

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL

CAMILA ANGÉLICA BAUM

**GERENCIAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS:
PROPOSTA DE FERRAMENTA BASEADA EM INDICADORES**

PORTO ALEGRE

2022

CAMILA ANGÉLICA BAUM

GERENCIAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS: PROPOSTA DE
FERRAMENTA BASEADA EM INDICADORES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum

PORTO ALEGRE

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Baum, Camila Angélica
Gerenciamento municipal de águas pluviais urbanas:
proposta de ferramenta baseada em indicadores / Camila
Angélica Baum. -- 2022.
217 f.
Orientador: Joel Avruch Goldenfum.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas,
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e
Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Águas pluviais urbanas. 2. Drenagem urbana. 3.
Ferramenta de gerenciamento. 4. Indicadores. 5. Tomada
de decisão. I. Goldenfum, Joel Avruch, orient. II.
Título.

CAMILA ANGÉLICA BAUM

GERENCIAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS: PROPOSTA DE
FERRAMENTA BASEADA EM INDICADORES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora.

Aprovado em: Porto Alegre, 12 de setembro de 2022

Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum – UFRGS
Orientador

Prof. Dr^a Priscilla Macedo Moura – UFMG
Examinador

Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira – UFRGS
Examinador

Prof. Dr. Fernando Dornelles – UFRGS
Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por oportunizar ensino gratuito e de qualidade.

Agradeço ao Professor Doutor Joel Avruch Goldenfum por sua orientação, ensinamentos, pelo suporte em momentos decisivos e pela paciência no desenvolvimento desta Tese de Doutorado. A minha gratidão.

Agradeço aos membros da banca da Qualificação e Defesa desta Tese de Doutorado, Professora Priscilla e Professores André e Fernando, pelas contribuições, as quais auxiliaram no engrandecimento desse trabalho.

Agradeço aos meus pais, Arcênio e Loreni, e meus irmãos, Júlio e Tiago, pelo apoio e carinho de sempre e por juntos sonharem meus sonhos. Amo vocês!

Agradeço ao Tiago Barcellos, pelo carinho, incentivo diário e compreensão com minhas ausências durante esta jornada.

Agradeço aos amigos que integram o Núcleo de Estudos em Segurança Hídrica e aos que fizeram parte do projeto de São Leopoldo por compartilharem de suas amizades e conhecimentos diariamente, ao longo do curso. Com vocês ao meu lado a minha caminhada foi mais leve.

Agradeço aos colegas de doutorado que ao longo do curso se tornaram amigos.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento da bolsa de pesquisa que me foi concedida.

Agradeço aos amigos e amigas, que mesmo distante sempre se fizeram presente.

Agradeço a todos que de alguma forma se envolveram com este trabalho, direta ou indiretamente, ou que fizeram parte dos meus dias para além da universidade nesses meus últimos quatro anos e com os quais desejo compartilhar a gratidão e a alegria pela conquista de mais uma etapa.

RESUMO

A utilização de indicadores para gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas pelos gestores municipais brasileiros tem se difundido nos últimos anos. No entanto, são observadas elevada subjetividade e incertezas associadas à elaboração dos indicadores e índices, interpretação e aplicação dos resultados pelos tomadores de decisão. Estudos que apontem alternativas para a redução da subjetividade e de incertezas associadas à percepção e interpretação dos resultados dos indicadores para gerenciamento de águas pluviais urbanas pelos tomadores de decisão são escassos. Este trabalho tem por objetivo principal estruturar uma ferramenta de suporte para o gerenciamento das águas pluviais urbanas baseada em um conjunto de indicadores, problemas e medidas mitigadoras, com vistas a fomentar a tomada de decisão por parte dos gestores públicos municipais. Para atingir o objetivo foram identificados os problemas e medidas mitigadoras relacionadas ao gerenciamento e manejo de águas pluviais urbanas, estruturado um conjunto de indicadores simples e indicadores compostos, relacionados os indicadores simples e os problemas, relacionados os problemas e possíveis medidas mitigadoras, de forma sistematizada e, por fim, realizada a validação. A validação foi realizada por meio da comparação entre os problemas e medidas mitigadoras resultantes da aplicação dos indicadores em municípios piloto e problemas e medidas mitigadoras indicadas nos Planos Municipais desses municípios. A ferramenta foi aplicada em oito municípios pilotos, localizados na região Sul do Brasil, com contingente populacional de até cem mil habitantes. Com base nos 59 problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas identificados, foi estruturado um conjunto de 42 indicadores simples que, posteriormente, foram agregados em cinco indicadores compostos. O conjunto de indicadores simples desenvolvido demonstrou ser capaz de identificar 88,14% dos problemas listados relacionados ao gerenciamento e manejo de águas pluviais urbanas. Em relação aos indicadores, após análise de sensibilidade, o método de Processo de Análise Hierárquica (PAH) resultou como o mais adequado para ponderação de indicadores compostos. Quando sistematizados os problemas com as 30 medidas mitigadoras identificadas, a associação demonstrou ser abrangente e com dificuldades de apontar medidas específicas para resolver os problemas mais impactantes. O desenvolvimento, aplicação e análise de indicadores simples e compostos indicaram que indicadores simples são mais adequados para o gerenciamento e manejo das águas pluviais para fins de suporte à gestão municipal, uma vez que possibilitam identificar com maior clareza e facilidade quais itens carecem de maior atenção, de forma mais específica e de mais fácil entendimento.

Palavras-chave: Indicadores Simples. Indicadores Compostos. Drenagem Urbana. Ferramenta de Gerenciamento. Gestores Públicos. Tomada de decisão.

ABSTRACT

The use of indicators for the management of urban stormwater by Brazilian municipalities managers has become widespread in recent years. However, high subjectivity and uncertainties associated with the elaboration of indicators and indexes, interpretation and application of results by decision makers are observed. Studies that point to alternatives to reduce subjectivity and uncertainties associated with the perception and interpretation of the results of indicators for urban stormwater management by decision makers are scarce. The main objective of this work is to structure a support tool for the management of urban stormwater based on a set of indicators, problems and mitigating measures, in order to encourage decision-making by municipal public managers. To achieve the objective, problems and mitigating measures related to the management of urban stormwater were identified, structured a set of simple indicators and composite indicators, related to simple indicators and problems, related to problems and possible mitigating measures, in a systematic way and, finally, validation was performed. The validation was performed by comparing the problems and mitigating measures resulting from the application of indicators in pilot municipalities and the problems and mitigating measures indicated in the Municipal Plans of these municipalities. The tool was applied in eight pilot municipalities, located in the southern region of Brazil, with a population of up to 100,000 inhabitants. Based on the 59 problems related to the management of urban stormwater identified, a set of 42 simple indicators was structured, which were later aggregated into five composite indicators. The set of simple indicators developed proved to be able to identify 88.14% of the listed problems related to the management of urban stormwater. Regarding the indicators, after a sensitivity analysis, the Hierarchical Analysis Process (PAH) method proved to be the most suitable for weighting composite indicators. When the problems with the 30 mitigating measures identified were systematized, the association proved to be embracing and with difficulties in pointing out specific measures to solve the most impacting problems. The development, application and analysis of simple and composite indicators have indicated that simple indicators are more appropriate for the management of stormwater for the purpose of supporting municipal management, since they make it possible to identify with greater clarity and ease which items need more attention, in a more specific and easier way to understand.

Keywords: Simple Indicators. Composite Indicators. Urban Drainage. Management Tool. Public Managers. Decision making.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|-----|
| Figura 1 - Evolução da gestão de águas pluviais urbanas nos últimos cinquenta anos | 23 |
| Figura 2 - Pirâmide da Informação | 32 |
| Figura 3 - Representação de quatro indicadores com os mesmos valores dispostos de forma radial, segundo três sequências distintas e a respectivas áreas dos polígonos internos | 42 |
| Figura 4 - Principais etapas metodológicas..... | 57 |
| Figura 5 - Fluxograma da metodologia a aplicada para desenvolvimento dos indicadores | 59 |
| Figura 6 - Resultados dos indicadores, por classe, para cada município piloto | 93 |
| Figura 7 - Resultados dos indicadores compostos, por município, para cada método de ponderação testado | 98 |
| Figura 8 - Distribuição dos valores de correlação para os indicadores simples II09, II11 e II15 submetidos a variação, conforme metodologia de ponderação..... | 100 |
| Figura 9 - Distribuição dos valores de correlação para os indicadores simples IS01 e IS03 submetidos a variação, conforme metodologia de ponderação | 101 |
| Figura 10 - Representação da correlação entre o resultado original e os arranjos testados para o ICI II. | 103 |
| Figura 11 - Resultado comparativo entre os problemas identificados via sistema de indicadores e os identificados nos Planos Municipais | 107 |
| Figura 12 - Efetividade da sistematização entre problemas e os indicadores formulados, por aspecto temático..... | 108 |
| Figura 13 - Efetividade da sistematização entre problemas e os indicadores formulados, por município piloto..... | 108 |
| Figura 14 - Comparação entre o número de medidas mitigadoras com potencial de auxiliar diretamente nos problemas das águas pluviais urbanas identificadas nos PMSBs/PMU e por meio da sistematização | 128 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 - Municípios piloto..... | 63 |
| Tabela 2 - Escala de preferência relativa entre os indicadores..... | 66 |
| Tabela 3 - Valoração do Índice de Consistência Aleatória conforme número de indicadores | 67 |
| Tabela 4 - Exemplo de cenário homogêneo e cenários sob variação aplicados para o ICI II, com o indicador simples II11 estando sob ponderação sistemática.... | 69 |
| Tabela 5 - Classificação dos indicadores simples quantitativos..... | 71 |
| Tabela 6 - Classificação dos indicadores simples qualitativos | 71 |
| Tabela 7 - Indicadores selecionados e valores considerados para normalização (Continua)..... | 85 |
| Tabela 7 - Indicadores selecionados e valores considerados para normalização (Continuação) | 86 |
| Tabela 7 - Indicadores selecionados e valores considerados para normalização (Conclusão) | 87 |
| Tabela 8 - Resultados da aplicação dos indicadores simples nos municípios piloto (Continua)..... | 91 |
| Tabela 8 - Resultados da aplicação dos indicadores simples nos municípios piloto (Conclusão) | 92 |
| Tabela 9 - Ponderação dos indicadores simples por método testado (Continua) | 95 |
| Tabela 10 - Número de indicadores simples que compõe o indicador composto ponderados por ACP | 96 |
| Tabela 11 - Correlação linear entre os resultados da aplicação dos indicadores compostos desenvolvidos a partir de diferentes métodos de ponderação ... | 99 |
| Tabela 12 - Correlação do cenário homogêneo x cenários ponderados - II09, II11 e II15..... | 100 |
| Tabela 13 - Correlação do cenário homogêneo x cenários ponderados – IS01 e IS03 | 101 |
| Tabela 14 - Correlação entre o resultado original e os arranjos testados para o ICI II. | 103 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 - Definições de Indicador..... | 31 |
| Quadro 2 - Relação entre escala, nível de informação e uso..... | 33 |
| Quadro 3 - Indicadores e índices desenvolvidos por pesquisadores para a realidade brasileira | 48 |
| Quadro 4 - Aspectos temáticos englobados pelo marco ordenador de desenvolvimento sustentável | 60 |
| Quadro 5 - Descrição dos critérios norteadores a serem utilizados neste estudo..... | 61 |
| Quadro 6 - Problemas relacionados a temática econômica identificados | 75 |
| Quadro 7 - Problemas relacionados a temática institucional identificados..... | 77 |
| Quadro 8 - Problemas relacionados a temática social identificados | 79 |
| Quadro 9 - Problemas relacionados a temática ambiental identificados | 81 |
| Quadro 10 - Vantagens e limitações dos métodos de ponderação testados | 105 |
| Quadro 11 - Medidas mitigadoras elencadas por eixo temático (Continua) | 112 |
| Quadro 12 - Matriz de relação entre problemas gerais e medidas mitigatórias de impacto direto e de impacto indireto | 127 |
| Quadro 13 - Medidas mitigadoras identificadas nos PMSBs/PMU e por meio da sistematização. (Continua) | 129 |
| Quadro A1 - Problemas gerais e específicos do sistema de águas pluviais urbanas (Continua)..... | 153 |
| Quadro B1 - Problemas gerais e específicos do sistema de águas pluviais urbanas (Continua)..... | 158 |
| Quadro C1 - Problemas gerais e específicos do sistema de águas pluviais urbanas (Continua)..... | 165 |
| Quadro D1 - Associação entre problemas de manejo e drenagem de águas pluviais urbanas e dos indicadores propostos (Continua) | 169 |
| Quadro E1 - Associação entre problemas de manejo e drenagem de águas pluviais urbanas e dos indicadores propostos (Continua) | 173 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ACP | Análise dos Componentes Principais |
| ANA | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico |
| BMP | <i>Best Management Practices</i> |
| CSD | <i>Sustainable Development Commission</i> |
| CEPAL | Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe |
| CH | Cenário Homogêneo |
| CRED | <i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i> |
| EEA | <i>European Environment Agency</i> |
| FPM | Fundo de Participação dos Municípios |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICA | Indicador Composto Ambiental |
| ICE | Indicador Composto Econômico |
| ICI I | Indicador Composto Institucional1 |
| ICI II | Indicador Composto Institucional2 |
| ICS | Indicador Composto Social |
| LID | <i>Low Impact Development</i> |
| MUNIC | Perfil dos Municípios Brasileiros |
| N.A. | Não se aplica |
| N.C. | Não calculado |
| OECD | <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PAH | Processo de Análise Hierárquica |
| PER | Pressão – Estado – Resposta |
| PDD | Plano Diretor de Drenagem |
| PLANSAB | Plano Nacional de Saneamento Básico |
| PMSB | Plano Municipal de Saneamento Básico |
| PMU | Plano de Macrodrenagem Urbana |
| PNUMA | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente |
| PR | Paraná |
| RS | Rio Grande do Sul |
| S2ID | Sistema Integrado de Informações sobre Desastres |
| SC | Santa Catarina |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| SNIS-AP | Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - Águas Pluviais |
| SNIS-RS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Resíduos Sólidos |
| SNS | Secretaria Nacional de Saneamento |
| WoS | <i>Web of Science</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1. OBJETIVOS | 17 |
| 1.1.1. Objetivo Geral | 17 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 18 |
| 1.2. PRESSUPOSTOS E PREMISSAS..... | 18 |
| 1.3. ESTRUTURA DA PESQUISA | 19 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 21 |
| 2.1. TERMINOLOGIA | 21 |
| 2.2. GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO AMBIENTE URBANO | 22 |
| 2.2.1. Evolução do manejo e drenagem das águas pluviais | 22 |
| 2.2.2. Conjuntura atual das águas pluviais urbanas | 25 |
| 2.2.3. Gerenciamento das águas pluviais urbanas no Brasil | 27 |
| 2.3. SISTEMA DE INDICADORES | 31 |
| 2.3.1. Características dos indicadores | 31 |
| 2.3.2. Procedimento para a elaboração de indicadores | 34 |
| 2.4. USO DE INDICADORES NO GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS | 43 |
| 2.4.1. Evolução dos indicadores de águas pluviais no mundo | 43 |
| 2.4.2. Indicadores dos serviços de saneamento básico no Brasil | 45 |
| 2.4.3. Indicadores de águas pluviais urbanas no Brasil | 47 |
| 2.4.4. Oportunidades de evolução | 51 |
| 2.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 53 |
| 3. METODOLOGIA | 56 |
| 3.1. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA..... | 56 |
| 3.2. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS..... | 58 |
| 3.3. DESENVOLVIMENTO DO CONJUNTO DE INDICADORES PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS..... | 58 |
| 3.3.1. Marco ordenador | 59 |
| 3.3.2. Definição dos indicadores simples | 60 |
| 3.3.3. Obtenção dos dados e cálculo dos indicadores | 62 |
| 3.3.4. Atribuição de comensurabilidade | 64 |
| 3.3.5. Agregação de indicadores | 65 |
| 3.3.6. Ponderação de indicadores | 66 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.3.7. | Análise de sensibilidade..... | 68 |
| 3.3.8. | Apresentação dos resultados da aplicação dos indicadores | 71 |
| 3.4. | IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS..... | 72 |
| 3.5. | SISTEMATIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE PROBLEMAS, INDICADORES E MEDIDAS MITIGADORAS PARA O GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS..... | 73 |
| 3.5.1. | Relações entre problemas e indicadores para o gerenciamento e manejo das águas pluviais | 73 |
| 3.5.2. | Relações entre problemas e medidas mitigadoras para o gerenciamento e manejo das águas pluviais..... | 74 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 75 |
| 4.1. | PROBLEMAS RELACIONADOS AO GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS..... | 75 |
| 4.1.1. | Aspecto Econômico..... | 75 |
| 4.1.2. | Aspecto Institucional | 77 |
| 4.1.3. | Aspecto Social..... | 79 |
| 4.1.4. | Aspecto Ambiental..... | 80 |
| 4.1.5. | Considerações gerais sobre os problemas envolvendo águas pluviais urbanas | 82 |
| 4.2. | INDICADORES PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS | 83 |
| 4.2.1. | Indicadores Simples | 83 |
| 4.2.2. | Indicadores Compostos..... | 94 |
| 4.2.3. | Sistema de indicadores de problemas de gerenciamento e manejo das águas pluviais | 105 |
| 4.2.4. | Considerações gerais sobre indicadores para gerenciamento das águas pluviais urbanas..... | 109 |
| 4.3. | ARRANJOS DE MEDIDAS MITIGADORAS POSSÍVEIS PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS..... | 111 |
| 4.3.1. | Identificação das medidas mitigadoras | 111 |
| 4.3.2. | Aplicabilidade das medidas mitigadoras para os problemas de gerenciamento e manejo das águas pluviais..... | 125 |
| 4.3.3. | Considerações gerais sobre arranjos de medidas mitigadoras | 131 |
| 5. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 133 |
| 5.1. | CONCLUSÃO..... | 133 |
| 5.2. | LIMITAÇÕES..... | 135 |
| 5.3. | RECOMENDAÇÕES..... | 136 |
| 6. | REFERÊNCIAS..... | 137 |

| | |
|--|------------|
| APÊNDICE A – PROBLEMAS GERAIS E ESPECÍFICOS | 152 |
| APÊNDICE B – DETALHAMENTO DOS INDICADORES SIMPLES..... | 157 |
| APÊNDICE C – DETALHAMENTO DOS INDICADORES SIMPLES..... | 164 |
| APÊNDICE D – ASSOCIAÇÃO ENTRE PROBLEMAS E INDICADORES..... | 168 |
| APÊNDICE E – ASSOCIAÇÃO ENTRE PROBLEMAS E MEDIDAS MITIGADORAS | 172 |
| MATERIAL SUPLEMENTAR I – FERRAMENTA: PLANILHA ELETRÔNICA | 179 |
| MATERIAL SUPLEMENTAR II – FERRAMENTA: MANUAL DO USUÁRIO | 188 |

1. INTRODUÇÃO

O acúmulo de águas pluviais no meio urbano foi, por muito tempo, visto como algo indesejável, de forma que as infraestruturas de drenagem eram implementadas para evacuar as águas pluviais para fora da área urbana o mais rápido possível (BERTRAND-KRAJEWSKI, 2021; MCGRANE, 2016), sem necessidade de tratamento das mesmas (BERTRAND-KRAJEWSKI, 2021). A partir da década de 1970, diante das visíveis desvantagens dessa abordagem (elevação nos níveis de contaminação de cursos hídricos, aumento na quantidade e velocidade das águas escoadas, inundações a jusante, dentre outras) outras abordagens novas, mais abrangentes e integradas, foram sendo implementadas e aperfeiçoadas (BERTRAND-KRAJEWSKI, 2021; FLETCHER et al., 2015). Nesse contexto, a necessidade da consideração de diversos aspectos e condições existentes no meio urbano torna a gestão das águas pluviais complexa (ARAÚJO et al., 2017).

As inundações estão entre os desastres mais recorrentes e que mais afetam pessoas (BERTILSSON et al., 2019; CRED, 2021). De acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) brasileira, dentre os elementos essenciais para minimizar os impactos sofridos pelas populações em decorrência de eventos hidrológicos extremos está um adequado processo de planejamento e gestão dos serviços de manejo das águas pluviais (SNIS-AP, 2019). A utilização de ferramentas que facilitem o processo de gerenciamento das águas pluviais urbanas e, conseqüentemente, melhorem a drenagem e manejo das mesmas, tem-se ampliado nos últimos anos, visando a segurança hídrica no espaço urbano, como apresentado por Morales-Torres et al. (2016).

