



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

**MATEUS CLEMENTE DE LACERDA**

**PROPOSTA DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE  
SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CIDADES DE PEQUENO  
PORTE DO ESTADO DA PARAÍBA**

**Campina Grande  
2021**

MATEUS CLEMENTE DE LACERDA

**PROPOSTA DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE  
SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CIDADES DE PEQUENO  
PORTE DO ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande como requisito básico para a aprovação do componente curricular.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues

Coorientadora: Ma. Yuciara Barbosa Costa Ferreira

Campina Grande  
2021

MATEUS CLEMENTE DE LACERDA

**PROPOSTA DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE  
SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CIDADES DE PEQUENO  
PORTE DO ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil do  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da  
Universidade Federal de Campina Grande como  
requisito básico para a aprovação do componente  
curricular.

Aprovado em: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

**Prof<sup>ª</sup> Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues**  
Orientadora

---

**Ma. Yuciara Barbosa Costa Ferreira**  
Coorientadora

---

**Prof<sup>ª</sup> Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa**  
Examinador Interno

---

**Ma. Bárbara Barbosa Tsuyuguchi**  
Examinador Externo

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a *Deus*, pelo dom da vida, por todos os planos confiados a mim e por estar presente em todos os momentos da minha trajetória.

Aos meus pais, *Ana Francisca e José Clemente*, que, mesmo distantes fisicamente, se faziam presentes todos os dias. Pelo amor incondicional, por todo sustento, apoio, compreensão e esperança depositados em mim. Por todos os ensinamentos e educação que fizeram de mim o que sou hoje.

Ao meu irmão, *Ivens Lorrán*, por ser um exemplo de ser humano para mim, por todas as alegrias compartilhadas, por todas as palavras e incentivos nos momentos mais difíceis.

Às minhas *avós (in memoriam)*, *tios e primos*, em nome da minha tia *Sônia Lacerda*, pelo empenho por minhas realizações pessoais, por suas torcidas e demonstrações de carinho.

À minha namorada e melhor amiga, *Gabriele Souza*, por todo o amor, paciência, incentivo e fé confiados a mim. Por ser minha fiel companheira durante toda a graduação e pelo auxílio na concretização deste trabalho.

À minha prezada orientadora, *Andréa Carla*, exemplo de pessoa e profissional, por toda o carinho, dedicação, compreensão e confiança em meu trabalho. Pela integral disponibilidade, humildade e por todos os direcionamentos dados.

À minha coorientadora, *Yuciara Barbosa*, pelos conhecimentos partilhados e pela presteza em me ajudar.

À eterna família que formei durante a graduação – *Gabriele, Geovanna, Hamilton, Luma, Maria Teresa e Milena* – pela amizade, cumplicidade e apoio mútuo. Obrigado por amenizar a minha saudade de casa e pelos inúmeros momentos vividos.

Aos meus irmãos e irmãs de outras mães, em especial a *Lucas, Natália, Raquel, Robson, Suellen e Walter*, por sempre estarem presentes, mesmo à distância, sendo minhas doses diárias de alegria.

A todos os professores da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, em especial a *Dayse Luna* e *Patrícia Hermínio*, pelos ensinamentos que contribuíram para a minha formação pessoal e profissional, e *Eduardo Enéas (in memoriam)* por ser meu primeiro contato com o tema.

À toda a equipe de elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico da Paraíba por todo o conhecimento partilhado e pela assistência neste estudo.

Por fim, em nome dos especialistas abordados para o preenchimento dos questionários, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

As alterações sofridas pelas bacias de drenagem durante o processo de urbanização dos municípios resultam na recorrência de eventos extremos que impactam diretamente à população. Em municípios de pequeno porte a situação é agravada pela falta de planejamento, inexperiência dos gestores e por inexistentes sistemas convencionais de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Avaliar e monitorar o desempenho do serviço possibilita a identificação das áreas críticas e suas maiores dificuldades. A criação de índices de desempenho tem se tornado uma prática frequente para este fim, principalmente na área de Saneamento Ambiental. Sob essa conjuntura, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver um índice de desempenho do serviço de drenagem de águas pluviais, adaptado às limitações dos municípios de pequeno porte da Paraíba através da agregação de indicadores que sintetizem os principais aspectos relacionados aos sistemas, como: infraestrutura existente; manutenção; urbanização; saúde; gestão de risco; e legislação. Os indicadores foram selecionados através da proposição de outros trabalhos publicados e de bancos de dados consolidados e confiáveis. A composição do índice se baseou em sete etapas metodológicas: seleção dos indicadores; definição e caracterização dos estudos de caso; consulta aos especialistas e validação dos indicadores; determinação das categorias de classificação; aplicação do método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP); análise de sensibilidade e análise dos resultados. Os municípios de Areia, Cabaceiras, Natuba, Nova Olinda, São Bento, São José de Piranhas, São José dos Ramos e Serra Grande foram selecionados como estudos de caso. A consulta aos especialistas indicou uma maior importância atribuída aos indicadores de gestão de risco, sistema existente e urbanização. Foi possível constatar a precária infraestrutura e políticas de gestão de risco como sendo os principais problemas enfrentados pelos municípios paraibanos. O índice se mostrou robusto na avaliação do desempenho dos sistemas de drenagem e coerente com a realidade, mas foi considerado mais sensível quanto à comparação entre municípios. Dentre os estudos de caso, Serra Grande obteve melhor desempenho e Natuba o pior resultado. Espera-se que este trabalho contribua na gestão do serviço de drenagem de águas pluviais urbanas através do direcionamento de políticas e investimentos públicos que reduzam a vulnerabilidade da população e acelerem o processo de tomada de decisões.

**Palavras-chave:** Saneamento básico; Indicadores de desempenho; método AHP.

## ABSTRACT

The changes suffered by the drainage basins during the urbanization process of the municipalities result in the recurrence of extreme events that directly impact the population. In small municipalities the situation is aggravated by the lack of planning, inexperience of the authorities and by inexistent conventional rainwater drainage systems. Evaluating and monitoring the performance of the service makes it possible to identify critical areas and their greatest difficulties. The creation of performance indexes has become a frequent practice for this purpose, mainly in the area of Environmental Sanitation. Under this context, the present study aimed to develop a performance index for the rainwater drainage service, adapted to the limitations of small municipalities in Paraíba through the aggregation of indicators that summarize the main aspects related to the systems, such as: existing infrastructure; maintenance; urbanization; health; risk management; and legislation. The indicators were selected through the proposition of other published works and consolidated and reliable databases. The composition of the index was based on seven methodological steps: selection of indicators; definition and characterization of case studies; consultation with experts and validation of indicators; determination of classification categories; application of the Multicriteria Analytic Hierarchy Process (AHP) method; sensitivity analysis and results analysis. The municipalities of Areia, Cabaceiras, Natuba, Nova Olinda, São Bento, São José de Piranhas, São José dos Ramos and Serra Grande were selected as case studies. The consultation with specialists indicated a greater importance attributed to the indicators of risk management, existing system and urbanization. It was possible to verify the precarious infrastructure and risk management policies as the main problems faced by municipalities in Paraíba. The index proved to be robust in assessing the performance of drainage systems and consistent with reality, but was considered more sensitive when comparing municipalities. Among the case studies, Serra Grande obtained the best and Natuba the worst performance. It is expected that this work will contribute to the management of the urban rainwater drainage service by directing public policies and investments that reduce the population's vulnerability and accelerate the decision-making process.

**Keywords:** Sanitation; Performance indicators; AHP method.

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1:</b> Índice de consistência.....	46
<b>Equação 2:</b> Razão de consistência.....	46
<b>Equação 3:</b> Intervalos adotados para a identificação de valores atípicos.....	47
<b>Equação 4:</b> Índice de Desempenho do Serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas de Municípios de Pequeno Porte da Paraíba .....	47
<b>Equação 5:</b> Normalização dos indicadores através do melhoramento contínuo .....	48



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema de (a) Pavimento permeável, (b) Biorretenção e (c) Telhado verde .....	22
<b>Figura 2:</b> Efeitos da urbanização na taxa de infiltração e no pico de escoamento .....	24
<b>Figura 3:</b> Fluxograma metodológico .....	38
<b>Figura 4:</b> Uso e ocupação do solo nos estudos de caso .....	42
<b>Figura 5:</b> Hierarquização do modelo AHP adotado .....	45
<b>Figura 6:</b> Localização dos municípios selecionados como estudos de casos na Paraíba .....	51
<b>Figura 7:</b> Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) Areia/PB e (b) Cabaceiras/PB .....	57
<b>Figura 8:</b> Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) Natuba/PB e (b) Nova Olinda/PB.....	58
<b>Figura 9:</b> Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) São Bento/PB e (b) São José de Piranhas/PB.....	59
<b>Figura 10:</b> Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) São José dos Ramos/PB e (b) Serra Grande/PB.....	60
<b>Figura 11:</b> Frequência relativa do grau acadêmico dos especialistas.....	61
<b>Figura 12:</b> Relevância dos indicadores para composição do índice, de acordo com os especialistas .....	62
<b>Figura 13:</b> Resultados do IDDAP-PB e classificação dos municípios estudados .....	72
<b>Figura 14:</b> Contribuição por indicador ao índice dos municípios selecionados.....	74
<b>Figura 15:</b> Inundação em (a) Cabaceiras e (b) Natuba.....	78
<b>Figura 16:</b> Ocupação de áreas de risco em Areia/PB .....	79

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Medidas de controle.....	21
<b>Quadro 2:</b> Lista de indicadores propostos.....	39
<b>Quadro 3:</b> Formulação dos indicadores .....	40
<b>Quadro 4:</b> Escala para julgamentos comparativos .....	46
<b>Quadro 5:</b> Resumo com as informações físicas básicas dos municípios selecionados .....	51
<b>Quadro 6:</b> Informações relacionadas ao relevo, geomorfologia e vegetação nas zonas urbanas.....	53
<b>Quadro 7:</b> Relevância e escolha entre os indicadores redundantes.....	63
<b>Quadro 8:</b> Indicadores selecionados para compor o índice.....	64

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Informações selecionadas dos municípios participantes do SNIS-AP 2018 .....	35
<b>Tabela 2:</b> Indicadores selecionados dos municípios participantes do SNIS-AP 2018 .....	35
<b>Tabela 3:</b> Municípios selecionados como estudo de caso e critérios levados em consideração.....	43
<b>Tabela 4:</b> Categorias de enquadramento de desempenho.....	44
<b>Tabela 5:</b> Índice de consistência randômico médio de acordo com a ordem da matriz .....	47
<b>Tabela 6:</b> Limites inferiores e superiores para normalização dos indicadores.....	48
<b>Tabela 7:</b> Precipitações médias mensais em anos chuvosos, normais e secos .....	53
<b>Tabela 8:</b> Valores da consistência das matrizes de julgamentos paritários preenchidas pelos especialistas .....	65
<b>Tabela 9:</b> Pesos calculados de cada indicador .....	65
<b>Tabela 10:</b> Estatística descritiva dos pesos.....	66
<b>Tabela 11:</b> Pesos finais por categoria de indicadores.....	67
<b>Tabela 12:</b> Valores obtidos para os indicadores criados .....	68
<b>Tabela 13:</b> Valores obtidos para os indicadores selecionados.....	70
<b>Tabela 14:</b> Indicadores normalizados .....	71
<b>Tabela 15:</b> Limites inferiores e superiores do intervalo de estabilidade .....	77

## **LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

AHP - Analytic Hierarchy Process

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ASSEMAE - Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento

BMP - Best Management Practices

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DATASUS - Departamento de Informática do SUS

DRSAI - Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado

ELECTRE-TRI - Elimination et Choix Traduisant la Réalité

EPA - Environmental Protection Agency

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC - Índice de Consistência

IDDAP-PB - Índice de desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais

Urbanas de municípios de pequeno porte do estado da Paraíba

IFG - Indicadores de Fragilidade do Sistema

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IR – Índice Randômico

LID - Desenvolvimento de Baixo Impacto

PAC - Programa de Aceleração do Crescimento

PDD - Plano de Drenagem Urbana

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PROMETHEE - Preference Ranking. Organization Method for Enrichment Evaluations

RC - Razão de Consistência

S2ID - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento

STF - Supremo Tribunal Federal

TOPSIS - Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>16</i>
1.1.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>16</i>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1	A DRENAGEM E O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS COMO COMPONENTES DO SANEAMENTO BÁSICO .....	18
2.2	A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM.....	19
2.2.1	<i>Tipos de Sistemas de Drenagem .....</i>	<i>20</i>
2.2.2	<i>Alternativas sustentáveis.....</i>	<i>21</i>
2.3	O CONTEXTO DA DRENAGEM URBANA .....	23
2.3.1	<i>O fenômeno da urbanização e seus efeitos na drenagem.....</i>	<i>23</i>
2.3.2	<i>Uso e ocupação do solo.....</i>	<i>24</i>
2.3.3	<i>Saúde.....</i>	<i>25</i>
2.3.4	<i>Proteção à vida e ao patrimônio público e privado .....</i>	<i>26</i>
2.4	PANORAMA DAS MELHORES PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO.....	26
2.4.1	<i>Âmbito internacional .....</i>	<i>26</i>
2.4.2	<i>Âmbito nacional.....</i>	<i>27</i>
2.4.3	<i>Nordeste brasileiro e estado da Paraíba.....</i>	<i>28</i>
2.5	A LEGISLAÇÃO APLICÁVEL À DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO BRASIL .....	29
2.6	CONCEITOS E FERRAMENTAS PARA A AVALIAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO .....	31
2.6.1	<i>Indicadores de drenagem e manejo de águas pluviais.....</i>	<i>32</i>
2.6.2	<i>Breve caracterização global do sistema.....</i>	<i>34</i>
2.7	ÍNDICES UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS .....	36

<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>38</b>
3.1	SELEÇÃO DOS INDICADORES .....	38
3.1.1	<i>Criação dos indicadores.....</i>	<i>41</i>
3.2	DEFINIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO PARA VALIDAÇÃO DO ÍNDICE.....	42
3.3	CATEGORIAS DE ENQUADRAMENTO DE DESEMPENHO.....	44
3.4	O MÉTODO MULTICRITÉRIO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) .....	44
3.5	AGREGAÇÃO DOS INDICADORES .....	47
3.6	APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SERVIÇO DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DE MUNICÍPIOS DO ESTADO DA PARAÍBA (IDDAP-PB) NOS ESTUDOS DE CASO .....	48
3.7	ANÁLISE DE ROBUSTEZ DO ÍNDICE.....	49
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>51</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA .....	51
4.1.1	<i>Localização.....</i>	<i>51</i>
4.1.2	<i>Solo .....</i>	<i>52</i>
4.1.3	<i>Clima.....</i>	<i>52</i>
4.1.4	<i>Relevo, geomorfologia e vegetação .....</i>	<i>53</i>
4.1.5	<i>Caracterização da rede de drenagem de águas pluviais existentes .....</i>	<i>54</i>
4.1.5.1	<i>Áreas verdes e pontos críticos de drenagem .....</i>	<i>55</i>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>61</b>
5.1	RESULTADOS REFERENTES À CONSULTA COM ESPECIALISTAS .....	61
5.1.1	<i>Caracterização da amostra .....</i>	<i>61</i>
5.1.2	<i>Validação dos indicadores.....</i>	<i>61</i>
5.1.3	<i>Razão de consistência das matrizes de importância .....</i>	<i>64</i>
5.1.4	<i>Pesos atribuídos aos indicadores .....</i>	<i>65</i>
5.2	AGREGAÇÃO DOS INDICADORES .....	67
5.3	LEVANTAMENTO DOS INDICADORES .....	68
5.3.1	<i>Indicadores criados .....</i>	<i>68</i>
5.3.2	<i>Valores dos indicadores selecionados .....</i>	<i>69</i>

5.3.3	<i>Normalização dos indicadores</i> .....	71
5.4	APLICAÇÃO DO ÍNDICE NOS ESTUDOS DE CASO E CLASSIFICAÇÃO FINAL 72	
5.5	COMPOSIÇÃO INDIVIDUAL DOS ÍNDICES .....	73
5.6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E ROBUSTEZ.....	76
5.7	AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA COERÊNCIA DO ÍNDICE QUANTO À CLASSIFICAÇÃO NOMINAL .....	77
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>81</b>
6.1	RECOMENDAÇÕES.....	82
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>83</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O acelerado e desordenado processo de urbanização pelo qual passaram os municípios brasileiros, aliado à falta de normatização das ocupações antrópicas e a recorrente utilização de sistemas de drenagem convencionais precários, gerou cidades com elevados níveis de impermeabilização do solo. Nesses locais, os processos de infiltração da água durante eventos de chuva podem ser comprometidos aumentando o volume escoado superficialmente e os picos de vazão.

As fortes interferências sofridas na hidrologia de pré-urbanização resultam em recorrentes eventos extremos, como inundações, enchentes, cheias e alagamentos, que atingem a população mais vulnerável a esses riscos, provocando perdas materiais e até mesmo humanas. De acordo com o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID (2017), 178 municípios do estado da Paraíba decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública reconhecidos por episódios relacionados ao acúmulo de águas de chuva, e aproximadamente 617.544 pessoas foram afetadas no período entre 1991 e 2016.

O número mostra que, mesmo com menor destaque na mídia, as cidades de pequeno e médio porte também sofrem com episódios desse tipo, fruto da falta de planejamento na expansão das cidades, inexperiência de grande parte dos gestores e, principalmente, de sistemas de drenagem pluvial insuficientes ou inexistentes. Para solucionar os problemas enfrentados e mitigar os danos sofridos, é necessário que o crescimento urbano seja acompanhado de obras físicas que sejam menos dispendiosas e de medidas de planejamento mais eficientes.

Diversos trabalhos vêm sendo realizados sobre essa temática devido às perdas geradas e aos elevados investimentos necessários na solução desses problemas. Seguido disso, um novo entendimento dos sistemas de drenagem de águas pluviais encontra-se em desenvolvimento, trazendo abordagens multidisciplinares e cada vez mais sustentáveis (ARAÚJO, 2018).

O monitoramento dos serviços de saneamento no município possibilita o planejamento de ações específicas, estabelecimento de métricas de desempenho e orientação de políticas públicas (NIRAZAWA; OLIVEIRA, 2018). Nesse quesito, a utilização de indicadores tem se tornado uma prática frequente em todo o mundo, tendo como objetivos a prestação, regulação e planejamento dos serviços de saneamento. Assim, trabalhos que procuram articular, agregar e propor indicadores de desempenho a serem utilizados no setor são importantes para o desenvolvimento de sistemas de informação (VON SPERLING; VON SPERLING, 2013).



É importante que os instrumentos usados para a avaliação de desempenho retratem a realidade e preservem a individualidade característica da área de estudo, realçando os problemas e as potencialidades do meio. Para tanto, são demandados trabalhos que sejam direcionados para a criação de metodologias de avaliação do desempenho de serviços, principalmente os ligados ao saneamento básico, que se adaptem às limitações do sistema, sobretudo quanto à disponibilidade de informações.

No contexto dos municípios de pequeno porte, os quais são predominantes no território nacional, é possível observar grandes carências no setor do saneamento básico (FERREIRA, 2020). Essas carências são acentuadas pelas dificuldades de gestão e planejamento e pela falta de recursos financeiros, administrativos e institucionais dos municípios de pequeno porte (AKAISHI, 2012).

A fim de proporcionar uma visibilidade maior a municípios dessa tipologia, optou-se pela escolha de municípios do estado da Paraíba como unidades de análise do estudo, tendo em vista que essas localidades carecem de investimentos, planejamento e capacidade técnica adequada na área de drenagem, necessitando de subsídios na tomada de decisões.

Sob essa conjuntura, o presente trabalho objetiva desenvolver um índice de desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas para municípios de pequeno porte do estado da Paraíba que sirva como ferramenta de gestão, através da agregação de indicadores representativos para a região com o apoio de um modelo multicritério à decisão, auxiliando na avaliação e no planejamento de sistemas de drenagem pluvial mais eficientes e cidades mais resilientes, além da mitigação de danos causados por eventos adversos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 *Objetivo geral*

Desenvolver um Índice de Desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas para municípios de pequeno porte do estado da Paraíba.

### 1.1.2 *Objetivos específicos*

- Avaliar indicadores de desempenho do sistema de drenagem urbana já existentes que sejam aplicáveis para a realidade dos municípios de pequeno porte;
- Propor novos indicadores para a composição do índice e quantificá-los para os estudos de caso;

- Validar o modelo proposto através da aplicação em municípios de pequeno porte do estado da Paraíba;
- Identificar, a partir da composição do índice, os maiores problemas que estejam associados ao sistema de drenagem existente;
- Analisar os resultados para cada um dos estudos de caso e discutir sobre as principais contribuições teórico-metodológicas mediante a aplicação do índice.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A DRENAGEM E O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS COMO COMPONENTES DO SANEAMENTO BÁSICO

O Saneamento é o conjunto de medidas que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população e a produtividade do indivíduo, além de facilitar a atividade econômica (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012). Legalmente, com o advento da Lei Federal nº 11.445/07, o Saneamento Básico é definido como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007).

A falta do saneamento básico afeta os mais diversos setores da sociedade, como educação, emprego, habitação, produtividade e saúde, refletindo diretamente na incidência de doenças de veiculação hídrica e de mortalidade infantil (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012). Outras consequências indiretas provocadas também já foram constatadas, tais como: queda na produtividade e renda dos trabalhadores e valorização imobiliária (CEBDS, 2014).

O saneamento básico é essencial para que um país seja considerado desenvolvido. Entretanto, para que se potencialize o investimento na área, é necessário que haja uma conexão entre as políticas públicas através da intersetorialidade, como preconiza o Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (BRASIL, 2013). A existência de requisitos em programas como o Minha Casa Minha Vida auxilia na expansão do acesso aos serviços básicos.

Embora o conceito do saneamento, por lei, englobe as quatro áreas já citadas, é frequente que ele seja resumido aos serviços de acesso à água e coleta de esgoto (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012). Consequentemente, a crescente urbanização brasileira tem evidenciado os problemas gerados pela falta de investimento em infraestrutura de drenagem e manejo de águas pluviais.

A Lei nº 13.308/2016 define a drenagem e manejo de águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas como:

“O conjunto de atividades, infraestruturas 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 (BRASIL, 2016).”

Já Miguez, Rezende e Veról (2015), entendem que o sistema de drenagem é definido como o conjunto de elementos interligados em um sistema, destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região, conduzindo-as, de forma segura, a um destino final. Acrescenta-se também a essa definição o conjunto de atividades de coleta e condução, a infiltração e a armazenagem, na procura de recuperar parte do ciclo hidrológico natural.

Dentre as possíveis melhorias que a drenagem proporciona, pode-se citar o desenvolvimento do sistema viário, a redução de gastos com manutenção das vias públicas, a valorização das propriedades na área beneficiada, o escoamento rápido das águas superficiais, reduzindo os problemas de mobilidade, a eliminação da presença de águas estagnadas, a recuperação de áreas alagadas, e a segurança e conforto para a população (RIBEIRO; ROOKE, 2010).

O potencial dessas melhorias também sofre influência dos outros componentes do saneamento, por isso a importância do desenvolvimento de ações conjuntas. O Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS,2018) evidencia, por exemplo, a problemática do comprometimento da capacidade dos canais de drenagem devido à disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos.

As águas pluviais e o esgoto também apresentam uma relação complexa à medida que se misturam nas redes urbanas através de ligações clandestinas. Quando isso ocorre, há o comprometimento da qualidade de ambos os resíduos (BUTLER; DAVIES, 2018). Além disso, o manejo correto das águas de chuva pode ser de extrema valia para o desenvolvimento de um sistema de reuso de águas pluviais, promovendo o uso sustentável dos recursos naturais a partir da economia de água potável.

## 2.2 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM

Os primeiros sistemas de drenagem pluvial aos quais se tem conhecimento surgiram na Idade Antiga seguindo as mesmas técnicas aplicadas para a drenagem de águas residuais (BAPTISTA *et al.*, 2005 *apud* SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012). Por volta dos séculos XVIII e XIX, constatou-se na Itália que o acúmulo de água influenciava na mortalidade de pessoas. Posteriormente, com o aumento das aglomerações urbanas e o desenvolvimento da ciência, observou-se que as águas pluviais se configuravam como potenciais transmissoras de doenças (SILVEIRA, 2000 *apud* SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

O entendimento dos sistemas de drenagem ao longo do tempo provocou o aparecimento de novas abordagens que podem ser divididas em três fases, sendo elas: higienista, compensatória e sistemas de baixo impacto (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

### 2.2.1 *Tipos de Sistemas de Drenagem*

#### a) Método Higienista e Sistemas de Drenagem Convencionais

A fase higienista foi caracterizada por uma visão focada na coleta e no afastamento imediato das águas pluviais sem tratamento (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019). O princípio era impermeabilizar o solo com pavimentação e canalizar a água o mais rápido possível, transferindo os problemas para jusante, característica comum dos métodos de drenagem convencionais.

Constatou-se durante o período, que esse método causava uma sobrecarga dos corpos receptores e, conseqüentemente, um aumento nas inundações (CANHOLI, 2015). A partir desse momento, surgiu uma nova abordagem de manejo de águas pluviais que buscava reverter os efeitos da impermeabilização: os métodos compensatórios.

#### b) Métodos Compensatórios

As soluções compensatórias buscam remediar impactos da urbanização através de dispositivos que aumentam a infiltração de água no solo e procuram reservar um volume de água (KIPPER, 2015). O princípio dessa fase é armazenar, retardar, infiltrar, reutilizar e melhorar a qualidade do escoamento.

Durante essa fase adicionou-se o controle das águas da chuva na fonte, além da indução à infiltração e retenção de águas como opções de devolução das condições naturais ao ciclo hídrico e de redução dos picos de cheias (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019). Um exemplo de dispositivo utilizados com esse propósito é a bacia de retenção (TUCCI, 2012a).

#### c) Sistemas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)

A terceira fase surgiu por volta de 1990 e é conhecida por seus métodos de Baixo Impacto. Os sistemas de Desenvolvimento de Baixo Impacto – LID possuem uma abordagem inovadora de gerenciamento de águas pluviais modelada conforme a natureza. Seu principal objetivo baseia-se no gerenciamento das chuvas na fonte a partir de controles de microescala descentralizados distribuídos uniformemente. Ademais, os sistemas LID simulam a hidrologia

de pré-urbanização de uma região através da infiltração, filtração, armazenamento, evaporação e retenção do escoamento próximo à sua fonte, ao mesmo tempo em que agregam valor à cidade (LID CENTER, 2020).

Ainda segundo o LID Center (2020), esses sistemas diferem dos métodos compensatórios por serem técnicas preventivas e atuarem próximo à fonte. Dentre as estruturas utilizadas atualmente baseadas na técnica LID, encontram-se: biorretenções, telhados verdes, pavimentos permeáveis, cisternas, trincheiras de infiltração e outros.

