 1000000	Área de drenagem da bacia, em km ² .
Perímetro	Calculadora de campo	= \$perimeter / 1000	Perímetro da bacia, em km.
Comprimento	Calculadora de campo	= \$length / 1000	Comprimento do canal principal, em km.
Comprimento Axial	Calculadora de campo	= \$length / 1000	Refere-se ao comprimento axial da bacia, ou seja, o comprimento do canal principal sem as sinuosidades, em km.
Altitude média e Diferença Altimétrica (ΔH)	Estatísticas Zonais	<ul style="list-style-type: none"> • Camada vetorial: delimitação da bacia. • Camada raster: MDE (<i>depressionless DEM</i>). • Estatística: “alt mean” e “alt range”. 	A diferença altimétrica está entre a cota de maior altitude pela de menor altitude, em m, dentro da bacia.
Declividade Média	Grass	<ul style="list-style-type: none"> • Grass → Raster → <i>r.slope.aspect</i> • Estatísticas zonais → média 	Do plugin GRASS, utilizou-se o MDE da bacia na ferramenta <i>r.slope.aspect</i> para gerar uma camada raster com a declividade em porcentagem. A partir disso, pôde-se usufruir do recurso “Estatísticas Zonais” para obter a declividade média.

Fonte: Autores.

Caracterização morfométrica

Os índices morfométricos obtidos foram: coeficiente de compacidade, fator de forma, razão de alongação, densidade de drenagem, razão de relevo e índice de sinuosidade do rio principal; dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos índices morfométricos adotados.

Índices/Referência	Fórmulas*	Descrição	Classificação
Coeficiente de Compacidade - K_c (Lima, 1969)	$\frac{P}{\sqrt{A}} = 0,28$	Relaciona a forma da bacia com a de um círculo de área equivalente.	<ul style="list-style-type: none"> Ala propensão a grandes enchentes: $1 < K_c \leq 1,25$ km/km²; Tendência mediana a grandes enchentes: $1,25 < K_c \leq 1,50$ km/km²; Não sujeita a grandes enchentes: $K_c > 1,50$ km/km².
Fator de Forma - K_f (Horton, 1945)	$\frac{A}{L^2} =$	Relação entre a área da bacia e o quadrado do comprimento do seu eixo axial.	<ul style="list-style-type: none"> Sujeita a enchentes: $1 < K_f \leq 0,75$ km/km; Tendência mediana a enchentes: $0,75 < K_f \leq 0,50$ km/km; Não sujeita a enchentes: $K_f < 0,50$ km/km.
Razão de Alongação - R_e (Schumm, 1956)	$R_e = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{L'}$	Relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia.	<ul style="list-style-type: none"> Quanto maior o valor da R_e, mais próximo estará de um círculo, então considera-se a bacia maior e com probabilidade de enchentes.
Densidade de Drenagem - D_d (Horton, 1945)	$\frac{L_{tot}}{A} =$	Relação entre o comprimento total dos cursos d'água e a área de drenagem.	<ul style="list-style-type: none"> Drenagem pobre: $D_d < 0,5$ km/km²; Drenagem regular: $0,5 \leq D_d < 1,5$ km/km²; Drenagem boa: $1,5 \leq D_d < 2,5$ km/km²; Drenagem muito boa: $2,5 \leq D_d < 3,5$ km/km²; Excepcionalmente bem drenada: $D_d \geq 3,5$ km/km².
Razão de Relevo - R_R (Christofoletti, 1969)	$\frac{\Delta H}{L'} =$	Relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento axial do rio principal.	<ul style="list-style-type: none"> Baixa: $0,00$ km/km $\leq R_R \leq 0,10$ km/km; Média: $0,11$ km/km $\leq R_R \leq 0,30$ km/km; Alta: $0,31 \leq R_R \leq 0,60$ km/km.
Índice de Sinuosidade - I_s (Schumm, 1963)	$\frac{L}{L'} =$	Indica os meandros do rio principal.	<ul style="list-style-type: none"> Canais retilíneos: $I_s \cong 1,0$ km/km; Canais tortuosos: $I_s > 2,0$ km/km.