No Brasil, a gestão das águas pluviais é realizada, majoritariamente, pelos governos municipais. Na maioria dos municípios (98,8%), os prestadores do serviço de manejo e drenagem de águas pluviais pertencem às próprias prefeituras municipais, as quais são responsáveis pelo serviço (SNIS-AP, 2020) e, em maioria, carecem de uma estruturação institucional adequada e apresentam escassez de recursos financeiros (COLOMBELLI, 2018) e, também, de técnicos capacitados para conceber, dimensionar e gerir os sistemas de drenagem de águas pluviais com foco nas bacias hidrográficas, além da questão dos conceitos de sustentabilidade na drenagem urbana (ONEDA, 2018). Para suprir parcialmente essa deficiência, o uso de ferramentas e mecanismos de gerenciamento, como os indicadores, têm se difundido ao longo das últimas décadas. Os indicadores, se adequados para a

realidade municipal e compreensíveis para os gestores públicos, têm potencial de auxiliar significativamente no gerenciamento das águas pluviais.

Há atualmente uma elevada variedade de indicadores relacionados às águas pluviais para a realidade brasileira, desenvolvidos principalmente por pesquisadores, desde o início dos anos 2000, como Castro et al. (2004), como Moura et al. (2009), Rotava (2014), Cavalcanti Filho (2017), Veról et al. (2019), dentre outros. Baum & Goldenfum (2021), ao analisar indicadores e índices relacionados às águas pluviais e inundações urbanas desenvolvidos para a realidade brasileira, verificaram que, apesar dos esforços, muitos dos conjuntos de indicadores relacionados aos sistemas urbanos enfrentam problemas práticos para sua aplicação, destacando-se a exigência de informações complexas, que demandam ferramentas muito específicas para que sejam obtidas as informações e/ou dados necessários. Esse mesmo problema, dentre outros, foi apontado por Klopp & Petretta (2017) quando analisados indicadores para o objetivo do desenvolvimento urbano sustentável.

No que se refere à ausência de dados em relação às águas pluviais urbanas no Brasil, aos poucos tem-se observado ações para modificação dessa situação. Como exemplo, temos os Diagnósticos de Manejo e Drenagem de Águas Pluviais Urbanas, produzidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que, apesar de apresentarem limitações quanto ao adequado fornecimento de dados, uma vez que seus respondentes são agentes públicos que muitas vezes não têm conhecimento acerca dos termos técnicos utilizados nessa área (SNIS-AP, 2019), é a base de dados com maior abrangência e maior quantidade de informações sobre drenagem e manejo das águas pluviais no Brasil. Já a problemática envolvendo a capacidade técnica limitada nos órgãos e entidades responsáveis é complexa, uma vez que a contratação de profissionais capacitados é dependente de questões orçamentárias.

Em relação à capacidade técnica limitada, esta impacta não só na confiabilidade dos dados utilizados no cálculo dos indicadores, como também na interpretação e utilização dos resultados dos indicadores pelos tomadores de decisão para realização de ações práticas. De acordo com Mayer (2008), é relevante que os tomadores de decisões tenham compreensão clara de como os indicadores simples interagem entre si e influenciam os resultados de determinado indicador composto ou índice; se o nível de compreensão for reduzido, as decisões políticas podem aumentar as disparidades econômicas e os danos ambientais e diminuir as possibilidades de sustentabilidade a

longo prazo (MAYER, 2008). No tocante, se observa a ausência de estudos que busquem alternativas para a redução da subjetividade e de incertezas associadas à percepção e interpretação dos resultados dos indicadores para gerenciamento de águas pluviais urbanas para os tomadores de decisão e a ausência de estudos relacionados a mecanismos que auxiliem na utilização desses resultados. A promoção de uma relação quantitativa entre indicadores que pertençam a um mesmo conjunto, que expliquem quais resultados são mais impactantes no sistema de águas pluviais urbanas, é uma forma de auxiliar no suprimento dessa lacuna, além de tornar os indicadores mais atrativos aos gestores públicos. Atualmente a utilização de indicadores no gerenciamento de águas pluviais na esfera pública municipal é incipiente. No entanto, de acordo com a Lei Federal nº 11.445/2007, dentre os conteúdos mínimos que os Planos Municipais de Águas Pluviais devem abranger está um diagnóstico da situação e de seus impactos nas condições de vida, utilizando sistema de indicadores (BRASIL, 2007).

Diante do exposto, espera-se com esse trabalho desenvolver uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão municipal relacionada ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas, baseada em um conjunto de indicadores, que indique quais os possíveis problemas existentes, aspectos que necessitam de alguma intervenção (física ou institucional) e um conjunto de medidas mitigadoras mais recomendáveis a serem adotadas para cada problema. Tem-se a pretensão de que esse trabalho contribua cientificamente na redução da subjetividade e de incertezas associadas à interpretação dos resultados dos indicadores pelos tomadores de decisão e, conseqüentemente, na evolução dos sistemas de indicadores para o gerenciamento das águas pluviais urbanas. Ademais, pretende-se fornecer aos municípios com até cem mil habitantes, que possuem carência de recursos humanos, técnicos e/ou financeiros, uma ferramenta de suporte para o gerenciamento, que oriente a tomada de decisão, suprimindo assim, parcialmente, a carência técnica na área de gerenciamento de águas pluviais existentes nas prefeituras municipais brasileiras.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Estruturar uma ferramenta, em planilha eletrônica, de suporte para o gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas baseada em um conjunto de

indicadores, problemas e medidas mitigadoras que resulte na quantificação dos aspectos prioritários para ações e para investimentos, para municípios de até cem mil habitantes, com vistas a fomentar a tomada de decisão por parte dos gestores públicos municipais.

1.2.2. Objetivos Específicos

I - Desenvolver um conjunto de indicadores para gerenciamento das águas pluviais urbanas, aplicável em escala nacional, para municípios de até cem mil habitantes, que identifique e quantifique os aspectos das águas pluviais urbanas que necessitam mais suporte, além de apontar quais os principais problemas relacionados às águas pluviais no sistema municipal.

II - Propor arranjos de medidas mitigadoras possíveis para problemas envolvendo o gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas, as mais recomendáveis a serem desenvolvidas, de acordo com diferentes problemas existentes.

1.2. PRESSUPOSTOS E PREMISSAS

Para desenvolvimento deste trabalho, foi considerado como pressuposto que métodos de ponderação de indicadores compostos baseados na opinião de especialistas ou da sociedade envolvem elevado grau de subjetividade, além da dificuldade em receber um número suficiente de respostas e da necessidade de categorização dos especialistas e, por esse motivo, não foram empregados nessa pesquisa.

Como premissa, foi considerado que um conjunto de indicadores que represente adequadamente o sistema de gerenciamento e manejo das águas pluviais, que possa ser utilizado em escala nacional, de forma igualmente representativa, deve ser ajustável às particularidades existentes nas diferentes regiões brasileiras. Dessa forma, ponderando que esse estudo foi desenvolvido para cidades com contingente populacional de até cem mil habitantes e passível de ser aplicado em qualquer cidade do Brasil, não foram consideradas situações específicas, devido à ampla diversidade climática, fisiográfica, sociocultural e econômica existente entre os municípios brasileiros.

1.3. ESTRUTURA DA PESQUISA

Esta Tese de Doutorado está estruturada em cinco capítulos e possui dois documentos suplementares. No primeiro capítulo é contextualizado o assunto tema da Tese, apresentando a problemática e a lacuna de conhecimento identificada, que culminaram no desenvolvimento do trabalho. Também são elencadas as questões científicas, os objetivos (geral e específicos), os pressupostos, as premissas e a estrutura da pesquisa, aqui apresentada.

No segundo capítulo, utilizando-se de revisão bibliográfica, é apresentado o estado da arte sobre gerenciamento e manejo das águas pluviais nos países em desenvolvimento e dos indicadores existentes nessa área para o Brasil, destacando o potencial de apoio destes na tomada de decisão municipal e apresentando oportunidades de avanço. Encerrando esse capítulo, são apresentadas considerações gerais sobre a fundamentação teórica, destacando os elementos mais importantes para o desenvolvimento da Tese em questão.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia aplicada para o desenvolvimento desta Tese. São descritos os métodos que foram utilizados para identificação dos problemas de gerenciamento e manejo das águas pluviais e na formulação dos indicadores de gerenciamento e manejo das águas pluviais, desenvolvidos para suprir carências existentes na esfera municipal, dando enfoque para municípios com até cem mil habitantes. Também é apresentada a forma como foram selecionados os municípios piloto. Ainda, nesse capítulo, é apresentada a metodologia utilizada para identificação das medidas mitigadoras e estruturação dos arranjos de medidas mitigadoras possíveis para problemas envolvendo gerenciamento e manejo das águas pluviais.

O conjunto de problemas de gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas e os indicadores formulados para municípios com até cem mil habitantes são apresentados no quarto capítulo. Também é apresentada a formulação e aplicação dos indicadores simples e compostos nos municípios piloto e os resultados obtidos. Esse capítulo é finalizado com a apresentação de medidas mitigadoras possíveis para problemas envolvendo gerenciamento e manejo das águas pluviais e dos arranjos de tais medidas para cada município piloto, identificados a partir da aplicação da ferramenta desenvolvida, e a sistematização entre problemas, indicadores e medidas.

Por fim, no quinto capítulo da Tese são apresentadas as considerações finais gerais do estudo, que respondem às indagações intrínsecas aos objetivos da Tese,

as contribuições teóricas, práticas, ambientais e sociais e as limitações, concluindo o estudo, segundo o entendimento dos resultados dos capítulos anteriores e sugerindo futuros trabalhos nessa área.

Como material suplementar é apresentada a ferramenta desenvolvida, em planilha eletrônica, e o manual do usuário da mesma.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. TERMINOLOGIA

A temática das águas pluviais urbanas é abrangente e, atualmente, é possível observar a forma diversificada como os conceitos e termos técnicos de drenagem são apropriados em cada região do país (SNIS-AP, 2018). Nesse sentido, para maior clareza, as seguintes definições de termos se aplicam a esta Tese:

Águas pluviais urbanas: refere-se às águas geradas por precipitações em ambientes urbanizados, resultantes do escoamento em superfícies impermeáveis e/ou permeáveis saturadas.

Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: para este termo é adotada a definição estabelecida pela Lei nº 14.026/2020: “constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes” (BRASIL, 2020).

Gestão de águas pluviais urbanas: refere-se ao planejamento e gerenciamento das águas pluviais urbanas, criação de políticas e legislação, baseadas em princípios, estratégias e diretrizes de ações e procedimentos para garantir que as águas pluviais em áreas urbanas causem menos prejuízos à população e ao meio ambiente, agregando uma melhor qualidade de vida e reduzindo os gastos do poder público no pós-evento.

Gerenciamento de águas pluviais urbanas: refere-se à aplicação de conhecimentos, técnicas e metodologias que visam orientar as decisões do gestor no que se refere às águas pluviais em ambientes urbanizados. O gerenciamento faz parte da gestão de águas pluviais urbanas.

Conjunto de indicadores: refere-se a um grupo de indicadores relacionados às águas pluviais em áreas urbanas utilizados nessa pesquisa.

Arranjo de medidas mitigadoras: medidas mitigadoras que, quando combinadas, tem potencial para atenuar ou solucionar um ou mais problemas de águas pluviais urbanas previamente identificado.

Ferramenta para gerenciamento das águas pluviais urbanas: planilha eletrônica, estruturada com base em problemas, indicadores e medidas mitigadoras relacionados às águas pluviais urbanas.

2.2. GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO AMBIENTE URBANO

Desde a antiguidade (Grécia Antiga (300 a.C.), entende-se que as águas pluviais em áreas construídas devem ser gerenciadas de alguma forma (BARBOSA; FERNANDES; DAVID, 2012). Existem inúmeros documentos dedicados à drenagem urbana nos seus diferentes aspectos, sendo que os mais antigos orientam, principalmente, ao cálculo de vazões de projeto, enquanto os materiais mais recentes enfatizam os aspectos de gestão (VILLANUEVA et al., 2011). Essa evolução no conteúdo se deve ao fato de que, apesar de haver técnicas de drenagem que considerem a sustentabilidade e com desempenho comprovado, a implantação destas enfrenta barreiras econômicas, institucionais, ambientais e até mesmo sociais.

2.2.1. Evolução do manejo e drenagem das águas pluviais

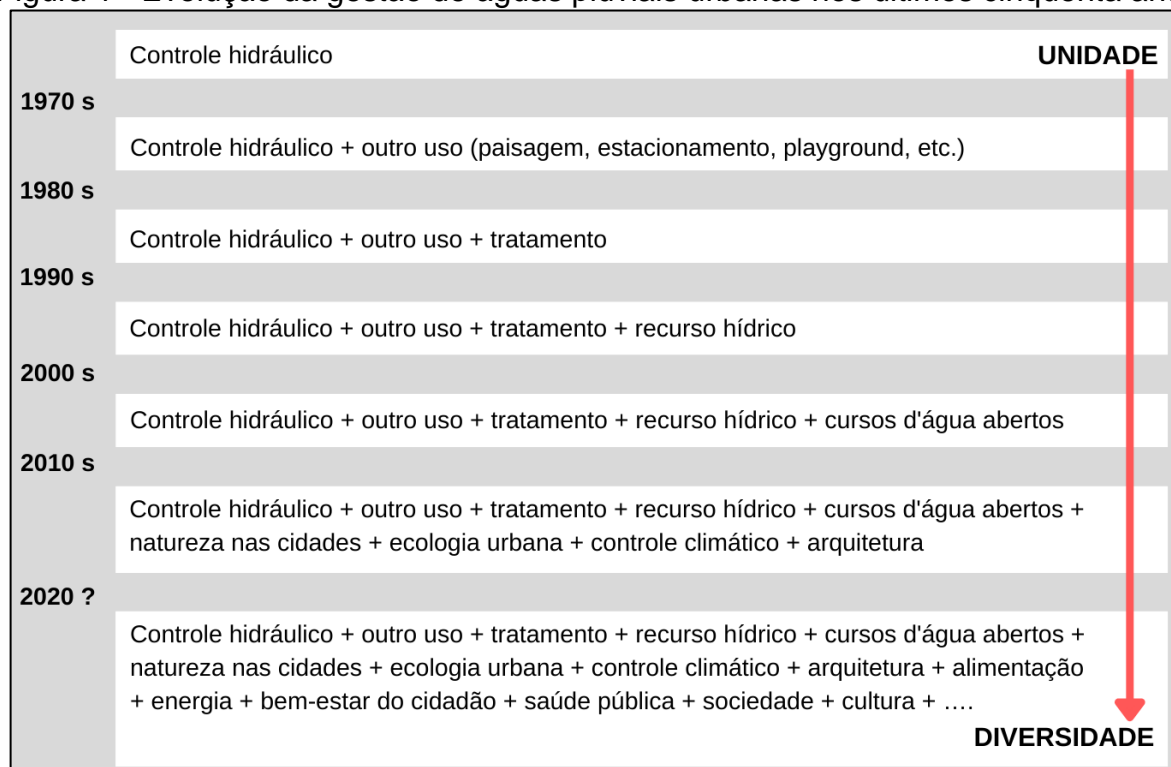
Até a década de 1970 o desenvolvimento do espaço e da sociedade centrou-se principalmente no crescimento econômico. Somente no final dessa década é que se identificou a necessidade de um novo modelo de desenvolvimento, que considerasse a distribuição equitativa de recursos e aumentasse a qualidade de vida a longo prazo (KAUR; GARG, 2019). A evolução dos sistemas de drenagem seguiu tendência similar, quando no mesmo período passou-se a considerar, para além de aspectos técnicos, também questões ambientais, ecológicas, sociais e de governança nesses sistemas (BERTRAND-KRAJEWSKI, 2021).

Em 1987 a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento apresentou a ideia de desenvolvimento sustentável, enfatizando os três pilares da sustentabilidade (Relatório Brundtland intitulado Nosso Futuro Comum). Anos mais tarde, como parte da agenda de desenvolvimento sustentável pós-2015 das Nações Unidas, foram determinados os objetivos do desenvolvimento sustentável, dentre os quais está o primeiro objetivo de desenvolvimento urbano sustentável: “tornar cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis” (ONU, 2015). Klopp & Petretta (2017) destacam que o novo foco de desenvolvimento global nas cidades inclui, para além do foco tradicional em habitação e urbanização de periferias, transporte seguro, acessível e sustentável, planejamento participativo e integrado, espaços verdes e públicos, melhor qualidade do ar e gestão de resíduos, resiliência climática e redução do risco de desastres naturais.

Quando transpassada essa realidade especificamente para o setor de águas pluvias urbanas, é possível associar com a substituição da abordagem universal das redes de esgoto, herdada do século XIX (século dedicado quase exclusivamente ao controle hidráulico), por abordagens diversificadas e cada vez mais complexas, com integração de objetivos, disciplinas, funcionalidades, demandas sociais e culturais (BERTRAND-KRAJEWSKI, 2021).

A evolução da gestão de águas pluviais urbanas nos últimos cinquenta anos foi resumida por Tucci (2008a) em três fases: higienista (antes de 1970), corretiva (entre 1970 e 1990) e desenvolvimento sustentável: depois de 1990 (atual). De forma mais específica, na Figura 1 é apresentada a evolução, desde a abordagem universal das redes de esgoto até as abordagens diversificadas atuais, desenvolvida por Bertrand-Krajewski (2009 *apud* BERTRAND-KRAJEWSKI, 2021).

Figura 1 - Evolução da gestão de águas pluviais urbanas nos últimos cinquenta anos



Fonte: Adaptado de Bertrand-Krajewski (2009 *apud* BERTRAND-KRAJEWSKI, 2021).

Teoricamente, o mundo está na fase de desenvolvimento sustentável das águas urbanas, no entanto, nos países em desenvolvimento o estágio em que os mesmos se encontram é variável. De acordo Tucci (2008a), na primeira década dos anos 2000 o Brasil se encontrava na fase higienista devido à precariedade no esgotamento

sanitário, transferência de inundação na drenagem e falta de controle dos resíduos sólidos. Christofidis, Assumpção & Kligerman (2019) avaliam que atualmente, no Brasil, os sistemas tradicionais de drenagem urbana mostram-se ineficientes para o transporte do volume excedente de água e nem mesmo os sistemas constituídos de reservatórios de amortecimento aliviam os efeitos das chuvas de intensidades extremas.

Apesar de diversos países, assim como o Brasil, não estarem parcialmente ou totalmente na fase de desenvolvimento sustentável das águas urbanas, esta fase tem sido amplamente discutida. As águas pluviais, antes consideradas principalmente como um incômodo, passaram a ser reconsideradas, até mesmo como recurso para abastecimento de aquíferos altamente afetados pela impermeabilização dos solos urbanos, por fornecer recursos hídricos para usos que não requerem qualidade da água potável, melhorar a paisagem e a visibilidade da água na cidade, limitando as ilhas de calor urbanas, restaurando a biodiversidade e ecologia, melhorando a saúde pública e o bem-estar dos cidadãos (BERTRAND-KRAJEWSKI, 2021). Apesar de Brown, Keath & Wong (2009) ponderarem que, embora tenha havido um progresso significativo em direção a uma gestão de águas urbanas mais sustentável em muitas cidades, particularmente relacionado à inovação de tecnologias mais sustentáveis e mudanças nos valores sociais em torno do meio ambiente e recursos hídricos, diversos estudiosos argumentam que o progresso atual é ainda muito lento.

A gestão sustentável da água urbana engloba diversas abordagens emergentes para a gestão da água no meio urbano. De acordo com Moglia & Cook (2019), essas abordagens têm se difundido à medida que o conhecimento sobre estas se desenvolve e que há aceitação de que é preciso haver uma mudança na maneira como os sistemas hídricos urbanos de água são projetados e operados. Nesse contexto, ainda há de se observar que os sistemas urbanos não existem e não operam isoladamente: eles têm muitos elos com outros sistemas dentro de uma cidade e regiões vizinhas (GREGORY; HALL, 2011).

A aceitação de que é preciso haver mudanças na forma de gerir as águas no meio urbano é reflexo do reconhecimento de que os processos e necessidades da sociedade têm sido os principais impulsionadores na evolução das tecnologias urbanas de água (ZISCHG et al., 2019). Dentre os processos e necessidades impulsionadores, Zischg et al. (2019) destacam: a necessidade de adaptação às mudanças climáticas, a disponibilidade de recursos financeiros e disposição para

investir, a crescente aspiração por ambientes urbanos esteticamente agradáveis, a tomada de decisões inclusiva e participativa e processos e expectativas da comunidade para a redução da poluição das águas drenadas.