### 2.2.2 Alternativas sustentáveis

As medidas de controle e correção de danos causados pelas águas pluviais são classificadas, de acordo com a sua natureza, em: estruturais, aquelas que envolvem obras de engenharia; e não-estruturais, aquelas que introduzem normas, programas e regulamentos que melhoram a convivência da população com as enchentes (CANHOLI, 2015). No Quadro 1 são apresentadas algumas medidas de controle.

**Quadro 1:** Medidas de controle

Medidas estruturais		Medidas não-estruturais
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canalização, diques e obras correlatas</li> <li>• Pavimentos permeáveis</li> <li>• Biorretenção</li> <li>• Bacias de retenção e detenção</li> <li>• Valas, trincheiras e poços de infiltração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados e áreas verdes</li> <li>• Armazenamento de água</li> <li>• Túneis de derivação e canais de desvio</li> <li>• Controle da erosão e restauração de calhas naturais</li> <li>• Recomposição da cobertura vegetal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delimitação de áreas de risco</li> <li>• Sistemas de alerta e Defesa Civil</li> <li>• Disciplinamento de uso e ocupação do solo</li> <li>• Seguro-enchente</li> <li>• Educação ambiental e coleta de lixo</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Canholi (2015).

#### a) Pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis são dispositivos que auxiliam na redução do escoamento superficial das águas pluviais, permitindo a infiltração no solo através de uma camada de material permeável ou armazenando-as temporariamente. A sua utilização é recomendada, geralmente, em estacionamentos, estradas, calçadas e outras áreas pavimentadas (SOLUÇÕES PARA CIDADES, 2013a). O sistema pode incluir materiais como asfalto e concreto porosos, módulos intertravados ou blocos de concreto perfurados, como observado na Figura 1a (BEECHAM; LUCKE; MYERS, 2010).

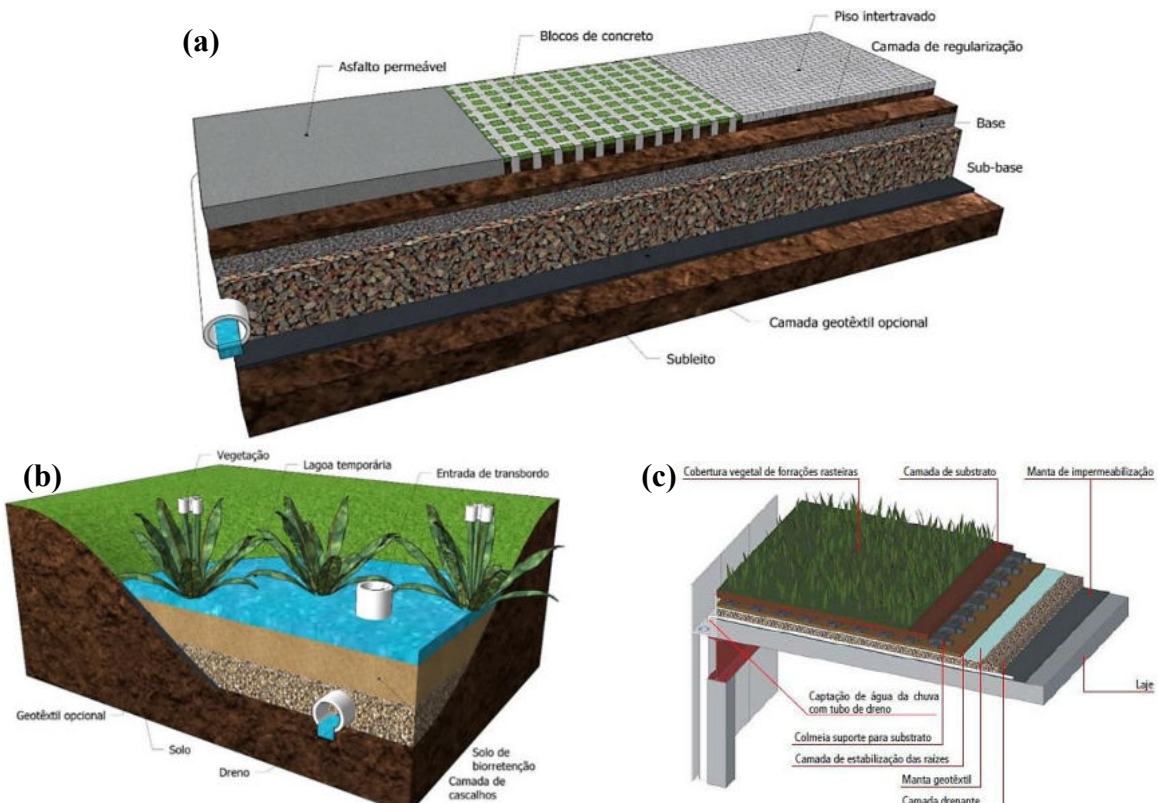
b) Biorretenção

Os sistemas de Biorretenção, também chamados de jardins de chuva, são sistemas instalados em depressões para onde o escoamento gerado na bacia converge. Nesse sistema, são empregadas plantas nativas e material granular de alta permeabilidade que reproduzem o ecossistema natural de atividade biológica, com as funções de retenção, filtração e infiltração da água (MELO *et al.*, 2014). O esquema de um sistema de retenção é demonstrado na Figura 1b.

c) Telhados verdes

Sabe-se que há uma forte influência da ocupação do solo no manejo das águas pluviais. Os coeficientes de Runoff são uma prova disso; quanto maior a alteração nas condições naturais de uma região, maior a sua relação de escoamento superficial (TUCCI, 2012a). Os telhados verdes (Figura 1c) consistem em coberturas vegetais feitas com grama ou plantas instaladas em coberturas de edificações. Esses dispositivos auxiliam no melhor conforto térmico e acústico da edificação, diminuem as ilhas de calor e aumentam as áreas verdes (RANGEL; ARANHA; SILVA, 2015), proporcionando o aumento da infiltração, interceptação e evapotranspiração, bem como a redução do escoamento a nível local.

**Figura 1:** Esquema de (a) Pavimento permeável, (b) Biorretenção e (c) Telhado verde



Fonte: (a) O autor (2021); (b) O autor (2021); (c) Ambiente Gaia (2013).

## 2.3 O CONTEXTO DA DRENAGEM URBANA

### 2.3.1 *O fenômeno da urbanização e seus efeitos na drenagem*

O desenvolvimento de zonas urbanas e seus sistemas de drenagem substituem partes importantes do ciclo natural da água. Como em qualquer sistema artificial que substitua o natural, é importante que todos os efeitos sejam compreendidos (BUTLER; DAVIES, 2018).

O modelo de urbanização brasileiro é fruto de um movimento intenso e rápido de sua população rural em direção às cidades que ocorreu a partir do início do século XX, ganhando mais força no pós-guerra e ao longo das décadas de 1950 e 1960, com o incentivo de governos desenvolvimentistas à industrialização. O processo demasiadamente acelerado representou a explosão demográfica em algumas regiões do país, produzindo uma série de desequilíbrios urbanos (GUIMARÃES, 2016).

De acordo com Gobbi (2014), a falta de planejamento urbano e a concentração de renda contribuem para a ocorrência da periferização, violência urbana, poluição, déficit habitacional e dos problemas de drenagem, por exemplo. Por outro lado, Silva Junior e Silva (2016) afirmam que a urbanização das cidades brasileiras tem se caracterizado pela remoção da cobertura vegetal original, o aumento da impermeabilização, a canalização e a ocupação das planícies ribeirinhas, que, de forma geral, tendem a agravar as cheias naturais.

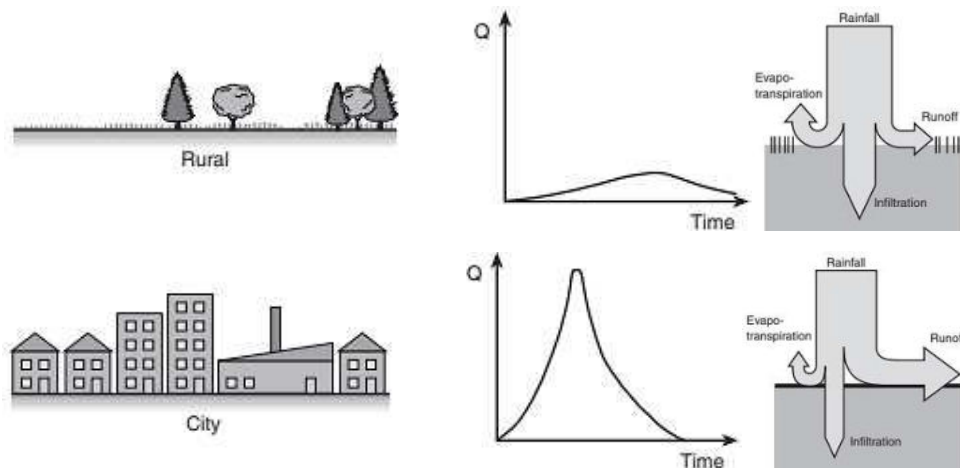
Sabe-se que a partir da lógica natural do ciclo hidrológico, quando a água da chuva cai em superfícies naturais, uma parcela retorna à atmosfera por evaporação ou transpiração das plantas; o restante da água se infiltra no solo ou escoam superficialmente. O desenvolvimento urbano, através da cobertura do solo por superfícies artificiais, tem um efeito direto na porcentagem de água infiltrada, o que causa um aumento no escoamento superficial em direção aos corpos hídricos (BUTLER; DAVIES, 2018). Os autores ainda mencionam que a velocidade do escoamento também sofre influência da impermeabilização, gerando picos maiores de escoamento. A influência da urbanização pode ser entendida através da Figura 2.

Pereira e Ito (2017) citam outros impactos causados pela urbanização, tais como: alterações na qualidade das águas pluviais; redução na recarga das águas subterrâneas; efeitos indiretos ligados ao regime de escoamento da bacia e aos fenômenos atmosféricos de precipitação e temperatura, influenciados pelo aumento da energia térmica nas superfícies artificiais. Para Tucci (2015), a urbanização ainda produz aumento da frequência e magnitude



das inundações, redução do escoamento durante a estiagem e o aumento da erosão e de material sólido.

**Figura 2:** Efeitos da urbanização na taxa de infiltração e no pico de escoamento



Fonte: Adaptado de Butler e Davies (2018).

A alteração na qualidade das águas pluviais pode ser explicada pela influência do esgoto sanitário no sistema de drenagem e pela maior incidência de poluentes na superfície de captação urbanizada e no ar, além da presença de resíduos sólidos nos dispositivos de drenagem (TUCCI, 2015).

### 2.3.2 *Uso e ocupação do solo*

Santos, Rufino e Barros Filho (2017) afirmam que a ocupação desordenada do solo urbano, causada pela urbanização, é uma das principais causas da sobrecarga do sistema de drenagem. Nesse contexto, torna-se necessário o zoneamento e parcelamento do solo, previstos em leis como a de Uso e Ocupação de Solo e Planos Diretores, para proporcionar um melhor planejamento da expansão urbana.

Com a determinação de zonas adensáveis e de zonas a serem preservadas, áreas onde são permitidas a impermeabilização do solo e a implantação de dispositivos de retenção de água pluvial, propiciam o estabelecimento de parâmetros construtivos e disciplinam a ocupação do solo, permitindo maior controle dos efeitos da drenagem sobre a área urbana consolidada e em expansão, prevenindo enchentes e processos de erosão através da reorganização do espaço (CURITIBA, 2017).

### 2.3.3 Saúde

A relação entre o saneamento ambiental e o processo saúde-doença é uma das mais abordadas na sociedade contemporânea e reflete diretamente na incidência de doenças de veiculação hídrica e de mortalidade infantil. De acordo com Fundação Nacional de Saúde – Funasa (2014), as doenças de veiculação hídrica causadas por bactérias, vírus, protozoários, helmintos e outros micro-organismos patogênicos configuram-se como os problemas de saúde pública mais comuns dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil. A contaminação pode ocorrer de diversas formas: por ingestão direta da água, pela ingestão de alimentos, pelo uso da água na higiene pessoal, no lazer, na indústria ou agricultura. Além disso, a falta de um sistema de drenagem urbana eficiente pode contribuir para a proliferação de vetores artrópodes transmissores de doenças.

Um estudo realizado por Teixeira *et al.* (2014), acerca do impacto das deficiências dos serviços de saneamento básico sobre a saúde pública no período de 2001 a 2009, concluiu que as Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) foram responsáveis, em média, por 13.449 óbitos por ano (1,31%) ao longo do período estudado. As doenças que mais contribuíram para o número de óbitos causados por DRSAI foram a diarreia e a doença de Chagas. Entretanto, as quatro doenças de maior número de notificações associadas a deficiências do saneamento básico foram a dengue, hepatite, esquistossomose e leptospirose; cuja causa principal tem sido a ineficiência de drenagem pluvial.

Sob outra perspectiva, Almeida e Costa (2014) demonstraram que um serviço de drenagem urbana adequado contribui positivamente para a melhoria da saúde da população, além de servir como indicador na qualidade de vida das pessoas. Para Butler e Davies (2018), o benefício mais valioso de um sistema de drenagem urbana eficaz é a manutenção da saúde pública. Entretanto, apesar de tamanho valor na proteção contra a propagação de doenças, o planejamento de sistemas mais eficientes é frequentemente negligenciado. Dessa forma, esse serviço deveria ser ainda mais incentivado em regiões tropicais que sofrem regularmente com a estagnação e acúmulo de águas.

A adoção de medidas de drenagem é essencial e deve ser complementar ao controle de vetores. A partir do manejo adequado das águas pluviais, é possível promover uma redução no habitat e no número de vetores e, conseqüentemente, evitar a propagação de doenças.

As doenças epidemiológicas ligadas à deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais, conforme o Ministério da Saúde (BRASIL, 2011a), são: leptospirose, doenças

diarreicas agudas, hepatite A, sarampo, rubéola, tétano acidental, meningites, influenza, malária, febre amarela, filariose, dengue, shigelose e animais peçonhentos.

Apesar de serem citadas como doenças relacionadas à deficiência no sistema de drenagem pluvial, algumas estão diretamente relacionadas com a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos, visto que há uma integração entre os dois serviços. Sabe-se também que se a limpeza urbana for eficiente, as águas das chuvas escoam mais facilmente pelo sistema de drenagem, evitando a proliferação de vetores (BRASIL, 2011a). Um exemplo é a leptospirose, na qual o vetor se prolifera através do acúmulo de lixo em locais inadequados e pela precariedade da rede coletora de esgoto, enquanto a água pluvial serve como transmissor indireto da doença.

#### 2.3.4 *Proteção à vida e ao patrimônio público e privado*

Como mencionado pela Lei nº 13.308 (BRASIL, 2016), o serviço de drenagem e manejo de águas pluviais deve garantir a proteção à vida e ao patrimônio público e privado. Apesar disso, ainda é frequente a presença de notícias trágicas nos jornais divulgando mortes e perdas de bens materiais devidos aos impactos causados por enxurradas e inundações em áreas urbanas. Na maior parte das vezes esses eventos poderiam ser evitados com um sistema de drenagem mais eficiente, fiscalização de áreas de risco ou adoção de medidas de controle.

## 2.4 PANORAMA DAS MELHORES PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO

### 2.4.1 *Âmbito internacional*

#### a) Estados Unidos

Nos Estados Unidos a preocupação com o tema é antiga, desde o início do século XX as leis federais identificavam a responsabilidade pública na criação de programas e obras estruturais para a redução de enchentes. Nas décadas de 1960 e 1970, com a falha das medidas estruturais na redução dos danos, o país deu ênfase a medidas não-estruturais como alternativas para uma melhor convivência da população com as cheias: a exigência do seguro para enchentes e a regulamentação do uso das terras são exemplos de medidas adotadas. A adoção dessas medidas predomina até os dias de hoje (TUCCI, 2012b).

Ainda segundo Tucci (2012b), a experiência americana também é baseada em medidas de planejamento prévio. Através da *Environmental Protection Agency (EPA)*, todas as cidades

do país devem preparar um plano de drenagem chamado *Best Management Practices (BMP)*, incluindo medidas estruturais e não-estruturais a serem adotadas no município e o seu controle de qualidade. A EPA também foi responsável pelo desenvolvimento do conceito LID (RIBEIRO, 2014).

#### b) Reino Unido

Considerado como o precursor e o ponto de partida das boas práticas na Europa, o Reino Unido é responsável pelo desenvolvimento do conceito de Sistemas Urbanos Sustentáveis (SUDS), que surgiu a partir de um projeto de expansão urbana. A metodologia se diferencia por haver uma maior preocupação com o tratamento das águas pluviais e com o controle na fonte. Nos dias atuais, as medidas são divulgadas e adotadas pelo Reino Unido (RIBEIRO, 2014).

#### c) Japão

O Japão baseia seu sistema de drenagem e manejo de águas pluviais, predominantemente, na realização de obras estruturais (TUCCI, 2012b). O país investe muito em obras como diques, barragens, comportas – como o Watergate, alteração e alargamento do leito dos rios, uso de áreas para fins múltiplos e arquitetura adaptada para as enchentes – com nível das casas acima do arruamento. A maior galeria urbana já feita encontra-se no Japão. O *G-CANS Project* é um sistema composto por cinco reservatórios subterrâneos interligados por um túnel. Além de todas as medidas estruturais citadas, ainda há um eficiente sistema de alerta da população e planos emergenciais difundidos (VIANI *et al*, 2011).

### 2.4.2 Âmbito nacional

Segundo Canholi (2015), enquanto em países desenvolvidos a gestão da drenagem urbana concentra-se na qualidade da água coletada, em países em desenvolvimento, como o Brasil, o controle quantitativo ainda é o principal objetivo a ser alcançado. Um exemplo disso é a preferência pela construção de bacias de retenção em grandes centros urbanos. Até hoje o país insiste na adoção de sistemas de drenagem mais convencionais para a condução rápida dos escoamentos, transferindo os problemas de cheias e de qualidade ambiental para jusante das cidades.

Alguns programas federais, realizados na última década, podem ser destacados para a mitigação e prevenção dos impactos:

- Programa Saneamento básico integrado – infraestrutura urbana: financia iniciativas de implantação de medidas estruturais em sistemas de drenagem, visando reduzir o déficit urbano identificado no componente (BRASIL, 2019);
- Programa Prevenção e Preparação para Emergência e Desastres: investe em ações da Defesa Civil para minimização dos danos sofridos pela população (BRASIL, 2011b);
- Programa Saneamento para Todos, Pró-Saneamento e Programa de Aceleração do Crescimento (PAC2): destinavam recursos para investimento em obras hidráulicas na área de drenagem urbana de águas pluviais. Os investimentos chegaram na ordem dos R\$11 bilhões (BRASIL, 2015).

Segundo Tucci (2012b), por volta de 10 anos atrás ainda havia uma carência de programas federais de controle de enchentes em ativa no Brasil. Entretanto, algumas cidades passaram a desenvolver ações isoladas na área, tais como o incentivo e a desburocratização para a instalação de reservatórios prediais de amortecimento de cheias em Belo Horizonte/MG e Curitiba/PR (BRASIL, 2011b), e a implantação de parques lineares em São Paulo/SP e Goiânia/GO como resposta para problemas de águas urbanas com êxito (MORA, 2013).

A cidade de Belo Horizonte/MG também é um destaque nacional devido ao desenvolvimento do programa DRENURBS (SOLUÇÕES PARA CIDADES, 2013b), que visa a adoção de calhas vegetadas, a implantação de parques e de áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água, a implantação de bacias de retenção e a promoção de ações voltadas para a conscientização.

A Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento – ASSEMAE (2017) apresenta o município de Santo André/SP como pioneiro no desenvolvimento de um Plano de Drenagem Urbana (PDD) que serviu de base para diversos planos de outros municípios.

#### *2.4.3 Nordeste brasileiro e estado da Paraíba*

O Nordeste é uma das regiões mais afetadas pelas restrições do sistema de saneamento básico e pela falta de investimentos (IBGE, 2018), refletindo diretamente nos sistemas de drenagem de águas pluviais. São poucas as cidades a adotarem ações que sirvam de exemplo.

A cidade de Recife, localizada no estado de Pernambuco, trouxe inovação na região ao sancionar a Lei Municipal 18.112/2015 que obriga a instalação de "telhados verdes" e a construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a

rede de drenagem em edifícios multifamiliares com mais de quatro pavimentos, e em edificações com área de coberta superior a 400 m<sup>2</sup> (PEREIRA, 2017).

Ainda segundo Pereira (2017), as experiências observadas no estado da Paraíba resumem-se a limitações nas taxas de impermeabilização de terrenos, mapeamento de áreas de risco a alagamentos e inundações, zoneamento do solo e realização de obras nos maiores centros urbanos do estado. Alguns exemplos são o Canal do Frango em Patos, o Parque Linear Parahyba e a revitalização do Parque Solón de Lucena, na capital João Pessoa.

Nos pequenos municípios do estado, a falta de ações relativas à drenagem de águas pluviais é ainda maior. De acordo com o SNIS (2018), apenas 4,00% dos municípios de pequeno porte da Paraíba dispõe de Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Ademais, as regras de ocupação são definidas pelos Códigos de Obras locais. De modo geral, pode-se dizer que há uma predominância de obras físicas sob a forma de sistemas convencionais simplificados e canais de macrodrenagem.

## 2.5 A LEGISLAÇÃO APLICÁVEL À DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO BRASIL

O novo Marco Legal do Saneamento Básico, Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020) gerou mudanças significativas em sete outros dispositivos legais relacionados ao saneamento. A lei delega nova competência à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) quanto à edição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, devendo tratar sobre padrões de qualidade, regulação tarifária, redução da perda de água e reuso dos efluentes sanitários tratados.

A lei ainda proíbe os contratos de programa – modelo de contrato firmado entre governantes e empresas estatais sem a necessidade de licitações – para a prestação de serviços públicos, e introduz os convênios de cooperação como forma de contratação de consórcios públicos de saneamento básico – firmados por blocos de municípios na contratação dos serviços de forma coletiva. Além disso, a atualização do Marco Legal torna obrigatória a abertura de licitação, estimulando a concorrência entre prestadores de serviço públicos e privados.

Com o intuito de atender aos municípios menores, com poucos recursos e com baixa sustentabilidade na prestação dos serviços, a lei impõe a criação de blocos de municípios para contratação coletiva dos serviços. A implementação de planos municipais e regionais de saneamento básico também é exigida pelo novo dispositivo.

Apesar de manter os municípios e estados como entes responsáveis pela prestação dos serviços de saneamento, o Marco estipula que a alocação de recursos públicos federais e os financiamentos realizados com recursos da União devem ser feitos em conformidade com as diretrizes estabelecidas e condicionadas às normas de referência expedidas pela ANA.

A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), conhecida como a Lei Nacional do Saneamento Básico, estabelece diretrizes nacionais para as políticas federais de saneamento básico, abordando tópicos como planejamento, regulação, fiscalização, aspectos econômicos, sociais e técnicos.

O artigo 9º da lei define como atribuições do titular dos serviços a elaboração dos planos de saneamento básico, a prestação ou delegação dos serviços, além da definição do ente responsável pela sua regulação e fiscalização. Não há artigos em vigência que tratem diretamente da titularidade do serviço de drenagem urbana, entretanto, no ano de 2013, o Supremo Tribunal Federal (STF), decidiu que a titularidade sobre os serviços de saneamento em regiões metropolitanas ou aglomerações de municípios deve ser compartilhada entre estados e municípios (COSTA; GÓES, 2013).

A lei ainda estabelece, através do seu artigo 29º, a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços públicos de saneamento básico mediante a possível remuneração pela cobrança dos serviços. No caso da drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, a cobrança pode ocorrer na forma de tributos e deve considerar, como traz o artigo 36º, especificações como os percentuais de impermeabilização do lote, a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva e o nível de renda da população atendida (BRASIL, 2007).

É importante lembrar que há outros instrumentos legais e normativos, nos três níveis de governo, que possibilitam uma melhor gestão da Drenagem Urbana como: Planos Diretores de Drenagem Urbana, Planos Urbanísticos, Leis de Uso e Ocupação do Solo, Planos Municipais de Saneamento Básico, Códigos de Obras e legislações municipais específicas. A lei nº 10.257/01 – Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001) é uma das responsáveis pela maior gama de dispositivos e instrumentos jurídicos capazes de facilitar as ações de planejamento e uso do solo.

Na Paraíba, a Lei Estadual nº 10.047/2013 estabelece a obrigatoriedade de instalação de telhados verdes em condomínios edificados, residenciais ou não, que tenham mais de três pavimentos (PARAÍBA, 2013).

## 2.6 CONCEITOS E FERRAMENTAS PARA A AVALIAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO

No cenário nacional e internacional, houve um crescimento na utilização de dados, indicadores e índices de desempenho no setor de saneamento básico (VON SPERLING; VON SPERLING, 2012 *apud* VON SPERLING; VON SPERLING, 2013). Esses indicadores são ferramentas essenciais para auxiliar os gestores na tomada de decisões.

O Brasil também vem utilizando iniciativas como rankings, que premiam e trazem destaque e conhecimento público às melhores práticas. Um exemplo é o ranking do saneamento básico nas 100 maiores cidades do país organizado pelo Instituto Trata Brasil (2020).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, criado em 1996, é o maior sistema de informações sobre saneamento do país. Atualmente, ele coleta dados e produz indicadores de todas as áreas do saneamento em frequência anual, publicando-os em forma de diagnóstico. Além do SNIS, há outros sistemas de informações que englobam dados sobre o saneamento, como a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD, o DATASUS e dados de secretarias locais.

Apesar dessas iniciativas, ainda há um problema informacional no setor de saneamento básico do Brasil que ocorre, principalmente, em função do caráter monopolista dos serviços. Os prestadores de serviço são os únicos que conhecem os seus produtos com profundidade, visto que não há um compartilhamento de informações com os gestores, usuários dos serviços e entidades reguladoras (GALVÃO JUNIOR; BASÍLIO SOBRINHO; SAMPAIO, 2010).

Ainda segundo Galvão Junior, Basílio Sobrinho e Sampaio (2010), não há uma coleta sistemática de dados na maioria dos municípios, o que causa uma insuficiência de dados. Isso pode ser observado no SNIS, onde grande parte dos municípios encontra-se sem informação. Na área de drenagem e manejo de águas pluviais, a situação é ainda pior: não há cadastro do sistema de águas pluviais ou mapeamento das áreas de risco, há uma carência de registros precisos sobre as falhas do sistema de drenagem e a falta de conhecimento dos municípios quanto à infraestrutura instalada e dados hidrológicos.

Os sistemas de informação são formados por dados ou informações, indicadores e índices, termos que geralmente se confundem. Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2011a), a diferença entre os três termos consiste no processamento. Os dados são variáveis brutas qualitativas ou quantitativas coletadas e que representam eventos da realidade empiricamente observáveis. Os indicadores são produtos da agregação e síntese de dados de



forma estatística. Já os índices são dados mais apurados que provêm da síntese e/ou ponderação de indicadores e dados, usados para simplificar a complexidade da interpretação de um sistema.