Fonte: Autores.

*Nota: A – área de drenagem da bacia (km²); L' – comprimento do eixo axial (km); P – perímetro da bacia (km); L_{tot} – comprimento total de todos os canais da rede de drenagem (km); ΔH – diferença altimétrica (km).

3.5 Caracterização hidrológica

Este item focou na obtenção das vazões máximas de descarga da bacia utilizando o método racional e, para tanto, na estipulação do coeficiente de escoamento superficial "C" com base na impermeabilização do solo; no cálculo do tempo de concentração da bacia com o uso da equação de Kirpich; e, por fim, no montante de intensidade de chuva a partir das relações intensidade-duração-frequência (IDF).

3.5.1 Método Racional

Este método, segundo Smedema e Rycroft (1983), é muito utilizado para obtenção das descargas máximas em redes de drenagem de pequenas bacias urbanas, com grande proporção de área impermeabilizada, sendo expresso pela Equação 1 a seguir.

$$Q_{máx} = 0,2778 \times C \times i \times A \tag{Equação 1}$$

Em que: $Q_{máx}$ = Vazão máxima do escoamento superficial (m³/s); C = Coeficiente de escoamento superficial (*run-off*); i = Intensidade máxima de precipitação com duração igual ao tempo de concentração (mm/h); e A = Área da bacia de drenagem (km²).

Com a obtenção das vazões máximas, considerando tempos de retorno (TR) para obras de macrodrenagem, adicionalmente foi dimensionada uma seção típica para o Igarapé, que pode ser adotada em eventual processo de revitalização. Para isso, considerou-se a geometria trapezoidal, com inclinação dos taludes de 1:1 (V:H), apresentando um leito pedregulhoso e vegetação nas margens. Para este dimensionamento, concebido em planilhas eletrônicas, foi utilizada a equação de Chézy-Manning combinada com a equação da continuidade (Equação 2), que são amplamente adotadas para cálculos em condutos livres.

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R_H^{2/3} \times I^{1/2} \tag{Equação 2}$$

Em que: Q = Vazão de projeto do canal (m³/s); n = Rugosidade de Manning das paredes e leito (n = 0,040); A = Área molhada (m²) – Tabela 3; R_H = Raio hidráulico (m) – Tabela 3; e I = Declividade do fundo do canal (m/m).

Tabela 3 – Dimensionamento da seção hidráulica típica.

Forma da seção*	Área – A (m ²)	Perímetro Molhado – P (m)	Raio hidráulico – R_H (m)	Largura do topo – B (m)
	$y_n \cdot (b + z \cdot y_n)$	$b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{z^2 + 1}$	$\frac{y_n \cdot (b + z \cdot y_n)}{b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{z^2 + 1}}$	$b + 2 \cdot z \cdot y_n$

Fonte: Autores.

*Nota: b= Extensão da base (m); B = Extensão do topo (m); z = Projeção do talude; Yn = Altura da lâmina d'água (m).

3.5.2 Coeficiente de escoamento superficial (*run-off*)

Para obter o valor de C, foram utilizados os dados de uso e cobertura do solo da área de estudo, obtidos da plataforma MapBiomas: coleção 8 – 2022 (MAPBIOMAS, 2022), para definição da distribuição da cobertura do solo e, logo, o grau de impermeabilização da bacia referente. Com a obtenção dos dados de cobertura e uso do solo dentro dos limites da bacia, fez-se uso do plugin *Landscape Ecology Statistics* (LecoS) no Qgis para calcular a estatística

cobertura da terra (*Land cover*) e obteve-se as estimativas de proporção para cada tipo de cobertura. Os valores de C adotados para cada tipo de cobertura foram orientados pelo Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (DNIT, 2005).