Kaur & Garg (2019) relatam que a maioria das práticas atuais relacionadas ao desenvolvimento urbano sustentável se concentram principalmente na geração e na otimização da energia, gestão de resíduos, gestão da água e no transporte público, ignorando aspectos específicos do local, características locais do ambiente natural e sociocultural. Os mesmos autores ainda ressaltam que, apesar da necessidade de incorporar dimensões adicionais de sustentabilidade que não sejam ambientais, sociais e econômicas, como culturais e institucionais, elas não são incluídas na maioria das ferramentas ou, onde quer que estejam, recebem menos importância (KAUR; GARG, 2019).

2.2.2. Conjuntura atual das águas pluviais urbanas

Países desenvolvidos são pioneiros em abordagens integradas, adaptativas e inteligentes para gerir as águas pluviais em busca de um desenvolvimento urbano mais sustentável. Novas abordagens foram desenvolvidas entre as décadas de 1960 a 1990, em particular na Europa, América do Norte, Austrália e Japão, com o objetivo de minimizar os efeitos negativos da urbanização nos processos hidrológicos (FLETCHER et al., 2015). De acordo com Nickel (2018), essa evolução é impulsionada pelos desenvolvimentos atuais - alterações demográficas, transição de fonte energética, escassez de recursos, poluição ambiental e, acima de tudo, alterações climáticas, as quais exigirão adaptações de longo alcance das infraestruturas hídricas nas próximas décadas. No entanto, Bertilsson et al. (2019) destacam que mesmo em países desenvolvidos, onde a capacidade de investir é maior, as inundações continuam a causar grandes danos.

Em contrapartida, nos países em desenvolvimento o crescimento urbano continua a ocorrer em grandes escalas espaciais (MCGRANE, 2016). Atualmente, estratégias sustentáveis ainda não são difundidas em países em desenvolvimento, como o Brasil, e as principais barreiras para a implantação da gestão sustentável das águas urbanas no país são: ausência de padrões de design e manutenção, ausência de planejamento de longo prazo, ausência de divulgação e conhecimento, relutância em mudar e ausência de incentivos (VASCONCELOS et al., 2022).

As inundações são o tipo de desastre mais recorrente atualmente e o segundo que mais afeta pessoas (CRED, 2021). Só em 2020 esse tipo de ocorrência representou 51,7% do total de desastres registrados no mundo, além de figurar entre os que mais causam mortes e perdas econômicas (CRED, 2021). Alguns dos fatores determinantes para essa situação são naturais e variam de acordo com a localização da região, como chuvas de monções no Sudoeste da Ásia, responsáveis por chuvas frequentes e volumosas. Por outro lado, ações antrópicas, como a urbanização e crescimento demográfico nos centros urbanos, sem planejamento e regulamentação do uso do solo e sem infraestrutura e provisão de serviços de saneamento adequados, dificultam a gestão das águas urbanas em países que enfrentam essas situações adversas (JHA; BLOCH; LAMOND, 2012).

Para além dos problemas físicos, o sistema institucional que engloba o setor de drenagem e manejo das águas pluviais em países em desenvolvimento apresenta limitações que impedem a evolução destes. Como não é possível impedir o desenvolvimento da urbanização, segundo Carrera et al. (2018), um primeiro passo a ser tomado pelos gestores públicos está relacionado à identificação dos principais impulsionadores dos riscos relacionados à água e projetar suas tendências de longo prazo. A construção de uma base de informação adequada para informar as decisões sobre os riscos hídricos requer uma avaliação científica dos riscos. De acordo com estes mesmos autores, os arranjos institucionais e políticos conduzem a um planejamento inadequado de investimentos em infraestrutura para gerenciar inundações em bacias hidrográficas urbanas, o que é exacerbado por incentivos míseros e fiscalização insuficiente para evitar o assentamento em áreas propensas a inundações (CARRERA et al., 2018). Já na China, a má administração figura entre os fatores responsáveis pelas catástrofes por inundações pluviais urbanas. Apesar de o governo chinês ter lançado um grande programa, “Cidades-Esponja”, a fim de reduzir as inundações urbanas, já são apontados problemas que podem inviabilizar parcialmente o programa, como a falta de investimento (THE GUARDIAN, 2019).

Já a Argentina enfrenta um forte desafio no controle e gestão de excedentes de água em centros urbanos (LOPARDO; BACCHUEHA; HIGA, 2018). Nesse país, a drenagem urbana das águas pluviais urbanas é incluída na gestão dos recursos hídricos (CALCAGNO; MENDIBURO; NOVILLO, 2000), e a gestão dos recursos hídricos argentina é realizada no âmbito das bacias hidrográficas, as quais possuem Planos de Drenagem específicos. A Argentina está em um estágio semelhante ao

brasileiro no que tange a drenagem urbana, onde aos poucos está incluindo ações sustentáveis para a gestão da drenagem. No entanto, de acordo com Lopardo, Bacchueha & Higa (2018), observa-se que as obras de engenharia, mesmo com a aplicação de tecnologias avançadas, não oferecem proteção absoluta a todos os processos de inundação que possam ocorrer no futuro. Por isso, o grande desafio da gestão dos excedentes na Argentina reside na análise exaustiva do problema, com um equilíbrio adequado entre medidas estruturais e não estruturais. Em 2000, a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe - CEPAL (2000) já havia recomendado medidas não estruturais ao país, envolvendo estratégias e políticas, dentre as quais desenvolver uma gestão eficaz da prevenção e mitigação dos efeitos das inundações nas áreas rurais e urbanas e a consolidação de um sistema de informações hídricas, devido à ausência de banco de dados e sistema abrangente de informações sobre as águas, para apoiar a gestão e facilitar a comunicação (CALCAGNO; MENDIBURO; NOVILLO, 2000).

Mais do que a evolução em sistemas físicos para o manejo e drenagem das águas pluviais, com abordagens mais sustentáveis, os países em desenvolvimento necessitam de sistemas de gestão e gerenciamento eficientes. Tingsanchali (2012) enfatiza a necessidade da participação de várias partes interessadas no processo decisório, incluindo autoridades como planejadores urbanos, engenheiros civis e de recursos hídricos, além de autoridades civis de defesa contra desastres, serviços sociais e de saúde, de forma a contemplar todos os impactados.

2.2.3. Gerenciamento das águas pluviais urbanas no Brasil

O Brasil, assim como grande parte dos países em desenvolvimento, aos poucos tem implantado iniciativas sustentáveis para gerir as águas pluviais urbanas. O governo federal brasileiro está ciente da necessidade da gestão sustentável das águas urbanas e tem realizado esforços neste sentido, enquanto a nível estadual e municipal essa tendência não foi universalmente adotada, mas está se desenvolvendo, com novas políticas públicas sendo propostas (VASCONCELOS, 2020).

No entanto, no que tange ao saneamento, o manejo e drenagem de águas pluviais é o serviço de saneamento menos assistido no Brasil em termos de regulação e regulamentação direta pelo titular (COLOMBELLI, 2018). Em termos de investimentos, o setor da drenagem urbana ainda recebe quantias substancialmente

inferiores às investidas nos setores de esgotamento sanitário, abastecimento de água e resíduos sólidos. No setor de saneamento, entre os anos de 2003 e 2017, foram desembolsados 82.515,11 milhões (recursos não onerosos), sendo que destes, 9,63% (7.943 milhões) foram destinados à drenagem urbana (SANTOS; KUWAJIMA; SANTANA, 2020).

Apesar da assistência inferior em relação aos demais serviços de saneamento, há avanços importantes, como a coleta e divulgação de dados do setor, realizada pela Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Águas Pluviais (SNIS-AP). Embora exista coleta de dados dos componentes Água e Esgoto desde 1995, a coleta de dados referente ao componente Águas Pluviais foi efetuada pela primeira vez em 2015 (SNIS-AP, 2018), mesmo que esse serviço tenha sido incorporado ao saneamento em 2007 pela Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007). Ainda que tardios e com qualidade relativa das informações referentes à situação das águas pluviais permitem uma visualização da situação nacional em relação a esse setor, que até então não era possível. Ainda assim, é importante ressaltar que há limitações sobre a qualidade dos dados obtidos devido, por exemplo, ao fornecimento de dados (uma vez que o preenchimento é de responsabilidade das autoridades municipais, nem sempre tecnicamente capacitadas para tanto) e à forma diversificada como os conceitos e termos técnicos de drenagem são apropriados em cada região do país (SNIS-AP, 2018).

Conforme o Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais relativo ao ano de 2019, é possível verificar que os sistemas planejados e os investimentos são escassos e que a implantação de sistemas sustentáveis ainda é incipiente. No que se refere à taxa de cobertura, 15,1% das vias públicas possuem redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana e 15,5% possuem vias urbanas públicas com soluções de drenagem natural (faixas ou valas de infiltração) (SNIS-AP, 2020). Em relação a manutenção e investimentos, 27,0% dos municípios não realizaram intervenção ou manutenção no sistema de drenagem no ano de 2019 e 54,6% não tiveram nenhum valor investido em drenagem e manejo das águas pluviais urbanas neste mesmo ano (SNIS-AP, 2020).

Em termos institucionais, há diversos aspectos que precisam ser adequados à realidade. A gestão de águas pluviais ainda não é tratada com a devida importância pelos gestores de países em desenvolvimento como o Brasil, o que se evidencia pela falta de um planejamento específico neste setor (ONEDA; BARROS, 2021). Em 2002,

Baptista & Nascimento já apontavam a fragilidade, tanto do ponto de vista técnico quanto político-institucional, existente nos serviços municipais de drenagem urbana, e que esta se devia ao fato de os órgãos responsáveis não serem organizados como entidades independentes, com autonomia financeira e gerencial (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

A regulação do serviço público de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas no Brasil é ainda bastante incipiente. Apesar da inovada inclusão desse serviço como componente do saneamento básico pela Lei nº 11.445/2007, a falta de uma estruturação institucional para a prestação do serviço na maioria das cidades brasileiras ainda é uma dificuldade (COLOMBELLI, 2018). Em 2019, pouco mais de 1,4% dos municípios brasileiros declararam possuir algum tipo de regulação efetuada por órgão ou entidade apropriados, indicando que os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas ainda precisam evoluir consideravelmente em direção a uma atividade mais bem estruturada e profissional (SNIS-AP, 2020). O texto legal estabelece que o titular dos serviços públicos de saneamento básico deve definir a entidade responsável pela regulação e fiscalização (BRASIL, 2020).

Os aspectos institucionais impactam em todo o sistema de gerenciamento do manejo e drenagem das águas pluviais. No Brasil, os dois grandes gargalos que têm persistido ao longo da história da drenagem e manejo de águas pluviais urbanas nesse aspecto são: a falta de organização institucional e a escassez de recursos financeiros contínuos e suficientes (COLOMBELLI, 2018). A prestação direta pelas prefeituras municipais, sem cobrança de taxa ou tarifa exclusiva para subsidiar o serviço, torna-o sujeito a interferências políticas e à descontinuidade de seu custeio (COLOMBELLI, 2018). De acordo com os dados do SNIS-AP, em 2019 o investimento *per capita* dos serviços foi de R\$ 25,55/hab.ano e a despesa *per capita* com os serviços foi de R\$ 19,97/hab.ano (SNIS-AP, 2020).

Os planejadores urbanos geralmente atuam como solucionadores de problemas no ambiente urbano, o que significa que, ao invés de planejar a cidade para o futuro, eles são profissionais que tentam resolver ou mitigar os problemas existentes (FABRÍCIO et al., 2019). No entanto, de acordo com Tucci (2008a), o modelo de gerenciamento de águas pluviais atual brasileiro também não incentiva a prevenção de problemas envolvendo alagamentos e inundações, uma vez que, à medida que ocorrem perdas humanas e materiais em decorrência de eventos hidrológicos extremos, os municípios declaram calamidade pública e recebem recursos a fundo

perdido (e para gastar tal recurso não é preciso realizar concorrência pública), o que não os estimula a realizarem ações preventivas.

Oneda & Barros (2021) destacam ainda que os esforços de mitigação de longo alcance são frequentemente ignorados pela sociedade e, também, pelas autoridades políticas, especialmente nos países em desenvolvimento. A ignorância se deve, em muitas situações, ao pouco conhecimento efetivo dos sistemas de drenagem (SOUZA; MORAES; BORJA, 2013). Os recursos investidos na prevenção de desastres podem gerar retornos multiplicados para a economia quando comparados aos custos de recuperação (ONEDA; BARROS, 2021).

A prestação de serviços públicos de saneamento básico deve observar o constante nos Planos de Saneamento, que incluem o diagnóstico da situação e seus impactos nas condições de vida da população, utilizando sistema de indicadores (BRASIL, 2007). O Plano Nacional de Saneamento Básico apontou a existência de fragilidades nas informações atuais sobre indicadores para drenagem pluvial e riscos de inundação, associado ao fato de que há claras dificuldades em se conceber indicadores adequados à caracterização da situação desse componente no nível local (BRASIL, 2014). Apesar da evolução recente, que é a coleta e divulgação de dados do setor por meio do SNIS-AP, ainda há uma parcela considerável de municípios que não respondem ao questionário (em 2019, apenas 65,6% dos municípios forneceram informações) (SNIS-AP, 2020). Ademais, devido ao questionário não considerar aspectos específicos dos municípios, como questões climáticas, socioculturais e econômicas e processos de desenvolvimento urbanístico, quando da formulação de políticas públicas locais para além das informações obtidas pelos Diagnósticos, essas questões locais devem ser consideradas pelos gestores.

Diante do exposto sobre gerenciamento de águas pluviais no ambiente urbano, há evidências de que os sistemas de águas urbanas evoluíram, adequando-se às necessidades que as cidades exigiam. Técnicas de drenagem sustentável, com desempenho comprovado, são difundidas nos países desenvolvidos, embora em países em desenvolvimento a implantação destas enfrente diversos entraves. No âmbito institucional, ferramentas de suporte à gestão e gerenciamento têm sido desenvolvidas para suprir parcialmente a carência de profissionais capacitados e produzir informações sobre o panorama do manejo e drenagem das águas pluviais, como é o caso dos indicadores, que no Brasil apresentam potencial de evolução,

principalmente no que tange ao suporte à gestão e gerenciamento de águas pluviais urbanas em escala municipal.

2.3. SISTEMA DE INDICADORES

A utilização de ferramentas que facilitem o processo de gerenciamento das águas pluviais urbanas e a tomada de decisão e, conseqüentemente, melhorem a drenagem e manejo das mesmas, tem-se ampliado nos últimos anos. Os indicadores e índices estão dentre as ferramentas utilizadas para planejamento e gerenciamento de processos e sistemas, como o sistema de águas pluviais.

2.3.1. Características dos indicadores

Os indicadores são ferramentas úteis para mensurar o impacto da implementação de planos e programas ambientais (DONNELLY et al., 2007), sendo que o seu uso como ferramenta para descrever e/ou avaliar sistemas e fenômenos é cada vez mais frequente. Há alguns anos é consenso entre especialistas, órgãos de governo e agências internacionais de que sistemas de indicadores são ferramentas essenciais para o planejamento das políticas públicas (SEPE; GOMES, 2008). No entanto, as definições mais usuais de indicadores e a terminologia associada a essa área são particularmente difusas (VAN BELLEN, 2005). Hammond et al. (1995) destacam que o termo “indicador” remonta ao verbo latim *indicare*, que significa divulgar ou apontar, para anunciar ou divulgar publicamente ou estimar ou colocar um preço. No Quadro 1 são apresentadas algumas das definições mais comuns para indicadores.

Quadro 1 - Definições de Indicador

| Referência | Definição |
|-----------------------|---|
| Hammond et al. (1995) | É algo que fornece uma pista para uma questão de maior significado ou torna perceptível uma tendência ou fenômeno que não é imediatamente detectável. |
| OECD (2003) | Parâmetro, ou um valor derivado de parâmetros, que aponta, fornece informações, descreve o estado de um fenômeno, ambiente ou área, com um significado além do que diretamente associado a um valor de parâmetro. |
| EEA (2005) | Um indicador é uma medida, geralmente quantitativa, que pode ser usada para ilustrar e comunicar fenômenos complexos de forma simples, incluindo tendências e progresso ao longo do tempo. |

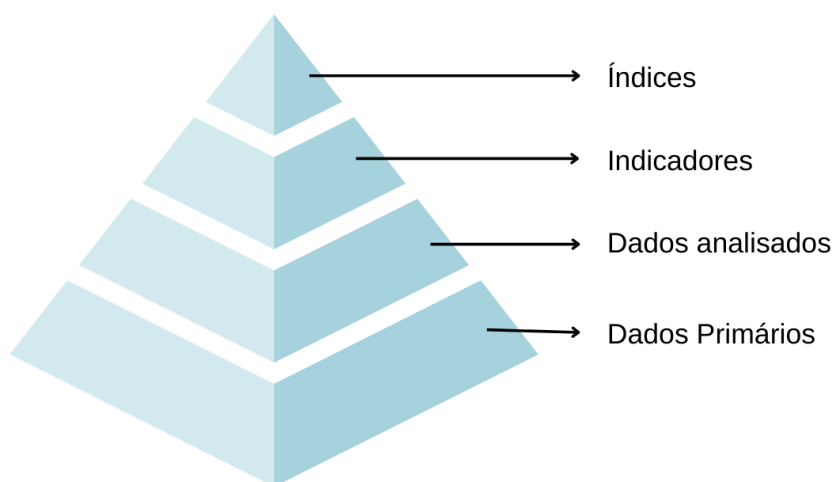
Fonte: Camila A. Baum (2022).

Segundo Hammond et al. (1995), os indicadores devem fornecer informação quantitativa, de forma simples e compreensível, sendo resultado da aplicação de um

modelo ou conjunto de considerações que relacionam o indicador a fenômenos mais complexos. Guzmán, Roders & Colenbrander (2017) destacam que os indicadores não apenas validam uma estrutura, mas também fornecem uma visão dos fenômenos ou tornam perceptível uma tendência ou fenômeno que não é imediatamente detectável.

Para a elaboração de indicadores, um conjunto de observações, dados e conhecimentos devem ser sistematicamente ordenados e condensados em informações chave (FIDALGO, 2003). Os indicadores são considerados simples (também conhecidos como indicadores primários) quando medem fenômenos individuais, como o número de pessoas vivendo abaixo da linha de pobreza ou a porcentagem de cobertura verde (VERMA; RAGHUBANSHI, 2018). Quando indicadores são agrupados/combinados eles formam índices ou indicadores compostos, que são baseados na ponderação dada aos indicadores simples constituintes (VERMA; RAGHUBANSHI, 2018). Esse processo de síntese e agregação de indicadores é representado por Hammond et al. (1995) como uma pirâmide (Figura 2).

Figura 2 - Pirâmide da Informação



Fonte: Adaptado de Hammond et al. (1995).

Hammond et al. (1995) salientam como vantagem do uso de índices a simplificação ao selecionar uma única medida para cada tema ambiental de interesse, a partir da agregação de dados relacionados a esses temas. Fidalgo (2003), contudo, alerta que o uso de índices não é consensual entre os países e organizações internacionais e a validade de se construir um índice ainda é motivo de discussão

(SEPE; GOMES, 2008). Essa discussão decorre do fato que, para os defensores do uso de indicadores compostos ou índices, estes são vistos como importantes para a disseminação das informações e para o debate público, uma vez que sintetizam, em um único valor, uma complexidade de fatores que são, muitas vezes, de difícil compreensão para um público mais amplo. Contudo, os críticos do uso de indicadores compostos argumentam que criar um indicador único ou índice na área socioambiental resulta em uma leitura “simplista”, considerando a complexidade que envolve essa área (SEPE; GOMES, 2008). No Quadro 2 é apresentada uma relação entre escala, nível de informação e uso, identificando os casos em que o uso de indicadores simples ou índices são mais apropriados.

Quadro 2 - Relação entre escala, nível de informação e uso

| Escala | Nível de Informação | Uso |
|--------------------------|--|--|
| Global | Índices e Indicadores Agregados | Acompanhamento de temas prioritários e áreas com problemas. Negociação e definição de políticas e ações. |
| Regional/ Continental | Índices, Indicadores Agregados e Indicadores Simples | Identificação e acompanhamento de temas prioritários e áreas com problemas. Definição de estratégias e ações. |
| Nacional | Índices, Indicadores Agregados e Indicadores Simples | Identificação e acompanhamento de temas prioritários e áreas com problemas. Definição de estratégias e ações. Análise de causas, efeitos e respostas potenciais. |
| Local | Índices, Indicadores Agregados e Indicadores Simples | Identificação de temas prioritários e áreas com problemas. Análise de causas, efeitos e respostas potenciais. |

Fonte: Fidalgo (2003), modificado de Winograd (1995).