Os dados e indicadores de desempenho mais utilizados para o monitoramento das ações de saneamento são os de eficiência e eficácia dos serviços, conforme indicado no marco legal. Vale ressaltar que os dados financeiros e operacionais também são aplicados e coletados pelo SNIS (2018).

### *2.6.1 Indicadores de drenagem e manejo de águas pluviais*

A drenagem de águas pluviais constitui uma das áreas do saneamento que encontra maiores dificuldades na criação de indicadores de performance do sistema. Tal dificuldade justifica-se pela impossibilidade de criar avaliações baseadas na existência de uma rede ou no atendimento aos domicílios, e também pela fragilidade das bases de dados disponíveis (BRASIL, 2019).

Apenas dois indicadores da área de drenagem pluvial foram selecionados pelo Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (BRASIL, 2019) para o acompanhamento do progresso e definição de metas, são eles: a porcentagem de municípios com enxurradas, inundações ou alagamentos, ocorridos na área urbana nos últimos cinco anos; e a porcentagem de domicílios não sujeitos a inundações na área urbana. Entretanto, os indicadores são frágeis devido à imprevisão de eventos hidrológicos extremos.

Alguns indicadores coletados pelo Diagnóstico de Águas Pluviais (SNIS, 2018) são: Investimento per capita em drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (IN049); Taxa de cobertura de pavimentação e meio-fio na área urbana do município (IN020); Taxa de cobertura de vias públicas com redes pluviais subterrâneas (IN021); Volume de reservação de águas pluviais por unidade de área urbana (IN035); Densidade de captações de águas pluviais na área urbana (IN051); e Parcela da população impactada por eventos hidrológicos (IN041).

#### *a) Indicadores de sistema existente*

Os indicadores de infraestrutura apresentam um diagnóstico quanto à rede de microdrenagem e macrodrenagem das cidades, abordando também a cobertura e qualidade do serviço. Esses indicadores são importantes, visto que os dispositivos de drenagem quantificados são essenciais para a condução das águas até o sistema de macrodrenagem e a compatibilização das curvas verticais em cruzamentos evita o acúmulo de água.

*b) Indicadores de manutenção dos sistemas*

Estão relacionados à manutenção do sistema de drenagem pluvial e aos serviços urbanos ligados a ele. Uma manutenção frequente dos dispositivos de drenagem, avaliada por esse tipo de indicadores, evita a obstrução e o comprometimento da eficiência do serviço.

Outro problema que agrava os problemas da rede de drenagem é o acúmulo de lixo nas ruas sem que haja uma destinação final adequada. Indicadores de cobertura da coleta de resíduos domésticos avaliam a abrangência do serviço de coleta de resíduos. Dessa forma, quanto maior estes indicadores, menor a chance de obstruções no sistema de drenagem.

*c) Indicadores relacionados à urbanização*

Indicadores de urbanização avaliam a extensão das modificações antrópicas e o grau de modificação das condições naturais da bacia. Indicadores que meçam a impermeabilização do solo são essenciais para avaliar a infiltração e escoamento da água. Já a arborização urbana, através dos processos de interceptação e da infiltração da água no solo, contribui diretamente na redução do escoamento superficial das águas pluviais e no atraso do pico de vazão.

As ruas são um dos principais meios de escoamento de águas de chuva, principalmente em cidades que carecem de um sistema subterrâneo, e a pavimentação das vias influencia diretamente na qualidade do escoamento, sendo uma das responsáveis pelo aumento no número de alagamentos. Dessa forma, o indicador de pavimentação de ruas torna-se importante para a avaliação dos sistemas. foi obtido através de imagens de satélite e entrevista direta com funcionários da administração municipal.

*d) Indicadores de gestão de risco e condições de estado*

São ligados ao monitoramento de eventos extremos e às consequências e mitigação de danos quando ocorridos. Indicadores de precipitação e de ocorrência de eventos extremos avaliam a intensidade dos eventos hidrológicos nas cidades, ao mesmo tempo em que os indicadores de população afetada, área urbana e domicílios considerados de risco indicam o grau de vulnerabilidade da população.

Os sistemas de alerta e previsão destinam-se a melhorar o tempo de reação da população e evitar o fator surpresa responsável por grande parte das vítimas fatais e dos prejuízos econômicos (CANHOLI, 2015). A Defesa Civil também exerce um papel importante na

mitigação dos danos causados pela ineficiência da drenagem urbana através da adoção de ações preventivas, de socorro, assistenciais e recuperativas destinadas ao reestabelecimento da normalidade social (BRASIL, 2014). Por isso, é importante a existência de indicadores que avaliem esses instrumentos de gestão.

*e) Indicadores institucionais e legislativos*

Os indicadores institucionais e legislativos avaliam a existência de dispositivos legais que direcionem o desenvolvimento da cidade. A ocupação desordenada do solo urbano é uma das principais causas da sobrecarga e dos alagamentos gerados pelo sistema de drenagem, devido a interferência direta na permeabilidade do terreno. É nesse contexto que se torna necessário o zoneamento e parcelamento do solo, previstos em leis como a de Uso e Ocupação de Solo (SANTOS; RUFINO; BARROS FILHO, 2017). Somado a isso encontram-se ações de diagnóstico e planejamento dos sistemas de drenagem estabelecidas dentro dos planos diretores, que podem colaborar para a melhoria do desempenho do serviço.

*f) Outros agrupamentos de indicadores*

Os sistemas de drenagem influenciam diretamente na ocorrência de doenças de veiculação hídrica ou proliferação de vetores que dependem da água para se desenvolver. Dessa forma, as internações registradas por doenças relacionadas ao serviço inadequado de drenagem de águas pluviais são consideradas um reflexo da qualidade do sistema.

Indicadores de despesa com serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas expressam os gastos com investimentos e com a manutenção do sistema existente na cidade. Assim, refletem diretamente no número de obras, expansão da rede e esforços para a sua conservação.

*2.6.2 Breve caracterização global do sistema*

Para estabelecer uma breve avaliação e uma análise comparativa dos sistemas de manejo de águas pluviais urbanas entre os dados no Brasil, Nordeste e Paraíba, foram selecionadas as informações e os indicadores mais relevantes, conforme apresentados nas

Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

**Tabela 1:** Informações selecionadas dos municípios participantes do SNIS-AP 2018

Informação		Brasil	Nordeste	Paraíba
Percentual de municípios por tipo de sistema de águas pluviais (IE016)	Exclusivo para drenagem	54,79%	22,57%	16,54%
	Sistema unitário	24,59%	35,19%	8,57%
Percentual de municípios com vias públicas urbanas com canais artificiais abertos (IE026)		17,37%	19,90%	12,78%
Percentual de municípios com soluções de drenagem natural em vias públicas urbanas (IE027)		15,71%	17,84%	9,77%
Percentual de municípios que possuem algum tipo de tratamento de águas pluviais (IE050)		3,61%	4,25%	1,50%
Percentual de municípios com algum tipo de reservação (IE051)		11,88%	4,73%	2,26%
Percentual de municípios que não realizaram intervenção ou manutenção no sistema de drenagem (OP001)		25,09%	41,02%	50,38%
Percentual de municípios participantes do SNIS-AP 2018		64,69%	45,93%	59,64%

Fonte: Adaptado do SNIS (2018).

**Tabela 2:** Indicadores selecionados dos municípios participantes do SNIS-AP 2018

Indicador	Brasil	Nordeste	Paraíba
Taxa de cobertura de pavimentação e meio-fio na área urbana do município (IN020) <sup>1</sup>	66,19%	64,02%	59,12%
Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana (IN021) <sup>3</sup>	18,04%	10,64%	17,01%
Densidade de captações de águas pluviais na área urbana em un/km <sup>2</sup> (IN051) <sup>2</sup>	13,29	7,67	7,79
Parcela de domicílios em situação de risco de inundação (IN040)	3,33%	2,73%	1,59%
Parcela da população impactada por eventos hidrológicos (IN041)	0,10%	0,09%	0,02%
Índice de óbitos por 100 mil habitantes (IN046)	0,048	0,053	0,042

Fonte: Adaptado do SNIS (2018)

Observa-se que a maioria dos municípios da Paraíba participam do SNIS. No entanto, o número ainda está longe do ideal, principalmente na região Nordeste. Observa-se uma discrepância entre os números encontrados nas três escalas espaciais. As informações e indicadores de infraestrutura apontam para piores condições do sistema de drenagem de águas pluviais nessa região, enquanto os indicadores de gestão de risco são melhores, devido à menor demanda dos dispositivos de drenagem por eventos hidrológicos (SNIS, 2018).

<sup>1</sup> Os municípios com indicador igual a zero foram retirados da amostra, como recomendado pelo SNIS (2018).

<sup>2</sup> Os municípios com densidade maior que 2000 unidades/km<sup>2</sup> foram retirados da amostra, como recomendado pelo SNIS (2018).

## 2.7 ÍNDICES UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Na literatura, é possível encontrar alguns estudos que propõem diferentes metodologias de índices para avaliação de sistemas de drenagem de águas pluviais que, em sua maioria, diferenciam-se pelos indicadores e pesos utilizados em sua ponderação. Muitos desses índices possuem várias especificidades que tornam a sua obtenção mais difícil ou falta de informações em algumas regiões, o que impossibilita a comparação entre diferentes locais (CAVALCANTI FILHO, 2017).

Steiner (2011) calcula o índice de qualidade da drenagem urbana a partir da ponderação de Indicadores de Fragilidade do Sistema (IFG) – ambientais, tecnológicos e institucionais. Alguns desses indicadores consideram a ocorrência de alagamentos, os dispositivos de infiltração, a disposição de resíduos sólidos, a pavimentação, os gastos com manutenção e a credibilidade da administração pública. A autora aplica pesos entre numa escala de 1 a 3, e mostra os resultados a partir da ineficiência dos dispositivos de coleta, do alagamento da maioria das áreas analisadas e do assoreamento do corpo receptor. Silva Junior *et al.* (2018) e Santos Júnior (2014) também utilizaram a mesma metodologia adaptada e atribuíram valores para cada um deles, de acordo com a sua manifestação, com base em uma escala de 0 a 5.

Silva, Pinheiro e Lopes (2013) fizeram uso de indicadores não quantitativos através do modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) e atribuíram pesos a cada um através do modelo. Foram utilizados indicadores que englobavam a existência de dispositivos de drenagem, a existência de diretrizes para o sistema de drenagem e os sistemas de coleta de resíduos sólidos.

Majesk *et al.* (2014) propôs a ponderação de indicadores, com valores de 0 a 1, que abordam campos como a gestão da drenagem urbana, a manutenção e interferência nos sistemas, os eventos de alagamento e o social. O índice desenvolvido no trabalho foi aplicado no município de Vitória/ES.

Por outro lado, Batista e Boldrin (2018) analisaram uma rede pluvial através do seu desempenho hidráulico, aplicando matrizes que indicavam a sobrecarga de cada conduto do sistema. Essa metodologia permitiu identificar a causa e a localização das falhas hidráulicas na rede, possibilitando ações locais.

O manual de drenagem e manejo de águas pluviais de São Paulo (SÃO PAULO, 2012) propôs oito campos de análise para o acompanhamento da gestão da drenagem urbana e manejo das águas pluviais do município, sendo eles: grau de impermeabilização do solo, gestão da

drenagem urbana, abrangência do sistema de drenagem, avaliação do serviço de drenagem pluvial, gestão de eventos hidrológicos extremos, interferências à eficácia do sistema de drenagem, aplicação de novas tecnologias e salubridade ambiental.

Araújo (2016) utilizou métodos multicritério para a análise e gestão de alternativas de drenagem, tais como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE). A ponderação dos critérios foi baseada na opinião de decisores pré-selecionados. Os critérios de análise abordados foram: ambiental, social, econômico e hidráulico.

Mendonça e Souza (2019) desenvolveram uma metodologia baseada em 16 critérios classificados em seis dimensões – legal, econômica, ambiental, social, sustentabilidade e técnica. Os métodos selecionados no estudo foram o *Elimination et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE-TRI) e o *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), aplicados em três cenários de um sistema de drenagem urbana existente.

Devido à pouca quantidade de estudos voltados diretamente para a avaliação da drenagem e o manejo de águas pluviais, alguns trabalhos semelhantes também podem servir como base para o estabelecimento de metodologias e o desenvolvimento de índices.

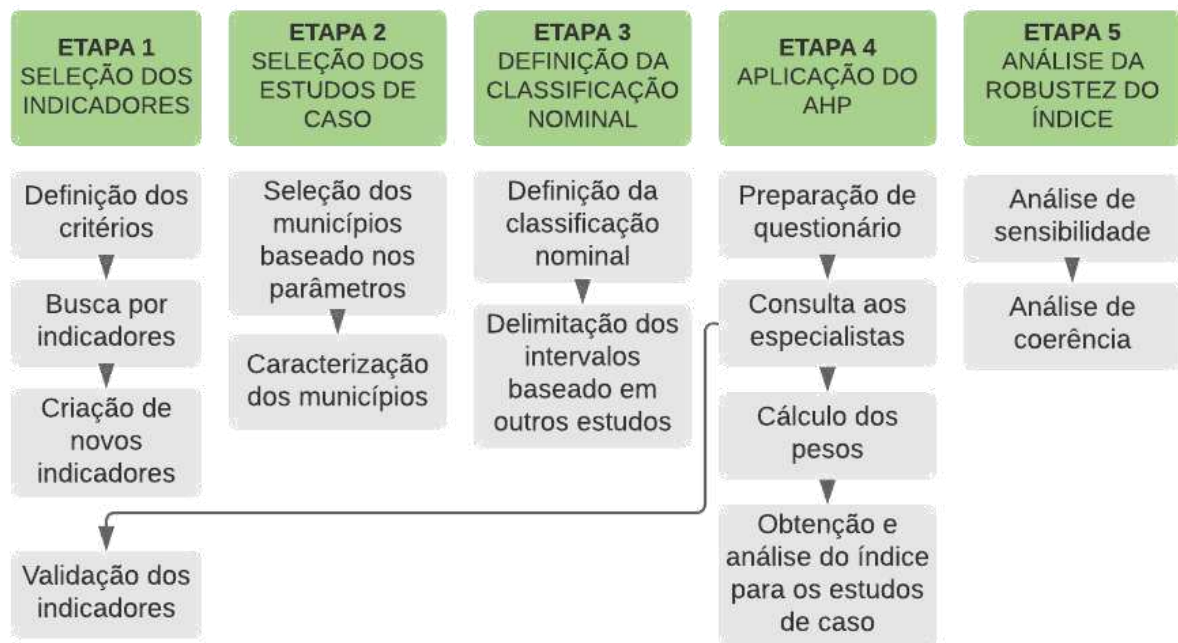
Von Sperling e Von Sperling (2013) desenvolveram um sistema de indicadores para avaliação do desempenho de sistemas de esgotamento sanitário. A importância e relevância dos diversos indicadores disponíveis nos sistemas de informação foram definidas através do método Delphi e da consulta com especialistas aplicando, posteriormente, os resultados obtidos em uma matriz de importância e praticidade.

Santos, Galvão e Cardoso (2019) elencaram diversos trabalhos de avaliação de esgotamento sanitário que poderiam ser adaptados para a gestão dos sistemas de drenagem pluvial. Alguns parâmetros citados nesses estudos são: vazamentos e bloqueios em tubos (DANILENKO et al., 2014); a ocorrência de inundações e colapsos estruturais (LNEC; ERSAR, 2013); e sobrecargas no sistema de esgotamento sanitário (AUSTRÁLIA, 2018), por exemplo.

### 3 METODOLOGIA

O estudo baseia-se em cinco etapas metodológicas apresentadas no fluxograma da Figura 3.

**Figura 3:** Fluxograma metodológico



Fonte: O autor (2021)

#### 3.1 SELEÇÃO DOS INDICADORES

A maior parte dos indicadores propostos foram obtidos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), DATASUS e Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). Além disso, durante a pesquisa, notou-se uma carência de indicadores que mensurassem determinados itens considerados indispensáveis para a avaliação do sistema. A não inclusão desses itens no cálculo do índice o tornaria menos representativo para a realidade dos municípios de pequeno porte.

Portanto, optou-se por desenvolver novos indicadores como complemento aos já existentes. O indicador de *Compatibilização das curvas verticais em cruzamentos de vias* e a inserção de indicadores de coleta de lixo e manutenção do sistema foram adaptados dos indicadores propostos por Silva, Pinheiro e Lopes (2013).

Os indicadores selecionados inicialmente para compor o índice foram agrupados em sete categorias que influenciam na qualidade e desempenho do sistema avaliado. A lista de indicadores propostos para a composição do índice encontra-se no Quadro 2.

**Quadro 2:** Lista de indicadores propostos

CATEGORIA	SIGLA	INDICADOR	FONTE
<b>Sistema existente</b>	<i>ISE<sub>1</sub></i>	Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana	SNIS (2018)
	<i>ISE<sub>2</sub></i>	Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio	IBGE (2010)
	<i>ISE<sub>3</sub></i>	Faces de ruas com presença de bocas de lobo	IBGE (2010)
	<i>ISE<sub>4</sub></i>	Compatibilização das curvas verticais em cruzamentos de vias	Autor (2020)
	<i>ISE<sub>5</sub></i>	Leitos naturais de drenagem canalizados na zona urbana	Autor (2020)
<b>Manutenção do sistema</b>	<i>IMS<sub>1</sub></i>	Manutenção do sistema de drenagem no ano de referência	SNIS (2018)
	<i>IMS<sub>2</sub></i>	Taxa de cobertura do serviço de coleta domiciliar direta	SNIS (2018)
<b>Urbanização</b>	<i>IUR<sub>1</sub></i>	Pavimentação de ruas	Autor (2020)
	<i>IUR<sub>2</sub></i>	Arborização urbana	Autor (2020)
	<i>IUR<sub>3</sub></i>	Impermeabilização	Autor (2020)
<b>Saúde</b>	<i>ISA<sub>1</sub></i>	Índice médio de internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada nos últimos 10 anos	DATASUS (2020)
<b>Econômico-financeiros</b>	<i>IEF<sub>1</sub></i>	Despesa per capita com serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas	SNIS (2018)
<b>Gestão de risco e condições de estado</b>	<i>IGR<sub>1</sub></i>	Precipitação anual média dos últimos 20 anos	ANA (2020)
	<i>IGR<sub>2</sub></i>	Ocorrência de alagamentos e enxurradas nos últimos 20 anos	S2ID (2020)
	<i>IGR<sub>3</sub></i>	População impactada por eventos hidrológicos nos últimos 5 anos	SNIS (2018)
	<i>IGR<sub>4</sub></i>	Área urbana considerada de risco	CPRM (2020)
	<i>IGR<sub>5</sub></i>	Parcela de domicílios em situação de risco	SNIS (2018)
	<i>IGR<sub>6</sub></i>	Vias de acesso comprometidas em épocas de chuva	Autor (2020)
	<i>IGR<sub>7</sub></i>	Densidade de pontos críticos na zona urbana citados por locais	Autor (2020)
	<i>IGR<sub>8</sub></i>	Existência de instituições de gestão de risco	SNIS (2018)
	<i>IGR<sub>9</sub></i>	Existência de sistemas de alerta	SNIS (2018)
<b>Institucionais e legislativos</b>	<i>IIL<sub>1</sub></i>	Existência de plano diretor ou plano diretor de drenagem urbana	Funcionários (2020)

Fonte: O autor (2021).

A escolha final dos indicadores para a composição do índice foi realizada através da validação baseada em quatro critérios: relevância, redundância, aplicabilidade a municípios de pequeno porte e confiabilidade dos dados. Para medir a relevância, especialistas da área de drenagem foram questionados quanto à relevância de cada um dos indicadores frente ao sistema



de drenagem. Foi solicitado que classificassem cada indicador em uma das tipologias: muito relevante, relevante, pouco relevante e irrelevante.

Uma média ponderada foi realizada, baseando-se na seguinte escala de categorias: 0 – Irrelevante; 1 – Pouco relevante; 2 – Relevante; e 3 – Muito relevante. Os indicadores que obtiveram uma média menor que o valor da categoria relevante foram excluídos do estudo por possuírem baixa relevância.

Alguns indicadores redundantes, isto é, aqueles que são compostos por dados ou informações de mesma natureza, foram adicionados propositalmente como forma de validar o de maior relevância junto aos especialistas durante a aplicação dos questionários. Os indicadores propostos e desenvolvidos para a composição do índice, suas respectivas formulações e unidades de medida encontram-se descritos no Quadro 3.

**Quadro 3:** Formulação dos indicadores (continua)

	<b>INDICADOR</b>	<b>FORMULAÇÃO</b>	<b>UNID.</b>
<b>Sistema existente</b>	Cobertura de vias públicas com rede subterrânea	$\frac{\text{Vias públicas com canais subterrâneos}}{\text{Extensão total de vias públicas}}$	%
	Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio	$\frac{\text{Fases de ruas com meio – fio}}{\text{Extensão total de fases de ruas}}$	%
	Fases de ruas com presença de bocas de lobo	$\frac{\text{Fases de ruas com bocas de lobo}}{\text{Extensão total de fases de ruas}}$	%
	Compatibilização das curvas verticais em cruzamentos de vias	<i>Existência de compatibilização das curvas verticais em cruzamentos</i>	Sim/Não
	Leitos naturais de drenagem canalizados na mancha urbana	$\frac{\text{Extensão de canais artificiais}}{\text{Extensão de leitos naturais na região urbana}}$	%
<b>Manutenção do sistema</b>	Manutenção do sistema de drenagem no ano de referência	<i>Ocorrência de manutenção do sistema no ano de referência</i>	Sim/Não
	Cobertura do serviço de coleta domiciliar direta	$\frac{\text{Área atendida pelo serviço de coleta}}{\text{Área urbana total}}$	%
<b>Urbanização</b>	Pavimentação de ruas	$\frac{\text{Extensão de vias pavimentadas}}{\text{Extensão total de vias públicas}}$	%
	Arborização urbana	$\frac{\text{Área arborizada}}{\text{Número de habitantes}}$	m <sup>2</sup> /hab
	Impermeabilização	$\frac{\text{Área impermeabilizada}}{\text{Área urbana total}}$	%
<b>Saúde</b>	Índice de internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada nos últimos 10 anos	$\frac{\text{Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada nos últimos 10 anos}}{\text{População total}}$	Intern./100 mil habitantes
<b>Econômico-financeiros</b>	Despesa per capita com serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas	<i>Valor per capita gasto com serviços de drenagem e manejo das águas pluviais</i>	R\$/ hab · ano

**Quadro 3:** Formulação dos indicadores (conclusão)

	<b>INDICADOR</b>	<b>FORMULAÇÃO</b>	<b>UNID.</b>
<b>Gestão de risco e condições de estado</b>	Precipitação anual média dos últimos 20 anos	<i>Precipitação anual média da série histórica</i>	mm
	Ocorrência de alagamentos e enxurradas nos últimos 20 anos	<i>Número de eventos extremos ocorridos nos últimos 20 anos</i>	ocorrências
	População impactada por eventos hidrológicos nos últimos 5 anos	<i>População impactada por eventos extremos nos últimos 5 anos</i>	habitantes
	Área urbana consideradas, oficialmente, de risco	$\frac{\textit{Áreas de risco mapeadas pela CPRM}}{\textit{Área urbana total}}$	%
	Parcela de domicílios em situação de risco	$\frac{\textit{Domicílios em situação de risco}}{\textit{Total de domicílios na área urbana}}$	%
	Vias de acesso comprometidas em épocas de chuva	$\frac{\textit{Vias de acesso comprometidas}}{\textit{Vias de acesso totais}}$	%
	Densidade de pontos críticos na zona urbana citados por locais	$\frac{\textit{Pontos críticos citados em entrevista}}{\textit{Área urbana total}}$	Pontos/ km <sup>2</sup>
	Existência de instituições de gestão de risco	<i>Existência de instituições de gestão de risco</i>	Sim / Não
	Existência de sistemas de alerta	<i>Existência de sistemas de alerta</i>	Sim / Não
	<b>Institucionais e legislativos</b>	Existência de plano diretor ou plano diretor de drenagem urbana	<i>Existência de plano diretor</i>

Fonte: O autor (2021).

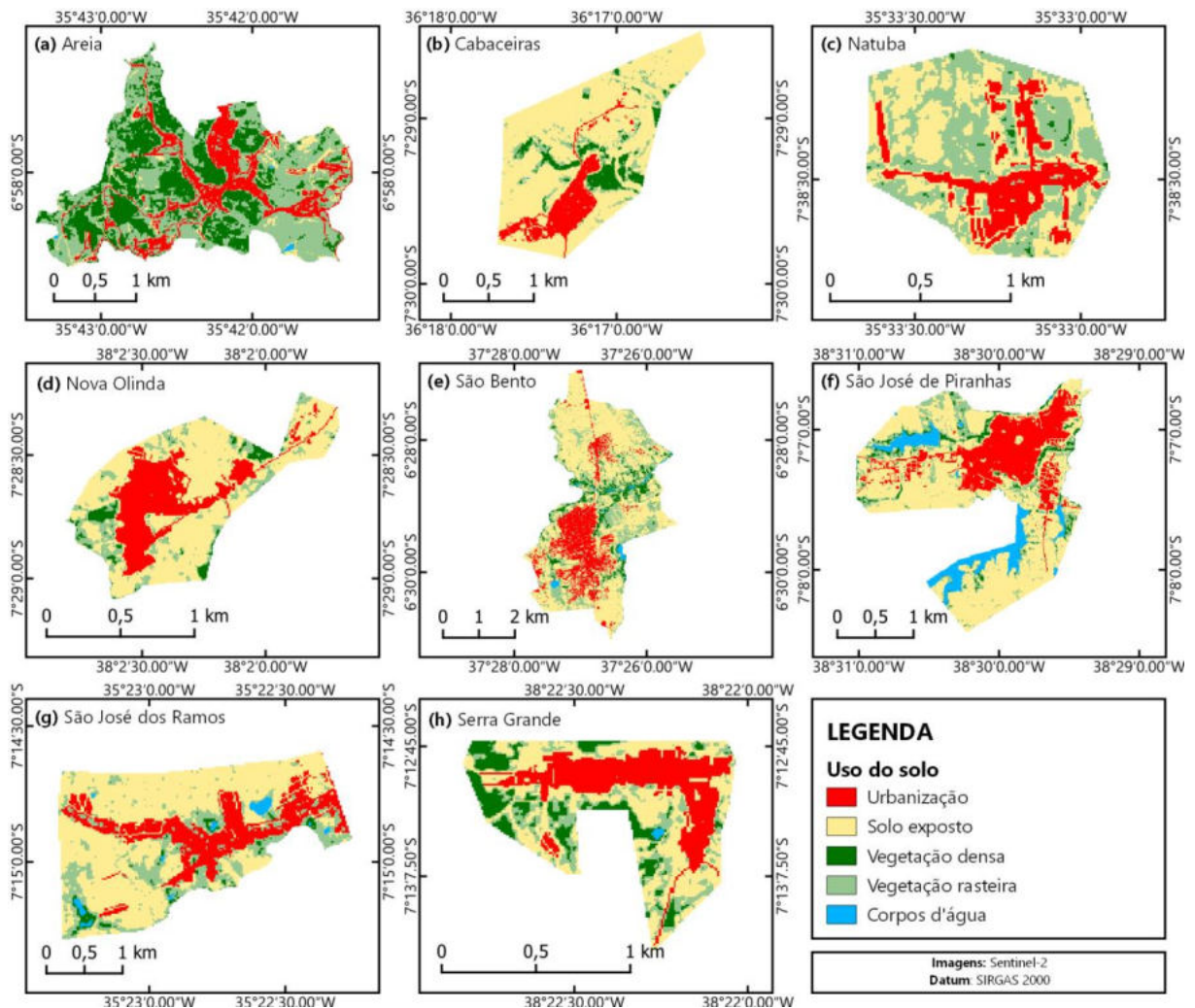
### 3.1.1 Criação dos indicadores

Os indicadores criados foram desenvolvidos com a ajuda de ferramentas de geoprocessamento. A compatibilização das curvas verticais entre ruas foi observada através de imagens do Google Street View. Para o indicador de densidade de pontos críticos, levantou-se, junto aos técnicos dos municípios, o número de pontos críticos da zona urbana que sofrem com episódios de alagamento em épocas de chuva e calculou-se a densidade de pontos críticos de alagamento na zona urbana do município.