A partir disto, optou-se por aplicar a média ponderada para obter o coeficiente de escoamento superficial médio da bacia, expressa na Equação 3.

$$C_{méd} = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2 + C_3 * A_3 \dots C_n * A_n}{A} \quad \text{Equação 3}$$

Em que: $C_1 \dots C_n$ = Coeficientes atribuídos a cada tipo de cobertura (adimensional); $A_1 \dots A_n$ = Áreas parciais para cada tipo de cobertura (km²); e A = Área da bacia de drenagem (km²).

3.5.2.1 Tempo de concentração

A Equação de Kirpich é bastante aplicada em bacias de pequenas dimensões e com um único segmento de fluxo como canal principal, tal qual o caso do presente estudo. Desse modo, ela é expressa pela Equação 4:

$$\frac{L^3}{\Delta H} = 57 \times (t_c)^{0,385} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: t_c = Tempo de concentração (min); L = Comprimento do canal principal (km); e ΔH = Diferença de cota altimétrica entre a nascente e exutório (m).

3.5.2.2 Intensidade de precipitação

As equações IDF são curvas obtidas através de uma longa série de dados pluviográfico, podendo assim gerar parâmetros que determinem a intensidade de precipitação requerida. De acordo com o Atlas Pluviométrico do Brasil (CRPM, 2014), no caso de Itaituba, os parâmetros da equação adotada para representar a família de curvas IDF são os seguintes (Equação 5):

$$i = \frac{3490,9 \times T_R^{0,1785}}{(t + 33,5)^{0,9310}} \quad \text{Equação 5}$$

Em que: i = Intensidade máxima da chuva (mm/h); T_R = Tempo de retorno (anos); e t = Duração da precipitação (minutos), equivalente ao tempo de concentração da bacia.

Tal equação foi definida com base na série histórica de dados diários de 1960 a 2013 (Pluviômetro de Itaituba, cód. ANA 00455001 e cód. INMET 82445).