Apesar dos benefícios da utilização de indicadores, por meio da quantificação e simplificação de informação, que beneficiam de forma direta a comunicação entre os gestores e o público interessando, Klopp & Petretta (2017) ressaltam os três principais problemas práticos em torno do uso de indicadores: 1) baixa disponibilidade de dados padronizados, abertos e comparáveis; 2) falta de instituições consolidadas de coleta de dados; e 3) aceitação e aplicação de um mesmo indicador em cidades muito diferentes com contextos locais específicos.

Pesquisas mostram que o uso de indicadores fornece suporte na avaliação ambiental e na tomada de decisões. Winograd (1995) destaca que no processo de tomada de decisão, os indicadores e índices podem auxiliar na síntese de um grande volume de informações técnicas, na definição de temas prioritários e de medidas necessárias, na identificação de problemas e áreas de ação, na fixação de objetivos e metas de qualidade ambiental e na medição e divulgação de informações sobre

tendências, evolução e condições do ambiente e dos recursos naturais. Segundo Mayer (2008), governos e organizações estão usando índices para fazer escolhas entre os benefícios das atividades e seus custos para as metas de sustentabilidade. No entanto, algumas pesquisas mostram que as informações fornecidas pelos indicadores de sustentabilidade nem sempre influenciam significativamente as políticas públicas, em parte devido à comunicação inadequada (SHIELDS; ŠOLAR; MARTIN, 2002). O que desempenha um papel importante em influenciar as decisões não são as qualidades intrínsecas dos próprios indicadores, mas as percepções dos atores da política e o julgamento subjetivo sobre tais indicadores (BAULER, 2012).

A informação é essencial em todos os tipos de tomada de decisão, no entanto, a tomada de decisão deve abranger não apenas informações, mas também as diferentes possibilidades de usá-las no planejamento (INNES, 1998). O reconhecimento de como usar informações, especialmente informações científicas e técnicas, é um processo de aprendizado conduzido por teóricos de planejamento e profissionais da área. No entanto, de acordo com Gao, Christensen & Kørnø (2017), os tomadores de decisão continuam ignorando as descobertas científicas feitas pelo planejador.

Mayer (2008) ressalta a relevância de os tomadores de decisões terem uma compreensão clara de como os indicadores simples interagem entre si e influenciam os resultados do índice. As decisões políticas podem ser ineficazes ou mesmo contraproducentes se não considerarem fatores que influenciam o comportamento do índice: 1) escala dos dados disponíveis e a escolha dos limites do sistema; 2) inclusão, transformação e ponderação de dados de indicadores; e 3) método de agregação usado (MAYER, 2008).

2.3.2. Procedimento para a elaboração de indicadores

Os indicadores devem permitir que os tomadores de decisão tenham informação rápida, confiável e adequada sobre o estado daquilo que se pretende analisar. A OECD (2008) forneceu uma sequência de etapas para desenvolver e divulgar um indicador composto, as quais são elencadas a seguir.

- 1) Marco teórico;
- 2) Seleção de dados/indicadores;
- 3) Estimação de dados ausentes;
- 4) Análise multivariada;

- 5) Normalização;
- 6) Ponderação e agregação;
- 7) Análise de incertezas e de sensibilidade;
- 8) Voltar aos dados reais;
- 9) Conexões para outras variáveis;
- 10) Apresentação e visualização dos resultados.

A OECD ressalta que, apesar de cada passo ser de extrema importância, a manutenção da coerência ao longo do processo é essencial. Outra característica fundamental no processo de formulação de indicadores é a transparência (OECD, 2008).

2.3.2.1. *Marco ordenador (Marco teórico)*

Ao se trabalhar com uma quantidade relativamente grande de indicadores para analisar um fenômeno, é muito útil e importante que estes estejam de alguma forma organizados, garantindo assim maior coerência e interpretabilidade (NETO, 2006). Um marco ordenador pode ser uma simples proposta de classificação dos indicadores segundo temas e subtemas ou estar intimamente relacionado a uma concepção teórica específica sobre o fenômeno estudado (NETO, 2006).

O marco ordenador para apresentação de indicadores deve propiciar a organização dos indicadores de forma coerente, compatibilizar os indicadores, guiar durante a compilação dos dados, comunicar uma síntese aos tomadores de decisão, sugerir agrupamentos lógicos para integrar informações relacionadas, identificar lacunas de informações e distribuir a carga de geração dos dados e relatórios (CEPAL, 2004).

Em se tratando de temáticas ambientais, não há um consenso de qual marco ordenador é mais apropriado, se o ambiental ou o socioambiental (SEPE; GOMES, 2008). Apesar de haver consenso entre especialistas da área de meio ambiente de que os processos de degradação ambiental não estão dissociados da ação humana, não existe uma única proposta de como monitorar e expressar, de forma mais adequada, a relação entre condições ambientais e socioeconômicas num indicador sintético (SEPE; GOMES, 2008).

Existem diversas bases e referências teóricas sobre meio ambiente e sustentabilidade, que têm sido aperfeiçoadas ao longo dos anos. Dentre os principais

marcos ordenadores e conceituais, cabe destaque para o marco ordenador conhecido como PER (Pressão – Estado – Resposta) e suas derivações (Força Motriz – Estado – Resposta; Estado – Pressão – Impacto – Resposta; Força Motriz – Pressão – Estado – Impacto – Resposta), que foi originalmente adotado pela OECD para organizar suas estatísticas ambientais (OECD, 2003).

A partir de 2001, a *Sustainable Development Commission* (CSD) passou a adotar, em suas recomendações, um marco ordenador mais simples, que organiza o desenvolvimento sustentável em quatro dimensões: ambiental, social, econômica e institucional, e estas, por sua vez, são subdivididas em temas e sub-temas (CSD, 2001). A estrutura baseada em temas é uma estrutura conceitual mais flexível que, de acordo com Huang et al. (2015), além de organizar os indicadores em dimensões, os organiza em torno de temas ou questões relevantes para a política. Embora a estrutura baseada em temas tenha sido projetada originalmente para o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade em nível nacional, ela também pode ser usada para medir a sustentabilidade urbana em várias escalas (HUANG et al., 2015).

Dentre os estudos envolvendo a elaboração de indicadores que avaliem o sistema de drenagem urbana, não há um consenso entre qual marco seria o adequado. Silva (2016), utilizou princípios de sustentabilidade para estruturar seus indicadores, enquanto Cavalcanti Filho (2017) utilizou como base o agrupamento de indicadores utilizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento brasileiro para avaliação das águas pluviais.

2.3.2.2. *Seleção de indicadores*

A seleção, o desenvolvimento e a utilização de medidas de mensuração e avaliação da sustentabilidade, em qualquer nível, devem levar em consideração alguns critérios ou características (SILVA, 2016). De acordo com Neto (2006), essa seleção não precisa partir da “estaca zero”, pode-se e deve-se aproveitar as iniciativas existentes relatadas e ou estudadas. Os dados primários são os dados brutos, coletados diretamente em campo ou de alguma fonte de informações, sem nenhum tipo de triagem, ou seleção. Os dados analisados provêm de uma triagem e análise dos dados primários que, por sua vez, são agrupados e atribuídos os valores para elaboração dos indicadores. Por fim, os índices ou indicadores temáticos são

calculados a partir de ponderações dos indicadores agrupados (CAVALCANTI FILHO, 2017).

Diversos estudos apresentam os critérios aos quais um indicador deve atender para ser considerado um indicador, contudo, não há um conjunto universal de critérios para a seleção de indicadores que possam ser igualmente aplicados a qualquer caso. Esses critérios funcionam como filtros para o conjunto de indicadores, com o objetivo de selecionar apenas os indicadores mais apropriados à determinado sistema (SILVA, 2016).

Dentre os critérios norteadores que comumente os indicadores devem possuir, estão: Relevância (OECD, 2003; NRC, 2000; JANNUZZI, 2005; SILVA, 2016), Confiabilidade (NRC, 2000; JANNUZZI, 2005; SILVA, 2016), Sensibilidade (NRC, 2000; JANNUZZI, 2005), Factibilidade para obtenção (NRC, 2000; JANNUZZI, 2005; SILVA, 2016), dentre outros. No entanto, dificilmente um indicador atenderá de forma igualitária a todos os critérios norteadores. Nesse caso, é relevante que o formulador dos indicadores explicita quais critérios são obrigatórios e quais são desejáveis durante o processo de seleção dos indicadores.

2.3.2.3. *Estimação de dados ausentes*

Um problema identificado em grandes conjuntos de indicadores é a ocorrência de “dados faltantes” (*missing data*). Mesmo com diversas metodologias de preenchimento de dados ausentes, Assunção (2012) afirma que é necessário entender o motivo da falta de dados.

Rubin (1976) classificou os problemas de dados ausentes em três categorias, que são: 1) *Missing Completely at Random*: quando os dados faltantes surgem de forma aleatória; 2) *Missing at Random*: quando os dados faltantes dependem de variáveis preenchidas. Nesse caso é possível realizar análises sem vieses; e 3) *Missing not at Random*: nesse caso os dados faltantes são ocasionados de forma não mensurável. Esse é o mecanismo mais crítico, no que tange à aplicação de metodologias de preenchimento. De acordo com a OECD (2008) quando há razões para assumir um padrão de falta não aleatória (*Missing not at Random*), o padrão deve ser explicitamente modelado e incluído na análise. Isso pode ser muito difícil e implicar suposições *ad hoc* (para fim específico), que provavelmente influenciarão o resultado de toda a avaliação.

Existem três métodos gerais para lidar com dados ausentes: 1) exclusão de casos; 2) imputação única; e 3) imputação múltipla. O primeiro, também chamado de análise de caso completa, simplesmente omite os registros ausentes da análise. No entanto, essa abordagem ignora possíveis diferenças sistemáticas entre amostras completas e incompletas e produz estimativas imparciais apenas se os registros excluídos forem uma sub-amostra aleatória da amostra original (suposição *Missing Completely at Random*). As outras duas abordagens consideram os dados ausentes como parte da análise e tentam imputar valores por meio de uma única imputação (OECD, 2008).

Não foi identificado nenhum trabalho relacionado indicadores na área de águas pluviais que descrevesse o método de preenchimento para dados ausentes utilizado. A ausência de dados é recorrente quando da realização de análises que dependam de dados referentes a manejo de águas pluviais. De acordo com Baum e Goldenfum (2021), a ausência de uma base de dados confiáveis relacionados às águas pluviais é um dos maiores gargalos na formulação de ferramentas baseadas em indicadores.

2.3.3.4. Análise das variáveis – Normalização

Para que seja possível a agregação de indicadores e, também, a facilitação da interpretação dos resultados de indicadores simples é necessário que se proceda a normalização dos dados, com o objetivo de conferir a estes a propriedade de comensurabilidade. De acordo com Neto (2006), embora não seja o único, este é o principal objetivo de se transformar os indicadores simples: colocá-los em uma mesma escala. Apesar da comensurabilidade ser uma obrigatoriedade para elaboração de indicadores agregados, quando aplicados a um conjunto de indicadores simples, facilita a interpretação do mesmo pelo tomador de decisão.

Dentre os métodos mais tradicionais para a normalização dos dados estão os métodos de Padronização pelo score, Transformação das variáveis para valores entre 0 (zero) e 1 (um) e Escalas categóricas (Escalonamento) (NARDO et al., 2005; NETO, 2006; OECD, 2008). Além dos métodos supracitados, a OECD (2008) lista outros métodos como: Ranking, Distância para um valor de referência, Indicadores acima ou abaixo da média, Indicadores cíclicos, Balanço de opiniões e Percentagem de diferenças anuais ao longo de anos consecutivos.

Ao avaliar processos de desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade urbana, Huang et al. (2015) verificaram que estes, em sua maioria, utilizaram

metodologia de transformação das variáveis para valores entre 0 e 1, 0 e 10 e 1 e 100. Miguez & Veról (2017) utilizaram a metodologia de Ranking para normalizar indicadores que compuseram o Índice de Resiliência a Inundações. No entanto, há uma grande quantidade de estudos em que não é descrito se foi realizada normalização dos dados e, em caso de utilização, qual o método de normalização dos dados utilizado, principalmente dentre os estudos que desenvolvem apenas indicadores simples, como Cavalcanti Filho (2017) e Silva (2016), que propuseram indicadores para avaliar as águas pluviais no meio urbano no Brasil.

2.3.3.5. Agregação e ponderação

Após estabelecida a comensurabilidade entre os resultados dos indicadores simples, caso se pretenda formular indicadores compostos, são realizadas as etapas de agregação e de ponderação.

Agregação

A agregação é um processo que condensa as informações dos indicadores em um único item de informação (BOULANGER, 2008). Os componentes resultantes dessas técnicas de redução e agregação devem preservar o comportamento total do sistema, apenas simplificando a observação e sua interpretação. De acordo com Lindholm et al. (2007), a agregação pode ser realizada em três níveis: 1) A não agregação, caso os indicadores satisfaçam as necessidades de forma separada; 2) A agregação em dimensões (ambiental, social e econômica) e, para cada uma das dimensões, apurar um índice; e 3) com base no nível 1 ou 2, os indicadores são ponderados e agregados em um índice geral.

Ponderação

Quanto a atribuição de pesos, as principais metodologias e métodos utilizados para ponderação de variáveis podem ser divididas em três grupos: as metodologias participativas (Método Delphi e Análise Conjunta), metodologias de análise multivariada (Análise Fatorial e Análise dos Componentes Principais) e metodologias de análise multicritério (Métodos baseados na teoria de utilidade-multiatributo: Método PAH e Métodos seletivos: ELECTRE e PROMETHEE). Para além dessas metodologias citadas, que são as mais conhecidas, há diversos outros métodos existentes.

As metodologias participativas por muito tempo foram as mais utilizadas. No entanto, devido principalmente ao grau de subjetividade que envolve a opinião de

especialistas, essas metodologias atualmente são mais utilizadas em associação com outras metodologias, como as de análise multicritério. Segundo Verma & Raghubanshi (2018), atualmente as estatísticas multivariadas têm se apresentado como as metodologias mais úteis.

Além das metodologias supracitadas, cabe destacar os métodos de Análise Multicritério, que se tem relatos de utilização desde os anos de 1960, como instrumento ao suporte à tomada de decisão em diversas áreas. O método destina-se a ajudar os decisores a integrar diferentes opções em suas ações, com reflexão e análise sobre a opinião de diversos atores ou especialistas (SILVA, 2016). Independentemente do método multicritério adotado, a determinação dos pesos é extremamente complexa, pois é impossível dissociá-la da subjetividade, intrínseca na opinião pessoal. Dito isso, assim como nas demais etapas de desenvolvimento de um indicador, é fundamental que o método de ponderação seja compreensível a quem interpreta os resultados dos indicadores, além da necessidade de possuir uma base teórica ou raciocínio lógico que garanta credibilidade e aceitação na atribuição de pesos (ZONENSEIN, 2007).

Para a atribuição de pesos na formulação de indicadores compostos relacionados a águas pluviais há uma grande diversidade entre os métodos multicritérios utilizados, sendo possível observar que, o método escolhido varia muito em função dos resultados que se pretende obter. No caso de indicadores de desempenho (para definir qual a melhor alternativa), por exemplo, são adotadas metodologias de ponderação, como ELECTRE e PROMETHEE. Já para indicadores de processo (que permitem visualizar a situação de um sistema) são utilizadas outras metodologias, como Processo de Análise Hierárquica. Castro et al. (2004) utilizaram dois métodos multicritérios (estatísticos) para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana: o Electre III e o Programação de Compromisso (com auxílio de especialistas). Martin et al. (2007) também utilizou o método Electre III para auxílio à decisão para melhores práticas de gerenciamento de águas pluviais. Silva (2016) utilizou o método Processo de Análise Hierárquica (PAH) (com auxílio de especialistas) para seleção de indicadores adequados ao monitoramento dos problemas relacionados ao manejo de águas pluviais. Zonensein (2007) utilizou também o PAH para atribuição de pesos para indicadores relacionados a risco de cheia (sem auxílio de especialistas).

2.3.3.6. Análise de incertezas e de sensibilidade

O desenvolvimento de indicadores compostos envolve, de acordo com a OECD (2008) etapas em que julgamentos subjetivos devem ser feitos, como a seleção de indicadores individuais, tratamento de valores ausentes, escolha do método de normalização e do modelo de agregação, peso dos indicadores simples, entre outras. Todas essas opções subjetivas estruturam o indicador composto e, juntamente com as informações fornecidas pelos próprios números, moldam a mensagem comunicada pelo indicador composto (OECD, 2008). Como esses índices podem enviar mensagens políticas não robustas se forem mal construídos ou mal interpretados, é importante que sua sensibilidade seja testada adequadamente (ESTY et al., 2005).

Análises de sensibilidade podem melhorar a exatidão, credibilidade e interpretabilidade dos resultados. As verificações de sensibilidade podem ajudar a distinguir entre diferenças significativas e insignificantes, minimizando o risco de erros de interpretação (OECD, 2008). Um indicador composto pode ser comparado a um modelo. Como a qualidade de um modelo também depende da solidez de suas suposições, as boas práticas de modelagem exigem que o modelador forneça uma avaliação da confiança no modelo, avaliando as incertezas associadas ao processo de modelagem e as escolhas subjetivas tomadas (OECD, 2008).

A análise de sensibilidade é o estudo de como a variação na produção pode ser distribuída, qualitativa ou quantitativamente, a diferentes fontes de variação nas premissas e de como o indicador composto fornecido depende das informações fornecidas. Portanto, a análise de sensibilidade está fortemente relacionada à análise da incerteza. Uma combinação de análise de incerteza e sensibilidade pode auxiliar na avaliação da robustez da classificação composta de indicadores e aumentar sua transparência. Na prática, a configuração da análise dependerá de quais fontes de incerteza e quais premissas o analista considera relevantes para uma aplicação específica (OECD, 2008).

A análise de sensibilidade da ponderação atribuída aos indicadores simples permite o seu aperfeiçoamento, com a inclusão de técnicas estatísticas para a avaliação da recomposição das importâncias entre os aspectos na construção do modelo conceitual (PADILHA et al., 2014). Ao analisarem a sensibilidade de indicadores formulados para avaliação de fragilidades ambientais em apoio à gestão ambiental, Padilha et al. (2014) observaram que a mesma permitiu o refinamento de

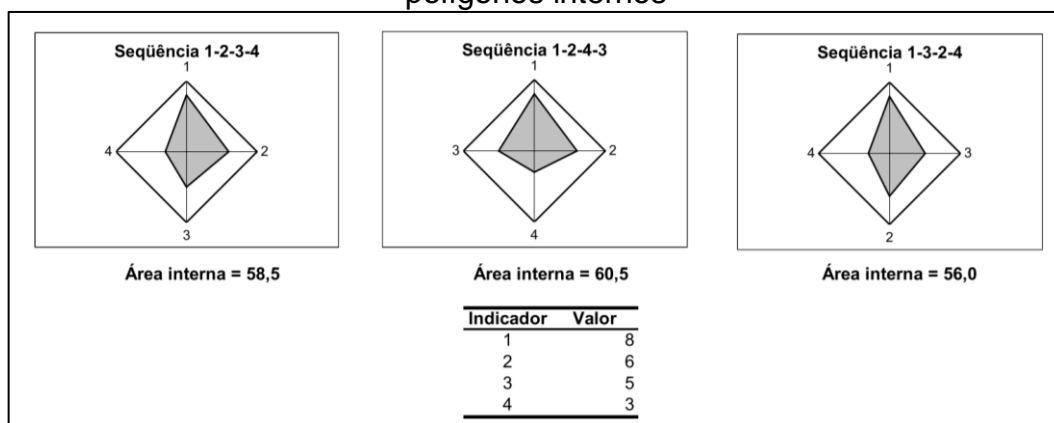
uma avaliação multicritério, pelo fato de agregar maior consistência na avaliação de um conjunto de dados em um modelo de análise ambiental.

2.3.3.7. Apresentação e visualização dos resultados

A maneira como os indicadores compostos são apresentados aos tomadores de decisão não é uma questão comum e deve ser estruturada de acordo com o objetivo que se quer demonstrar e com o público que irá utilizar, de forma que seja compreensiva e que não gere múltiplas interpretações (OECD, 2008). Os indicadores compostos devem ser capazes de comunicar uma história aos tomadores de decisão e outros usuários finais com rapidez e precisão (OECD, 2008). As tabelas, apesar de fornecerem as informações completas, às vezes podem ocultar problemas sensíveis imediatamente visíveis com uma representação gráfica. Portanto, o apresentador precisa decidir, em cada situação, se deve incluir uma tabela, um gráfico ou ambos (OECD, 2008).

Uma opção para representação dos resultados dos indicadores é utilizando figuras geométricas, também conhecidos como gráficos tipo teia. Neto (2006) destaca que, no entanto, a principal limitação associada a esse formato diz respeito a comparação da área interna resultante do conjunto de indicadores com a área dada total da figura, uma vez que a forma como os indicadores são dispostos pode alterar a área ocupada, induzindo o interpretador a diferentes conclusões. Um exemplo é apresentado na Figura a seguir.