Para entender melhor a permeabilidade do solo na zona urbana, decidiu-se por criar os indicadores de impermeabilização e arborização. As áreas foram identificadas através da classificação supervisionada de imagens do satélite SENTINEL-2. A Figura 4 ilustra parte do processo para a obtenção dos indicadores de impermeabilização e arborização das áreas urbanas, delimitadas através dos setores censitários do IBGE para o ano de 2019. Os

coeficientes de escoamento superficial utilizados foram baseados em Villela e Mattos (1980) e DNIT (2006).

**Figura 4:** Uso e ocupação do solo nos estudos de caso



Fonte: O autor (2021)

Por fim, para o indicador de leitos naturais de drenagem canalizados, primordial para a análise de desvios no curso natural das águas e da interferência antrópica no escoamento natural, o levantamento dos canais existentes e o mapeamento dos leitos naturais de drenagem foi realizado através do mapeamento dos leitos naturais de drenagem e da visualização de imagens de satélite.

### 3.2 DEFINIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO PARA VALIDAÇÃO DO ÍNDICE

Tendo em vista a importância da parametrização do estudo, buscou-se variar a amostra de municípios do estado da Paraíba para garantir uma maior abrangência de aplicabilidade do

trabalho. Os estudos de caso foram definidos baseando-se em critérios geográficos, demográficos, de características do sistema de drenagem e disponibilidade de indicadores relacionados ao tema.

De acordo com o IBGE (2017), o estado da Paraíba é subdividido em quatro regiões geográficas intermediárias que levam em conta questões geoeconômicas, tais como a influência entre os municípios e os fluxos de produção e pessoas. Dois municípios de cada região intermediária foram selecionados como forma de descentralizar geograficamente o estudo.

Além disso, limitou-se a amostra de municípios àqueles de pequeno porte – municípios com menos de 50 mil habitantes, segundo a classificação utilizada no último Censo Demográfico (IBGE, 2010) –, visto que possuem sistemas de drenagem de águas pluviais de porte semelhante. Procurou-se diversificar os estratos populacionais em cada uma das regiões, selecionando municípios com população menor e maior que 10 mil habitantes.

O tipo de sistema de drenagem profunda também foi um critério determinante para a escolha. A amostra engloba municípios com sistemas separadores e unitários. Por fim, considerando o déficit dos indicadores e informações relacionadas ao tema observado nos municípios da área de estudo, classificou-se subjetivamente cada um quanto à disponibilidade de informações. Aqueles que possuíam indicadores inconsistentes foram descartados. Os municípios selecionados, juntamente com um resumo dos seus respectivos critérios, encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3:** Municípios selecionados como estudo de caso e critérios levados em consideração

<b>Região intermediária</b>	<b>Município</b>	<b>População estimada (2019)</b>	<b>Tipo de sistema de drenagem</b>	<b>Disponibilidade de indicadores</b>
Sousa-Cajazeiras	Serra Grande	2.909	Separador	Ótima
	São José de Piranhas	20.251	Unitário	Boa
Patos	Nova Olinda	5.949	Unitário	Ótima
	São Bento	34.031	Unitário	Ótima
Campina Grande	Areia	22.819	Separador	Ótima
	Cabaceiras	5.611	Unitário	Boa
João Pessoa	São José dos Ramos	5.957	Separador	Ótima
	Natuba	10.454	Unitário	Ótima

Fonte: Adaptado do IBGE (2010), IBGE (2017), SNIS (2018) e IBGE (2019a)

### 3.3 CATEGORIAS DE ENQUADRAMENTO DE DESEMPENHO

Para a criação das categorias de enquadramento de desempenho atribuiu-se uma escala nominal associada a intervalos do índice. A delimitação dos intervalos baseou-se em trabalhos anteriores na área de saneamento ambiental (OGATA, 2014; LOPES *et al.*, 2016; NOVAES, 2017). As cinco classificações nominais estabelecidas foram: excelente, bom, mediano, ruim, péssimo. Os intervalos do índice para cada uma das classificações nominais encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4:** Categorias de enquadramento de desempenho

<b>CLASSIFICAÇÃO NOMINAL</b>	<b>INTERVALOS ATRIBUÍDOS AO IDDAP-PB</b>
Excelente	0,76 – 1,00
Bom	0,61 – 0,75
Mediano	0,46 – 0,60
Ruim	0,31 – 0,45
Péssimo	0 – 0,30

Fonte: O autor (2021)

### 3.4 O MÉTODO MULTICRITÉRIO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

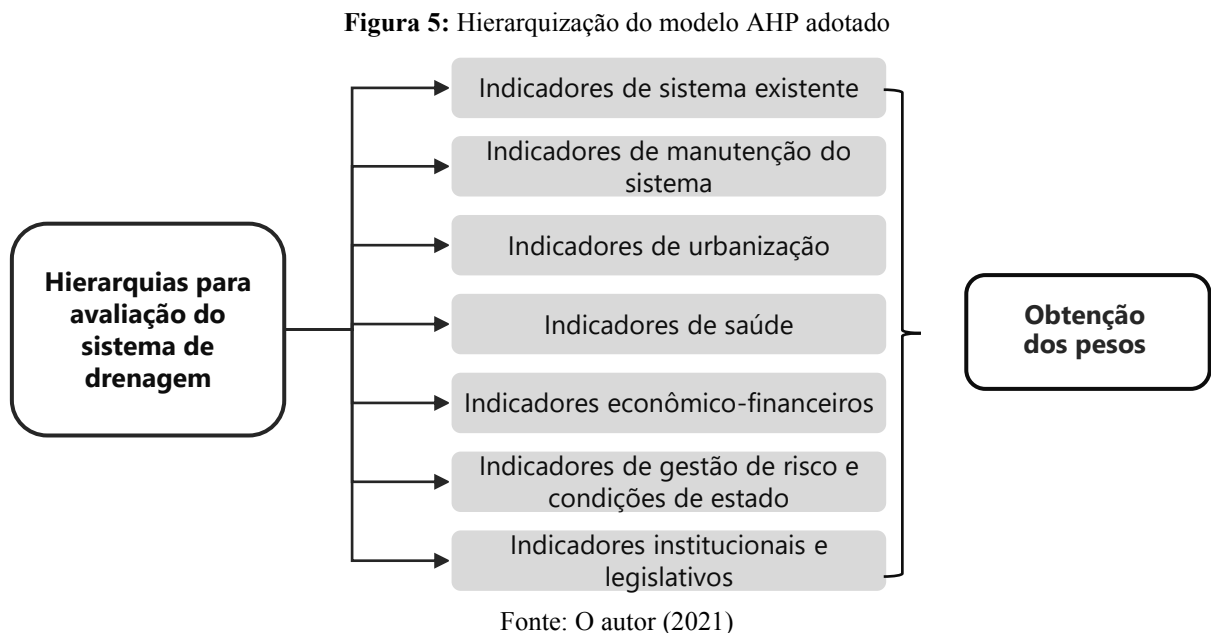
O método de decisão multicritério Analytic Hierarchy Process (AHP), introduzido por Saaty, foi desenvolvido para auxiliar na tomada de decisões a partir de uma série de parâmetros quantitativos ou qualitativos (ANAC, 2019). Esse método consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização desses, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1990).

Resumidamente, o processo tem como ideia central a redução de uma hierarquia complexa a uma sequência de comparações par a par dos critérios decisivos (MARCHEZETTI; KAVISKI; BRAGA, 2011). Atualmente, o método da escola americana é um dos mais empregados no mundo para a solução de problemas multicritério, comprovado por milhares de trabalhos publicados nos últimos 30 anos e adotado por diversas organizações para a tomada de decisões (RIVAS, 2016). Ademais, é um método de fácil manuseio, projetado para multicritérios e que possibilita a exclusão das inconsistências inerentes à lógica humana. No presente estudo, o método será utilizado para a atribuição de pesos aos indicadores selecionados.

De acordo com Costa e Moll (1999), o AHP baseia-se em três princípios que norteiam o pensamento multicritério. São eles:

a) Estruturação do problema em hierarquias

A estruturação do problema em hierarquias facilita a compreensão e avaliação do modelo e da influência de cada critério no objetivo geral. Dessa forma, os elementos do sistema seguem uma hierarquia, onde o objetivo geral encontra-se no topo da árvore, seguido pelos critérios e seus agrupamentos. A estrutura hierárquica do modelo elaborado no presente trabalho encontra-se na Figura 5.



b) Definição de prioridades e julgamentos

Para que se obtenha a importância relativa entre os critérios, esses foram comparados par a par através da atribuição de intensidades de importância em uma escala de 1 a 9, como proposto por Saaty (1990). Os números ímpares são utilizados para que se assegure julgamentos mais assertivos, como mostra a Quadro 4.

A atribuição das intensidades de importância foi realizada por meio da aplicação de questionários a um conjunto de especialistas da temática em estudo. Mediante as respostas, foi possível obter os pesos dos agrupamentos de critérios quanto ao objetivo geral e os pesos relativos dos critérios dentro de cada agrupamento.

**Quadro 4:** Escala para julgamentos comparativos

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro.
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro.
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu domínio de importância é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

A escolha dos especialistas deu-se através de uma amostragem não-probabilística intencional por conveniência. Foram selecionados 19 especialistas na área de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas de diversas instituições educacionais da Paraíba, com o cuidado de evitar conflitos de interesse.

### c) Consistência lógica

O grau da inconsistência de uma matriz de julgamentos paritários e o quanto seu autovalor máximo se distancia da ordem da matriz, são importantes para a manutenção da consistência lógica de seus valores. O índice de consistência proposto por Saaty (1990) é dado pela Equação 1, onde  $\lambda_{máx}$  é o autovalor máximo e  $N$  é a ordem da matriz.

$$IC = \frac{|\lambda_{máx} - N|}{N - 1} \quad \text{Eq. (1)}$$

Pensando na redução da subjetividade e inconsistência do método, Saaty (1990) propôs uma Razão de Consistência (RC), dada pela Equação 2, onde  $IC$  é o índice de consistência da matriz e  $IR$  é o índice de consistência randômico dado pela ordem da matriz (Tabela 5).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Eq. (2)}$$

A matriz de importância será considerada consistente caso  $RC \leq 0,10$  em matrizes de ordem maior que 4. Caso a consistência ideal não seja atingida, o especialista deve ser convidado a rever os seus julgamentos. Após alcançar matrizes consistentes, divide-se o valor

de cada célula pela soma de sua respectiva coluna. A média dos valores de cada linha da matriz resultará nos pesos dos indicadores.

**Tabela 5:** Índice de consistência randômico médio de acordo com a ordem da matriz

Ordem da matriz (N)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57

Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

Como os pesos dados pelos agentes de decisão para um mesmo indicador podem ser heterogêneos, realizou-se o tratamento estatístico da amostra com o intuito de detectar valores atípicos. A fim de avaliar o grau de espalhamento de dados em torno da média de centralidade, utilizou-se o intervalo interquartil, conforme mostrado na Equação 3. Por fim, os pesos a serem agregados ao índice originam-se da média dos pesos de todos os especialistas, eliminados os valores atípicos identificados.

$$\bar{x} - 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1) \leq x \leq \bar{x} + 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1) \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:  $\bar{x}$  é a média dos pesos do indicador;  $Q_1$  é o primeiro quartil;  $Q_3$  é o terceiro quartil e  $x$  é o peso analisado para o indicador.

### 3.5 AGREGAÇÃO DOS INDICADORES

A agregação dos indicadores seguiu o método aritmético de média ponderada, onde cada indicador normalizado é multiplicado por seu respectivo peso, havendo um somatório de todos os produtos. A Equação 4 demonstra o método usado nesta etapa.

$$IDDAP - PB = \sum_{i=0}^N w_i \cdot I_i \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde: *IDDAP - PB* equivale ao Índice de desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas de municípios de pequeno porte do estado da Paraíba;  $w_i$  equivale ao peso atribuído ao indicador;  $I_i$  a cada indicador selecionado; e  $N$  ao número total de indicadores utilizados.



### 3.6 APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SERVIÇO DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DE MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE DO ESTADO DA PARAÍBA (IDDAP-PB) NOS ESTUDOS DE CASO

A partir dos indicadores selecionados e dos pesos obtidos, foi proposta a equação que representa o Índice de desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas de municípios de pequeno porte do estado da Paraíba (IDDAP-PB). Para a aplicação dos dados neste índice os indicadores precisam ser normalizados.

A normalização dos indicadores é requerida como modo de transformar todas as variáveis em números adimensionais e de mesma ordem de grandeza, de forma que possa haver comparação entre as variáveis e que o índice varie no intervalo delimitado de 0 a 1. A normalização foi realizada a partir da método do melhoramento contínuo (Equação 5), onde  $S_i$  é o valor normalizado do indicador,  $X_i$  é o valor a ser normalizado,  $X_{inf}$  o limite inferior e  $X_{sup}$  o limite superior.

$$S_i = \frac{X_i - X_{inf}}{X_{sup} - X_{inf}} \quad \text{Eq. (5)}$$

Os limites superiores e inferiores foram determinados a partir de metas propostas por documentos de órgãos oficiais ou trabalhos acadêmicos já realizados (OGATA, 2014). Nos casos em que não houve estudos anteriores publicados, foram utilizados valores máximo e mínimo que o indicador pode alcançar. Para os indicadores que não possuem limiar máximo, considerou-se como limite superior o valor a partir do qual o dado é considerado como atípico quando comparado à série (Equação 3).

É importante destacar que o limite superior representa o valor que mais contribui para uma melhora do índice, enquanto o inferior contribui para a piora do índice. Para os indicadores dicotômicos, os valores atribuídos para o índice assumirão limite positivo igual a 1 e negativo igual a 0 (Tabela 6).

**Tabela 6:** Limites inferiores e superiores para normalização dos indicadores (continua)

SIGLA	INDICADOR	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	FONTE
$ISE_1$	Cobertura de vias públicas com rede subterrânea	0,0%	100,0%	-
$ISE_2$	Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio	0,0%	100,0%	-
$ISE_3$	Faces de ruas com presença de bocas de lobo	0,0%	100,0%	-

**Tabela 6:** Limites inferiores e superiores para normalização dos indicadores (conclusão)

SIGLA	INDICADOR	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	FONTE
<i>ISE<sub>4</sub></i>	Compatibilização das curvas verticais em cruzamentos de vias	0 - Não	1 - Sim	-
<i>ISE<sub>5</sub></i>	Leitos naturais de drenagem canalizados na zona urbana	0,0%	100,0%	-
<i>IMS<sub>1</sub></i>	Manutenção do sistema no ano de referência	0 - Não	1 - Sim	-
<i>IMS<sub>2</sub></i>	Cobertura do serviço de coleta domiciliar direta	0,0%	100,0%	-
<i>IUR<sub>1</sub></i>	Pavimentação de ruas	100,0%	0,0%	-
<i>IUR<sub>2</sub></i>	Arborização urbana	15,0	40,0	Adaptado de SBAU (1996)
<i>IUR<sub>3</sub></i>	Impermeabilização	80,0%	35,0%	Tucci (2006)
<i>ISA<sub>1</sub></i>	Índice de interações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada nos últimos 10 anos	79,29	0,00	DATASUS (2020)
<i>IEF<sub>1</sub></i>	Despesa per capita com serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas	R\$0,00	R\$8,36	SNIS (2018)
<i>IGR<sub>1</sub></i>	Precipitação anual média dos últimos 20 anos	1268,80	290,73	AESA (2019)
<i>IGR<sub>2</sub></i>	Ocorrência de alagamentos e enxurradas nos últimos 20 anos	4	0	S2ID (2020) e Jornais
<i>IGR<sub>3</sub></i>	População impactada por eventos hidrológicos nos últimos 5 anos	20	0	SNIS (2019)
<i>IGR<sub>4</sub></i>	Área urbana considerada, oficialmente, de risco	100,00%	0,00%	-
<i>IGR<sub>5</sub></i>	Parcela de domicílios em situação de risco	100,00%	0,00%	-
<i>IGR<sub>6</sub></i>	Vias de acesso comprometidas em épocas de chuva	100,0%	0,0%	-
<i>IGR<sub>7</sub></i>	Densidade de pontos críticos na zona urbana citados por locais	2,0	0,0	Reuniões com funcionários públicos
<i>IGR<sub>8</sub></i>	Existência de instituições de gestão de risco	0 - Não	1 - Sim	-
<i>IGR<sub>9</sub></i>	Existência de sistemas de alerta	0 - Não	1 - Sim	-
<i>IIL<sub>1</sub></i>	Existência de plano diretor ou plano diretor de drenagem urbana	0 - Não	1 - Sim	-

Fonte: O autor (2021)

### 3.7 ANÁLISE DE ROBUSTEZ DO ÍNDICE

Os resultados derivados dos modelos multicritérios possuem uma grande influência dos pesos atribuídos aos seus parâmetros. Pequenas mudanças em seus pesos podem acarretar em alterações desproporcionais dos seus valores. Em decorrência disso, Saaty e Vargas (2013) destacam a importância da análise de sensibilidade e robustez do índice, de forma a entender como as mudanças nos pesos concedidos influenciam nos resultados do método. A robustez

do modelo foi avaliada para dois objetivos diferentes: a obtenção de um ranking de municípios com melhor serviço de drenagem de águas pluviais e sua classificação.

Para a aferição do desempenho dos sistemas dos municípios, buscou-se analisar os valores mínimos e máximos que os pesos de cada indicador podem atingir sem que haja uma mudança maior que 0,07 no seu índice absoluto. Esse critério foi definido de forma que o município que obtiver o índice igual ao valor central de qualquer uma das classes nominais (Tabela 7), não altere a sua classificação após o somatório ou subtração do número. Considerando a comparação entre vários municípios, procurou-se obter os valores mínimos e máximos sem que houvesse mudança no ranking dos municípios. O cálculo dos limites foi realizado a partir do software *Microsoft Excel*.

Por fim, analisou-se a coerência do índice desenvolvido quanto à realidade das cidades através da comparação entre o resultado do índice e a situação real do sistema de drenagem observada. Para essa etapa, utilizou-se as informações coletadas em reuniões com os técnicos locais dos municípios e informações coletadas em jornais, relatórios de áreas de risco e trabalhos acadêmicos publicados anteriormente.

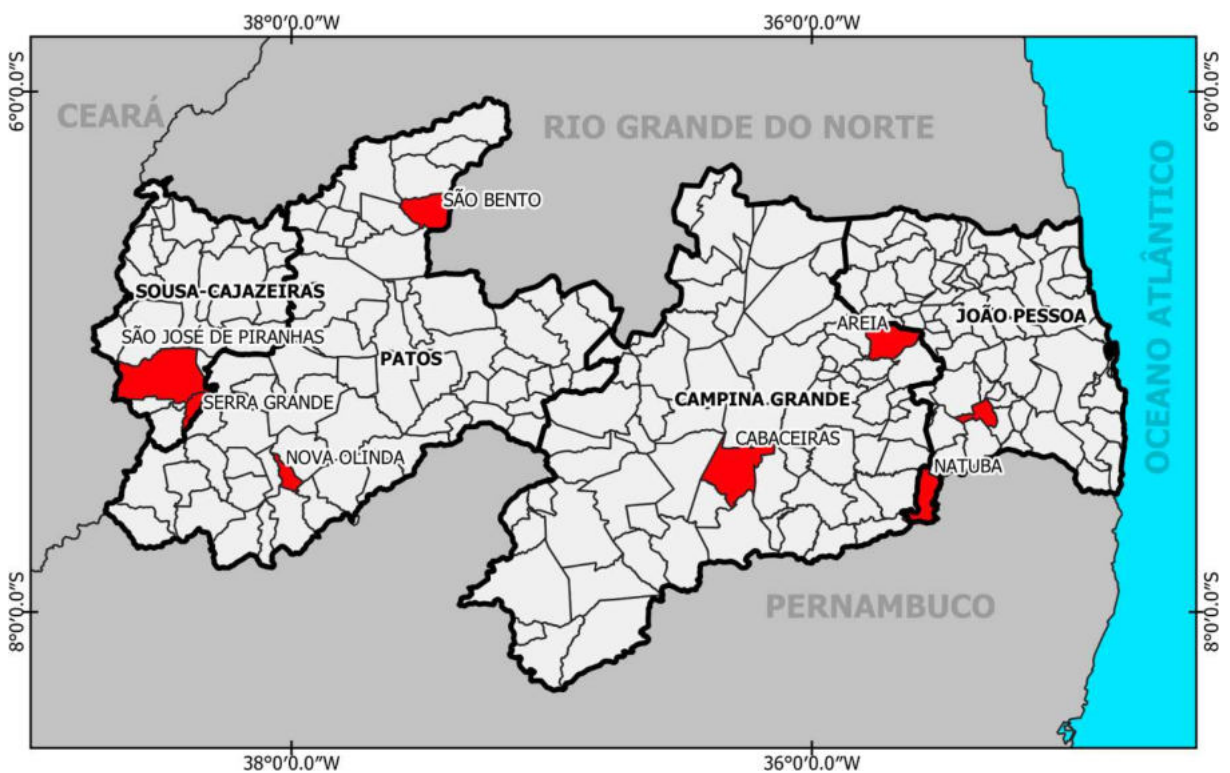
## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

#### 4.1.1 Localização

Os municípios escolhidos como estudo de caso para validação do índice desenvolvido, encontram-se no interior do estado da Paraíba, distribuídos nas quatro regiões intermediárias (Figura 6).

**Figura 6:** Localização dos municípios selecionados como estudos de casos na Paraíba



Fonte: O autor (2021)

Por serem municípios de pequeno porte, possuem áreas urbanas de pequena extensão, acessadas por rodovias estaduais. O Quadro 5 apresenta um resumo das informações físicas básicas relacionadas aos municípios selecionados.

**Quadro 5:** Resumo com as informações físicas básicas dos municípios selecionados (continua)

Município	Região intermediária	Coordenadas geográficas	Área urbana (km <sup>2</sup> )	Rodovias de acesso	Distância para a capital (km)
Areia	Campina Grande	6° 58' 8.51" S 35° 41' 56.8" O	2,773	PB-079 e PB-087	134,1
Cabaceiras	Campina Grande	7° 29' 14.75" S 36° 17' 9.1" O	0,579	PB-148 e PB-160	196,6

**Quadro 5:** Resumo com as informações físicas básicas dos municípios selecionados (conclusão)

Município	Região intermediária	Coordenadas geográficas	Área urbana (km <sup>2</sup> )	Rodovias de acesso	Distância para a capital (km)
Natuba	João Pessoa	7° 38' 23.68" S 35° 32' 53.52" O	0,615	PB-094	156,9
Nova Olinda	Patos	7° 28' 55.6" S 38° 2' 35.52" O	0,695	PB-356	433,2
São Bento	Patos	6° 29' 35.92" S 37° 26' 56.51" O	5,369	PB-293	392,0
São José de Piranhas	Sousa-Cajazeiras	7° 7' 10.16" S 38° 30' 6.16" O	2,278	PB-366 e PB-400	515,0
São José dos Ramos	João Pessoa	7° 14' 40.88" S 35° 22' 52.72" O	1,159	PB-054	80,3
Serra Grande	Sousa-Cajazeiras	7° 12' 54.72" S 38° 22' 8.29" O	0,415	PB-382	461,7

Fonte: AESA (2020), EMBRAPA (2015) e OpenStreetMap (2020)

#### 4.1.2 Solo

De acordo com o IBGE (2019b), os municípios de Areia e Serra Grande possuem o Argissolo Vermelho Eutrófico como solo predominante de suas zonas urbanas, reconhecido pelas seguintes características: cor avermelhada, riqueza em óxidos de ferro, textura de média a argilosa e alta fertilidade. A cidade de Natuba possui o Nitossolo Vermelho Eutrófico como solo de sua área urbana, cuja tipologia é caracterizada pela sua textura argilosa e alta fertilidade.

Na cidade de São Bento, encontram-se dois tipos de solo predominantes: o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico – solo encontrado mais ao norte da zona urbana e com alta fertilidade e presença de argilas de alta atividade –, e o Luvisolo Crômico Órtico de textura média a argilosa. O Luvisolo Crômico Órtico também é encontrado nas demais cidades selecionadas para o estudo.

#### 4.1.3 Clima

De acordo com Francisco e Santos (2018), os municípios de São Bento e Cabaceiras possuem o tipo climático Köppen-Geiger BSh – semiárido e quente –, enquanto os outros possuem o tipo climático As – clima quente com chuva de inverno. As temperaturas mínimas variam entre 18 e 24°C e as máximas entre 25 e 36°C (CLIMATEMPO, 2020).

A Tabela 7 apresenta as precipitações médias mensais em anos chuvosos, normais e secos, determinados de acordo com a metodologia proposta por Monteiro (1976). Para isso, foi utilizada uma série histórica de 20 anos de dados pluviométricos.