4 RESULTADOS

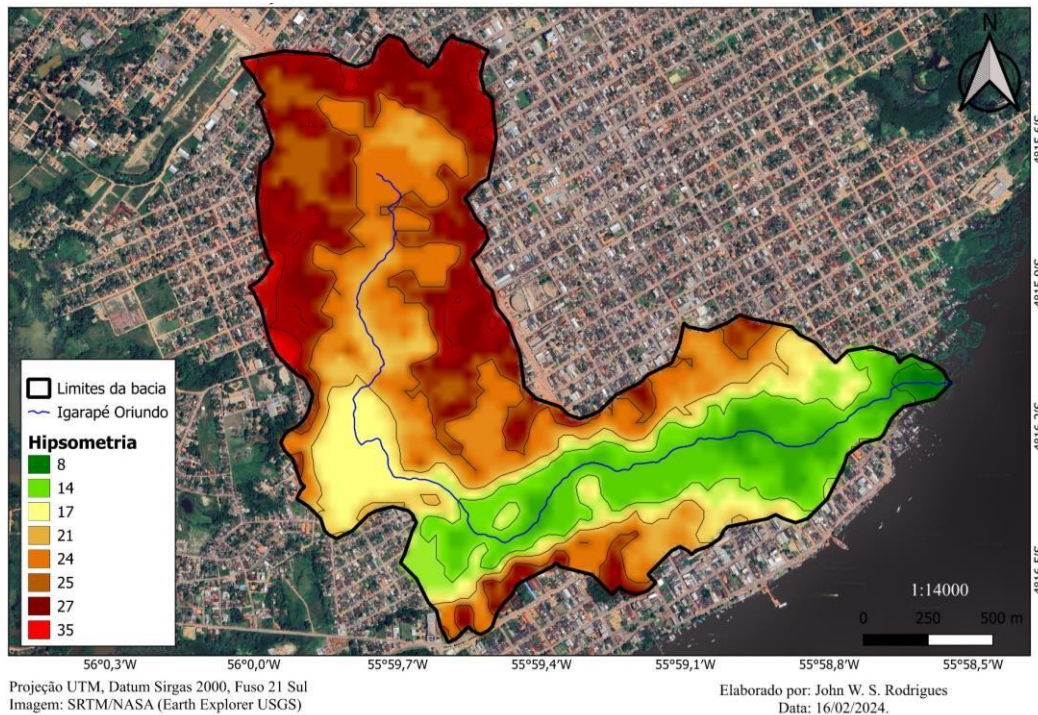
4.1 Parâmetros físicos e morfométricos

A bacia de drenagem do Igarapé Oriundo é uma sub-bacia do rio Tapajós. Possui uma área aproximada de 2,73 km², perímetro de 10,41 km e comprimento axial da bacia de 3,82 km.

Em termos topográficos, apresenta uma altitude média de 21,15 m, diferença altimétrica de 27 m e declividade média de 3,97 %. O rio principal possui uma extensão total de 4,05 km. A Figura 5 mostra o resultado da delimitação da sobredita bacia, destacando as variações altimétricas presentes no seu interior.

Definidos os valores físicos, foi possível obter os demais parâmetros morfométricos, que são apresentados na Tabela 4.

Figura 5 – Delimitação e hipsometria da bacia de drenagem do Igarapé Oriundo.



Fonte: Autores.

Tabela 4 – Índices morfométricos da bacia de drenagem do Igarapé Oriundo.

Parâmetros	Valores obtidos	Classificação
Coefficiente de Compacidade – Kc	2,76 km/km ²	Não sujeita a grandes enchentes
Fator de Forma – Kf	0,19 km/km	Não sujeita a enchentes
Razão de Elongação – Re	0,49 km ² /km	Bacia alongada menos sujeita a enchentes
Densidade de Drenagem – D _d	1,49 km/km ²	Drenagem regular
Razão de Relevo (Rr)	0,01 km/km	Baixa
Índice de Sinuosidade – Is	1,06 km/km	Canal retilíneo

Fonte: Autores.

Sabendo que a bacia em estudo possui área de 2,73 km², podemos considerá-la como de pequena dimensão (WISLER; BRATER, 1964). De acordo com Rocha (2022), no caso de bacias pequenas, as ações do homem alteram as condições de escoamento, independentemente das condições climáticas locais, através da alteração nas condições físicas da cobertura do solo, locais de drenagem e escoamento natural. Do mesmo modo, em uma bacia pequena, o escoamento superficial representa maior contribuição na vazão máxima do que o armazenamento de água no próprio curso d'água. Diante disto, a caracterização física de uma pequena bacia (como a estudada) se mostra mais influente que a caracterização climática, considerando ainda que esta reflete diretamente as condições climáticas locais.

Considerando a hipsometria da bacia (Figura 5), tem-se um relevo marcado por colinas suaves (MENEZES; SALGADO, 2018). Com a altitude média de 21,15 m e a declividade média de 3,97%, pode-se caracterizar a superfície do terreno como suave ondulado (SANTOS et al., 2018). A densidade de drenagem foi de 1,49 km/km² podendo ser considerada como mediana e esparsa (BELTRAME, 1994). O índice de sinuosidade do rio principal foi de 1,06 ou 6%, sendo caracterizado como um canal praticamente retilíneo (MANSIKKANIEMI, 1970); justificado pelo processo de “retificação” comumente empregado no processo de ocupação e observado em corpos d’água integralmente urbanos.