Figura 3 - Representação de quatro indicadores com os mesmos valores dispostos de forma radial, segundo três seqüências distintas e a respectivas áreas dos polígonos internos



Fonte: Neto (2006).

Outra forma de apresentação de resultados de indicadores, principalmente quando se refere a um conjunto de municípios, é pela utilização de cartogramas. Esse formato de apresentação permite uma visualização do resultado de forma rápida e fácil, geralmente por uma paleta de cores, além da comparação imediata com o resultado dos demais municípios, por exemplo (NETO, 2006). Esse formato de apresentação também apresenta como vantagem o acréscimo de outras informações, localizar eixos de desenvolvimento, por exemplo, ao longo de corredores de transporte ou da rede hidrográfica. No entanto, sua maior limitação é que podem ser representadas poucas ou somente uma variável a cada cartograma. Nesse caso, para representar os indicadores construtivos de um indicador composto, são necessários vários cartogramas (NETO, 2006). Zonensein (2007) utilizou esse método para representar resultados de um Índice de Risco de Cheia, aplicado em uma bacia hidrográfica, sendo realizadas pequenas subdivisões da bacia. Apesar da vantagem de uma boa representação espacial, a autora necessitou processar diversos mapas dos indicadores que compõem o índice.

2.4. USO DE INDICADORES NO GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

O planejamento e gerenciamento das águas pluviais no meio urbano é um dos elementos essenciais para minimizar os impactos materiais e humanos decorrentes de eventos hidrológicos extremos. A carência de conhecimento dos entes envolvidos sobre o sistema de águas pluviais, no entanto, limita que muitas ações, tanto estruturais como não estruturais, sejam planejadas e implementadas. Dentre as ferramentas de suporte para que haja avanços no setor, estão os indicadores que, apesar da reconhecida utilidade, necessitam de evolução para serem utilizados de forma ampla no cotidiano por agentes públicos.

2.4.1. Evolução dos indicadores de águas pluviais no mundo

Os indicadores, que permitem a síntese de um grande volume de informações técnicas, começaram a ser utilizados como ferramenta para a tomada de decisões na área ambiental, de forma mais efetiva, no final do século XX na América do Sul. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), ainda em 1995, vislumbrou que os indicadores de desenvolvimento sustentável poderiam tornar-se uma importante ferramenta para alertar os tomadores de decisão, resumindo informações-chave derivadas de muitos setores diferentes (UNEP-DPCSD, 1995).

A necessidade de suporte para solução de problemas cada vez mais complexos é o que conduz à evolução dos indicadores na área de águas pluviais urbanas. Nos primeiros anos do século XXI, os indicadores relacionados às águas pluviais urbanas tinham como principal objetivo a avaliação de desempenho de novas estruturas de drenagem de águas pluviais. Baptista et al. (2005) apresentam uma metodologia de auxílio à decisão e um software relacionado aos sistemas urbanos de águas pluviais, dedicado à fase de avaliação, baseado na definição de um índice de desempenho global e um indicador de custo; Já Kolsky & Butler (2002) descreveram os aspectos conceituais e práticos dos indicadores de desempenho da drenagem de águas pluviais urbanas.

Nesse mesmo período, métodos de análise multicritério, baseados em indicadores, para auxiliar na resolução de problemas ambientais despontaram, sendo aplicados também na gestão de águas pluviais urbanas. Martin, Ruperd & Legret (2007) utilizaram essa metodologia para avaliar o desempenho de diferentes *Best Management Practices* (BMP's), baseados em indicadores de diferentes áreas. Jia et al. (2013) desenvolveram um sistema de índice de seleção multicritério para o planejamento de técnicas *Low Impact Development - Best Management Practices* (LID-BMP). Embora a evidente aplicação prática dos indicadores de desempenho, Kolsky & Butler (2002) destacaram o desafio de encontrar indicadores que fossem válidos, relativamente fáceis de medir e úteis para o tomador de decisão. Os mesmos autores destacaram que os indicadores de processo, que descrevem o estado do sistema de drenagem urbana (que por sua vez determina o desempenho), podem ser muito mais práticos do que os indicadores de desempenho, tanto em medição quanto em uso (KOLSKY; BUTLER, 2002).

Dentre os indicadores de processo para gestão das águas pluviais no meio urbano, cabe destacar os indicadores de previsão, os quais têm evoluído ao longo dos anos e auxiliam na gestão de risco de eventos extremos em áreas urbanas. Existem vários métodos para avaliar a fragilidade ou vulnerabilidade de uma área, porém, desde o início dos anos 2000, a abordagem qualitativa da vulnerabilidade em riscos de inundação tornou-se mais importante (BARROCA et al., 2006). Estudos mais recentes têm avaliado a capacidade de resiliência de sistemas urbanos diante de eventos extremos. De acordo com Bertilsson et al. (2019), a resiliência às inundações pode ser modelada e espacializada por um índice multicritério e, ao incluir o conceito

de resiliência na análise de risco de inundação e na tomada de decisões, o projeto de drenagem urbana se move em direção a sistemas de drenagem sustentáveis.

Para que os sistemas de gestão e manejo das águas pluviais urbanas sejam sustentáveis, é necessária a interligação destes com outros sistemas que compõem o ambiente urbano. A relação entre os indicadores de planejamento urbano e os indicadores de drenagem urbana é importante, pois permite uma gestão integrada da expansão urbana das cidades (TUCCI, 2008b). No Brasil, são verificados também estudos recentes relacionados a indicadores que avaliam a gestão das águas pluviais em um contexto mais amplo, envolvendo, para além da drenagem e manejo das águas pluviais, também aspectos institucionais, econômicos e sociais (e.g.; CAVALCANTI FILHO, 2017; SILVA, 2016). No entanto, conforme Kaur & Garg (2019), a falta de uma lista abrangente de indicadores para o desenvolvimento urbano sustentável dificulta a avaliação da sustentabilidade urbana em contextos variados. As ferramentas baseadas em indicadores comumente possuem uma estrutura que pode ser extrapolada para outros países com semelhanças climáticas e culturais, contudo, devido ao conceito de sustentabilidade variar de região para região, os indicadores para medi-las devem ser adequados às condições específicas do contexto da região em estudo (BRAULIO-GONZALO; BOVEA; RUÁ, 2015), limitando a difusão de ferramentas existentes.

2.4.2. Indicadores dos serviços de saneamento básico no Brasil

Indicadores de saneamento vêm sendo usados, no Brasil, na avaliação e diagnóstico para auxiliar no estabelecimento de prioridades no direcionamento de políticas públicas que visem o melhoramento dos serviços prestados (CAVALCANTI FILHO, 2017). Em âmbito governamental, com vistas a formação de uma série histórica de informações e indicadores do setor saneamento no Brasil, desde 1995 são coletadas informações sobre água e esgoto, desde 2002 sobre resíduos sólidos e a coleta de informações sobre águas pluviais desde 2015, atualmente disponíveis por meio do SNIS.

O PLANSAB de 2019 apresenta a caracterização adotada para atendimento adequado e déficit, considerando os indicadores e as variáveis existentes e passíveis de caracterizar o acesso domiciliar aos serviços de águas de abastecimento, esgotamento sanitário e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2019). Diferentemente dos demais componentes do saneamento básico, avaliar o

manejo e drenagem de águas pluviais urbanas apenas por índices de cobertura ou atendimento per capita (CAVALCANTI FILHO, 2017; SOUZA, 2013) dificulta a verificação de desempenho do sistema (KOLSKY; BUTLER, 2002). No entanto, dadas as suas particularidades, a fragilidade de algumas informações fornecidas para cálculos de indicadores de saneamento é observada para todos os serviços (BRASIL, 2019; SNIS, 2020).

O uso de dados e indicadores de um território e de sua população é uma prática útil para a compreensão das vulnerabilidades locais e para a elaboração de políticas públicas e intervenções que visem fazer frente a essas vulnerabilidades e aos problemas a elas associados (LAZZARINI et al., 2020). Em muitos casos, a importância dos indicadores para a definição de políticas públicas não é explícita, mas é fundamental para a assertividade da política. A título de exemplificação, temos a pesquisa promovida pela Funasa (ESCODA, 2005) sobre a efetividade das ações de saneamento no Rio Grande do Norte, no período 2002-2003, que testou a seguinte hipótese: quanto maior fosse o volume de financiamento das ações estruturais de saneamento pela Fundação, maior seria o impacto na redução de indicadores de morbimortalidade específicos. Foi produzido um ranking da correlação dos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH-m) com os de Saneamento Básico e Indicadores Epidemiológicos que mostrou correlação entre a integralidade e a efetividade das ações financiadas, ou seja, se as ações de financiamento foram integrais, intervindo nas três dimensões do saneamento (água, esgoto e coleta de resíduos sólidos), o impacto nos indicadores epidemiológicos foi considerável, embora a integralidade não predomine.

A utilização de indicadores de saneamento para planejamento municipal é incipiente. Há municípios que já possuem em seus Planos Municipais de Saneamento Básico indicadores, no entanto, a efetivação do uso dos resultados é pouco divulgada, quando utilizada. Há iniciativas que buscam a promoção da utilização de indicadores na gestão municipal, como o Guia de Indicadores para a Gestão Pública, lançado pelo Programa Cidades Sustentáveis (PCS) com vistas a orientar e incentivar os gestores e técnicos das prefeituras a utilizar dados e indicadores como instrumentos de gestão e planejamento municipal (PCS, 2021).

2.4.3. Indicadores de águas pluviais urbanas no Brasil

Os indicadores governamentais brasileiros relacionados às águas pluviais urbanas até poucos anos atrás eram, no geral, muito restritos. O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) dispunha de 23 indicadores de saneamento, dos quais apenas um (01) era relacionado à drenagem urbana, apresentando o percentual de municípios atingidos ou não por inundações e alagamentos (BRASIL, 2014). A estruturação de coleta de dados realizada através do SNIS referente ao manejo e drenagem de águas pluviais, que congrega 25 indicadores e 125 informações, em quatro campos de análise, a partir de 2015, ampliou o conhecimento sobre a realidade das águas pluviais nos municípios brasileiros (SNIS-AP, 2018).

O conjunto de indicadores do SNIS-AP pode ser considerado um conjunto de indicadores mínimos essenciais. Apesar dos entraves relacionados aos dados declarados e a quem os declara, que limitam o uso dessas informações de forma ampla, os diagnósticos de drenagem e manejo das águas pluviais do SNIS, no longo prazo, constituirão séries históricas de diversas informações que darão nova dimensão à tomada de decisão nesse setor (BAUM; GOLDENFUM, 2021).

No âmbito municipal, aos poucos, os municípios têm desenvolvido seus Planos de Drenagem Urbana. De acordo com o SNIS-AP (2019), 18 capitais brasileiras (69,2%) possuem planos diretores de drenagem e manejo das águas pluviais. Destes, em 2020, apenas quatro possuem um sistema de indicadores de drenagem e águas pluviais propostos, sendo: Fortaleza, Vitória, Brasília, São Paulo, conforme estabelece a Lei Federal nº 11.445/2007. No entanto, nestes planos que possuem sistemas de indicadores não é apresentada a frequência em que os mesmos devem ser aplicados e, tampouco, trata da disponibilização e divulgação das informações que alimentam os indicadores e os resultados dos mesmos. A publicidade dos indicadores, além de informar a condição de determinada atividade ou processo, torna a gestão transparente e permite que a sociedade possa contribuir (BAUM; GOLDENFUM, 2021).

Muitos dos avanços obtidos no âmbito governamental partem de iniciativas acadêmicas. Nas últimas décadas, no Brasil foram produzidos e divulgados indicadores e índices relacionados ao manejo e drenagem de águas pluviais e inundações urbanas de maneira diversa (Quadro 3).

Quadro 3 - Indicadores e índices desenvolvidos por pesquisadores para a realidade brasileira

| Nome do Conjunto de Indicadores ou do Índice | Autoria e Ano |
|---|--|
| Indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana | Castro & Baptista (2004) |
| Indicadores para avaliação de sistemas de drenagem | Brito (2006) |
| Indicadores da Drenagem Urbana Sustentável | Marques (2006) |
| Índice de Vulnerabilidade Composto | Szlafsztein & Sterr (2007) |
| Índice de Risco de Cheia | Zonensein (2007) |
| Índices de desempenho e de custos de sistemas de drenagem urbana | Moura, Baptista & Barraud (2009) |
| Indicadores para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água | Castro, Baptista & Barraud (2009) |
| Índice de Risco de Alagamento | Holz (2010) |
| Indicadores de desempenho para sistemas de infiltração de águas pluviais urbanas | Moura, Barraud & Baptista (2010) |
| Índice de vulnerabilidade urbana | Perez (2013) |
| Indicadores de sustentabilidade para avaliação do sistema de drenagem urbana | Ripol e Silva, Pinheiro & Lopes (2013) |
| Índice de Fragilidade do Sistema | Santos Júnior (2014) |
| Índices de resiliência hídrica e de perigo para gestão do risco de inundações urbanas | Rotava (2014) |
| Indicadores de sustentabilidade para manejo de águas pluviais | Silva (2016) |
| Índice de vulnerabilidade a inundações | Rasch (2016) |
| Índice de vulnerabilidade a inundações repentinas e Índice de vulnerabilidade a escorregamentos | Debortoli et al. (2017) |
| Índice de Resiliência de Inundações | Miguez & Veról (2017) |
| Indicadores do sistema de drenagem urbana e manejo de águas pluviais | Cavalcanti Filho (2017) |
| Índice de resiliência a inundações urbanas | Rezende et al. (2019) |
| Índice espacializado de resiliência a inundações urbanas | Bertilsson et al. (2019) |
| Índice de Restauração de Rio Urbano | Veról et al. (2019) |
| Indicadores da conservação ambiental de riachos urbanos | Cometti, Cabral & Conceição (2019) |
| Índice Simplificado de Risco de Cheias | Miranda et al. (2019) |
| Indicadores de desempenho de sistema de drenagem urbana | Mendonça & Souza (2019) |
| Índice de Risco de Capacidade de Recuperação Socioeconômica | Rezende et al. (2020) |
| Índice de Risco de Inundação | Pereira et al. (2020) |
| Índice de qualidade de vida melhorado | McClymont et al. (2020) |

Observação: Para trabalhos desenvolvidos em dissertações ou teses e publicados no formato de artigo, foram citados apenas os artigos.

Fonte: Adaptado de Baum & Goldenfum (2021).

Alguns dos indicadores propostos são complementados por trabalhos produzidos anteriormente, como é o caso Miguez & Veról (2017), que utilizaram os indicadores produzidos por Zonensein (2007). Contudo, na maioria dos trabalhos foram desenvolvidos ou apresentados indicadores diversos. Conforme Marques (2006), os indicadores não são produtos universais e acabados, sendo imprescindível revisões que conduzam a ajustes e adaptações ao contexto em que serão utilizados, principalmente no que diz respeito à parametrização deles.

Os indicadores e índices relacionados à avaliação de alternativas para controle das águas pluviais, como os propostos por Castro & Baptista (2004), Moura, Baptista & Barraud (2009) e Moura, Barraud & Baptista (2010), apresentam maior aplicabilidade prática quando já foram identificados os problemas existentes relacionados ao sistema de águas pluviais. Estes indicadores se aplicam bem para monitorar o desempenho de estruturas já existentes ou que estão sendo avaliadas para futuras instalações, sendo relevante a sua utilização como ferramenta de gestão em escala local, por exemplo; porém, por englobarem análises relacionadas às estruturas, a escala de aplicação destes pode ser até mesmo global. Contudo, Castro & Baptista (2004) ressaltam a conveniência da adoção de ajustes e complementações, com a introdução de novos indicadores, contemplando aspectos jurídicos, ecológicos, culturais, econômico-financeiros e outros julgados pertinentes, de forma a tornar mais eficiente o uso da metodologia.

Já os indicadores e índices que envolvem gestão de risco, eventos extremos e/ou resiliência, como os propostos por Bertilsson et al. (2019), Holz (2010), Miguez & Veról (2017), Miranda et al. (2019), Perez (2013), Rezende et al. (2020), Rotava (2014) e Zonensein (2007), assim como os indicadores propostos por Castro, Baptista & Barraud (2009) e Cometti, Cabral & Conceição (2019), que envolvem a avaliação dos corpos hídricos, por possuírem variáveis socioeconômicas em sua composição apresentam restrições em sua escala de aplicação, principalmente em países como o Brasil, de elevada desigualdade.

Os índices que envolvem gestão de risco, eventos extremos e/ou resiliência, quando incluídos em um sistema de indicadores para o gerenciamento das águas pluviais urbanas, permitem uma visão global dos problemas existentes, não somente da gestão de risco, como também das questões estruturais e institucionais do sistema de águas pluviais urbanas, por exemplo. No entanto, Debortoli et al. (2017) atentam que a construção de um único índice de vulnerabilidade para o Brasil pode mascarar importantes condicionantes regionais e diferentes pesos relativos entre as variáveis utilizadas para representar cada fenômeno e, por esse motivo, recomendam o desenvolvimento de índices semelhantes com vistas ao desenvolvimento, porém com uma abordagem que considere aspectos regionais ou locais, considerando as especificidades inerentes. Rasch (2016) destaca também para os perigos de avaliar a vulnerabilidade usando medidas agregadas de status socioeconômico em países de renda média com altos níveis de desigualdade, onde a presença de populações

vulneráveis em assentamentos informais em municípios altamente desenvolvidos pode ser mascarada.

Para a gestão efetiva das águas pluviais, a Lei Federal nº 11.445/2007 estabelece que os serviços públicos de saneamento básico, incluindo o manejo e drenagem de águas pluviais, devem observar o Plano Municipal de Saneamento Básico ou o Plano Diretor de Drenagem Urbana. Estes documentos devem abranger, dentre os conteúdos mínimos, um diagnóstico da situação e de seus impactos nas condições de vida, utilizando um sistema de indicadores que contemple as áreas temáticas: 1) Sanitária; 2) Epidemiológica; 3) Ambiental; e 4) Socioeconômica, apontando as causas das deficiências identificadas (BRASIL, 2007).

Dentre as publicações apresentadas no Quadro 3, Cavalcanti Filho (2017), Marques (2006) e Silva (2016) propuseram sistemas de indicadores que representassem o sistema de drenagem e que pudessem ser utilizados pela administração pública no gerenciamento de águas pluviais urbanas. Os indicadores propostos por Marques (2006) contemplam as quatro áreas temáticas requeridas (Sanitária, Epidemiológica, Ambiental e Socioeconômica) estipuladas na Lei Federal nº 11.445/2007. No entanto, há lacunas na gestão de risco, como o mapeamento das áreas impactadas por eventos extremos, população atingida e existência de plano de emergência. Os indicadores propostos por Silva (2016) contemplam as áreas temáticas requeridas pela legislação, com exceção da área epidemiológica, enquanto os indicadores propostos por Cavalcanti Filho (2017) atendem ao básico em todos aspectos requeridos. No entanto, não basta que os conjuntos de indicadores atendam apenas a determinados requisitos pré-determinados, eles também devem ser aplicáveis. Von Ancken, Teixeira & Silva (2017), ao aplicarem os indicadores elencados por Silva (2016), observaram que muitos dos indicadores propostos são de difícil determinação, sobretudo pela ausência de dados disponíveis em fontes secundárias.

Cabe aqui destacar que, apesar da Lei Federal nº 11.445/2007 estabelecer áreas temáticas mínimas que um conjunto de indicadores deve abranger, o conjunto de indicadores do SNIS-AP não abrange essas quatro áreas (Sanitária, Epidemiológica, Ambiental e Socioeconômica). A divulgação dos dados sobre manejo e drenagem de águas pluviais do SNIS-AP é realizada por meio de indicadores e informações em quatro campos de análise: 1) Econômico-financeiras e administrativas; 2) Infraestrutura; 3) Manutenção; e 4) Gestão de risco (SNIS-AP,

2020). Apesar dos nomes distintos das áreas temáticas propostas pela Lei Federal nº 11.445/2007, várias delas se complementam, com exceção da área temática Epidemiológica, que não possui nenhum indicador diretamente relacionado no conjunto de indicadores do SNIS-AP.