**Tabela 7:** Precipitações médias mensais em anos chuvosos, normais e secos

Município	Precipitação média mensal para cada tipo de ano (mm)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Areia	Chuvoso	192,0	171,5	217,8	157,3	190,5	61,9	37,7	32,7	2,3	0,0	2,2	39,7
	Normal	69,0	134,9	176,0	125,2	93,8	53,1	45,4	20,5	6,8	4,8	16,3	25,2
	Seco	33,3	92,7	64,6	11,1	12,3	79,1	13,6	15,9	4,8	24,9	1,2	21,0
Cabaceiras	Chuvoso	105,4	100,0	104,0	68,6	95,8	59,3	62,6	30,8	9,4	1,4	4,2	23,8
	Normal	27,1	42,8	51,3	70,9	63,2	66,3	16,6	19,6	4,9	11,7	3,0	20,8
	Seco	18,5	34,8	21,4	22,5	17,3	28,8	31,5	7,1	3,7	0,2	0,4	11,3
Natuba	Chuvoso	171,1	115,5	143,9	210,8	238,8	223,3	260,0	132,2	98,8	16,4	20,4	33,5
	Normal	53,8	80,7	103,1	114,5	122,7	215,9	152,7	98,7	57,7	29,3	22,6	27,8
	Seco	111,5	115,1	22,7	11,9	72,1	179,6	144,8	35,3	0,0	35,8	10,6	22,4
Nova Olinda	Chuvoso	198,1	201,7	335,7	196,8	173,7	17,1	8,8	20,3	5,3	12,3	9,0	32,8
	Normal	123,4	175,8	211,0	130,1	56,8	41,4	13,7	2,0	0,0	11,8	16,2	51,6
	Seco	95,0	68,6	123,1	56,4	38,6	21,6	14,8	4,0	0,0	10,5	0,9	51,4
São Bento	Chuvoso	138,2	131,7	291,2	342,3	191,8	27,2	30,6	27,6	0,0	5,8	16,0	12,3
	Normal	88,9	125,6	186,5	217,8	85,3	18,5	31,2	5,1	0,8	0,0	8,5	36,4
	Seco	32,6	114,7	146,4	129,6	0,3	20,3	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
São José de Piranhas	Chuvoso	114,2	291,6	553,1	265,0	107,8	6,4	25,1	3,2	0,0	15,0	4,9	44,7
	Normal	146,4	113,0	285,1	112,3	62,9	29,2	10,2	5,8	2,0	9,6	52,6	102,9
	Seco	90,4	142,8	192,4	76,8	58,2	26,1	16,8	0,9	0,6	3,2	2,1	22,3
São José dos Ramos <sup>1</sup>	Chuvoso	225,5	99,7	64,1	129,4	188,8	195,1	213,6	69,9	38,4	1,4	9,4	31,2
	Normal	10,5	74,2	90,0	107,6	113,6	180,1	72,8	78,5	20,0	6,0	6,4	12,9
	Seco	64,0	38,8	54,0	30,5	43,9	142,9	96,5	26,7	10,6	15,3	8,2	14,8
Serra Grande	Chuvoso	122,0	309,0	461,7	232,2	109,5	11,1	38,5	0,1	1,5	15,9	0,0	31,8
	Normal	158,0	176,7	182,7	152,7	47,4	25,4	6,6	2,9	2,7	9,2	10,2	35,8
	Seco	127,6	42,9	150,0	103,1	65,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6

<sup>1</sup> Foram utilizados dados históricos entre 2000 e 2012.

Fonte: Adaptado de Monteiro (1976) e AESA (2020a).

#### 4.1.4 Relevo, geomorfologia e vegetação

O Quadro 6 apresenta um resumo das principais informações relacionadas ao relevo, à geomorfologia e à vegetação das zonas urbanas dos municípios em estudo.

**Quadro 6:** Informações relacionadas ao relevo, geomorfologia e vegetação nas zonas urbanas (continua)

Município	Unidade geomorfológica	Declividade média	Relevo predominante (EMBRAPA, 1979)	Altitude (m)	Vegetação
Areia	Encostas Orientais do Planalto da Borborema	18,86%	Fortemente ondulado	Entre 502 e 625 m	Floresta estacional semidecidual e Savana estépica arborizada
Cabaceiras	Pediaplano Central do Planalto da Borborema	5,26%	Suavemente ondulado	Entre 380 e 420 m	Savana estépica arborizada
Natuba	Encostas Orientais do Planalto da Borborema	14,03%	Ondulado	Entre 330 e 406 m	Floresta estacional semidecidual

**Quadro 6:** Informações relacionadas ao relevo, geomorfologia e vegetação nas zonas urbanas (conclusão)

<b>Município</b>	<b>Unidade geomorfológica</b>	<b>Declividade média</b>	<b>Relevo predominante (EMBRAPA, 1979)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Vegetação</b>
Nova Olinda	Depressão de Patos	2,43%	Plano	Entre 309 e 322 m	Savana estépica
São Bento	Depressão Sertaneja Setentrional	3,12%	Plano e Suavemente ondulado	Entre 138 e 171 m	Savana estépica
São José de Piranhas	Alinhamento de Cristas do Patamar Sertanejo	4,85%	Suavemente ondulado	Entre 326 e 368 m	Savana estépica e Savana estépica florestada
São José dos Ramos	Piemonte Oriental do Planalto da Borborema	4,05%	Suavemente ondulado	Entre 81 e 107 m	Savana estépica
Serra Grande	Serra do Braga	10,90%	Ondulado	Entre 562 e 644 m	Savana estépica

Fonte: INPE (2008) e IBGE (2019b)

#### 4.1.5 Caracterização da rede de drenagem de águas pluviais existentes

As redes de drenagem de águas pluviais concentram-se nos bairros mais centrais em todas as sedes municipais analisadas. As cidades de São José de Piranhas, Cabaceiras e Nova Olinda apresentam a maior cobertura de rede profunda de drenagem. A caracterização foi realizada através de informações obtidas em reuniões com os técnicos de cada administração municipal.

A cidade de Areia possui um sistema separador composto por 46 bocas de lobo e, aproximadamente, 2,75 km de galerias subterrâneas que desaguam nos riachos formados pelos vales existentes no município. Grande parte das águas das chuvas são direcionadas para o Norte do município, através das três maiores galerias localizadas nas ruas Professor Xavier Júnior, Prefeito José Elias Dávila Lins e Doutor Germano de Freitas.

O sistema do município de Cabaceiras possui galerias subterrâneas e bocas de lobo como dispositivos de drenagem. O sistema funciona em regime unitário, tendo em vista que a rede é compartilhada com o serviço de coleta de esgoto. Toda a água captada pelas bocas de lobo é direcionada para o Rio Taperoá que contorna a zona urbana. Já a cidade de Natuba não possui um sistema subterrâneo de drenagem de águas pluviais.

A rede pluvial de Nova Olinda é composta por bocas de lobo, galerias subterrâneas e dois canais abertos de drenagem. O canal principal possui 2,72 km de extensão, com início em Nova Olinda e término em Pedra Branca/PB. O canal secundário, com extensão de 600 metros,

contorna o perímetro leste da zona urbana, coletando a água de algumas galerias. Foram mapeados 2,66 km de condutos subterrâneos e 39 bocas de lobo que formam um sistema unitário.

São Bento possui um sistema unitário de pequena cobertura composto por dois canais subterrâneos, galerias e bocas de lobo. As principais galerias conduzem a água para um açude existente a oeste do município que, em seguida, deságua no Rio Piranhas. Os dois canais subterrâneos existentes direcionam a água da chuva para o Rio Piranhas e São Bento de Baixo. Ressalta-se que toda a rede se concentra na região mais baixa do município.

O município de São José de Piranhas é coberto, quase em sua totalidade, por uma rede de drenagem de águas pluviais. O sistema unitário possui galerias subterrâneas e bocas de lobo. Toda a água é direcionada para os riachos e barragens que rodeiam a zona urbana, principalmente para o Riacho dos Patos e Riacho das Varas, que desaguam no Rio Piranhas.

São José dos Ramos possui um sistema unitário com apenas uma galeria subterrânea de 177 metros e 5 bocas de lobo. O canal que passa pela região central do município (anteriormente aberto) possui 274 metros de extensão. Todas as águas coletadas pela rede desaguam no Riacho Curimatã.

Ao contrário do que indica o SNIS, Serra Grande possui um sistema de drenagem separador composto por 4 bocas de lobo e seus exutórios. As bocas de lobo são diretamente ligadas aos seus pontos de descarga às margens da zona urbana, não havendo galerias subterrâneas em nenhum local.

#### 4.1.5.1. Áreas verdes e pontos críticos de drenagem

Como já mostrado, sabe-se que menores taxas de impermeabilização propiciam uma maior infiltração da água no solo. Por isso, as áreas não urbanizadas, verdes e em expansão de uma cidade interferem diretamente no escoamento da água. Os mapeamentos dessas áreas foram realizados com a ajuda de imagens de satélite, conforme apresentados nas Figura 7 a Figura 10.

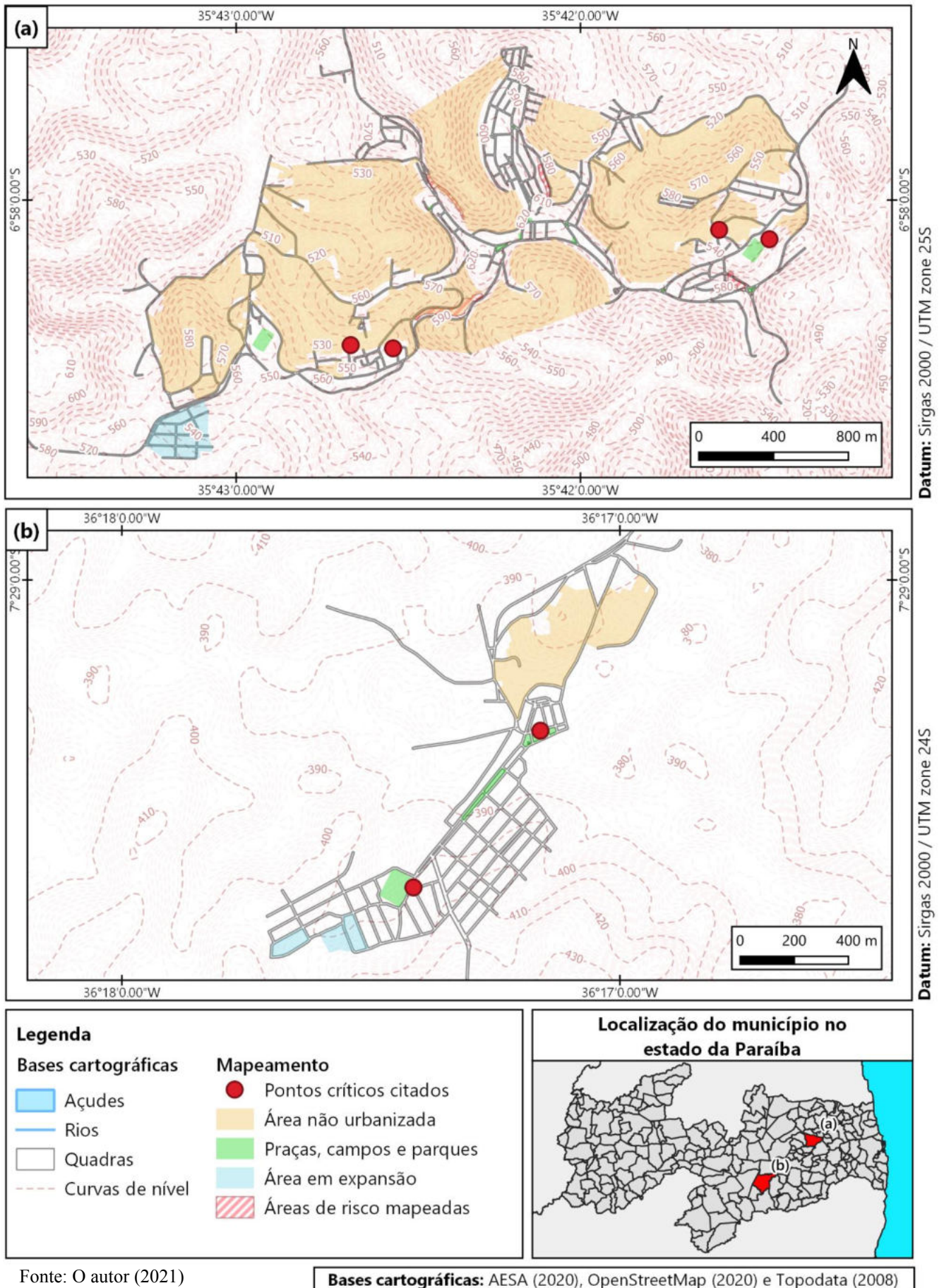
Observa-se que, apesar da grande extensão da mancha urbana, a cidade de Areia possui grande parte do seu território não urbanizado, devido às grandes variações de declividades. São Bento e São José de Piranhas são cidades que passam por um processo de rápida urbanização, fenômeno responsável pela maior parte dos problemas de drenagem nos centros urbanos, causado pela industrialização e obras da Transposição do Rio São Francisco. O restante dos



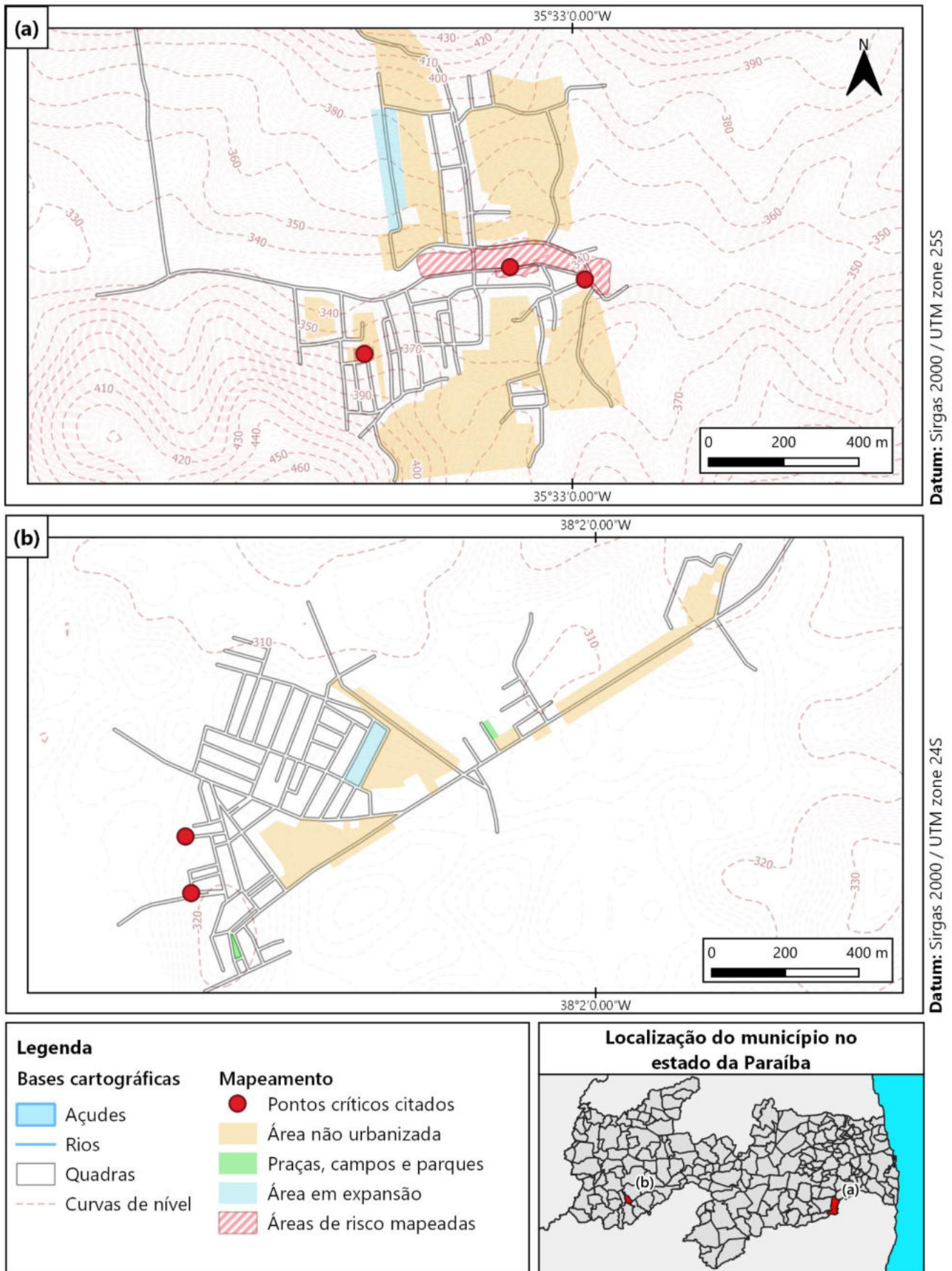
municípios possui centros mais urbanizados e pequenas zonas de expansão urbana e não urbanização. Todos os municípios tiveram poucas áreas verdes em suas zonas urbanas.

Uma característica comum em todos os casos é a presença de corpos d'água próximos ou internos à zona urbana. A urbanização próxima a esses riachos e rios é geralmente considerada como área de risco de inundação, enxurradas e alagamentos. A setorização de risco realizada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2020) foi adicionada ao mapa, juntamente com os pontos críticos de alagamentos identificados pelos funcionários das prefeituras municipais (Figura 7 a Figura 10).

**Figura 7:** Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) Areia/PB e (b) Cabaceiras/PB



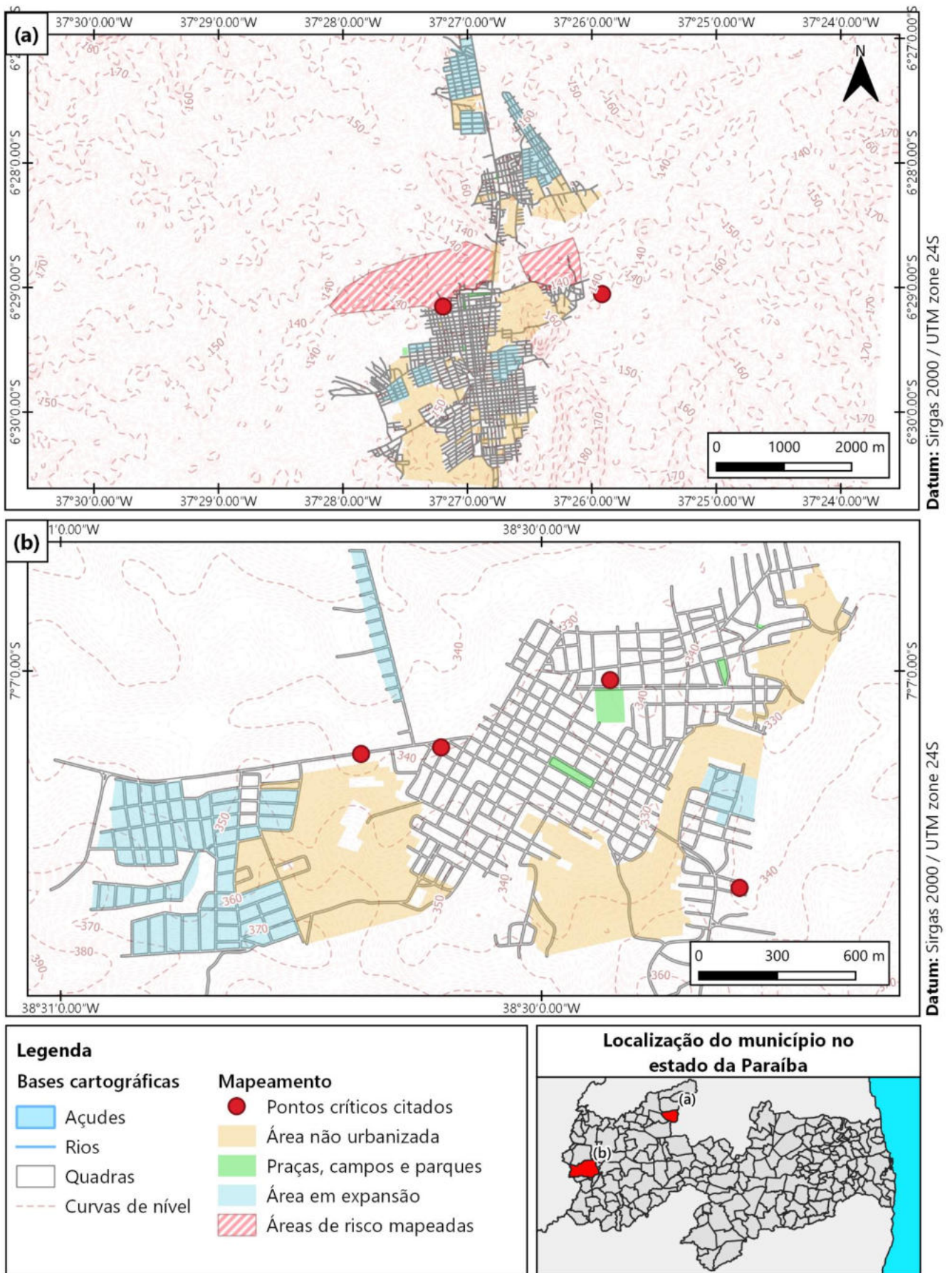
**Figura 8:** Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) Natuba/PB e (b) Nova Olinda/PB



Fonte: O autor (2021)

Bases cartográficas: AESA (2020), OpenStreetMap (2020) e Topodata (2008)

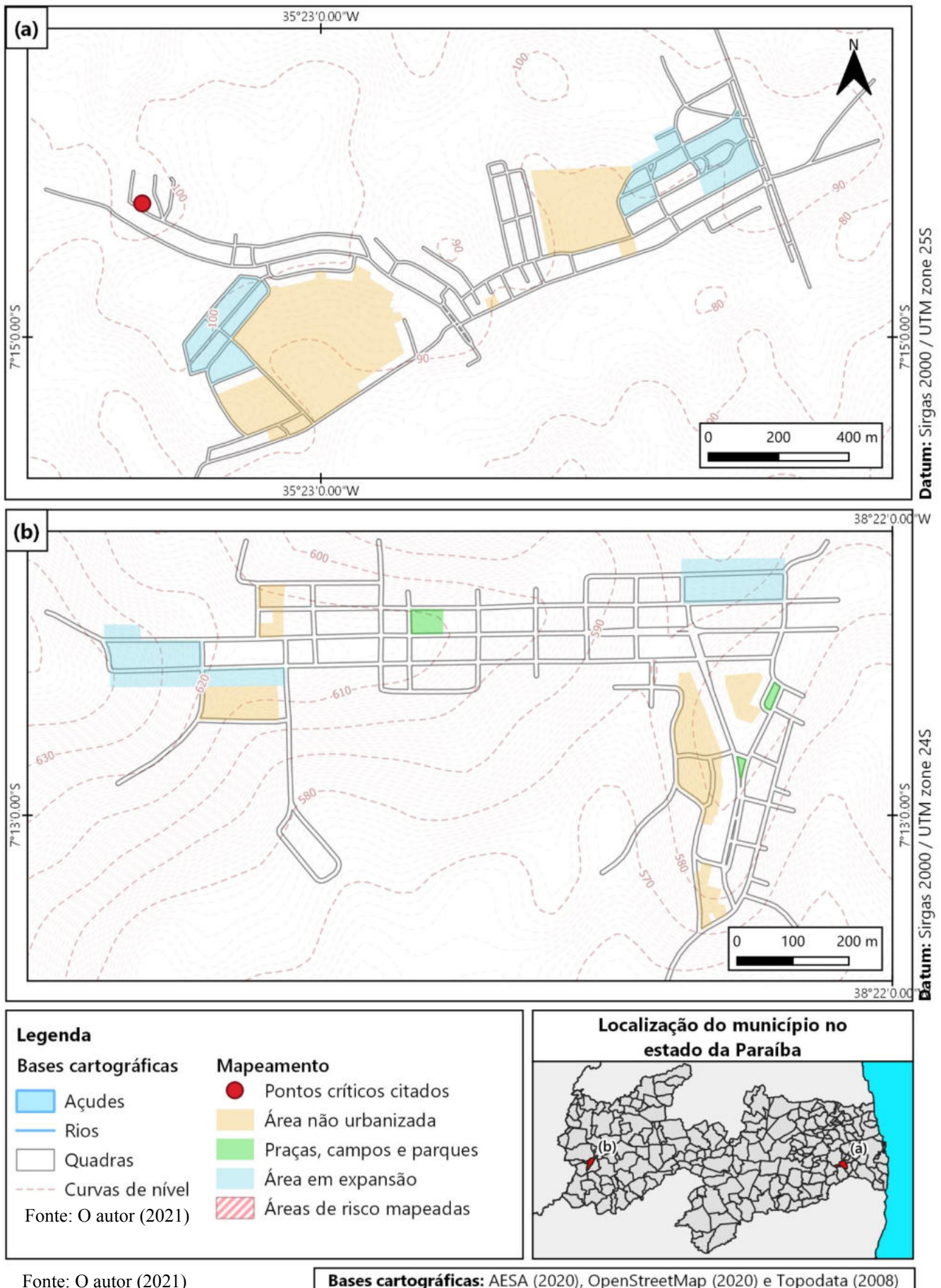
**Figura 9:** Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) São Bento/PB e (b) São José de Piranhas/PB



Fonte: O autor (2021)

**Bases cartográficas:** AESA (2020), OpenStreetMap (2020) e Topodata (2008)

**Figura 10:** Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) São José dos Ramos/PB e (b) Serra Grande/PB



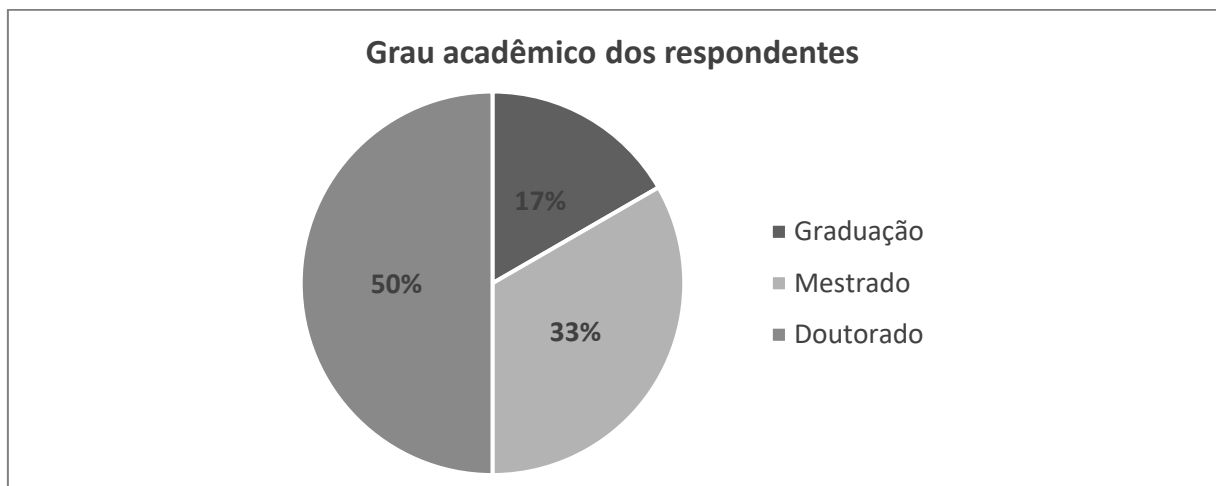
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 RESULTADOS REFERENTES À CONSULTA COM ESPECIALISTAS

#### 5.1.1 Caracterização da amostra

Durante o período de 01 a 22 de março de 2021, o questionário (Apêndice A) foi enviado por e-mail aos 19 especialistas selecionados, dentre eles constavam professores e pesquisadores da área de drenagem e manejo de águas pluviais de instituições superiores de ensino localizadas na região. Destes, 12 encaminharam respostas em um tempo máximo de 30 dias, correspondendo a 63,16% de participação no questionário. A Figura 11 apresenta a frequência relativa dos respondentes quanto aos seus graus acadêmicos.