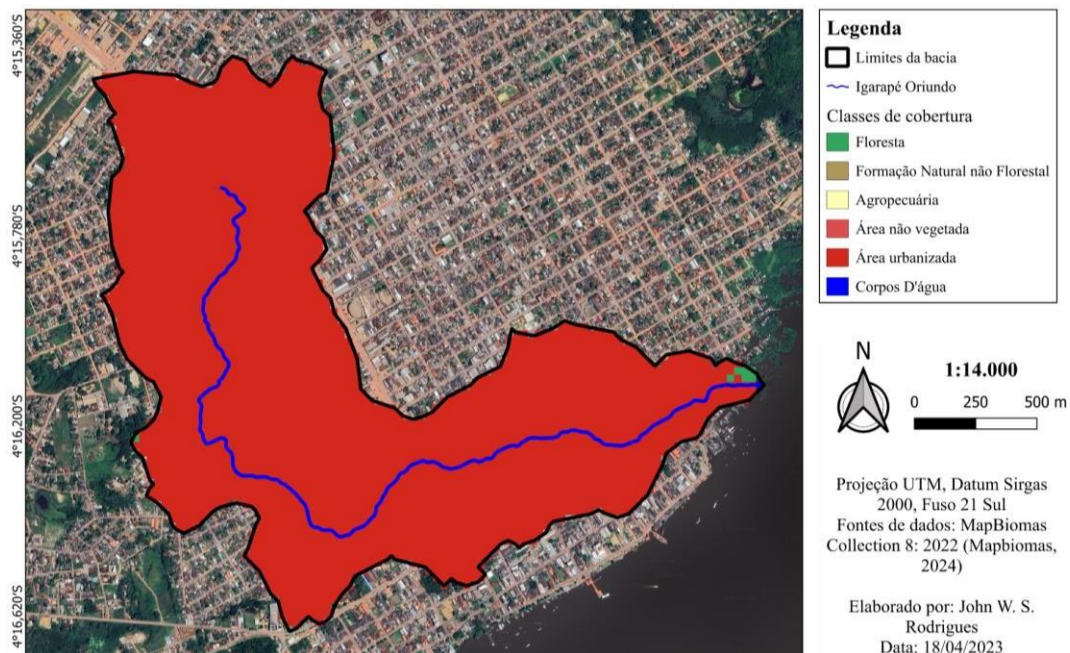
4.2 Parâmetros hidrológicos

Como parâmetro hidrológico, sabendo que se trata de uma bacia urbana de pequeno porte, optou-se por calcular a vazão máxima pelo método racional, adotado para bacias com área ≤ 3 km² (PORTO, 2006). A seguir, serão mostradas as incógnitas da equação do método.

4.2.1 Coeficiente de Escoamento Superficial – C

A Figura 6 mostra o resultado da classificação da cobertura e uso do solo na bacia de drenagem do Igarapé Oriundo, com dados do ano de 2022. Foram identificados dois tipos de cobertura na bacia em estudo: Área Urbanizada e Florestas. Observa-se que, quase a totalidade da área da bacia encontra-se urbanizada (99,77% - 2,7216 km²), enquanto 0,23% (0,0063 km²) são ocupados por cobertura em florestas, no exutório da bacia.

Figura 6 – Uso e cobertura do solo na bacia em estudo.



Fonte: Autores.

Os valores de C obtidos do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (DNIT, 2005), foram: 0,70 para áreas urbanizadas e 0,10 para áreas em florestas. Dessa forma, o C médio calculado para a bacia foi de 0,70.

4.2.2 Tempo de concentração (tc)

O tempo de concentração calculado foi de 98,61 minutos (aproximadamente 1h39), considerando o comprimento total do rio principal de 4,05 km e a diferença altimétrica de 16,00 m ($Z_{nascente} = 24,00$ m e $Z_{exutório} = 8,00$ m). Apesar de ser uma bacia pequena, o razoável tempo de concentração do escoamento se deve ao formato alongado da bacia, uma vez que é o tempo que a água do escoamento leva do ponto mais distante atingindo a saída (exutório) do sistema.

4.2.3 Intensidade de precipitação (i)

A Tabela 5 mostra os resultados das intensidades máximas de chuva considerando o tempo de duração da chuva equivalente ao tempo de concentração da bacia (98,61 min.) e os tempos de retorno de 10 e 25 anos, utilizados para obras de macrodrenagem. As intensidades foram calculadas a partir da equação IDF de Itaituba (CPRM, 2014).