2.4.4. Oportunidades de evolução

Os conjuntos de indicadores desenvolvidos para a realidade brasileira demonstram a existência de elevada diversidade destas ferramentas. A manutenção e monitoramento de indicadores permite, no longo prazo, a constituição de uma série histórica de seus resultados, importante objeto para tomadores de decisão, como no caso do gerenciamento de drenagem e manejo das águas pluviais. Diferentemente do SNIS, que reconhece que a coleta de dados e informações deu início à uma série histórica (SNIS-AP, 2020), alguns decisores, como o governo de São Paulo, por exemplo, consideram que o número de indicadores precisa ser revisado continuamente, com a inclusão de novos, retirada de outros ou mesmo reformulações destes, visando o atendimento às expectativas do gerenciamento da drenagem urbana (SÃO PAULO, 2012). Essa possível descontinuidade na coleta de informações não permite a avaliação de desempenho do sistema ao longo dos anos, dificultando a avaliação da efetividade de políticas existentes e a formulação de novas (BAUM; GOLDENFUM, 2021).

Outro aspecto relacionado à gestão pública das águas pluviais que deve ser considerado é a unidade espacial da gestão. No Brasil, os municípios são os responsáveis pelo planejamento dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, sendo este realizado em escala municipal. No entanto, como é sabido, o processo natural de drenagem das águas pluviais ocorre em escala de bacia hidrográfica e, raramente, os limites dos municípios seguem os limites hidrográficos, o que gera impasses na gestão da drenagem das águas pluviais urbanas, principalmente em regiões em que as áreas urbanas de diferentes municípios pertencem a uma mesma bacia hidrográfica. Como alternativa, a recente Lei Federal nº 14.026/2020 admite a formalização de consórcios intermunicipais de saneamento básico, exclusivamente compostos por municípios, que poderão prestar o serviço aos seus consorciados diretamente, pela instituição de autarquia intermunicipal, além do estabelecimento de blocos de referência, que permitirá a prestação regionalizada dos serviços de saneamento (BRASIL, 2020). A legislação aprovada ainda induz o

município a participar dos blocos regionais, uma vez que o ente municipal que não aderir ao bloco regional não terá prioridade na captação de investimentos federais (BRASIL, 2020). Ademais, a prestação regionalizada permite que haja maior compatibilidade entre as ações realizadas no serviço de drenagem urbana em diferentes municípios pertencentes a uma mesma bacia hidrográfica, desde que pertençam a um mesmo bloco.

Rasch (2016) assegura que a má governança, caracterizada por assentamentos informais e favelas, é um problema que assola todas as regiões do Brasil, mesmo em municípios com níveis relativamente altos de *status* socioeconômico. Até 2020 não havia uma agência nacional responsável pelas normas de referências para a área de saneamento no Brasil. A Lei Federal nº 14.026/2020 delegou à atual Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) essas atribuições (BRASIL, 2020), sendo que é esperada uma padronização de abrangência nacional e o estabelecimento de parâmetros mínimos a serem observados. Outro aspecto relacionado à má governança das águas pluviais está relacionado aos serviços de saneamento, onde a prioridade dos avanços de gestão se dá em relação aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. A Portaria 719/2018 institui uma metodologia para auditoria e certificação de informações do SNIS, porém somente relacionada aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (BRASIL, 2018b).

A ausência de uma base de dados confiáveis relacionados às águas pluviais é um dos maiores entraves na formulação de ferramentas baseadas em indicadores. Moura, Baptista & Barraud (2009), durante o desenvolvimento do conjunto de indicadores para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água, destacam não só a indisponibilidade efetiva de informações, como também a dificuldade de coleta dados (quando existentes), uma vez que se encontram, normalmente, organizados de forma precária. Esse entrave na formulação de ferramentas baseadas em indicadores pode induzir os formuladores a inferências, simplificações e estimativas que prejudicam a qualidade e a confiabilidade dos resultados (MOURA; BAPTISTA; BARRAUD, 2009).

Além da utilização dos resultados dos indicadores pelos gestores públicos para direcionar investimentos e compreender o sistema de águas pluviais urbanas, estes devem ser mais explorados para validar o desenvolvimento de políticas públicas (BAUM; GOLDENFUM, 2021). Devido ao elevado custo de muitas das obras e de muitas não serem percebidas ou serem utilizadas intermitentemente, apesar da

reconhecida importância da infraestrutura de drenagem, esse tipo de infraestrutura é negligenciada (NICKEL, 2018). Marlow et al. (2013) destacam, no entanto, que pressões associadas às mudanças climáticas e mudanças nas populações e demografias têm potencial para mudar essa situação, reconhecendo a importância da infraestrutura de drenagem.

O desenvolvimento e a utilização de indicadores que auxiliem no gerenciamento da drenagem e manejo das águas pluviais em países como o Brasil, em desenvolvimento e com vasto território, que abriga ampla diversidade, têm muito a evoluir. Estratégias para o gerenciamento sustentável das águas pluviais são necessárias em diferentes níveis de decisão (em escala política, regional ou local, por exemplo), mas todas elas precisam de informações e um entendimento claro das possibilidades que estão em jogo, bem como das principais consequências de cada decisão (BARBOSA; FERNANDES; DAVID, 2012).

2.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A sustentabilidade dos sistemas de águas pluviais é ainda um desafio para países em desenvolvimento, como o Brasil. Além de entraves diretamente relacionados a estes sistemas, problemas relacionados à precariedade de esgotamento sanitário e de saúde pública relacionados às deficiências no sistema de saneamento básico são colocadas como prioritárias em detrimento aos serviços de drenagem urbana pelos governantes.

O planejamento e gerenciamento das águas pluviais no meio urbano é um dos elementos essenciais para minimizar os impactos materiais e humanos decorrentes de eventos hidrológicos. Ao longo do tempo, diversos estudos apresentaram técnicas de drenagem com desempenho comprovado para redução dos impactos das águas pluviais em meio urbano, no entanto, tanto o desconhecimento dos entes envolvidos em relação ao sistema de drenagem das águas pluviais quanto a escassez de recursos financeiros contínuos e suficientes limitam a adoção de medidas que solucionem os problemas.

No caso brasileiro, em que os sistemas de águas pluviais urbanas são de responsabilidade dos municípios, além dos problemas financeiros e institucionais, os municípios possuem características climáticas, fisiográficas, socioculturais e/ou econômicas distintas, o que dificulta a aplicabilidade de diversas ferramentas de

gerenciamento pelos responsáveis, devido a elas serem desenvolvidas, frequentemente, baseadas em uma única realidade.

Os indicadores são ferramentas que permitem a síntese de uma grande quantidade de informações e são amplamente utilizados para a tomada de decisão. A utilização pelos municípios brasileiros de indicadores para gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas ainda é reduzida. Aproximadamente um terço dos municípios não preenche os dados para o cálculo dos indicadores do SNIS-AP e, dentre os que preenchem, é possível identificar dificuldade de compreensão e preenchimento por parte de vários respondentes. Diante da reduzida capacidade técnica existente nos municípios, é questionável até que ponto os resultados dos indicadores são utilizados de forma adequada pelos gestores municipais (e se são utilizados) para a tomada de decisão.

Os indicadores relacionados às águas pluviais formulados para a realidade brasileira, principalmente na última década, estão relacionados principalmente à previsão ou vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos. Apesar de essenciais, os indicadores de previsão ou vulnerabilidade a eventos hidrológicos fornecem informações para a tomada de decisão parcial sobre o contexto que abrange as águas pluviais em ambiente urbano. Dessa forma, é importante que haja expansão de indicadores que contemplem outras áreas diretamente relacionadas às águas pluviais e inter-relacionadas (como econômica e institucional) e que permitam a criação de um banco de dados consolidado, além do desenvolvimento de indicadores adaptativos a aspectos regionais.

Ferramentas para uso no gerenciamento das águas pluviais urbanas devem ser adaptativas, porém partindo de uma base conceitual consolidada. Estas devem possuir capacidade de análise diante de vários cenários, permitindo o uso mais abrangente das mesmas, além de padronização de informações que possibilitem o desenvolvimento de políticas públicas mais efetivas e assertivas. É igualmente importante que as ferramentas e políticas públicas urbanas sejam integradas, devendo-se durante sua formulação a observação das demais políticas existentes.

Por fim, destaca-se a elevada subjetividade e incertezas associadas à construção de indicadores e índices e à percepção e interpretação dos resultados dos indicadores para gerenciamento de águas pluviais urbanas pelos tomadores de decisão, além da ausência de estudos relacionados a mecanismos que auxiliem na utilização desses resultados, lacunas estas que esse estudo pretende suprir por meio

de uma ferramenta que, para além de indicadores que abrangem conteúdos mínimos determinados no ordenamento jurídico, explique quais resultados demandam mais atenção e indique alternativas para minimizar os problemas existentes, reduzindo a subjetividade associada à tomada de decisão.

Tal ferramenta se mostra como uma iniciativa promissora, não só pela possibilidade de despertar o interesse no desenvolvimento e aprimoramento de mecanismos para o gerenciamento e tomada de decisão em relação às águas pluviais (que a tornem menos subjetiva) no contexto brasileiro, como pela possibilidade de municípios pequenos e médios, que possuem restrições orçamentárias, técnicas e humanas, compreenderem as principais restrições existentes no setor de águas pluviais e possíveis alternativas para atenuá-las ou mitigá-las.

3. METODOLOGIA

3.1. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Esse trabalho foi estruturado a partir de oportunidades de evolução no âmbito de indicadores para gerenciamento municipal do manejo das águas pluviais urbanas e é composto por três etapas principais. Primeiramente foram identificados os problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas existentes em municípios de até cem mil habitantes. A segunda etapa abrange a estruturação de um conjunto de indicadores simples e cinco indicadores compostos. Ainda nessa etapa, foram relacionados os resultados dos indicadores com os problemas existentes. Por fim, na terceira etapa foram elencadas medidas mitigadoras possíveis para problemas de águas pluviais urbanas.

Inicialmente foram identificados e listados os problemas de manejo das águas pluviais no ambiente urbano, os quais serviram de base para identificação dos indicadores simples adequados. Também, foram organizadas medidas mitigadoras possíveis conforme os problemas identificados, de forma a proporcionar aos tomadores de decisão possíveis alternativas para tais problemas identificados por meio dos resultados dos indicadores. Os problemas, os indicadores e as medidas mitigadoras compõem uma ferramenta sistematizada, no formato de planilha eletrônica, idealizada para fins de utilização na gestão pública municipal. A ferramenta foi aplicada em municípios pilotos, localizados na região Sul do Brasil, em municípios com até cem mil habitantes.

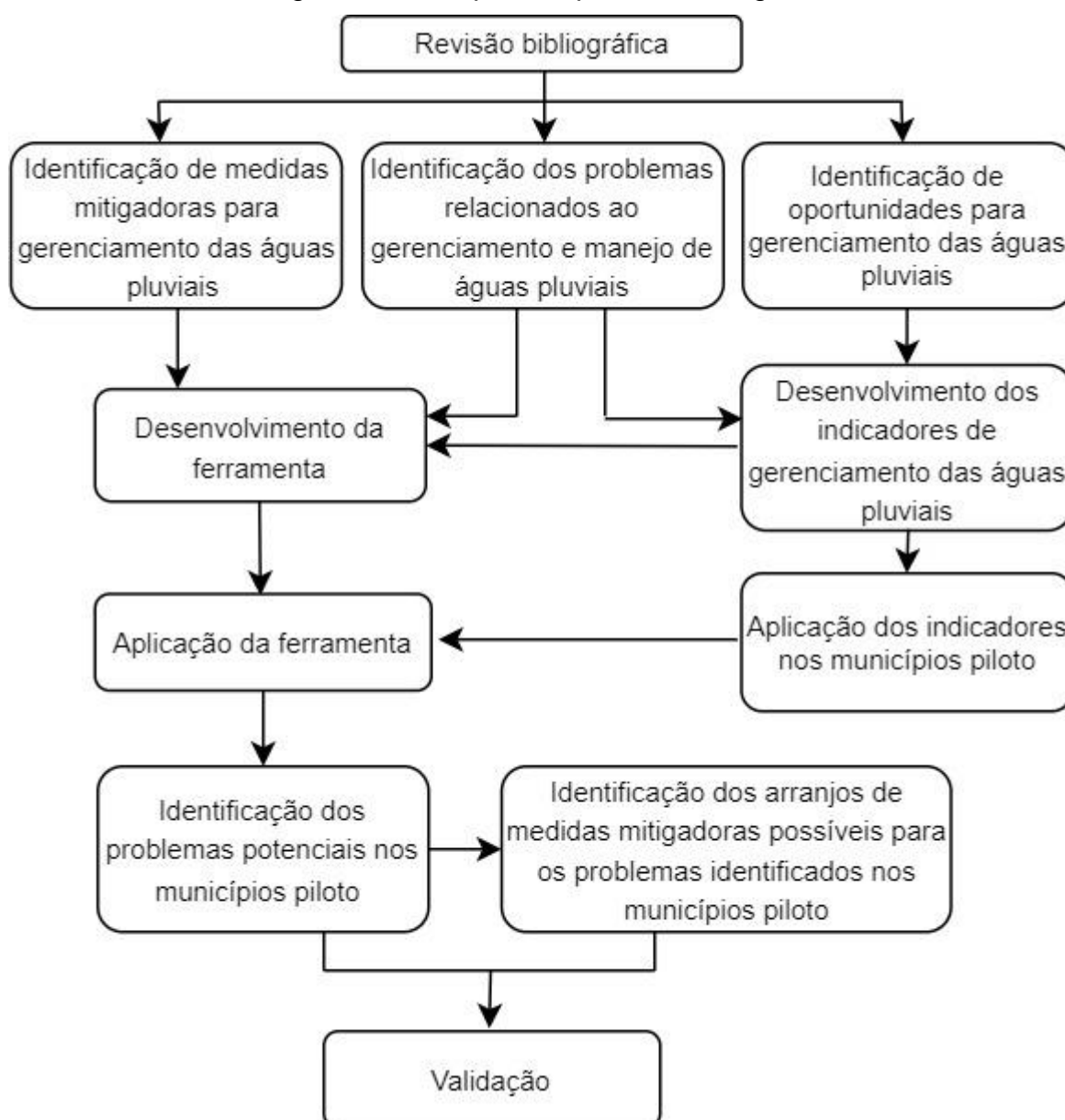
O conjunto de indicadores simples foi estruturado a partir dos problemas de manejo das águas pluviais urbanas. Os dados de entrada dos indicadores foram obtidos em bases de dados consolidadas, em documentos municipais e junto às prefeituras dos municípios piloto. Os indicadores compostos foram agregados por aspectos temáticos previamente definidos, submetidos a ponderação por três métodos distintos: Média Aritmética, Processo de Análise Hierárquica (PAH) e Análise dos Componentes Principais (ACP), e, por fim, analisada a sensibilidade dos indicadores compostos.

Os arranjos de medidas mitigadoras são resultantes da aplicação da ferramenta. Para cada problema foram organizadas medidas mitigadoras possíveis que o atenuem ou o solucionem (direta ou indiretamente), baseando-se em revisão bibliográfica. Os arranjos de medidas mitigadoras resultantes foram validadas com base em dados e

informações constantes no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) ou Plano de Macrodrenagem Urbana (PMU) de cada município piloto. Dessa forma, utilizando-se da ferramenta desenvolvida neste trabalho, ao final da aplicação dos indicadores, o gestor (tomador de decisão) obterá uma listagem das principais deficiências no gerenciamento e manejo das águas pluviais existentes no município e um arranjo de medidas mitigadoras possíveis para esses problemas, organizados todos em um mesmo ambiente, tornando-se, assim, uma ferramenta de gestão.

Na Figura 4 é apresentado o fluxograma com as principais etapas metodológicas.

Figura 4 - Principais etapas metodológicas



Fonte: Camila A. Baum (2022).

3.2. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Inicialmente foram elencados problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas existentes em municípios brasileiros de até cem mil habitantes, independentemente das características climáticas, fisiográficas, socioculturais e/ou econômicas locais.

Para a identificação dos problemas relacionados às águas pluviais urbanas no Brasil foi realizado levantamento bibliográfico. O processo de seleção de documentos científicos inicialmente se deu com o uso do mecanismo de busca do Google Acadêmico, seguido pela plataforma *Web of Science (WoS)*. As seguintes palavras-chave foram pesquisadas: “problemas de drenagem urbana”, “problemas de águas pluviais”, “manejo das águas pluviais” “inundação”, “drenagem urbana” e “Brasil”. Foram consideradas variações na grafia das palavras e, também, combinações entre os termos, com o objetivo de refinar os resultados. Foram considerados documentos em inglês e em português.

Quanto a documentos governamentais, foram analisados os três primeiros relatórios de Diagnóstico do Manejo das Águas Pluviais Urbanas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (referentes aos anos de 2015, 2017 e 2018).

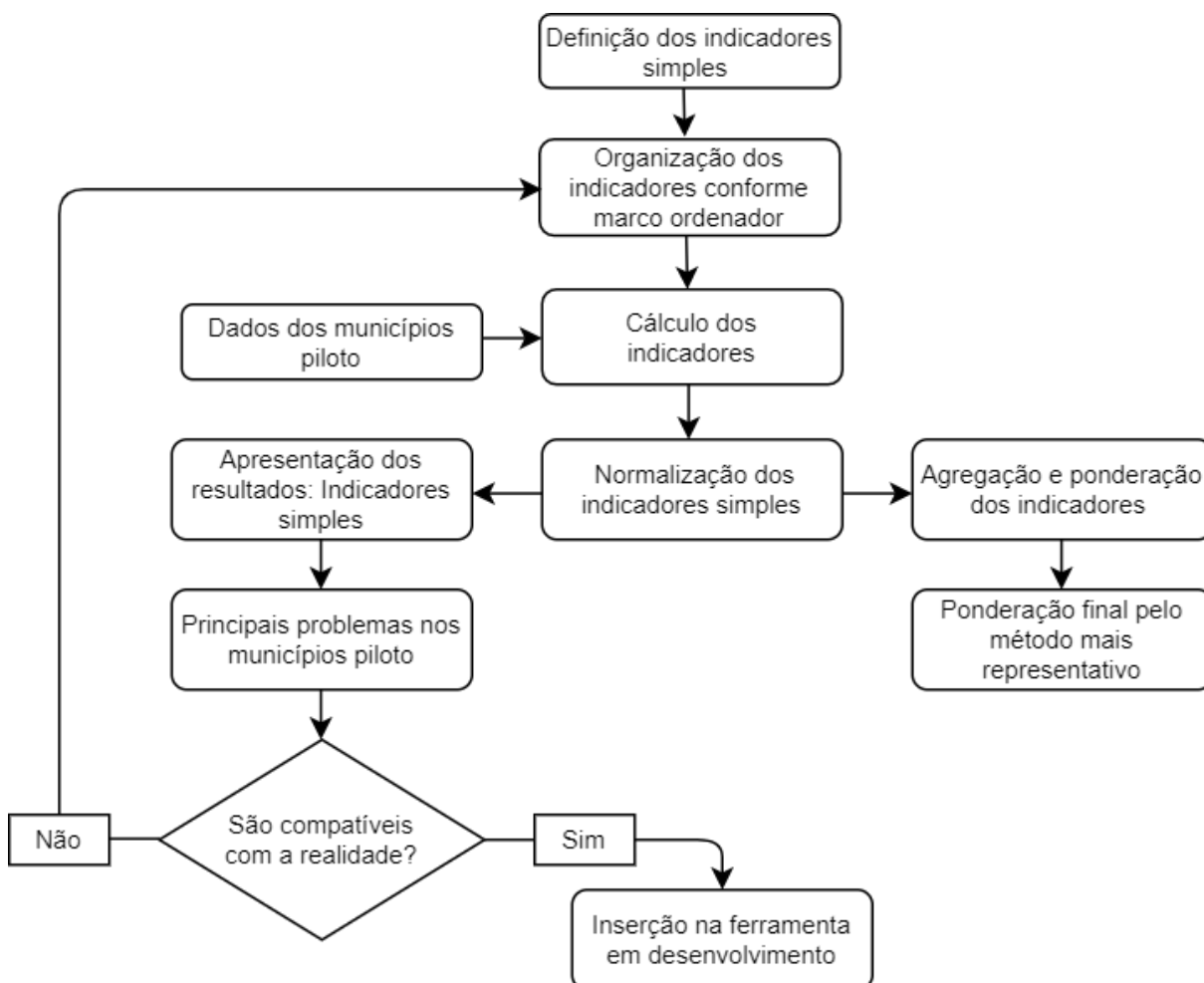
Após a identificação dos problemas, os mesmos foram organizados em quatro aspectos temáticos: Ambiental, Econômico, Institucional e Social, que são os mesmos utilizados para ordenamento dos indicadores. Esses aspectos temáticos foram adotados para este estudo devido ao fato de serem empregados pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas desde 2001 (CSD, 2001) e utilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em suas publicações sobre desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015). Esses aspectos compõem um marco conceitual reconhecido a nível global, além de englobarem todos os aspectos que interferem no gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas de forma igualitária, aspecto fundamental para que haja uma análise holística do sistema.