**Figura 11:** Frequência relativa do grau acadêmico dos especialistas



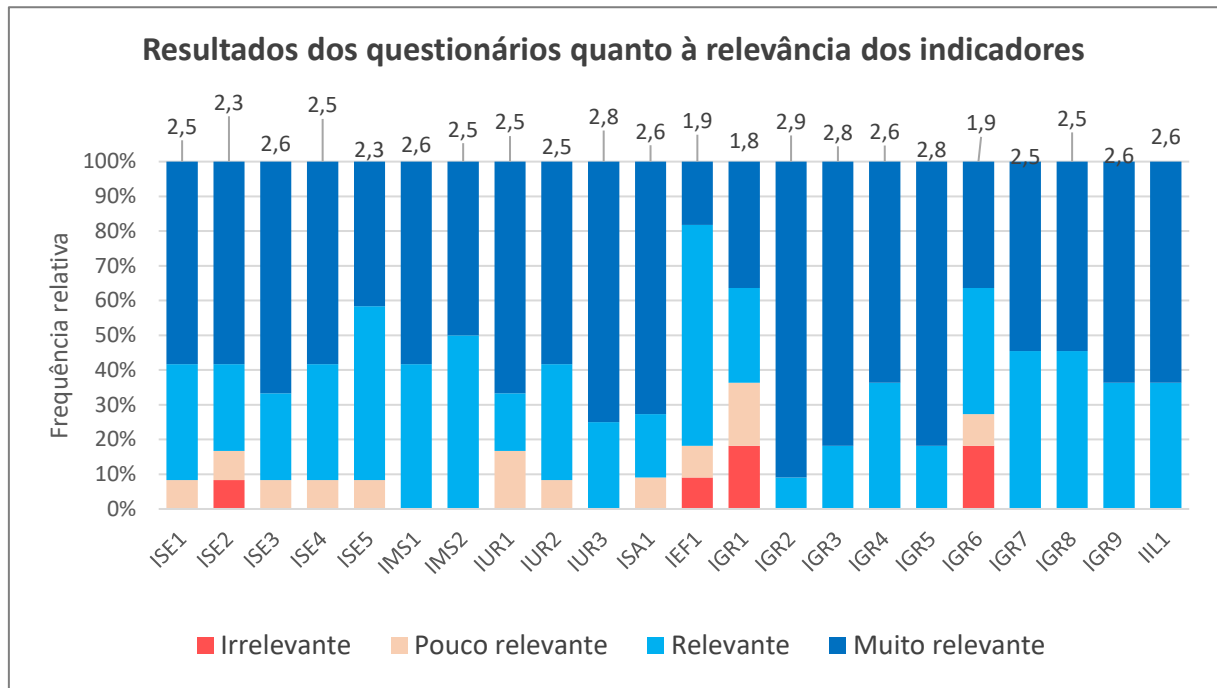
Fonte: O autor (2021)

#### 5.1.2 Validação dos indicadores

Os indicadores propostos foram analisados quanto à relevância, redundância com outros indicadores, aplicabilidade a municípios de pequeno porte e confiabilidade dos valores encontrados. Dessa forma, como meio de evitar o uso de indicadores irrelevantes durante o processo ou o desenvolvimento de um índice não condizente com a realidade analisada, alguns foram desconsiderados do estudo por não se encaixarem nos cenários em questão. A redução do número de indicadores também auxilia na diminuição da inconsistência e no aumento da representatividade dos pesos, calculados a partir das respostas dos especialistas. Um menor

número de critérios possibilita um maior peso máximo e diferenças mais acentuadas entre os valores. As frequências relativas e as médias da relevância de cada um dos indicadores encontram-se na Figura 12.

**Figura 12:** Relevância dos indicadores para composição do índice, de acordo com os especialistas



Fonte: O autor (2021)

Observa-se que três dos indicadores obtiveram média abaixo de dois, configurando-os como de baixa relevância. São eles: despesa *per capita* com serviços de drenagem; precipitação anual média; e vias de acesso à cidade comprometidas. Esse resultado pode ser explicado pela baixa influência do indicador no sistema de drenagem urbana ou pela interferência de outros fatores na interpretação dos seus valores.

Por exemplo, uma maior despesa *per capita* com serviços de drenagem pode nem sempre indicar um maior investimento na área devido à má utilização dos recursos aplicados. Da mesma forma, índices de precipitação anual mais altos podem indicar chuvas concentradas ou espalhadas no tempo. Já o comprometimento das vias de acesso à zona urbana implica em mais consequências para a população rural do município, além de poder ser contornado com acessos alternativos.

Os indicadores redundantes adicionados na etapa de seleção foram analisados quanto à relevância dada pelos especialistas. Aquele com a menor média ponderada de cada par foi excluído. A remoção do indicador do estudo é necessária para evitar dupla consideração de

parâmetros na composição do índice. O Quadro 7 apresenta os pares de indicadores redundantes, a relevância obtida para cada um e sua situação final.

**Quadro 7:** Relevância e escolha entre os indicadores redundantes

INDICADOR	RELEVÂNCIA A PARTIR DOS QUESTIONÁRIOS	SITUAÇÃO FINAL
<b>Indicadores relacionados à urbanização</b>		
Taxa de impermeabilização do solo	2,8	Mantido
Taxa de pavimentação de ruas	2,5	Removido
<b>Indicadores relacionados às áreas de risco</b>		
Área urbana considerada de risco	2,6	Removido
Parcela de domicílios em situação de risco	2,8	Mantido
<b>Indicadores relacionados à rede de drenagem</b>		
Taxa de ruas com rede pluvial subterrânea	2,5	Removido
Taxa de ruas com bocas de lobo	2,6	Mantido

Fonte: O autor (2021)

Apesar de serem semelhantes, os indicadores redundantes possuem pequenas diferenças que, possivelmente, explicam a divergências em suas relevâncias. Dentre os indicadores relacionados à urbanização, a taxa de impermeabilização do solo abrange uma maior área quando comparada à taxa de pavimentação de ruas. Da mesma forma, de nada adianta ter ruas com rede pluvial subterrânea e sem bocas de lobo para o escoamento da água. Ademais, as áreas de risco podem ter uma densidade populacional variável, sendo menos representativas que o número absoluto de domicílios em situação de risco.

A existência de sistemas de alerta também foi removida dos indicadores propostos pela baixa aplicabilidade sob a perspectiva das cidades de pequeno porte do estado da Paraíba. Nenhum dos municípios do estado possui sistema de alerta de eventos extremos relacionados à drenagem urbana. Os sistemas existentes são estaduais e resumem-se a alertas de eventos de chuvas intensas. Dessa forma, a contribuição desse indicador ao índice seria mínima por não haver diferenças entre os municípios.

Por último, o indicador de população impactada por eventos hidrológicos foi excluído devido à baixa confiabilidade de seus valores. Por ser um sistema de manuseio complexo, o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) pode apresentar o comprometimento de seus dados. Além disso, nem todos os eventos são registrados e nem todos os municípios dispõem de técnicos qualificados para o manuseio adequado dessa ferramenta. Os indicadores selecionados para compor o índice encontram-se no Quadro 8.



**Quadro 8:** Indicadores selecionados para compor o índice

CATEGORIA	SIGLA	INDICADOR
<b>Sistema existente</b>	$ISE_2$	Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio
	$ISE_3$	Faces de ruas com presença de bocas de lobo
	$ISE_4$	Compatibilização das curvas verticais em cruzamentos de vias
	$ISE_5$	Leitos naturais de drenagem canalizados na zona urbana
<b>Manutenção do sistema</b>	$IMS_1$	Manutenção do sistema de drenagem no ano de referência
	$IMS_2$	Taxa de cobertura do serviço de coleta domiciliar direta
	$IUR_2$	Arborização urbana
	$IUR_3$	Impermeabilização
<b>Saúde</b>	$ISA_1$	Índice médio de internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada nos últimos 10 anos
<b>Gestão de risco e condições de estado</b>	$IGR_2$	Ocorrência de alagamentos e enxurradas nos últimos 20 anos
	$IGR_5$	Parcela de domicílios em situação de risco
	$IGR_7$	Densidade de pontos críticos na zona urbana citados por locais
	$IGR_8$	Existência de instituições de gestão de risco
<b>Institucionais e legislativos</b>	$IIL_1$	Existência de plano diretor ou plano diretor de drenagem urbana

Fonte: O autor (2021)

### 5.1.3 Razão de consistência das matrizes de importância

As matrizes de julgamentos para a composição dos pesos associados aos indicadores foram preenchidas através da experiência de especialistas na área de estudo. Ainda assim, tais julgamentos são passíveis de inconsistências lógicas, principalmente quando feitos em matrizes de ordens elevadas. As razões de consistência das matrizes de julgamentos paritários foram calculadas considerando a ordem  $N = 14$  e  $IR = 1,57$  (Tabela 5). Os valores da razão de consistência de cada matriz de julgamentos encontram-se na Tabela 8.

Como recomendado pelo método, as matrizes com  $RC \leq 0,10$  são consideradas consistentes e aptas a serem aceitas no processo. As matrizes inconsistentes devem ter os seus julgamentos revistos pelos especialistas que as preencheram a fim de diminuir suas incoerências. No entanto, devido ao prazo reduzido para a finalização do trabalho, descartou-se essa possibilidade. Logo, a razão de consistência média encontrada através das matrizes de importância foi de 0,089.

**Tabela 8:** Valores da consistência das matrizes de julgamentos paritários preenchidas pelos especialistas

ESPECIALISTAS	AUTOVALOR MÁXIMO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	RAZÃO DE CONSISTÊNCIA	SITUAÇÃO FINAL
1	15,958	0,151	0,096	Consistente
2	15,990	0,153	0,098	Consistente
3	15,678	0,129	0,082	Consistente
4	16,785	0,214	0,136	Inconsistente
5	15,979	0,152	0,097	Consistente
6	15,875	0,144	0,092	Consistente
7	18,151	0,319	0,203	Inconsistente
8	15,355	0,104	0,066	Consistente
9	15,968	0,151	0,096	Consistente
10	15,672	0,129	0,082	Consistente
11	17,464	0,266	0,170	Inconsistente
12	15,823	0,140	0,089	Consistente

Fonte: O autor (2021)

#### 5.1.4 Pesos atribuídos aos indicadores

Para obter o peso final de cada um dos indicadores, torna-se necessário a realização de um tratamento estatístico dos dados com o intuito de detectar e eliminar os *outliers* (valores atípicos, fora do intervalo de 1,5 (amplitude interquartil da amostra). Os pesos obtidos através das matrizes de julgamentos de cada um dos especialistas estão elencados na Tabela 9.

**Tabela 9:** Pesos calculados de cada indicador (continua)

INDICADOR	PESOS CALCULADOS POR ESPECIALISTA								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio	0,0234	0,1564*	0,0585	0,0868	0,0136	0,0415	0,0229	0,1153	0,0154
Taxa de ruas com bocas de lobo	0,0102	0,1389	0,0499	0,0611	0,0215	0,0916	0,0245	0,0829	0,0834
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	0,0713	0,1012*	0,0365	0,0648	0,02	0,0282	0,0311	0,0984	0,0214
Taxa de leitos naturais canalizados	0,0094	0,0175	0,0181	0,0147	0,0308	0,0916	0,0362	0,1056	0,0797
Manutenção do sistema no ano de referência	0,0509	0,0264	0,0401	0,0419	0,0415	0,0916*	0,0381	0,0278	0,1433*
Cobertura do serviço de coleta de lixo	0,1185	0,0234	0,0438	0,0287	0,0415	0,0916	0,0252	0,0296	0,0971
Taxa de arborização urbana	0,0893	0,0118	0,0777	0,0178	0,0471	0,0208	0,0529	0,078	0,0175
Taxa de impermeabilização do solo	0,0587	0,2006*	0,1049	0,0903	0,0882	0,0867	0,037	0,1673	0,1452
Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada	0,2252*	0,0421	0,022	0,0718	0,1158	0,0867	0,0286	0,0209	0,0182

**Tabela 9:** Pesos calculados de cada indicador (conclusão)

INDICADOR	PESOS CALCULADOS POR ESPECIALISTA								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Histórico de alagamentos e enxurradas	0,0261	0,0684	0,1351	0,1326	0,1694	0,043	0,0286	0,114	0,0657
Parcela de domicílios em situação de risco	0,1797	0,0766	0,2298*	0,0583	0,0712	0,0817	0,1188	0,0733	0,0173
Densidade de pontos críticos de alagamento	0,0309	0,0606	0,1375	0,1888*	0,0771	0,0817	0,1117	0,0552	0,1015
Existência de instituições de gestão de risco	0,0805	0,0417	0,0161	0,0616	0,0932	0,0817	0,1608*	0,0156	0,0749
Existência de legislação específica para drenagem	0,0257	0,0343	0,03	0,0809	0,1691	0,0817	0,2836*	0,0159	0,1194

\* Valores atípicos que devem ser eliminados para a média dos pesos. Fonte: O autor (2021)

A estatística descritiva dos pesos após a eliminação dos valores atípicos encontra-se na Tabela 10. Devido a remoção dos *outliers*, foi necessário a normalização da média dos indicadores para que sua soma final resultasse em um.

**Tabela 10:** Estatística descritiva dos pesos

INDICADORES	ESTATÍSTICA DESCRITIVA				PESO FINAL
	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	
Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio	0,0136	0,1153	0,0472	0,0372	0,0542
Taxa de ruas com bocas de lobo	0,0102	0,1389	0,0627	0,0412	0,0720
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	0,0200	0,0984	0,0465	0,0284	0,0534
Taxa de leitos naturais canalizados	0,0094	0,1056	0,0448	0,0371	0,0515
Tipo de manutenção do sistema	0,0264	0,0509	0,0381	0,0085	0,0438
Cobertura do serviço de coleta de lixo	0,0234	0,1185	0,0555	0,0365	0,0638
Taxa de arborização urbana	0,0118	0,0893	0,0459	0,0303	0,0527
Taxa de impermeabilização do solo	0,0370	0,1673	0,0973	0,0425	0,1118
Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada	0,0182	0,1158	0,0508	0,0365	0,0583
Histórico de alagamentos e enxurradas	0,0261	0,1694	0,0870	0,0522	0,1000
Parcela de domicílios em situação de risco	0,0173	0,1797	0,0846	0,0475	0,0972
Densidade de pontos críticos de alagamento	0,0309	0,1375	0,0820	0,0341	0,0943
Existência de instituições de gestão de risco	0,0156	0,0932	0,0582	0,0303	0,0668
Existência de legislação específica para drenagem	0,0159	0,1691	0,0696	0,0538	0,0800
<b>SOMA</b>	-	-	0,8701	-	1,0000

Fonte: O autor (2021)

A partir da Tabela 10, percebe-se que os maiores pesos foram atribuídos aos indicadores de parcela de domicílios em situação de risco e taxa de impermeabilização do solo. Segundo a opinião dos especialistas, o histórico de eventos extremos, a inexistência e desrespeito às leis de uso e ocupação do solo, a ação antrópica direta na impermeabilização do solo e a infraestrutura são os principais responsáveis pelo desempenho do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, compondo aproximadamente 51,52% do índice. A manutenção do sistema e a taxa de arborização urbana obtiveram os menores pesos finais.

Os resultados mostram um maior alinhamento dos especialistas às novas abordagens da drenagem urbana. Indicadores fundamentados sob a ótica da preservação do cenário pré-urbanizado, tais como a taxa de impermeabilização do solo e de leitos naturais canalizados, representam 16,52% do índice. Em contrapartida, aqueles relacionados aos sistemas convencionais de drenagem somam 12,62%.

Os pesos finais para cada uma das categorias de indicadores encontram-se na Tabela 11. É importante destacar que a categoria econômico-financeira foi removida ainda na etapa de validação devido à baixa relevância do indicador selecionado. Além disso, há uma grande dificuldade na busca por dados econômicos confiáveis que sejam específicos aos sistemas de drenagem urbana.

**Tabela 11:** Pesos finais por categoria de indicadores

CATEGORIA	PESO FINAL
Sistema existente	0,2311
Manutenção do sistema	0,1076
Urbanização	0,1645
Saúde	0,0583
Gestão de risco e condições de estado	0,3583
Institucionais e legislativos	0,0800

Fonte: O autor (2021)

## 5.2 AGREGAÇÃO DOS INDICADORES

A equação do Índice de desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas de municípios de pequeno porte do estado da Paraíba (IDDAP-PB) foi obtida através da agregação dos produtos entre os pesos finais encontrados e seus respectivos indicadores. O índice é apresentado pela Equação 4.

$$\text{IDDAP} - \text{PB} = 0,0542 \cdot \text{ISE}_2 + 0,0720 \cdot \text{ISE}_3 + 0,0534 \cdot \text{ISE}_4 + 0,0515 \cdot \text{ISE}_5 + 0,0438 \cdot \text{IMS}_1 + 0,0638 \cdot \text{IMS}_2 + 0,0527 \cdot \text{IUR}_2 + 0,1118 \cdot \text{IUR}_3 + 0,0583 \cdot \text{ISA}_1 + 0,1000 \cdot \text{IGR}_2 + 0,0972 \cdot \text{IGR}_5 + 0,0943 \cdot \text{IGR}_7 + 0,0668 \cdot \text{IGR}_8 + 0,0800 \cdot \text{IIL}_1 \quad \text{Eq. (4)}$$

### 5.3 LEVANTAMENTO DOS INDICADORES

#### 5.3.1 Indicadores criados

Devido à falta de dados que representassem alguns parâmetros do sistema, optou-se por criar novos indicadores. Ao todo, cinco indicadores foram desenvolvidos, compondo 34,59% do índice. A Tabela 12 apresenta os valores dos indicadores criados para cada um dos estudos de caso.

**Tabela 12:** Valores obtidos para os indicadores criados

<b>Indicador</b>	<b>Areia</b>	<b>Cabaceiras</b>	<b>Natuba</b>	<b>Nova Olinda</b>	<b>São Bento</b>	<b>São José de Piranhas</b>	<b>São José dos Ramos</b>	<b>Serra Grande</b>
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Taxa de leitos naturais canalizados (%)	11,70%	13,79%	14,76%	100,00%	17,72%	2,18%	51,93%	100,00%
Taxa de arborização urbana (m <sup>2</sup> /hab.)	71,81	53,16	1,27	12,65	29,1	12,61	5,84	58,34
Taxa de impermeabilização do solo (%)	38,75%	50,69%	51,94%	56,75%	50,50%	51,13%	53,64%	53,56%
Densidade de pontos críticos de alagamento (unid./km)	0,74	0,66	2,52	1,42	0,19	0,76	0,63	0

Fonte: O autor (2021)

A compatibilização das sarjetas nos cruzamentos é encontrada em quase todos os municípios, evitando o acúmulo de água da chuva nas ruas. Por ser um município histórico, Areia apresenta grande parte das suas ruas tombadas e com a estrutura preservada, não possuindo compatibilização das curvas verticais. No município de Natuba, grande parte das compatibilizações encontra-se comprometida pelo acúmulo de sedimentos. São José de Piranhas não possui compatibilização nas suas avenidas asfaltadas principais.

Os leitos de drenagem que cortam as manchas urbanas são naturais em grande parte dos municípios analisados, tendo suas margens ocupadas por edificações. Apenas Nova Olinda e Serra Grande possuem todos os leitos canalizados seguindo os cursos naturais de água, preservando o escoamento natural da chuva.

As taxas de arborização urbana são extremamente variáveis entre os municípios. De acordo com os limites estabelecidos pela SBAU (1996), metade dos municípios encontra-se abaixo da taxa mínima de 15 m<sup>2</sup> por habitante e outros três encontram-se acima da taxa ideal de 40 m<sup>2</sup> por habitante. Percebe-se que os municípios localizados nas regiões mais orientais do Planalto da Borborema (Areia e Cabaceiras) apresentam um melhor desempenho nesse indicador, enquanto que aqueles mais próximos ao litoral e ao sertão do estado têm números menores.

Semelhante às taxas de arborização, a taxa de impermeabilização do solo na zona urbana é variável. Possui valores extremamente baixos no município de Areia devido à maior presença de vegetação, que facilita a infiltração da água. Em municípios como Nova Olinda, Serra Grande e São José dos Ramos, a taxa atinge valores mais altos pela maior exposição do solo, às vezes compactado pela própria ação da chuva.

A densidade de pontos críticos de alagamentos busca refletir a quantidade de localidades no município que apresentam problemas em eventos chuvosos. Natuba possui mais de dois pontos a cada quilômetro quadrado, enquanto os técnicos de Serra Grande não informaram a existência de nenhum ponto problemático na zona urbana.

### 5.3.2 *Valores dos indicadores selecionados*

A Tabela 13 apresenta os valores obtidos para os indicadores selecionados em cada um dos estudos de caso. Os dados secundários, que compõem 65,41% do índice, foram coletados a partir de bancos de dados consolidados e confiáveis, sendo essenciais para a comparação e análise da situação dos municípios.

Os indicadores relacionados ao sistema existente demonstram uma forte presença dos dispositivos superficiais, que auxiliam no escoamento das águas pluviais pelas sarjetas, alcançando mais de 80% de cobertura nos municípios, exceto para São José de Piranhas. Os dispositivos do sistema de drenagem profundo, como bocas de lobo e galerias, cobrem em média 10% dos municípios, variando entre 0% e 30%.

**Tabela 13:** Valores obtidos para os indicadores selecionados

<b>Indicador</b>	<b>Areia</b>	<b>Cabaceiras</b>	<b>Natuba</b>	<b>Nova Olinda</b>	<b>São Bento</b>	<b>São José de Piranhas</b>	<b>São José dos Ramos</b>	<b>Serra Grande</b>
Ruas com Pavimentação e Meio-Fio (%)	88,90%	83,33%	80,00%	80,00%	89,29%	55,00%	80,00%	47,06%
Ruas com bocas de lobo (%)	16,72%	1,42%	18,80%	4,56%	12,56%	0,50%	31,86%	6,15%
Houve manutenção do sistema?	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Cobertura do serviço de coleta de lixo (%)	100,00%	100,00%	100,00%	99,91%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Internações relacionadas à drenagem inadequada (int./100 mil hab.)	16,3	14,7	4,8	41,4	92,9	308,9	12,3	16,7
Alagamentos e enxurradas, nos últimos 20 anos (unid.)	2	3	3	2	2	0	4	0
Domicílios em situação de risco (%)	1,70%	6,50%	4,12%	0,00%	0,50%	2,00%	8,30%	0,00%
Existência de instituições de gestão de risco	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não
Existência de legislação específica para drenagem	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: IBGE (2010), SNIS (2019), S2ID (2020) e DATASUS (2020)

No ano de 2019, a manutenção do sistema de drenagem foi feita em apenas três dos municípios analisados, podendo evidenciar que grande parte deles não realiza manutenções frequentes dos dispositivos de drenagem. A cobertura do serviço de coleta de lixo é existente em todos os municípios. Apesar disso, ainda é possível encontrar resíduos acumulados nas ruas, o que atrapalha o desempenho do sistema de drenagem. Possivelmente, isso se deve ao fato do revezamento do serviço entre os bairros, não sendo possível a realização de uma coleta diária. Os municípios de Nova Olinda e Serra Grande, por exemplo, alcançaram porcentagens de 15% dos logradouros com lixo acumulado (IBGE, 2010).

O levantamento feito no número de internações por doenças relacionadas à drenagem inadequada nos últimos 10 anos demonstra frequências altas em São Bento e São José de Piranhas, indicando uma menor eficiência dos seus sistemas de drenagem. Os outros municípios possuem taxas mais baixas que variam entre 4,8 e 16,7 internações a cada 100 mil habitantes.

O número de alagamentos e enxurradas nos últimos 20 anos é quase constante entre os municípios. Os eventos extremos registrados através do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID ocorreram nos mesmos anos de grande intensidade pluvial (2004 e 2011). Apenas os municípios de São José de Piranhas e Serra Grande não registraram quaisquer acontecimentos.

Através do indicador que trata da parcela de domicílios em situação de risco, percebeu-se que quanto maior a presença de córregos, riachos, açudes e rios próximos à mancha urbana, maior a quantidade de edificações e pessoas em risco. O município de São José de Piranhas encontra-se rodeado de corpos d'água, o que explica a alta porcentagem encontrada (37,72%). Por outro lado, Nova Olinda e Serra Grande possuem um ótimo desempenho nesse indicador (0,00%). Nos outros municípios, até 10% dos seus domicílios encontram-se em situação de risco. Grande parte desses números deve-se à falta de instituições de gestão de risco e à falta de planejamento através de legislações específicas para a drenagem e manejo de águas pluviais. Apenas o município de Cabaceiras possui Plano Diretor que contempla a área de drenagem de águas pluviais e metade dos municípios conta com uma Defesa Civil Municipal.

### 5.3.3 Normalização dos indicadores

Com o intuito de uniformizar a escala das variáveis aplicadas no índice, os indicadores foram normalizados através dos limites inferiores e superiores apresentados na Tabela 6. Os resultados obtidos após a normalização dos dados através da Equação 5 encontram-se na Tabela 14.