Tabela 5 – Intensidades máximas de chuvas calculadas.


TR (anos)	td = tc (minutos)	i (mm/h)
10	98,61	55,83
25		65,75

Fonte: Autores.

4.2.4 Vazão máxima (Qmáx)

As vazões máximas calculadas para os TRs de 10 e 25 anos foram 29,64 e 34,90 m³/s, respectivamente. Neste sentido, a seção hidráulica a ser considerada num eventual projeto de revitalização do Igarapé Oriundo deverá garantir o escoamento para as vazões obtidas. Assim, a Tabela 6 apresenta as dimensões calculadas para a seção hidráulica do Igarapé revitalizado, considerando as vazões obtidas com base na caracterização morfo-hidrológica da bacia.

Tabela 6 – Síntese do dimensionamento para a seção hidráulica do Igarapé revitalizado.

Proposta de revitalização para o Igarapé	Dimensionamento
	<ul style="list-style-type: none"> Para TR = 10 anos ($Q = 29,64$ m³/s) <p>Considerando: $n = 0,040$, $l = 0,00395$ m/m; $z = 1$; e $b = 9$ m. Obteve-se o valor para $Y_n = 1,56$ m. Assim como $A = 16,46$ m², $v = 1,80$ m/s, $B = 12,12$ m.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Para TR = 25 anos ($Q = 34,90$ m³/s) <p>Considerando: $n = 0,040$, $l = 0,00395$ m/m; $z = 1$; e $b = 9$ m. Obteve-se o valor para $Y_n = 1,72$ m. Assim como $A = 18,39$ m², $v = 1,90$ m/s, $B = 12,43$ m.</p>

Fonte: Pereira (2007, p.1) e Autores.

Considerando um acréscimo de 20% da altura da lâmina d'água (Y_n) para o bordo livre do canal, teremos profundidades de 1,87 m ($Tr = 10$ anos) e 2,06 m ($Tr = 25$ anos). Em ambos os casos, o Igarapé deverá apresentar uma largura do leito (b) de 9 m, com declividade aproximada

de 0,4%. A velocidade de escoamento (1,80-1,90 m/s), em ambos dos tempos de retorno, esteve no limite recomendado para canais com cascalho grosso, pedregulhos e piçarra.

5 CONCLUSÃO

O estudo hidrológico da presente pesquisa visou oferecer subsídios para revitalização do Igarapé Oriundo, de maneira que este possa se caracterizar como eixo principal no papel estratégico e mobilizador, para o estabelecimento de novos padrões organizacionais e zonas de ocupação em consenso com a preservação do meio.

O processo de delimitação e caracterização morfo-hidrológica da bacia de drenagem do Igarapé estudado possibilitou identificar suas características físicas e compreender os seus aspectos hidrológicos, através da obtenção e análise de dados altimétricos referentes. Quanto aos parâmetros físicos, sua área indica uma bacia de pequeno porte e, logo, mais influenciável pela caracterização físicas (e a intervenção antrópica nestas) que sua caracterização climática. O seu formato alongado implica uma menor susceptibilidade a ocorrência de enchentes. Considerando um relevo de colinas suaves e um terreno suavemente ondulado, há uma resposta hidrológica lenta, diminuindo os picos de cheia. Em contrapartida, o alto grau de impermeabilização ($C=0,70$) implica no aumento na taxa de escoamento superficial e, logo, elevando os picos de vazão.

Vale destacar o emprego de técnicas de processamento via SIG como eficientes, tanto no processo de delimitação quanto de caracterização. Considerando o grande volume de dados e variáveis a ser definida, a metodologia apresentou precisão, economia de tempo e praticidade. Dessa forma, o uso do QGIS se apresenta como uma ferramenta viável em ações de planejamento, gestão de recursos hídricos e como suporte a tomada de decisões.