3.3. DESENVOLVIMENTO DO CONJUNTO DE INDICADORES PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

A formulação dos indicadores seguiu a sequência de etapas fornecida pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2008) para

desenvolver um indicador composto. Na Figura 5 é apresentado o delineamento utilizado para desenvolvimento e aplicação dos indicadores simples e compostos.

Figura 5 - Fluxograma da metodologia aplicada para desenvolvimento dos indicadores



Fonte: Camila A. Baum (2022).

3.3.1. Marco ordenador

O marco ordenador, adotado para organizar o conjunto de indicadores neste trabalho, é o de desenvolvimento sustentável: modelo temático, anteriormente utilizado para organizar os problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas. Nesse modelo, além do aspecto temático ambiental, outros três aspectos temáticos são inclusos: econômico, social e institucional (CSD, 2001) (Quadro 4).

Quadro 4 - Aspectos temáticos englobados pelo marco ordenador de desenvolvimento sustentável

| Aspecto temático | Temas |
|------------------|--|
| Ambiental | Atmosfera, Solo, Oceanos, Mares e Costas, Água, Biodiversidade |
| Econômico | Estrutura Econômica, Padrões de Consumo e Produção |
| Social | Equidade, Saúde, Educação, Habitação, Segurança, População |
| Institucional | Estrutura Institucional, Capacidade Institucional |

Fonte: Adaptado de CSD (2001).

3.3.2. Definição dos indicadores simples

3.3.2.1. Identificação de indicadores potenciais

Para cada problema foram relacionados possíveis indicadores que pudessem caracterizar, quantificar e/ou avaliar cada problema identificado na etapa anterior ou que apresentassem potencial de diagnosticar situações problemáticas. Esses indicadores foram obtidos em estudos já publicados, avaliados por Baum & Goldenfum (2021), e no Diagnóstico de Manejo e Drenagem de Águas Pluviais Urbanas - 2018 (SNIS-AP, 2019), mantendo suas formulações ou adaptando-as, sempre que pertinente. Para os problemas para os quais não foram identificados indicadores que os caracterizassem, quantificassem ou avaliassem da melhor forma possível, foram propostos novos indicadores pela autora, sempre que possível.

Inicialmente os indicadores foram organizados por aspectos temáticos. Foram selecionados apenas indicadores que possuíssem a capacidade de caracterizar ou quantificar determinada condição em todo o território brasileiro, a fim de compor um conjunto de indicadores de abrangência nacional. Em seguida foi verificado o atendimento destes ao critério norteador “Disponibilidade dos Dados” e elencados somente os indicadores que atendessem a esse critério - validado a partir da aplicação dos indicadores - e, na sequência, foi verificado o atendimento de cada indicador aos demais critérios norteadores, apontados no Quadro 5, utilizando-se de questionamentos balizadores para avaliação do indicador, conforme cada critério. Os critérios norteadores desse trabalho foram adotados considerando os objetivos pretendidos com este estudo.

Quadro 5 - Descrição dos critérios norteadores a serem utilizados neste estudo

| Critério | Descrição/Objetivo | Verificação de aplicabilidade |
|------------------|---|--|
| Acessibilidade | É desejável que as informações necessárias à construção e aplicação de um indicador sejam provenientes de levantamentos com periodicidade regular e conhecida, para permitir sua comparabilidade no tempo e constituição de uma série histórica. | O indicador é fácil de calcular e os dados para o cálculo estão disponíveis? |
| Relevância | O indicador deve permitir a avaliação e monitoramento do progresso no sentido de alcançar resultados para sociedade. Ser útil para a formulação e avaliação de políticas públicas e ações administrativas. | O desempenho do indicador é relevante? |
| Comunicabilidade | O indicador deve ser de fácil interpretação e compreensão, tanto para os tomadores de decisão e gestores, quanto para a sociedade em geral, além de ser capaz de transmitir o objetivo que se tem com a medição de tal indicador. | O indicador transmite a informação de forma igualitária para toda área de abrangência e seu cálculo é de fácil entendimento? |
| Cobertura | Um indicador, para monitorar ou avaliar determinada condição em um espaço, deve possuir abrangência igualitária em todo o espaço. Esse critério também diz respeito à capacidade de o indicador ser reproduzido em vários espaços geográficos ou diferentes populações, o que possibilita sua comparação e extensão de seu emprego. | O indicador pode ser quantificado em toda a sua área de abrangência? |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

3.3.2.2. *Dados ausentes*

A disponibilidade de dados é um dos critérios norteadores para a seleção dos indicadores. Contudo, considera-se que, mesmo que haja disponibilidade de determinado dado e/ou informação, este poderá falhar em algum momento. Quando da ocorrência dessas situações, o indicador simples que necessita desse dado foi desconsiderado, inclusive para fins do cálculo do indicador composto do aspecto temático ao qual o mesmo faz parte. Essa medida foi adotada devido à reduzida quantidade de dados existentes (ausência de série histórica de dados envolvendo drenagem e manejo das águas pluviais), o que dificulta a imputação de dados ausentes por métodos existentes. Não foi considerada a possibilidade de utilização de dados de outros municípios devido à subjetividade que estaria intrínseca.

3.3.3. Obtenção dos dados e cálculo dos indicadores

3.3.3.1. Seleção dos municípios piloto

Para análise dos indicadores selecionados, foram obtidos dados de oito municípios piloto. A escala de aplicação do conjunto de indicadores desenvolvido neste trabalho é municipal, devido à deficiência que estes possuem em gerenciar as águas pluviais no meio urbano, além desse serviço ser majoritariamente prestado pelas próprias prefeituras (SNIS-AP, 2019). Para seleção dos municípios piloto foram considerados quatro aspectos principais:

1. Porte populacional: Conforme a Política Nacional de Assistência Social (BRASIL, 2005), os municípios brasileiros podem ser classificados, quanto à divisão de sua população, em cinco grupos: I) municípios pequenos 1: com população até 20.000 habitantes; II) municípios pequenos 2: com população entre 20.001 e 50.000 habitantes; III) municípios médios: com população entre 50.001 e 100.000 habitantes; IV) municípios grandes: com população entre 100.001 e 900.000 habitantes; e V) metrópoles: com população superior a 900.000 habitantes. O grupo que essa pesquisa pretende contemplar são os municípios com até 100.000 habitantes (municípios pequenos e médios) por dois motivos principais:

a) devido à grande parte dos recursos federais repassados estar atrelada ao porte dos municípios (com exceção das capitais), reduzindo a capacidade daqueles de menor porte desenvolverem planos e diagnósticos que necessitem de investimentos mais elevados: com exceção das capitais e dos municípios com mais de 142.633 habitantes, 86,4% do Fundo de Participação dos Municípios (FPM) é distribuído entre os demais por critério populacional, sendo que quanto menor o número de habitantes, menor o percentual recebido (BRASIL, 2018a).

b) devido a esses municípios representarem a grande maioria dos afetados por eventos hidrológicos extremos: os municípios com até 100.000 habitantes representam 85,31%, 86,99% e 88,05% dos afetados por alagamentos, inundações graduais e inundações bruscas, respectivamente, verificados entre os anos de 2013 e 2016 (IBGE, 2017);

2. Municípios da região Sul do Brasil: será adotada a região Sul do Brasil para base desse trabalho.

3. Respondimento ao questionário do SNIS-AP, referente ao ano de 2018 (SNIS-AP, 2019): o terceiro aspecto verificado refere-se à participação do município no questionário do SNIS-AP, uma vez que esse questionário alimenta a base nacional de informações municipais sobre águas pluviais, e diversos dados necessários para o cálculo dos indicadores foram obtidos junto a essa base de dados.

4. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB): municípios que possuem este documento e que o mesmo apresente, minimamente, Diagnóstico (com identificação dos principais problemas físicos) e Plano de Metas para o serviço de drenagem e manejo das águas pluviais. Uma vez que os Planos Municipais de Saneamento Básico incluem Planos de Ações, onde são descritas as medidas a serem adotadas para manutenção e melhoria dos serviços de águas pluviais, essas ações foram contrapostas com as medidas mitigadoras identificadas via sistematização entre medidas e problemas que foram observados para os municípios, como forma de validação dos arranjos de medidas mitigadoras.

Diante dos critérios apresentados, foram selecionados os municípios apresentados na Tabela 1, localizados na região Sul do Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná). O município de Tubarão já possui Plano de Macrodrenagem Urbana (PMU) atualizado e, por esse motivo, foi utilizado como município “testemunha”.

Tabela 1 - Municípios piloto

| Município | Estado | População (hab.)* | Densidade populacional urbana (hab/ha) |
|------------------|------------------------|-------------------|--|
| Sengés | Paraná (PR) | 19.267 | 17,56 |
| Fraiburgo | Santa Catarina (SC) | 36.299 | 6,64 |
| Capão da Canoa | Rio Grande do Sul (RS) | 52.004 | 9,20 |
| São Bento do Sul | Santa Catarina (SC) | 83.576 | 10,20 |
| Esteio | Rio Grande do Sul (RS) | 83.121 | 41,50 |
| Medianeira | Paraná (PR) | 45.812 | 22,96 |
| Tubarão | Santa Catarina (SC) | 95.072 | 17,96 |
| Não-Me-Toque | Rio Grande do Sul (RS) | 17.484 | 2,31 |

* Fonte: SNIS-AP (2019). Elaborado por Camila A. Baum (2022).

3.3.3.2. Aplicação dos indicadores

Os dados utilizados para cálculo dos indicadores foram extraídos das seguintes bases: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Águas Pluviais (2018) (SNIS-AP, 2019), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Resíduos

Sólidos (2018) (SNIS-RS, 2019), Hidroweb (ANA), Perfil dos Municípios Brasileiros (MUNIC) (IBGE, 2017), Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID, 2018), ordenamento jurídico dos municípios piloto e Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)/Plano de Macrodrenagem Urbana (PMU). No caso de informações ausentes nessas bases de dados, as informações foram solicitadas às respectivas prefeituras. O ano base das informações foi 2018, sendo que para as informações que exigiam dados dos últimos cinco anos do S2ID foram considerados os dados dos últimos cinco anos até o ano de referência.

3.3.4. Atribuição de comensurabilidade

Para facilitar a interpretação dos resultados dos indicadores simples e a agregação destes em indicadores compostos, os indicadores simples foram normalizados, conferindo-lhes a propriedade de comensurabilidade. Foi adotado o método de transformação das variáveis para valores entre 0 (zero) e 1 (um). Este método normaliza os indicadores para ter um intervalo idêntico [0, 1] subtraindo o valor mínimo e dividindo pelo intervalo dos valores do indicador.

Para uma variável X qualquer, o valor da variável transformada 0 - 1 para a i -ésima observação é dado pela Equação 1:

$$v_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \text{Eq. 1}$$

onde, v_i é o valor transformado da i -ésima observação da variável X , x_{\min} é o valor mínimo da variável X e x_{\max} é o valor máximo da variável X . Foram considerados como valores máximos e valores mínimos os valores ideais e anti-ideais, respectivamente. Na maior parte dos casos a determinação dos valores ideais e anti-ideais é inequívoco e intuitivo, porém, para os casos que exigiram maior detalhamento sobre como foram adotados os valores ideal e/ou anti-ideal, a explicação é apresentada no item 0.

O sentido de preferência dos resultados normalizados dos indicadores é crescente: quanto mais próximo de 0 (zero) for o resultado do indicador, mais anti-ideal é aquele resultado; já, quanto mais perto de 1 (um) for o resultado do indicador, mais ideal é aquele resultado. Cabe destacar que esse sentido de preferência não se refere aos valores ideais e anti-ideais considerados para cálculo de normalização, os quais não possuem sentido de preferência.

3.3.5. Agregação de indicadores

Previamente à etapa de ponderação, foi realizada a agregação dos indicadores, a qual foi realizada com base nos aspectos temáticos do marco ordenador (econômico, institucional, ambiental e social). Para o aspecto institucional, foram desenvolvidos dois indicadores compostos, totalizando assim cinco indicadores compostos:

- Indicador Composto Econômico (ICE): Engloba todos os indicadores simples do aspecto temático econômico.
- Indicador Composto Institucional1 (ICI I): Engloba indicadores simples relacionados a aspectos legais e recursos humanos: pertencem a esse subgrupo os indicadores simples do aspecto temático institucional I01, II02, II03, II04, II05, II06, II07, II08, II18 e II19.
- Indicador Composto Institucional2 (ICI II): Engloba indicadores simples relacionados a infraestrutura: pertencem a esse subgrupo os indicadores simples do aspecto temático institucional II09, II10, II11, II12, II13, II14, II15, II16 e II17.
- Indicador Composto Social (ICS): Engloba todos os indicadores simples do aspecto temático social.
- Indicador Composto Ambiental (ICA): Engloba todos os indicadores simples do aspecto temático ambiental.

A formulação de dois indicadores compostos para o aspecto temático institucional se deve ao fato do método de Processo de Análise Hierárquica (PAH) (testado na etapa de ponderação) apresentar como limitação o número máximo de 10 (dez) indicadores simples para ponderação. A ponderação com um número de indicadores simples superior a este inviabiliza o cálculo do grau de consistência, etapa final da ponderação por esse método. Devido ao aspecto temático institucional englobar 19 (dezenove) indicadores simples, este foi dividido em dois subgrupos, de forma a permitir a ponderação pelo método de PAH.

3.3.6. Ponderação de indicadores

3.3.6.1. Média Aritmética

O método de ponderação por média aritmética é um método de ponderação homogênea onde cada indicador simples tem o mesmo peso. O peso dos indicadores simples pode variar por indicador composto, uma vez que cada indicador composto pode possuir números de indicadores simples distintos em sua agregação. A soma dos pesos dos indicadores simples de cada indicador composto, no entanto, deve ser a mesma: 1 (um) (Eq. 2).

$$I_{composto} = \sum(IP_i * W) = IP_1 * W + IP_2 * W + \dots + IP_n * W \quad \text{Eq. 2}$$

onde, $I_{composto}$ é indicador composto, IP_i é o indicador simples normalizado, e W é o peso de cada indicador simples - idêntico para todos os indicadores simples que compõem um mesmo indicador composto.

3.3.6.2. Processo de Análise Hierárquica (PAH)

O método de ponderação por PAH é um método de ponderação sob variação onde os indicadores simples possuem pesos distintos. Este método de tomada de decisão, a partir de vários critérios, foi proposto por Saaty (1977) e é muito utilizado no contexto de análises multicritério e sistemas de suporte à decisão. Esta metodologia reduz o problema de tomada de decisão, utilizando comparações par-a-par dos critérios, facilitando, assim, sua avaliação. As comparações utilizam uma escala própria, definida por Saaty (1997), constituída de nove divisões que indicam o grau de importância de um critério em relação a outro, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Escala de preferência relativa entre os indicadores

| 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
|-------------------------|----------|-------|-------|------------------------|-------|-------|----------|--------------|
| Extremamente | Bastante | Muito | Pouco | Igual | Pouco | Muito | Bastante | Extremamente |
| Menos Importante | | | | Mais Importante | | | | |

Fonte: Saaty (1977).

O método PAH foi desenvolvido em seis etapas principais, apresentadas a seguir.

1) Inicialmente foi estruturada a hierarquia de decisão, sendo criada uma matriz de avaliação de $n \times n$, onde n é número de indicadores simples a serem avaliados;

2) Em seguida foi estabelecido o conjunto de todos os julgamentos na matriz de comparação, na qual o conjunto de elementos é comparado par a par usando a escala de preferência relativa apresentada na Tabela 2. Os julgamentos par-a-par, neste trabalho, foram realizados sem o auxílio de especialistas, pela autora.

3) Para fins de normalização dos resultados das comparações, os resultados foram divididos pela soma das colunas;

4) Para concluir a parte correspondente à ponderação, foi calculada a média dos valores de cada linha, sendo que o resultado é o valor do peso de cada indicador simples;

5) Após a ponderação de cada indicador, foi realizada a avaliação de consistência. Para que o julgamento dos pesos seja consistente foi preciso, primeiramente, determinar o parâmetro λ (autovalor principal) (Eq. 3);

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \sum_{i=1}^j M_i * S_i \quad \text{Eq. 3}$$

onde: $\lambda_{m\acute{a}x}$: autovalor principal; M_i : é a média da linha correspondente ao i -ésimo critério; S_i : é a soma da coluna correspondente ao i -ésimo critério; e j : é o número total de critérios.

6) Com o autovalor principal determinado, foi verificada a consistência dos julgamentos no Índice de Consistência (IC) (Eq. 5) e no Grau de Consistência (GC) (Eq. 5). Para o cálculo do GC são necessários os valores do Índice de Consistência Aleatório, que consiste em um valor que é função do número de indicadores (n) (Tabela 3). Para haver coerência nessa consistência, de acordo com Saaty (1980), o Grau de Consistência aceito deve ser de até 0,1, ou seja, 10%.

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad \text{Eq. 4}$$

onde: $\lambda_{m\acute{a}x}$: autovalor principal; e n : é o número total de critérios.

$$GC = IC / ICAI \quad \text{Eq. 5}$$

onde: GC: é o Grau de Consistência; e ICAI: é o Índice de Consistência Aleatório.

Tabela 3 - Valoração do Índice de Consistência Aleatória conforme número de indicadores

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ICA | 0 | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,51 |

Fonte: Saaty (1980).

Com a ponderação dos indicadores simples obtida pelo método em questão, são calculados os Indicadores Compostos (Eq. 6).

$$I_{composto} = \Sigma(IP_i * W_i) = IP_1 * W_1 + IP_2 * W_2 + \dots + IP_n * W_n \quad \text{Eq. 6}$$

onde, $I_{composto}$ é indicador composto, IP_i é o indicador simples normalizado, a ser agrupado, e W_i é o peso de cada indicador simples.

3.3.6.3. Análise dos Componentes Principais (ACP)

O método de ponderação por ACP, assim como o PAH, é um método de ponderação sob variação onde os indicadores simples possuem pesos distintos. Para a aplicação desse método foram utilizados os dados referentes aos municípios piloto. O software utilizado foi o *Statística* versão 10.

Inicialmente foi gerada uma matriz de correlação através de estatística básica, utilizando os dados dos municípios selecionados, o que possibilitou observar a importância das variáveis entre si e o grau em que estão correlacionadas. Em seguida foi aplicada a ACP que gera, além de outros resultados, a matriz de autovetores e a variância expressa por cada componente principal. É esperado que o Componente 1 tenha maior variância, de forma que seus autovetores são as ponderações utilizadas para equação do indicador composto. A fim de evitar problemas com pesos negativos, comuns na ACP, foram calculadas as comunalidades (quantidades das variâncias - correlações - de cada variável explicada pelos fatores), de forma que todas as ponderações se tornaram positivas.

Com a ponderação dos indicadores simples obtida pelo método em questão, foram calculados os indicadores compostos. A descrição equacional do método é apresentada na Equação 7, onde $I_{composto}$ é o indicador simples, IP_i é o indicador simples normalizado, e W_i é o peso de cada indicador simples (autovalor).

$$I_{composto} = \Sigma(IP_i * W_i) = IP_1 * W_1 + IP_2 * W_2 + \dots + IP_n * W_n \quad \text{Eq. 7}$$

3.3.7. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade neste estudo explora o efeito de duas principais incertezas associadas à construção dos indicadores compostos em estudo: (1) método de ponderação; e (2) variabilidade na quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto, uma vez que, quando não houve o dado disponível para seu cálculo, o indicador simples foi desconsiderado.

3.3.7.1. Método de ponderação

Para avaliar a sensibilidade decorrente do método de ponderação adotado, procedeu-se com a variação do peso de um indicador simples mantendo-se os demais iguais. Os diferentes pesos em função do número de indicadores são sintetizados e generalizados pela Equação 9. Essa equação determina o vetor de pesos, cujo somatório deve ser 1.

$$w + \sum_1^{ni-1} \left[\frac{(1-w)}{(ni-1)} \right] = 1 \quad \text{Eq. 9}$$

Onde, w é peso decimal atribuído ao indicador (w varia de 0,1 a 0,5, com intervalo de 0,1), e ni é o número total de indicadores simples.

Para a realização dessa análise, o cenário comparativo utilizado foi a ponderação original obtida para cada um dos três métodos de ponderação, o qual foi denominado de Cenário Homogêneo (CH). Os cenários sistematicamente ponderados foram obtidos pela distribuição da ponderação para o indicador simples sob variação, e para os demais indicadores simples que compõem o indicador composto, de modo a somarem sempre 1 (um). A variação dos pesos é arbitrária, de forma que se optou por variar os pesos dos indicadores simples sob variação num intervalo de unidade decimal. A Tabela 4 apresenta o exemplo das ponderações para o ICI II (indicador composto), com o indicador II11 (indicador simples que compõe o indicador composto) sob ponderação sistemática, para o método de PAH.