**Tabela 14:** Indicadores normalizados (continua)

<b>Indicador</b>	<b>Areia</b>	<b>Cabaceiras</b>	<b>Natuba</b>	<b>Nova Olinda</b>	<b>São Bento</b>	<b>São José de Piranhas</b>	<b>São José dos Ramos</b>	<b>Serra Grande</b>
Ruas com Pavimentação e Meio-Fio	0,889	0,833	0,800	0,800	0,893	0,550	0,800	0,471
Ruas com bocas de lobo	0,167	0,014	0,188	0,046	0,126	0,005	0,319	0,062
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	0,000	1,000	0,500	1,000	1,000	0,500	1,000	1,000
Taxa de leitos naturais canalizados	0,117	0,138	0,148	1,000	0,177	0,022	0,519	1,000
Houve manutenção do sistema?	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
Cobertura da coleta de lixo	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
Taxa de arborização urbana	1,000	1,000	0,000	0,000	0,564	0,000	0,000	1,000



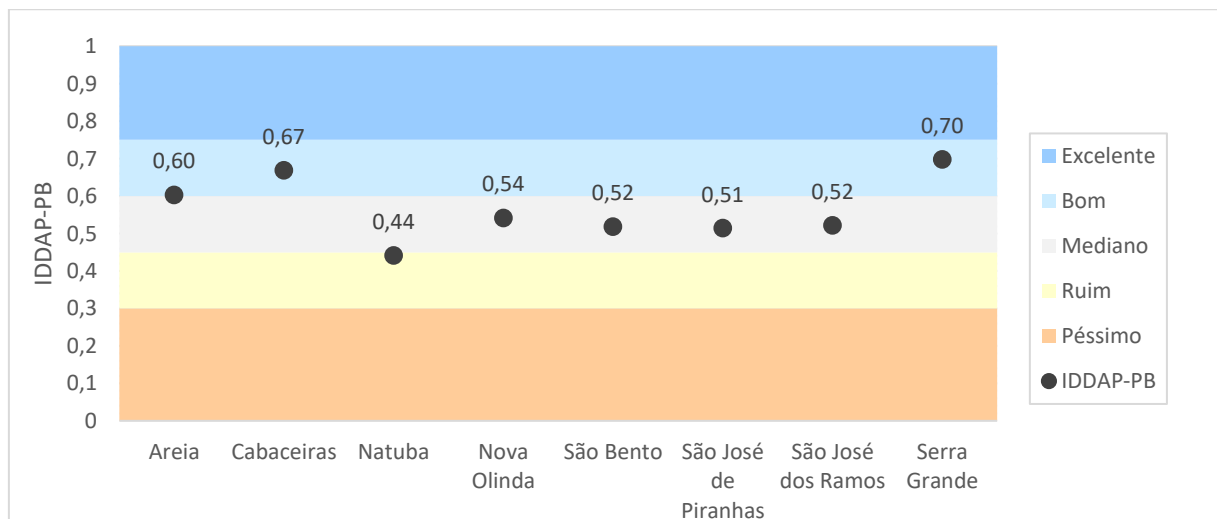
**Tabela 14:** Indicadores normalizados (conclusão)

Indicador	Areia	Cabaceiras	Natuba	Nova Olinda	São Bento	São José de Piranhas	São José dos Ramos	Serra Grande
Taxa de impermeabilização do solo	0,917	0,651	0,624	0,517	0,656	0,642	0,586	0,588
Internações relacionadas à drenagem pluvial inadequada	0,794	0,815	0,939	0,478	0,000	0,000	0,845	0,789
Alagamentos e enxurradas, nos últimos 20 anos	0,500	0,250	0,250	0,500	0,500	1,000	0,000	1,000
Domicílios em situação de risco	0,983	0,935	0,959	1,000	0,995	0,980	0,917	1,000
Densidade de pontos críticos	0,630	0,670	0,000	0,290	0,905	0,620	0,685	1,000
Existência de instituições de gestão de risco	1,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
Existência de legislação específica para a drenagem	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: O autor (2021)

#### 5.4 APLICAÇÃO DO ÍNDICE NOS ESTUDOS DE CASO E CLASSIFICAÇÃO FINAL

Os índices de desempenho para cada um dos estudos de caso foram obtidos através da ponderação dos indicadores com os seus respectivos pesos (Equação 4). Os indicadores normalizados da Tabela 14 foram inseridos na equação para o cálculo dos índices. A Figura 13 apresenta os valores finais para os municípios e sua localização na escala de classificação delimitada na Tabela 4.

**Figura 13:** Resultados do IDDAP-PB e classificação dos municípios estudados

Fonte: O autor (2021)

Os valores obtidos para o IDDAP-PB dos municípios selecionados variaram entre 0,44 e 0,70, sendo os seus sistemas de drenagem classificados em cinco classes: excelente, bom, mediano, ruim e péssimo. A maior parte deles teve o sistema classificado como mediano. Serra Grande obteve o melhor índice de desempenho dentre os municípios selecionados (0,70), estando próximos ao limite de divisão entre as classes bom e excelente. Por outro lado, Natuba obteve o pior desempenho (0,44), com valores próximos ao limite entre as classes ruim e mediano.

Apesar de refletir em uma maior impermeabilização do solo e interferência humana no meio, a variação de população dentro do grupo de municípios de pequeno porte não influenciou no resultado do índice. Os municípios de maior porte – Areia, Natuba, São Bento e São José de Piranhas – tiveram índices semelhantes a outros de menor porte – Nova Olinda e São José dos Ramos. O desempenho de municípios com sistema de drenagem unitário e separador também foi similar.

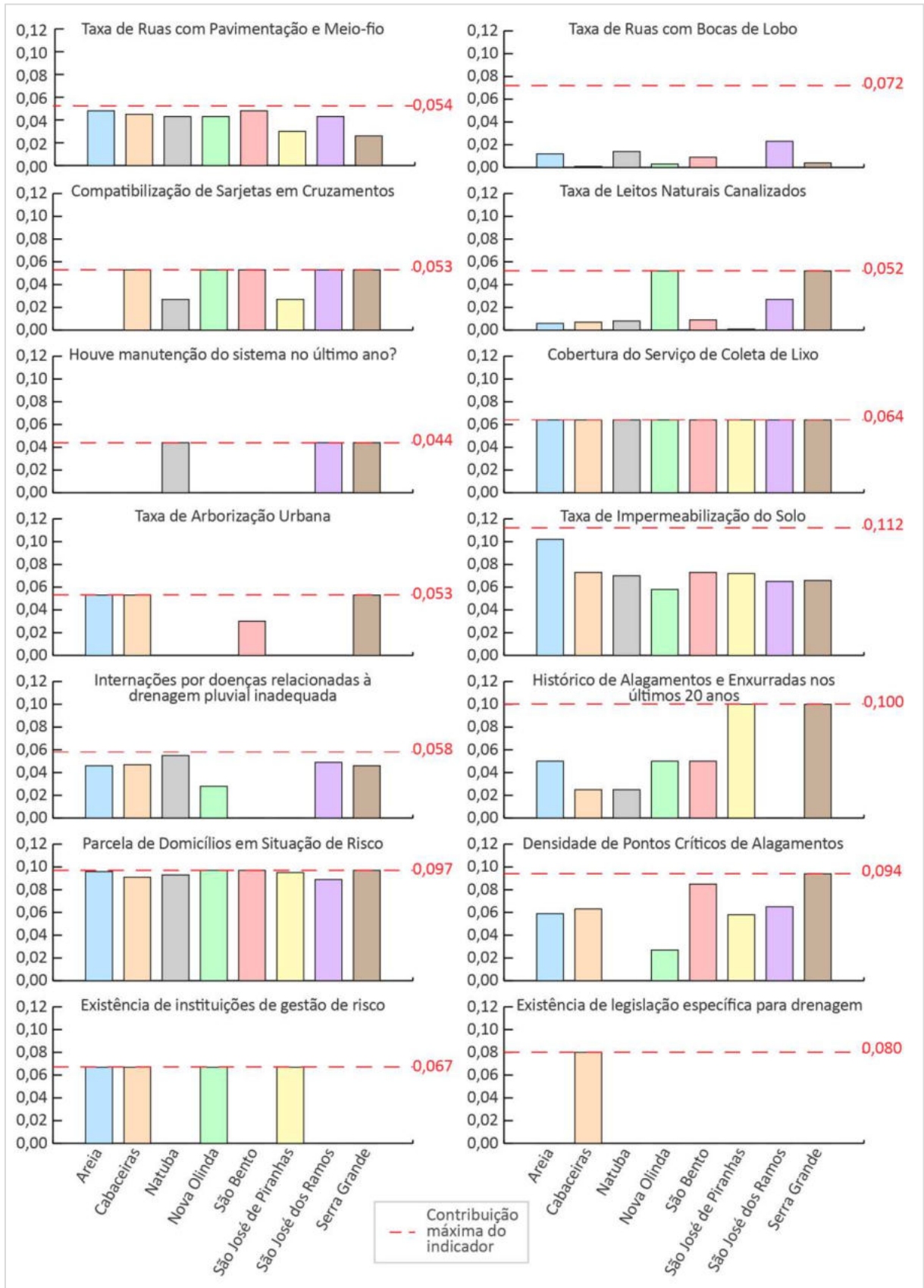
## 5.5 COMPOSIÇÃO INDIVIDUAL DOS ÍNDICES

Para auxiliar a análise individual dos estudos de caso, a Figura 14 apresenta a contribuição dada por cada indicador em cada um dos municípios selecionados, assim como a máxima contribuição possível, baseando-se nos pesos de cada critério.

Com base nos resultados obtidos, foi possível evidenciar a contribuição de cada indicador para o índice de desempenho dos municípios, identificando os maiores problemas e vantagens encontrados no sistema de drenagem de águas pluviais e propiciando a comparabilidade entre os municípios para cada critério.

O sistema de drenagem de Areia apresentou um ótimo desempenho nos indicadores de gestão de risco. Possivelmente, isso ocorre devido ao trabalho de técnicos e funcionários da administração municipal que compreendem a importância do tema no município, visto que o seu relevo é fortemente ondulado e os limites da zona urbana sofrem com deslizamentos de terra. Além disso, a zona urbana possui uma enorme quantidade de áreas livres e verdes que são positivas para o índice. Em compensação, os indicadores relacionados à estrutura do sistema e sua manutenção contribuíram negativamente.

**Figura 14:** Contribuição por indicador ao índice dos municípios selecionados



Fonte: O autor (2021)

Apesar do bom desempenho traçado pelo panorama geral, o sistema de drenagem de Cabaceiras sofre com interferências no escoamento natural das águas pluviais, caracterizado pela baixa cobertura da infraestrutura, formada por galerias e bocas de lobo, e pela falta de manutenção do sistema que compromete boa parte da sua capacidade nos meses chuvosos. Por se encontrar próximo de um dos maiores rios que banham o estado, o município sofre com cheias e inundações em episódios de chuvas intensas.

O desempenho ruim apresentado por Natuba foi provocado, majoritariamente, pela grande quantidade de eventos extremos nos últimos anos e pelo grande número de pontos críticos de alagamento citados pelos técnicos. Associado a isso, encontra-se a falta de preocupação com a gestão de risco, uma vez que o município não possui instituições com esse fim. A falta de áreas verdes e o sistema de drenagem não tão abrangente também prejudicam o resultado final do índice.

A cidade de Nova Olinda apresentou o pior desempenho nos indicadores de urbanização quando comparado aos outros estudos de caso, que aliado à falta de manutenção da estrutura de drenagem, contribuiu negativamente para o resultado final. Por outro lado, o município possui sistemas robustos de micro e macrodrenagem com mínimas interferências no cenário hidrológico natural, constituídos por canais construídos de acordo com os leitos naturais de drenagem delineados pela topografia.

A baixa abrangência do sistema de galerias e a inexistência de instituições de gestão de risco são as principais adversidades encontradas no sistema de drenagem de águas pluviais de São Bento. Em contrapartida, o município possui um bom desempenho nos demais indicadores de gestão de risco e nos indicadores de urbanização.

O desempenho do sistema de drenagem de São José de Piranhas é comprometido devido à grande quantidade de rios e córregos que cruzam a sua zona urbana e à ocupação de suas margens, somando-se à falta de manutenção do sistema de macrodrenagem, tendo em vista que as seções dos leitos naturais se encontram comprometidas nos meses de maior demanda. Além disso, o município possui o pior desempenho nos indicadores do sistema existente dentre aqueles selecionados como estudos de caso.

Em São José dos Ramos, a grande quantidade de eventos extremos nos últimos anos, a falta de instituição de gestão de risco e a pequena quantidade de áreas verdes prejudicam o desempenho do sistema. Em contrapartida, a estrutura existente foi uma das maiores contribuintes para o valor do índice.

Embora tenha apresentado um desempenho classificado como bom, o índice de Serra Grande foi afetado pela falta de instituição de gestão de risco, de legislação direcionada à drenagem de águas pluviais e de um sistema profundo de drenagem mais desenvolvido. A menor preocupação com a gestão dos riscos e o planejamento da drenagem urbana pode ter sido causada pelo relevo favorável ao escoamento das águas pluviais para jusante da sede municipal, o que minimiza os problemas causados pela chuva na zona urbana.

Todos os municípios analisados carecem de uma legislação específica direcionada à drenagem e manejo de águas pluviais que defina normas, auxilie na tomada de decisões do poder público e no planejamento da expansão da mancha urbana.

É importante destacar o comportamento quase constante dos gráficos no critério “Cobertura do serviço de coleta de lixo”. Ainda que a abrangência do serviço seja totalitária em quase todos os casos, é possível encontrar acúmulo de lixo em alguns pontos da cidade, o que pode acarretar no comprometimento do sistema de drenagem. Provavelmente, isso ocorre devido à escala de atendimento dos bairros por dias da semana. Acredita-se que um indicador relacionado ao acúmulo de lixo nas ruas seria mais representativo devido à grande relação entre a disposição de resíduos e a drenagem de águas pluviais. Entretanto, a mensuração desse parâmetro é dificultada por sua inconstância e variação no tempo.

## 5.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E ROBUSTEZ

Os limites inferiores e superiores entre os quais podem ocorrer alterações dos pesos dos indicadores sem comprometer a classificação nominal, bem como o *ranking* dos municípios, foram listados na Tabela 15. Quanto maior o intervalo entre os limites, maior a robustez do modelo para aquele objetivo.

Observa-se que os intervalos de estabilidade da classificação nominal dos municípios são bem maiores, o que indica uma maior robustez do método para esse objetivo. Em média, os indicadores podem variar entre 0,00 e 0,20, e ainda assim manter uma classificação constante. Durante a análise, percebeu-se que aqueles indicadores com intervalos menores, como o de manutenção do sistema, são os mais sensíveis à alteração de seus pesos. Fora dos intervalos apresentados para cada indicador, os municípios chegam a mudar de classificação por mais de três vezes.

**Tabela 15:** Limites inferiores e superiores do intervalo de estabilidade

Indicador	Classificação		Ranking	
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
Ruas com Pavimentação e Meio-Fio	0,00	0,29	0,05	0,09
Ruas com bocas de lobo	0,00	0,17	0,06	0,13
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	0,00	0,16	0,05	0,10
Taxa de leitos naturais canalizados	0,00	0,17	0,05	0,11
Houve manutenção do sistema?	0,00	0,14	0,05	0,06
Cobertura da coleta de lixo	0,00	0,18	0,00	0,95
Taxa de arborização urbana	0,00	0,17	0,05	0,05
Taxa de impermeabilização do solo	0,00	0,30	0,00	0,15
Internações relacionadas à drenagem pluvial inadequada	0,00	0,18	0,06	0,10
Alagamentos e enxurradas, nos últimos 20 anos	0,00	0,22	0,07	0,10
Domicílios em situação de risco	0,00	0,21	0,00	0,13
Densidade de pontos críticos	0,00	0,23	0,08	0,10
Existência de instituições de gestão de risco	0,00	0,16	0,05	0,07
Existência de legislação específica para a drenagem	0,00	0,18	0,02	0,10

Fonte: O autor (2021)

Para a realização de comparação entre os sistemas de drenagem dos municípios, o modelo se mostrou menos robusto. Os valores calculados indicam que, em média, os pesos podem variar entre 0,05 e 0,11 sem provocar alterações no *ranking* final dos municípios. Na aplicação com os estudos de caso, alguns municípios chegaram a cair cinco posições no *ranking*. Apenas o indicador de “cobertura de coleta de lixo” apresentou um intervalo maior, isso justifica-se pela constância de seus valores.

## 5.7 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA COERÊNCIA DO ÍNDICE QUANTO À CLASSIFICAÇÃO NOMINAL

Em complemento à análise de sensibilidade e robustez, buscou-se analisar a coerência do índice desenvolvido quanto à real situação dos sistemas de drenagem dos municípios através de informações acerca de eventos extremos já ocorridos, das áreas mapeadas de risco e dos maiores problemas enfrentados pela população. Ao levantar essas informações foi possível julgar a coerência das classificações nominais alcançadas em cada um dos estudos de caso.

Nos últimos anos, apenas dois municípios tiveram eventos extremos de grande porte noticiados pela mídia. A cidade de Cabaceiras, considerada uma das áreas mais secas do país, foi atingida por uma forte inundação no ano de 2008, quando o índice pluviométrico atingiu o dobro do esperado (Figura 15a). É importante ressaltar que não houve reincidência de eventos dessa dimensão. Acredita-se que acontecimentos dessa natureza ocorram apenas em casos de chuvas intensas, o que não deve influenciar nos índices calculados.

Em reunião com os técnicos locais, relatou-se o transbordamento dos rios próximos à zona urbana em épocas de cheia e a ocorrência de inundações e alagamentos em caso de chuvas intensas. Apesar disso, Cabaceiras apresentou um desempenho superior ao de outros municípios que não registraram tantas ocorrências. Entende-se que essa vantagem ocorra por ser o único município com a existência de legislação direcionada para a drenagem de águas pluviais. Entretanto, não há observância da obediência às leis existentes, o que pode explicar a discordância do índice com a realidade.

O município de Natuba foi atingido por uma enxurrada em 2004 e duas inundações ainda mais graves no ano de 2011, quando o riacho que corta a zona urbana transbordou e deixou a cidade ilhada (Figura 15b). A seriedade do acontecimento evidencia a coerência do índice, que classifica o sistema de drenagem de Natuba como ruim. De acordo com a CPRM (2015), são três as áreas de risco a inundações e alagamentos mapeadas, concentradas às margens do riacho que cruza o município. A situação é agravada pela falta de limpeza e manutenção dos dispositivos de macrodrenagem.

**Figura 15:** Inundação em (a) Cabaceiras e (b) Natuba



Fonte: Revista Época (2008) e TV Tambaú (2011)

Em Areia, o histórico de problemas com o sistema de drenagem de águas pluviais é pequeno. De acordo com Moreira e Moraes (2009), a cidade se desenvolveu através de diretrizes topográficas que direcionavam o crescimento para o altiplano central, o que explica

o bom desempenho do seu sistema, mas as expansões mais recentes começaram a ocorrer com a ocupação irregular de áreas com maior declividade e cotas mais baixas. Os pontos críticos citados pelos funcionários da administração municipal encontram-se localizados nas regiões periféricas do município, que sofrem com episódios de alagamentos.

A setorização de risco realizada pela CPRM (2015) mapeou quatro áreas de risco de deslizamento de terra no município de Areia. Todas caracterizam-se pela ocupação irregular de cristas e bases de taludes de cortes instáveis e susceptíveis a desmoronamentos em eventos chuvosos (Figura 16).

**Figura 16:** Ocupação de áreas de risco em Areia/PB



Fonte: CPRM (2015)

As duas áreas de risco mapeadas no município de São Bento concentram-se às margens do Rio Piranhas que, em períodos chuvosos, chega a atingir ruas e loteamentos da sede municipal, podendo ocorrer até mesmo a formação de enxurradas (CPRM, 2013). Em 2008, uma enchente cobriu praticamente todas as casas da comunidade São Bento de Baixo até o telhado. Os registros apurados a partir do S2ID indicam um total de 7.115 afetados entre os anos de 2004 e 2008. Apesar disso, a cidade não sofre com problemas em eventos chuvosos normais, o que elucida a classificação mediana alcançada pelo município.

Nenhum dos municípios restantes possui setorização de risco realizada, visto que não houve indicação pela Gerência Estadual de Proteção e Defesa Civil ao Governo Federal, o que indica que o poder público não considera que existam áreas de alto risco nesses municípios. Os índices obtidos pelos municípios de Nova Olinda, São José de Piranhas e São José dos Ramos foram semelhantes, obtendo um desempenho mediano. A situação atual dos sistemas também é similar, com pontos críticos de alagamentos que afetam uma pequena parcela da população. Nova Olinda possui um desempenho um pouco melhor em razão da sua infraestrutura instalada,



quando comparado aos outros municípios. São José de Piranhas possui um fator de risco mais significativo em consequência dos rios e barragens localizados próximos à cidade que quase chegam à zona urbana em épocas de cheia, mas nunca chegou a sofrer com inundações.

Por fim, o município de Serra Grande foi um dos indicados pela Gerência Estadual de Proteção e Defesa Civil para a participação no programa de mapeamento dos setores de alto risco. Entretanto, devido à sede municipal ter se expandido na crista de uma serra, não foram identificadas áreas com risco de movimentos de massa, enxurradas e inundações (CPRM, 2015). Na reunião realizada com agentes técnicos do município, também foi possível constatar que nenhuma área sofre com eventos extremos relacionados à drenagem, o que explica o resultado final do índice.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esse trabalho demonstrou a importância dos índices e indicadores como instrumentos para a avaliação de sistemas urbanos e ferramentas essenciais no auxílio à decisão e na gestão, uma vez que agem como atenuadores da realidade heterogênea enfrentada pelos municípios. O Índice de Desempenho do Serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais dos Municípios de Pequeno Porte da Paraíba (IDDAP-PB) foi composto por variáveis oriundas de bancos de dados consolidados e confiáveis, permitindo a utilização dos seus indicadores como referência na comparação e aferição da qualidade dos serviços prestados.

Os indicadores criados obtiveram resultados condizentes com a realidade dos municípios selecionados como estudos de caso. A consequente análise crítica realizada para os indicadores propostos por trabalhos acadêmicos publicados anteriormente e a posterior validação a partir das notas dos especialistas, possibilitou a integração de grande parte dos critérios iniciais ao índice. Apenas os parâmetros econômico-financeiros e hidrológicos foram desconsiderados do estudo devido à baixa relevância de ambos.

A classificação nominal e os respectivos intervalos do índice definidos através de estudos prévios na área de saneamento ambiental se adaptaram bem ao modelo desenvolvido e mostrou conformidade com a realidade observada nos municípios relatada pelos agentes públicos locais.

Os resultados obtidos na aplicação dos questionários aos especialistas indicaram uma maior importância atribuída a indicadores de gestão de risco, seguido pela identificação do sistema existente e da urbanização. As maiores contribuições ao índice são dadas pelos indicadores que representam a parcela de domicílios em situação de risco e a taxa de impermeabilização do solo. Outra observação importante diz respeito a uma maior tendência dos entrevistados a abordagens sustentáveis em detrimento das alternativas convencionais.

Ao analisar detalhadamente a composição do índice para os estudos de caso após a agregação, percebeu-se que os aspectos positivos e negativos variam conforme a realidade do município. A partir do resultado final foi possível observar que, na maior parte dos casos, o principal problema enfrentado está relacionado à precária infraestrutura de drenagem e a alguns indicadores da gestão de risco. Além disso, a falta planejamento e de legislação vigente que esteja relacionada à drenagem de águas pluviais representam fatores de grande influência para os valores obtidos.

No que concerne à robustez do método, a sensibilidade dos números variou de acordo com a finalidade da aplicação. Quando usado com o objetivo de classificar o desempenho do sistema e avaliar os seus maiores problemas, o índice tem uma boa robustez. Por outro lado, a sensibilidade foi mais observada na obtenção de *rankings* de comparação entre municípios, apresentando resultados menos constantes. O índice também se mostrou bastante coerente com a realidade demonstrada pelos sistemas de monitoramento de risco e na mídia, com exceção da cidade de Cabaceiras.

Ressalta-se que para aplicação do IDDAP-PB em outros contextos, a periodicidade dos dados é primordial. Nesse caso, apesar dos indicadores selecionados serem representativos e multidisciplinares, a maior limitação do estudo foi a obtenção de dados referentes aos sistemas de drenagem de águas pluviais atualizados, principalmente para a realidade dos municípios de pequeno porte.

Acredita-se que a partir da metodologia utilizada e das informações obtidas, esse trabalho possa contribuir na gestão do serviço de drenagem de águas pluviais urbanas através do direcionamento de políticas e investimentos públicos que mitiguem os danos causados pelos eventos extremos e reduzam a vulnerabilidade da população, subsidiando o processo de tomada de decisões. Além disso, espera-se que o trabalho colabore para a disseminação de estudos relacionados ao tema e para a construção de outros indicadores voltados para a realidade analisada.

## 6.1 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se, para futuros trabalhos:

- Utilizar indicadores mais atualizados para a obtenção do índice, principalmente aqueles obtidos através do Censo Demográfico 2010;
- Adicionar indicadores que incluam os aspectos econômico-financeiros, hidrológicos, sociais e de fiscalização das legislações existentes ao índice;
- Aplicar a metodologia em maiores escalas territoriais que possibilitem a análise do desempenho por bairros ou setores censitários, facilitando a tomada de decisão dos gestores;
- Adaptar o índice a outros estados de características similares e a municípios de maior porte;
- Traçar modelos de priorização de tecnologias e investimentos para sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Shapefiles**. 2020. Disponível em: <<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>>. Acesso em: 10 nov. de 2020.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Série histórica da Pluviometria Mensal por Posto Pluviométrico entre os dias 01/01/1994 e 31/12/2019**. 2020a.

AKAISHI, A. G. **Desafios do planejamento urbano-habitacional em pequenos municípios brasileiros**. Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo, v. 14, p. 41-50. 2012.