Quanto ao processo de renaturalização do Igarapé, a definição da seção hidráulica típica (4.2.4) permitiu projetar a dimensão natural do canal a ser recuperada, o que não pode ser almejado sem a desapropriação da Área de Preservação Permanente (APP) estabelecida pelo Código Florestal - Lei Federal nº 12.651 de 2002 (BRASIL, 2012), sendo essa de 30 m para corpos d'água com menos de 10 m de largura (considerando a condição atual do Igarapé).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** Brasília: SAG, 2011. 64 p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/eBooks/caderno1/index.html#p=1>. Acesso em: 15 fev. 2024.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/551309/publicacao/15755456>. Acesso em: 01 dez. 2023.

BRASIL. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 01 dez. 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas. **Geografia**, v. 4, n. 8, p. 23-42, 1979.

CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil**: Equação IDF do Município de Itaituba-PA. Salvador: CPRM, 2014. 14 p. Disponível em: http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/17460/1/atlas_itaituba.pdf. Acesso em: 18 jan. 2024. DNIT. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IPR, 2005. 133 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf. Acesso em: 18 jan. 2024.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological society of America bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

IBGE. **Cidades**: Panorama do Município de Itaituba - PA. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/itaituba/panorama>. Acesso em: 27 nov. 2023.

LIMA, W. de P. **Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba:ESALQ, 1969. 242 p.

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

MAPBIOMAS. **Mapas de Cobertura e Uso da terra**. Mapas das Coleções, Coleção 8, 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 29 dez. 2023.

MENEZES, C. R.; SALGADO, C. M. Caracterização morfométrica e de intervenções urbanas na bacia hidrográfica do rio Imboaçú (São Gonçalo, RJ): contribuição ao estudo de inundações. **Revista Formação**, Presidente Prudente, v. 25, n. 44, p. 279-299, 2018.

PEREIRA, A. R. **Recuperação e Proteção do Leito e Margem de Curso D'Água Sobre Passagem de Duto**. Deflor Bioengenharia. Nota técnica - N.º 003, mar. 2007. 1 p.

PIECADE, G. C. R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP**. 161f. Tese (Livro Docência). Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 1980.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4ª Ed. São Paulo: EESC USP, 2006. 520 p.

ROCHA, E. G. A. **Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários**. Brasília: DNIT, 2022. 49 p. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/7814/4/M%C3%B3dulo%20%20Conceitos%20B%C3%A1sicos%20de%20Drenagem.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2024.

SCHMITT, A.; MOREIRA, C. R. Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o software gratuito Quantum-GIS. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 8, Edição Especial. p. 119-131, 2015.

SCHUBER, E. S. M.; MORAES, S. C. Desenvolvimento Regional do Tapajós: Um Olhar Sob o Cenário Socioeconômico na Região de Integração do Tapajós. **Revista De Estudos Sociais**, Cuiabá, v. 17, n. 34, p. 93-111, 2015.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S.A. Sinuosity of Alluvial Rivers in the Great Plains. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 74, p. 1089-1100, 1963.

SILVA JUNIOR, M. A. B. et al. Geoprocessamento aplicado à caracterização morfo-hidrológica da bacia de drenagem da barragem de Duas Unas, em Pernambuco. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23., 2019, Foz do Iguaçu **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. P. 1-10.

SILVA JUNIOR, M.A.B. et al. Eventos extremos de precipitação em cidades amazônicas: uma análise dos impactos em Itaituba, sudoeste do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 25., 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: ABRH, 2023. P. 1-10.

SMEDEMA, L.K.; RYCROFT, D.W. **Land Drainage: Planning and Design of Agricultural Drainage Systems**. Cornell University Press, Ithaca. New York, 1983. 376 p.

SOUZA, E. G. F. et al. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 3, p. 1530-1540, 2021.

VIEIRA, L. da S. et al. Análise da vulnerabilidade social e avaliação de risco de inundação urbana de Itaituba-PA. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 9, n. 4, p. 12911–12931, 2023.

WISLER, C.O.; BRATER, E.F. **Hidrology** (Tradução e publicação de Missão Norte-Americana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil). Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1964. 4