ALMEIDA, D. S.; COSTA, I. T. da. Trabalho de Conclusão de Curso. **A drenagem urbana das águas pluviais e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública no município de Santana**. 2014. Disponível em: <<https://www2.unifap.br/cambientais/files/2014/08/A-DRENAGEM-URBANA-DAS-%C3%81GUAS-PLUVIAS-E-SUA-RELA%C3%87%C3%83O-COM-O-MEIO-AMBIENTE-E-A-SA%C3%9ADE-P%C3%9ABLICA-NO-MUNIC%C3%8DPIO-DE-SANTANA.pdf>>. Acesso em: 07 mai. de 2020

AMBIENTE GAIA. **Telhado Ecológico**. 2013. Disponível em: <<http://www.ambientegaia.com.br/noticias.php?p=41>>. Acesso em: 08 mai. de 2020

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Anexo 3 – Metodologia de cálculo AHP**. 2019. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/Anexo3MetodologiadecalculoAHP>>. Acesso em: 31 out. de 2020

ARAÚJO, D. C. Dissertação de Doutorado. **Metodologia para apoio à decisão na gestão das águas pluviais urbanas combinando métodos multicriterial e multidecisor**. Recife, 2016. Disponível em: <[https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/18668/1/Tese\\_Daniel\\_Araujo\\_Vers%C3%A3o\\_Final\\_CORRIGIDA\\_19\\_12.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/18668/1/Tese_Daniel_Araujo_Vers%C3%A3o_Final_CORRIGIDA_19_12.pdf)>. Acesso em: 17 mai. de 2020

ARAÚJO, A. S. **Elaboração de um índice para avaliação do desempenho do sistema de Drenagem Urbana em Campina Grande – PB**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Campina Grande. 2018

ASSEMAE. Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento. **Experiências Municipais Exitosas em Saneamento**. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://ondasbrasil.org/wp-content/uploads/2019/08/EXPERI%C3%84NCIAS-MUNICIPAIS-EXITOSAS-EM-SANEAMENTO.pdf>>. Acesso em: 08 mai. de 2020

AUSTRÁLIA. Bureau of Meteorology. **National performance report 2016-17: urban water utilities. part A**. 2018. Disponível em: <[http://www.bom.gov.au/water/npr/docs/2016-17/nationalPerformanceReport\\_2016\\_17\\_urban\\_water\\_utilitiesHighRes.pdf](http://www.bom.gov.au/water/npr/docs/2016-17/nationalPerformanceReport_2016_17_urban_water_utilitiesHighRes.pdf)>. Acesso em: 18 mai. de 2020

BATISTA, J. A. N; BOLDRIN, A. J. **Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas**. 2018. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/pdf/esa/v23n2/1809-4457-esa-23-02-263.pdf>>. Acesso em: 18 mai. de 2020

BEECHAM, S.; LUCKE, T.; MYERS, B. **Designing Porous and Permeable Pavements for Stormwater Harvesting and reuse.** 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/265823466\\_Designing\\_Porous\\_and\\_Permeable\\_Pavements\\_for\\_Stormwater\\_Harvesting\\_and\\_Reuse](https://www.researchgate.net/publication/265823466_Designing_Porous_and_Permeable_Pavements_for_Stormwater_Harvesting_and_Reuse)>. Acesso em: 30 abr. de 2020

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** 2001. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm)>. Acesso em: 11 mai. de 2020

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.445, de 05 de dezembro de 2007.** 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445compilado.htm)>. Acesso em: 24 abr. de 2020

BRASIL. Ministério do Planejamento. Notícias. **PAC destina R\$ 11 bilhões para obras de contenção de encostas e drenagem contra enchentes.** Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/assuntos/investimento-e-pac/noticias/pac-destina-r-11-bilhoes-para-obras-de-contencao>>. Acesso em: 08 mai. de 2020

BRASIL. Ministério da Saúde. **Saúde ambiental: guia básico para construção de indicadores.** Brasília. 2011a. Disponível em: <[https://repositorio.observatoriodocuidado.org/bitstream/handle/handle/1609/saude\\_ambiental\\_guia\\_basico.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.observatoriodocuidado.org/bitstream/handle/handle/1609/saude_ambiental_guia_basico.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 06 mai. de 2020

BRASIL. Ministério das Cidades. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil.** Brasília, 2011b. Disponível em: <[https://www.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/PANORAMA\\_Vol\\_3.pdf](https://www.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/PANORAMA_Vol_3.pdf)>. Acesso em: 08 mai. de 2020

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.** 2013. Disponível em: <[http://www2.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab\\_Versao\\_Conselhos\\_Nacionais\\_020520131.pdf](http://www2.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Conselhos_Nacionais_020520131.pdf)>. Acesso em: 07 mai. de 2020

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Capacitação Básica em Proteção e Defesa Civil.** 2014. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Capacitao-Bsica-em-Defesa-Civil---Livro-do-curso-em-Ambiente-Virtual-de-Ensino-Aprendizagem---5-Edio.pdf>>. Acesso em: 08 mai. de 2020

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 13.308, de 06 de julho de 2016.** 2016. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/113308.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/113308.htm)>. Acesso em: 05 mai. de 2020

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.** 2019. Disponível em: <[https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/plansab/Versaoatualizada07mar2019\\_consultapublica.pdf](https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/Versaoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf)>. Acesso em: 07 mai. de 2020

BRASIL. **Presidência da República. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** 2020. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm)>. Acesso em: 5 nov. de 2020.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban Drainage.** 4. ed. Oxônia, 2018.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CAVALCANTI FILHO, M. J. L. Dissertação de Mestrado. **Desenvolvimento e avaliação de um conjunto de indicadores para representação do sistema de drenagem urbana.** Maceió, 2017. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1769/1/Desenvolvimento%20e%20avalia%3%a7%20de%20um%20conjunto%20de%20indicadores%20para%20representa%3%a7%20do%20sistema%20de%20drenagem%20urbana.pdf>>. Acesso em: 17 mai. de 2020

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Benefícios econômicos da expansão do saneamento.** 2014. Disponível em: <[https://cebds.org/wp-content/uploads/2014/03/Relatorio\\_Beneficios-Economicos-do-Saneamento.pdf](https://cebds.org/wp-content/uploads/2014/03/Relatorio_Beneficios-Economicos-do-Saneamento.pdf)>. Acesso em: 05 mai. de 2020

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPCÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. **A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza.** 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/36354/1/0103-1104-sdeb-43-spe03-0094.pdf>>. Acesso em: 05 mai. de 2020

CLIMATEMPO. **Séries históricas de temperatura.** 2020. Disponível em: <[www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br)>. Acesso em: 22 nov. de 2020

COSTA, H. G.; MULL, R. N. **Emprego do método de análise hierárquica (AHP) na seleção de variedades para o plantio de cana-de-açúcar.** 1999. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X1999000300009](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X1999000300009)>. Acesso em: 31 out. de 2020

COSTA, L. M.; GÓES, E. **STF conclui julgamento das ADIs e decide por gestão compartilhada nas RMs entre estados e municípios.** In: Revista Sanear, Ano V, nº 21, março 2013. Disponível em: <[http://www.stf.jus.br/arquivo/biblioteca/PastasMinistros/MarcoAurelio/Entrevistas/2013\\_mar\\_21.pdf](http://www.stf.jus.br/arquivo/biblioteca/PastasMinistros/MarcoAurelio/Entrevistas/2013_mar_21.pdf)>. Acesso em: 11 mai. de 2020

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: São Bento, Paraíba.** 2013. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19750>>. Acesso em: 16 abr. de 2021

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a inundações e movimentos de massa: Areia, Paraíba.**

2015. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19743>>. Acesso em: 16 abr. de 2021

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a inundações e movimentos de massa: Natuba, Paraíba.** 2015. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19749>>. Acesso em: 16 abr. de 2021

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a inundações e movimentos de massa: Serra Grande, Paraíba.** 2015. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19769>>. Acesso em: 16 abr. de 2021

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Setorização de riscos geológicos do estado da Paraíba.** 2020. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos---Paraiba-4882.html>>. Acesso em: 21 nov. de 2020

CURITIBA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba.** Volume II - Volume Técnico. 2017. Disponível em: <<https://mid.curitiba.pr.gov.br/2017/00211750.pdf>>. Acesso em: 29 abr. de 2020

DANILENKO et al. **The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book.** 2014. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/19811/9781464802768.pdf>>. Acesso em: 18 mai. de 2020

DATASUS. **Dados epidemiológicos e de morbidade hospitalar do Sistema Único de Saúde.** 2020. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0203>>. Acesso em: 28 out. de 2020

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Drenagem de Rodovias.** 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/manual\\_drenagem\\_rodovias.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_drenagem_rodovias.pdf)>. Acesso em: 3 abr. de 2021

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro, 1979. 83p

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapeamento de áreas urbanas.** 2015. Disponível em: <[http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode/%3Aareas\\_urbanas\\_br\\_15](http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode/%3Aareas_urbanas_br_15)>. Acesso em: 19 nov. de 2020

FERREIRA, Y. B. C. **Proposição de um Índice de Vulnerabilidade Humana à Insuficiência de Saneamento Básico em municípios de pequeno porte: a experiência do estado da Paraíba.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2020.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. **Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba.** 2018. Disponível em: <[https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/66\\_ccdketpoed p.pdf](https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/66_ccdketpoed p.pdf)>. Acesso em: 22 nov. de 2020

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que trabalham em ETAs.** Brasília, 2014. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4321633/mod\\_resource/content/1/Manual%20cont\\_quali\\_agua\\_tecnicos\\_trab\\_ metas.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4321633/mod_resource/content/1/Manual%20cont_quali_agua_tecnicos_trab_ metas.pdf)>. Acesso em: 06 mai. de 2020

GALVÃO JÚNIOR, A. C.; BASÍLIO SOBRINHO, G.; SAMPAIO, C. C. **A informação no contexto dos Planos de Saneamento Básico.** Fortaleza: Expressão Gráfica Editora, 2010. Disponível em: <[https://cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/LIVRO\\_-\\_ARCE\\_WEB.pdf](https://cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/LIVRO_-_ARCE_WEB.pdf)>. Acesso em: 12 mai. de 2020

GOBBI, L. D. Artigo. **Urbanização brasileira.** 2014. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/geografia/assunto/urbanizacao/urbanizacao-brasileira.html>>. Acesso em: 05 mai. de 2020

GUIMARÃES, L. S. **O modelo de urbanização brasileiro: notas gerais.** 2016. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/14084/11194>>. Acesso em: 05 mai. de 2020

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resultados do Censo Demográfico.** 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>>. Acesso em: 28 out. de 2020

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias.** 2017. Disponível em: <[https://www.ibge.gov.br/apps/regioes\\_geograficas/](https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/)>. Acesso em: 01 nov. de 2020

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Notícia. **Norte e Nordeste convivem com restrições no acesso a saneamento básico.** 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/20979-norte-e-nordeste-convivem-com-restricoes-no-acesso-a-saneamento-basico>>. Acesso em: 08 mai. de 2020

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas populacionais.** 2019a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>>. Acesso em: 31 out. de 2020

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências: Informações ambientais.** 2019b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 20 nov. de 2020

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Topodata.** 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 11 nov. de 2020

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Manual do Saneamento Básico.** 2012. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa16/manual-imprensa.pdf>>. Acesso em: 24 abr. de 2020



INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2020**. 2020. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/estudos/estudos-itb/itb/ranking-do-saneamento-2020>>. Acesso em: 12 mai. de 2020

KIPPER, A. Trabalho de Conclusão de Curso. **Drenagem Urbana: Comparativo de custos no dimensionamento utilizando sistemas de drenagem tradicional (higienista), e compensatória com microrreservatórios**. 2015. Disponível em: <[http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2\\_2014/TCC\\_ALEX%20KIPPER.pdf](http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_ALEX%20KIPPER.pdf)>. Acesso em: 04 mai. de 2020

LID CENTER. **Introduction to LID**. 2020. Disponível em: <<http://www.lid-stormwater.net/background.htm>>. Acesso em: 26 abr. de 2020

LNEC; ERSAR. **Water and waste services quality assessment guide: 2nd generation of the assessment system**. 2014. Disponível em: <[http://www.ersar.pt/en/site-communication/site-news/documents/guia\\_tecnico\\_19\\_2aedi%C3%A7%C3%A3o\\_2013\\_en.pdf](http://www.ersar.pt/en/site-communication/site-news/documents/guia_tecnico_19_2aedi%C3%A7%C3%A3o_2013_en.pdf)>. Acesso em: 18 mai. de 2020

LOPES et al. **Determinação de um índice de desempenho do serviço de esgotamento sanitário. Estudo de caso: cidade de Campina Grande, Paraíba**. 2016. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2318-03312016000100001](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312016000100001)>. Acesso em: 04 nov. de 2020

MAJESK *et al.* Apresentação de Artigo. **Proposta de um indicador de drenagem urbana aplicado ao município de Vitória-ES**. 2014. Disponível em: <[http://eventos.abrh.org.br/xenau/apresentacoes/3/17\\_09\\_9h56\\_dejanyne.pdf](http://eventos.abrh.org.br/xenau/apresentacoes/3/17_09_9h56_dejanyne.pdf)>. Acesso em: 17 mai. de 2020

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. **Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares**. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ac/v11n2/a12v11n2.pdf>>. Acesso em: 16 abr. de 2021.

MENDONÇA, E. C.; SOUZA, M. A. A. **Uma metodologia multiobjetivo e multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana**. 2020. Disponível em: <<https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/10214>>. Acesso em: 18 mai. de 2020

MELO, *et al.* **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas**. 2014. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212014000400011&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212014000400011&script=sci_arttext)>. Acesso em: 04 mai. de 2020

MIGUEZ, M. G.; REZENDE, O. M.; VERÓL, ALINE. **Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2015.

MONTEIRO, C. A. F. **O Clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: IGEOG/USP (Série Teses e Monografias – 28), 1976.

MORA, N. M. **Experiências de parques lineares no Brasil: espaços multifuncionais com o potencial de oferecer alternativas a problemas de drenagem e águas urbanas**. BID – Banco

Interamericano de Desenvolvimento. 2017. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/publications/portuguese/document/Experi%C3%A7%C3%A3o-de-parques-lineares-no-Brasil-esp%C3%A7os-multifuncionais-com-o-potencial-de-oferecer-alternativas-a-problemas-de-drenagem-e-%C3%A1guas-urbanas.pdf>>. Acesso em: 07 mai. de 2020

MOREIRA, F. D.; MORAES, C. G. M. S. M. **O desenvolvimento urbano de Areia/PB: contribuição aos estudos de morfologia e história urbana no Brasil.** BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento. 2009. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/risco/article/view/44768>>. Acesso em: 18 abr. de 2021

NIRAZAWA, A. N.; OLIVEIRA, S. V. W. B. **Indicadores de saneamento: uma análise de variáveis para elaboração de indicadores municipais.** 2018. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-76122018000400753](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122018000400753)>. Acesso em: 09 dez. de 2020

NOVAES, C. A. F. O. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana: aplicação ao caso da RIDE-DF e entorno.** 2017. Disponível em: <<http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/Novaes.pdf>>. Acesso em: 04 nov. de 2020

OGATA, I. S. **Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica para a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.** 2014. Disponível em: <<http://www.ppgeca.ufcg.edu.br/dissertacoes-menu/dissertacoes-2014/send/19-dissertacoes-2014/170-desenvolvimento-do-indice-de-pobreza-hidrica-para-a-bacia-hidrografica-do-rio-paraiba>>. Acesso em: 04 nov. de 2020

OPENSTREETMAP. **Base Cartográfica das Ruas.** 2020. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/>>. Acesso em: 8 nov. de 2020

PARAÍBA. Assembleia Legislativa do Estado da Paraíba. **Lei nº 10.047, de 09 de julho de 2013.** 2013. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/56458222/doi-pb-10-07-2013-pg-3>>. Acesso em: 23 mai. de 2021

PEREIRA, L. C. O. **Aspectos normativos relacionados ao manejo de águas pluviais e controle de escoamento em meio urbano – Caso de João Pessoa.** 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13693/1/LCOP04122017.pdf>>. Acesso em: 08 mai. de 2020

PEREIRA, P. P.; ITO, A. H. **Efeitos da urbanização e soluções sustentáveis para o sistema de drenagem.** 2017. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/2254/1651>>. Acesso em: 05 mai. de 2020

RANGEL, A. C. L. C.; ARANHA, K. C.; SILVA, M. C. B. C. da. **Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade.** 2015. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/39177/27108>>. Acesso em: 05 mai. de 2020

REVISTA ÉPOCA. Notícia sobre inundação em Cabaceiras/PB. **Fala Brasil.** 2009. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,ERT61463-15215,00.html>>. Acesso em: 18 abr. de 2021

RIBEIRO, A. M. **BMP's em Drenagem Urbana – Aplicabilidade em Cidades Brasileiras**. São Paulo, 2010. Disponível em: <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-24042015-115321/publico/Dissertacao\\_Alessandro\\_Ribeiro.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-24042015-115321/publico/Dissertacao_Alessandro_Ribeiro.pdf)>. Acesso em: 08 mai. de 2020

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. Trabalho de Conclusão de Curso. **Saneamento Básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCC-SaneamentoSa%C3%BAde.pdf>>. Acesso em: 25 abr. de 2020

RIVAS, R. E. G. Dissertação de Mestrado. **Uso do Método Multicritério para Tomada De Decisão Operacional tendo em conta Riscos Operacionais, à Segurança, Ambientais e à Qualidade**. Salvador, 2016. Disponível em: <[http://www.pei.ufba.br/sites/pei.ufba.br/files/rene\\_ernesto\\_garcia\\_rivas.pdf](http://www.pei.ufba.br/sites/pei.ufba.br/files/rene_ernesto_garcia_rivas.pdf)>. Acesso em: 16 abr. de 2021

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. **Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB**. 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/esa/v22n5/1809-4457-esa-s1413-41522016146661.pdf>>. Acesso em: 29 abr. de 2020

S2ID. **Série histórica**. 2017. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>>. Acesso em: 10 out. de 2020.

S2ID. **Reconhecimentos realizados**. 2020. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/>>. Acesso em: 06 abr. de 2021.

SAATY, T. L. **How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process**. 1990. Disponível em: <<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/06f167ef-b243-48ed-8c45-f7466b3136eb/WebPublishings/How%20to%20make%20decision%20AHP.pdf>>. Acesso em: 31 out. de 2020

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Decision Making with the Analytic Network Process**. Springer US: 2013.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. **Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB**. Engenharia Sanitária e Ambiental: 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/esa/v22n5/1809-4457-esa-s1413-41522016146661.pdf>>. Acesso em: 09 mai. de 2020

SANTOS, L. F.; GALVÃO, A. F.; CARDOSO, M. A. **Performance indicators for urban storm water systems: a review**. IWA Publishing: 2019. Disponível em: <<https://search.proquest.com/docview/2187361050/fulltextPDF/4E000C490A1C47B1PQ/1?acountid=6724>>. Acesso em: 18 mai. de 2020

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**. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/15125/pdf>>. Acesso em: 17 mai. de 2020

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo. **Manual de Drenagem e Manejo de águas pluviais**. Volume I. São Paulo, 2012. Disponível em: <[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento\\_urbano/arquivo\\_s/manual-drenagem\\_v1.pdf](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivo_s/manual-drenagem_v1.pdf)>. Acesso em: 18 mai. de 2020

SBAU. Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. **Carta a Londrina e Ibiporã**. Boletim Informativo. v.3, n.5, 1996. p. 3.

SILVA, B. R.; PINHEIRO, H.; LOPES, D. D. **Seleção de indicadores de sustentabilidade para avaliação do sistema de drenagem urbana**. 2013. Disponível em: <[https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento\\_de\\_cidades/arti cle/view/434/461](https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/arti cle/view/434/461)>. Acesso em: 17 mai. de 2020

SILVA JUNIOR *et al.* **Avaliação dos indicadores de fragilidade do sistema de drenagem urbana de um bairro em Olinda-PE**. 2018. Disponível em: <<http://anais.abrh.org.br/works/4398>>. Acesso em: 17 mai. de 2020

SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R. **Impactos da urbanização e das alterações climáticas no sistema de drenagem do Recife/PE**. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/233734/27292>>. Acesso em: 05 mai. de 2020

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 2018. Disponível em: <[http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ap/2018/Diagnostico\\_AP2018.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ap/2018/Diagnostico_AP2018.pdf)>. Acesso em: 04 mai. de 2020

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em: 06 abr. de 2021

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Programa DRENURBS: Uma concepção inovadora dos recursos hídricos no meio urbano Belo Horizonte - MG**. 2013b. Disponível em: <[http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF\\_DRENNURBS\\_WEB.pdf](http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_DRENNURBS_WEB.pdf)>. Acesso em: 08 mai. de 2020

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Projeto Técnico: Pavimento Permeável**. 2013a. Disponível em: <[http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF\\_Pav%20Permeavel\\_web.pdf](http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf)>. Acesso em: 30 abr. de 2020

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2012. Disponível em: <<https://ctec.ufal.br/professor/cfs/abrh2012.pdf>>. Acesso em: 26 abr. de 2020

STEINER, L. Trabalho de Conclusão de Curso. **Avaliação do sistema de drenagem pluvial urbana com aplicação do índice de fragilidade. Estudo de caso: microbacia do Rio Criciúma, SC**. Criciúma, 2011. Disponível em:

<<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/1356/1/Laura%20Steiner.pdf.pdf>>. Acesso em: 17 mai. de 2020

TEIXEIRA, *et al.* **Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009**. 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/esa/v19n1/1413-4152-esa-19-01-00087.pdf>>. Acesso em: 06 mai. de 2020

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2012a.

TUCCI, C. E. M. Texto para Discussão. **Gestão da Drenagem Urbana**. CEPAL/IPEA, 2012b. Disponível em: <[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38004/LCBRSR274\\_pt.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38004/LCBRSR274_pt.pdf)>. Acesso em: 07 mai. de 2020

TUCCI, C. E. M. **Regulamentação da drenagem urbana no Brasil**. 2015. Disponível em: <[https://abrh.s3.amazonaws.com/Sumarios/191/9ab609843c59c2457a38937f5da8e1ac\\_32607cf292f137e7d029aac1c7362436.pdf](https://abrh.s3.amazonaws.com/Sumarios/191/9ab609843c59c2457a38937f5da8e1ac_32607cf292f137e7d029aac1c7362436.pdf)>. Acesso em: 05 mai. de 2020

TV Tambaú. **Reportagem sobre a inundação em Natuba/PB**. 2011. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=vjGtHhULns4>>. Acesso em: 18 abr. de 2021

VIANI, G. S.; CESAR, R. T.; RODRIGUES, R. M. Seminário. **Experiência Internacionais de Gestão da Água para Drenagem: Japão**. São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=6004](http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=6004)>. Acesso em: 08 mai. de 2020

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. 2ª ed. São Paulo, 1980.

VON SPERLING, T. L.; VON SPERLING, M. **Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário**. 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/esa/v18n4/1413-4152-esa-18-04-00313.pdf>>. Acesso em: 12 mai. de 2020

## **APÊNDICE A**

### **QUESTIONÁRIO APLICADO A ESPECIALISTAS**

# CONSULTA A ESPECIALISTAS PARA ELABORAÇÃO DE ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CIDADES DE PEQUENO PORTE DA PARAÍBA

**AUTOR:** MATEUS CLEMENTE DE LACERDA

**ORIENTADORA:** PROF.<sup>a</sup> DRA. ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES

**CO-ORIENTADORA:** MA. YUCIARA BARBOSA COSTA FERREIRA

O trabalho objetiva desenvolver um Índice de Desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas para municípios de pequeno porte do estado da Paraíba (IDDAP-PB) através da agregação ponderada de indicadores – dados primários e secundários – com seus respectivos pesos, definidos pelo método Analytic Hierarchy Process (AHP). A metodologia baseia-se em sete etapas apresentadas no fluxograma da Figura 31.

**Figura A.1:** Fluxograma metodológico



Fonte: O autor (2021)

De acordo com a metodologia definida, os indicadores selecionados devem ser validados e, posteriormente, a atribuição das intensidades de importância deve ser realizada por meio da aplicação de questionários a um conjunto de especialistas na área de estudo. Mediante as respostas é possível obter os pesos dos agrupamentos de critérios quanto ao objetivo geral e os pesos relativos dos critérios dentro de cada agrupamento.

O questionário é dividido em três partes: I.1) Informações pessoais do entrevistado; I.2) Validação dos indicadores; e I.3) Comparação par-a-par de importância.

## QUESTIONÁRIO

### I.1. INFORMAÇÕES PESSOAIS DO ENTREVISTADO

Preencha as informações pessoais presentes na Tabela 1. Os dados serão utilizados apenas para a análise estatística da amostra.

**Tabela A.1:** Informações pessoais do especialista consultado

<b>ÁREA DE ATUAÇÃO</b>	
<b>GRAU ACADÊMICO</b>	

### I.2. VALIDAÇÃO DOS INDICADORES

Como forma de validar o conjunto de indicadores proposto, a Tabela 2 foi elaborada. Preencha-a com um X, classificando cada indicador em apenas uma das tipologias: muito relevante, relevante, pouco relevante e irrelevante.

**Tabela A.2:** Validação dos indicadores quanto à sua relevância

INDICADORES	IRRELEVANTE	POUCO RELEVANTE	RELEVANTE	MUITO RELEVANTE
Taxa de ruas com rede pluvial subterrânea				
Taxa de ruas com meio-fio				
Taxa de ruas com bocas de lobo				
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos				
Taxa de leitos naturais canalizados				
Tipo de manutenção do sistema				
Cobertura do serviço de coleta de lixo				
Taxa de pavimentação de ruas				
Taxa de arborização urbana				
Taxa de impermeabilização do solo				
Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada				
Despesa per capita com serviços de drenagem				



Precipitação anual média				
Histórico de alagamentos e enxurradas				
População impactada por eventos hidrológicos				
Área urbana considerada de risco				
Parcela de domicílios em situação de risco				
Vias de acesso à cidade comprometidas				
Densidade de pontos críticos de alagamento				
Existência de instituições de gestão de risco				
Existência de sistemas de alerta				
Existência de plano diretor de drenagem				

### I.3. COMPARAÇÃO PAR-A-PAR DE IMPORTÂNCIA

Para que se obtenha a importância relativa entre os critérios, esses serão comparados par a par através da atribuição de intensidades de importância em uma escala de 1 a 9 (Quadro 1), como proposto por Saaty (1990). Caso o atributo tenha menor importância que o seu par, o valor deve ser o inverso do exposto no Quadro 1.

**Quadro A.1:** Escala para julgamentos comparativos

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro.
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro.
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu predomínio de importância é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições.

**Fonte:** Adaptado de Saaty (1990)

A Tabela 4 deve ser preenchida de acordo com o exemplo abaixo, comparando sempre o atributo da linha com o da coluna.

**Tabela A.3:** Exemplo de preenchimento para a Tabela 4

	A	B	C
A	1	-	-
B	3	1	-
C	5	1/7	1

No exemplo acima, o atributo B possui importância fraca sobre o atributo A, sendo favorecido levemente. No caso do atributo C, ele possui importância forte sobre o atributo A (intensidade 5), mas quando comparado ao atributo B possui um valor inverso de 1/7. Nesse caso, B é quem possui uma importância muito forte (intensidade 7) sobre o atributo C, e não o contrário.

Resumindo, os valores inteiros devem ser utilizados quando o atributo da linha tem maior importância que o da coluna. Já os valores inversos devem ser utilizados quando o atributo da coluna tem maior importância que o da linha.



**Tabela A.4:** Continuação da comparação par a par de importância dos indicadores (Parte 2 de 3)

ATRIBUTO A	ATRIBUTO B																					
	Taxa de ruas com rede pluvial subterrânea	Taxa de ruas com meio-fio	Taxa de ruas com bocas de lobo	Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	Taxa de leitos naturais canalizados	Tipo de manutenção do sistema	Cobertura do serviço de coleta de lixo	Taxa de pavimentação de ruas	Taxa de arborização urbana	Taxa de impermeabilização do solo	Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada	Despesa per capita com serviços de drenagem	Precipitação anual média	Histórico de alagamentos e enxurradas	População impactada por eventos hidrológicos	Área urbana considerada de risco	Parcela de domicílios em situação de risco	Vias de acesso à cidade comprometidas	Densidade de pontos críticos de alagamento	Existência de instituições de gestão de risco	Existência de sistemas de alerta	Existência de plano diretor de drenagem
Taxa de impermeabilização do solo										1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada											1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Despesa per capita com serviços de drenagem												1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Precipitação anual média													1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Histórico de alagamentos e enxurradas														1	-	-	-	-	-	-	-	-
População impactada por eventos hidrológicos															1	-	-	-	-	-	-	-
Área urbana considerada de risco																1	-	-	-	-	-	-
Parcela de domicílios em situação de risco																	1	-	-	-	-	-
Vias de acesso à cidade comprometidas																		1	-	-	-	-