Tabela 4 - Exemplo de cenário homogêneo e cenários sob variação aplicados para o ICI II, com o indicador simples II11 estando sob ponderação sistemática

| Processo de Análise Hierárquica | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|
| Indicador | Cenário sob variação | | | | | Cenário Homogêneo PAH |
| | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 | Cenário 4 | Cenário 5 | |
| II09 | 0,128 | 0,116 | 0,103 | 0,091 | 0,078 | 0,138 |
| II10 | 0,128 | 0,116 | 0,103 | 0,091 | 0,078 | 0,138 |
| II11 | 0,100 | 0,200 | 0,300 | 0,400 | 0,500 | 0,021 |
| II12 | 0,082 | 0,070 | 0,057 | 0,045 | 0,032 | 0,092 |
| II13 | 0,057 | 0,045 | 0,032 | 0,020 | 0,007 | 0,067 |
| II14 | 0,022 | 0,010 | -0,003 | -0,015 | -0,028 | 0,032 |
| II15 | 0,242 | 0,230 | 0,217 | 0,205 | 0,192 | 0,252 |
| II16 | 0,222 | 0,210 | 0,197 | 0,185 | 0,172 | 0,232 |
| II17 | 0,018 | 0,006 | -0,007 | -0,019 | -0,032 | 0,028 |
| Somatório | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

Após os pesos serem atribuídos a todos os indicadores simples que compõem o indicador composto, obteve-se um conjunto ponderado de n indicadores X p pesos, utilizando os dados dos municípios piloto. A partir desse conjunto, foi realizada a análise de sensibilidade, obtida pela correlação entre um cenário homogêneo e os demais cenários ponderados sistematicamente.

A sensibilidade foi testada nos indicadores simples listados a seguir, considerando as peculiaridades intrínsecas a cada qual, totalizando cinco avaliações de sensibilidade relativas ao tipo de ponderação.

- II09: Resultados variados e ponderação elevada por PAH e ACP;
- II11: Ponderação reduzida por PAH e ACP;
- II15: Ponderação elevada por PAH e por ACP;
- IS01: Resultados variados e ponderações similares;
- IS03: Resultados variados, ponderação elevada por PAH e reduzida por ACP.

A análise por tipo de ponderação foi testada apenas em indicadores simples pertencentes aos ICI II e ICS. A falta de dados para cálculo de alguns indicadores simples que compõem os demais indicadores compostos inviabilizou a realização da análise de sensibilidade nestes.

É desejável que o método de ponderação seja sensível a alterações nos pesos dos indicadores simples, permitindo assim, diferenciar situações.

3.3.7.2. *Variabilidade na quantidade de indicadores*

Para avaliar a sensibilidade decorrente da variabilidade da quantidade de indicadores simples, procedeu-se com a variação do número de indicadores simples que compõe o indicador composto. Para essa análise avaliou-se a correlação entre os resultados do mesmo indicador composto, considerando a redução do número de indicadores simples que compõe o mesmo.

O ICI II foi utilizado nesse teste por possuir todos os indicadores simples calculados para todos os municípios. No total foram testados cinco arranjos, conforme descrito a seguir:

- Teste 1 (T1): Desconsiderado o indicador simples II09;
- Teste 2 (T2): Desconsiderado o indicador simples II11;

- Teste 3 (T3): Desconsiderado o indicador simples II15;
- Teste 4 (T4): Desconsiderado os indicadores simples II09 e II11;
- Teste 5 (T5): Desconsiderado os indicadores simples II09, II11 e II15.

Os indicadores simples desconsiderados foram selecionados considerando as características dos mesmos, detalhadas no item anterior.

Diferentemente da análise de sensibilidade relacionada ao método de ponderação, é desejável reduzida sensibilidade em relação a variabilidade de indicadores simples, quando da ausência de dados.

3.3.8. Apresentação dos resultados da aplicação dos indicadores

A fim de que os tomadores de decisão compreendam não somente os resultados das áreas que necessitam de mais esforços e/ou investimentos, além da apresentação dos resultados dos indicadores compostos, são apresentados os resultados dos indicadores simples, por meio dos quais foi possível identificar quais os principais problemas dentro de cada aspecto temático.

3.3.8.1. Indicadores Simples

Os resultados dos indicadores simples são apresentados em seus valores normalizados. Para facilitar a compreensão, esses resultados foram classificados em uma escala de cores (Tabela 5 e Tabela 6). Os resultados dos indicadores qualitativos foram convertidos em resultados numéricos. Os resultados dos indicadores simples, para cada município, são apresentados em gráficos de colunas empilhadas.

Tabela 5 - Classificação dos indicadores simples quantitativos

| Valor Normalizado | Classe |
|-------------------|---------------|
| 0,76 – 1,00 | Bom |
| 0,51 – 0,75 | Regular |
| 0,26 – 0,50 | Crítico |
| 0,00 – 0,25 | Muito Crítico |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

Tabela 6 - Classificação dos indicadores simples qualitativos

| Resposta | Valor Normalizado | Classe |
|----------------------|-------------------|---------------|
| Sim | 1,00 | Bom |
| Em andamento/Parcial | 0,50 | Regular |
| Não | 0,00 | Muito Crítico |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

3.3.8.2. *Indicadores Compostos*

Os indicadores compostos são apresentados em gráficos de colunas agrupadas, onde cada agrupamento é composto pelo resultado dos três métodos para determinado município piloto, o que permite uma visualização geral dos resultados para cada aspecto temático e permite a comparação entre municípios.

3.4. IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Com vistas a identificação de medidas para mitigar ou solucionar os problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas existentes no Brasil, inicialmente foi realizada a identificação de medidas mitigadoras existentes. Essa etapa consistiu em uma revisão da literatura sobre medidas mitigadoras para os problemas envolvendo gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas, de forma a proporcionar aos tomadores de decisão possíveis alternativas para os problemas identificados por meio dos resultados dos indicadores.

A revisão da literatura foi realizada nas bases de dados *Web of Science (WoS)* e *Google Scholar*, no segundo semestre de 2021 e primeiro semestre de 2022. As seguintes palavras-chave foram pesquisadas: “gestão sustentável de águas pluviais”, “técnicas compensatórias”, “técnicas alternativas”, “medidas mitigadoras”, “medida de drenagem estrutural”, “medida de drenagem não-estrutural”, “águas pluviais”, “água da chuva”, “controle na fonte”, “controle de água pluviais”, “drenagem sustentável”. Foram consideradas variações na grafia das palavras e, também, combinações entre os termos, com o objetivo de refinar os resultados. Foram considerados documentos em inglês e em português. Também foram avaliadas as listas de referências dos documentos, com o objetivo de identificar os documentos relevantes que não foram identificados nas buscas.

Os documentos pré-selecionados incluíram artigos revisados por pares de periódicos científicos, livros, documentos oficiais, como legislação e manuais, livros e teses acadêmicas, totalizando 39 (trinta e nove) documentos selecionados para compor esta revisão de literatura.

Após a leitura de seus resumos e conclusões, foram selecionados os documentos com possíveis medidas mitigadoras com potencial para solucionar os

problemas brasileiros relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas. É importante ressaltar que o objetivo desta revisão de literatura foi encontrar medidas mitigadoras aplicáveis para a realidade brasileira, que não são necessariamente as propostas mais avançadas no tema, pois estas geralmente não são viáveis neste contexto. Documentos com ideias semelhantes identificadas por meio da pesquisa bibliográfica foram descartados.

As medidas identificadas foram organizadas em seis eixos temáticos: Segurança, Sociedade, Estratégico, Institucional, Infraestrutura e Qualidade Ambiental, considerando o eixo para o qual apresentam maior potencial de suporte. Assim, as medidas mitigadoras foram descritas e discutidas no contexto brasileiro para fornecer informações para apoiar a tomada de decisão pelos gestores.

3.5. SISTEMATIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE PROBLEMAS, INDICADORES E MEDIDAS MITIGADORAS PARA O GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

3.5.1. Relações entre problemas e indicadores para o gerenciamento e manejo das águas pluviais

Inicialmente foi realizada a associação entre problemas e indicadores. Conforme descrito no item 3.3.2.1, para cada problema foram relacionados possíveis indicadores que pudessem caracterizar, quantificar e/ou avaliar um ou mais problemas de gerenciamento e manejo das águas pluviais, identificados conforme metodologia apresentada no item 3.2 ou que apresentassem potencial de diagnosticar situações problemáticas. Esses indicadores compõem o conjunto de indicadores simples. Nessa etapa foi sistematizada essa associação entre problemas e indicadores, que direta ou indiretamente poderiam indicar a existência ou não de determinado problema, em planilha eletrônica.

Após a sistematização, foram calculados os indicadores e identificados os possíveis problemas envolvendo gerenciamento e manejo das águas pluviais, por município piloto. Como forma de validar a sistematização entre problemas e indicadores e, conseqüentemente, o conjunto de indicadores simples proposto, os resultados obtidos (problemas identificados via sistema de indicadores) foram comparados com os problemas identificados nos PMSB/PMU dos municípios piloto. É apresentada a quantidade de problemas para os quais há indicador (via sistema de

indicadores formulado), a quantidade de problemas que foi possível de identificar (via sistema de indicadores, formulado), a quantidade de problemas identificados nos PMSB/PMU, a quantidade de problemas identificados que pertencem à mesma classe – em relação a existência do problema (Problema Existente e Problema Inexistente) e a quantidade de problemas identificados que pertencem a classes distintas – em relação a existência do problema. Na classe “Problema Inexistente” foram elencados apenas os problemas que foram identificados por indicadores que apresentavam valor máximo (1,00). Todos os demais foram classificados como “Problema Existente”. A imprecisão dos problemas apresentados nos Planos Municipais, quanto a criticidade dos mesmos, inviabilizou uma categorização mais detalhada em relação à criticidade do problema.

3.5.2. Relações entre problemas e medidas mitigadoras para o gerenciamento e manejo das águas pluviais

Quanto aos arranjos de medidas mitigadoras, foram elencadas as medidas mitigadoras que auxiliavam de forma direta ou indireta na resolução de determinado problema e inseridas na ferramenta. Dessa forma, cada medida mitigadora foi relacionada aos problemas que poderiam ser superados (direta ou indiretamente) com sua adoção, a partir das informações apresentadas da discussão. Essa relação foi aplicada aos municípios piloto, a fim de identificar quais medidas seriam adequadas para cada município, formando assim o arranjo de medidas mitigadoras específica para determinado município. De conhecimento das medidas mitigadoras mais adequadas para cada município piloto após aplicação da ferramenta, estas foram comparadas com as medidas mitigadoras propostas nos PMSB/ PMU dos respectivos municípios. Foram consideradas apenas as medidas com potencial de auxiliar diretamente nessa comparação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PROBLEMAS RELACIONADOS AO GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

A revisão da literatura evidenciou a escassez de revisões completas sobre os problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas recentes e que poucos estudos detalham os problemas existentes considerando todos os aspectos que envolvem o sistema de águas pluviais urbano. No total foram elencados 13 problemas gerais, que foram detalhados em 59 problemas específicos nos quatro aspectos temáticos: 1) Econômico: 06 problemas; 2) Institucional: 23 problemas; 3) Social: 13 problemas; e 4) Ambiental: 17 problemas. Os problemas gerais e específicos são listados, ordenadamente, no Apêndice A. Ainda que alguns problemas se enquadrem em mais de um aspecto, optou-se por inseri-los apenas em um aspecto temático, no qual considerou-se que os mesmos impactam de forma mais direta. Apesar de alguns problemas terem sido descritos há alguns anos, os mesmos podem ser ainda observados atualmente.

4.1.1. Aspecto Econômico

Os problemas econômicos identificados são relacionados à deficiência orçamentária e aos custos gerados por deficiências no manejo das águas pluviais. Especificamente, os problemas relacionados a temática econômica identificados são descritos no Quadro a seguir.

Quadro 6 - Problemas relacionados a temática econômica identificados

| | |
|------|---|
| PE01 | Orçamento insuficiente para adoção de medidas preventivas (COLOMBELLI, 2018; SILVA, 2016; TUCCI, 2008a). |
| PE02 | Orçamento insuficiente para manutenção das estruturas de drenagem e manejo das águas pluviais existentes (COLOMBELLI, 2018; SILVA, 2016). |
| PE03 | Ausência de fontes de investimento e custeio para gerenciamento e manejo das águas pluviais (MARTINS, 2012). |
| PE04 | Cobrança insuficiente (ou ausência de cobrança) para manutenção dos serviços públicos de águas pluviais (TUCCI, 2012). |
| PE05 | Investimento para mitigação dos danos (materiais/humanos) causados por eventos hidrológicos extremos (SILVA, 2016). |
| PE06 | Prejuízos econômicos causados por eventos hidrológicos extremos ou pelo manejo inadequado das águas pluviais (SILVA, 2016). |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

A sustentabilidade econômico-financeira é um dos princípios fundamentais da prestação dos serviços de saneamento básico, conforme a Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007). Dados recentes do 4º Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas indicam que apenas 40 municípios brasileiros (1,1% dos municípios respondentes) têm algum tipo de cobrança ou ônus indireto por serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, 1.993 municípios (54,6%) afirmaram não terem investido nenhum valor em drenagem e manejo das águas pluviais no ano de 2019 (SNIS-AP, 2020) e 1.485 (41,1%) não dispõem de qualquer fonte de custeio para drenagem e manejo das águas pluviais (SNIS-AP, 2020).

A escassez de recursos financeiros para adoção de medidas preventivas e manutenção dos sistemas de águas pluviais é um dos principais problemas existentes, pois dele decorrem diversos outros problemas. A cobrança, que seria uma fonte de receita para suprir tal problema, ainda é um mecanismo pouco utilizado, no entanto, a inexistência de cobrança por parte da imensa maioria dos prestadores de serviço de drenagem e manejo das águas pluviais decorre de dificuldades legais e técnico-operacionais para a sua implantação (SNIS-AP, 2020). O modelo de cobrança mais recorrente na realidade brasileira é o da incorporação dos custos por serviços de drenagem e manejo das águas pluviais no orçamento global da administração pública, sem nenhuma cobrança individualizada pela melhoria ou pelo serviço permanente (TUCCI, 2012).

A infraestrutura de drenagem urbana demanda altos custos de implantação e de gestão, no entanto, raramente recebe todos os recursos necessários quando a fonte de financiamento é o orçamento municipal (COLOMBELLI, 2018). A deficiência orçamentária para investimentos no sistema limita a adoção de medidas preventivas e manutenção das estruturas de drenagem, ações estas imprescindíveis para redução dos danos e impactos causados quando da ocorrência de eventos hidrológicos extremos. No entanto, atualmente, à medida que ocorrem perdas humanas e materiais em decorrência de eventos hidrológicos extremos, os municípios declaram calamidade pública e recebem recursos a fundo perdido, o que não os incentiva a realizarem ações preventivas aos alagamentos e inundações (TUCCI, 2008a). Em escala mundial, cada R\$ 1 investido em prevenção de desastres naturais, dentre os quais as inundações, equivale, em média, entre R\$ 25 e 30 em obras de reconstrução pós-evento (KOBAYAMA et al., 2006)

4.1.2. Aspecto Institucional

Os problemas institucionais identificados estão relacionados à deficiência de capacitação técnica, deficiência na normatização, deficiência nos sistemas físicos dos sistemas de águas pluviais e ausência de integralização de informações. Especificamente, os problemas relacionados a temática institucional identificados são descritos no Quadro a seguir.

Quadro 7 - Problemas relacionados a temática institucional identificados

| | |
|------|---|
| PI01 | Equipe limitada, em quantidade e/ou em termos de capacidade técnica (SILVA, 2016; SOUZA, MORAES; BORJA, 2013; TUCCI, 2008a). |
| PI02 | Ausência de formação e atualização das equipes técnicas (MARTINS, 2012; SILVA, 2016; SOUZA, MORAES; BORJA, 2013; TUCCI, 2012). |
| PI03 | Desconhecimento, pela equipe técnica, dos processos físicos/hidrológicos que influenciam na drenagem das águas pluviais (MARTINS, 2012; SILVA, 2016). |
| PI04 | Falta de conhecimento sobre formas de evitar e controlar inundações, por parte dos planejadores urbanos (SILVA, 2016; TUCCI, 2008a). |
| PI05 | Ausência de planejamento a curto, médio e longo prazo (SILVA, 2016). |
| PI06 | Ausência/deficiência na regulamentação de temas que envolvem a drenagem e manejo das águas pluviais (CRUZ; TUCCI, 2008). |
| PI07 | Ausência de um banco de dados e informações de acompanhamento sobre o sistema de águas pluviais (SNIS-AP, 2019). |
| PI08 | Ausência de instrumentos de ordenamento de uso do solo (MIGUEZ; MASCARENHAS; MAGALHÃES, 2007; SILVA, 2016). |
| PI09 | Ausência de fiscalização do uso e ocupação do solo. |
| PI10 | Desconhecimento do sistema de drenagem devido à falta de cadastro do sistema ou cadastro parcial (SILVA, 2016; SOUZA, MORAES; BORJA, 2013). |
| PI11 | Deficiências na elaboração de projetos do sistema de águas pluviais (GOLDENFUM et al., 2007; SILVA, 2016; SNIS-AP, 2019). |
| PI12 | Deficiências na execução de projetos do sistema de águas pluviais (GOLDENFUM et al., 2007; SILVA, 2016). |
| PI13 | Deficiência na manutenção do sistema de águas pluviais (SILVA, 2016). |
| PI14 | Implantação do sistema de águas pluviais de forma fragmentada (SILVA, 2016). |
| PI15 | Ausência de utilização de soluções e técnicas de drenagem e manejo das águas pluviais mais integradas ao contexto urbano (GOLDENFUM et al., 2007; SILVA, 2016; TUCCI, 2008a). |
| PI16 | Ausência de espaços públicos ou privados adequados à implementação de dispositivos compensatórios (GOLDENFUM et al., 2007). |
| PI17 | Preferência por medidas mitigadoras tradicionais e estruturais (GOLDENFUM et al., 2007). |
| PI18 | Falta de controle e monitoramento hidrológico e ausência ou ineficiência de sistemas de alerta (SILVA, 2016). |
| PI19 | Precariedade das informações hidrológicas e hidráulicas para avaliar a condição atual e propor cenários (GOLDENFUM et al., 2007; SILVA, 2016; TUCCI, 2008a). |
| PI20 | Fragmentação das atividades e descontinuidade administrativa (GOLDENFUM et al., 2007; SILVA, 2016). |
| PI21 | Dificuldade de integração entre órgãos públicos (GOLDENFUM et al., 2007; SILVA, 2016). |
| PI22 | Projetos urbanos e sistemas de águas pluviais conflituosos (falta de integração entre os setores relacionados à gestão urbana) (SILVA, 2016). |
| PI23 | Deficiência na articulação e em diálogos intermunicipais e visão municipalizada do manejo das águas pluviais (SILVA, 2016; TUCCI, 2008a). |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

A falta de conhecimento e reconhecimento da importância de um sistema de águas pluviais adequado e dos fatores que influenciam e potencializam as inundações e alagamentos são problemas decisivos, e desencadeiam ou potencializam os demais problemas no âmbito institucional.

Na maioria dos municípios brasileiros a drenagem das águas pluviais é de responsabilidade dos órgãos municipais de obras e/ou infraestrutura viária, sendo assim um elemento de infraestrutura associado, não sendo abordado com a devida atenção necessária (SOUZA, MORAES; BORJA, 2013). O corpo técnico constituinte desses órgãos comumente não tem capacitação para articular ações integradas no âmbito de todo o sistema, além da alta rotatividade de funcionários, uma vez que parte significativa dos técnicos municipais não pertencem ao quadro permanente das prefeituras, resultando também na dificuldade de continuidade das políticas públicas (SOUZA, MORAES; BORJA, 2013).

Da limitação técnica decorrem, em muitos casos, problemas de deficiências na normatização e nos sistemas físicos de águas pluviais. Atualmente, apenas 34,7% (1.266 municípios) do total de municípios que responderam ao questionário do SNIS-AP referente ao ano de 2019 dispõem de cadastro técnico de obras lineares e 19,6% municípios possuem Plano Diretor de Drenagem (PDD) (SNIS-AP, 2020). Os dados do cadastro técnico são fundamentais para o planejamento e gerenciamento das águas no meio urbano, sendo imprescindíveis na formulação de um PDD consistente. No entanto, dentre os municípios que possuem PDD, 15,5% não possuem cadastro técnico de obras lineares, ou seja, desenvolveram um PDD sem considerar os sistemas de drenagem existentes (SNIS-AP, 2020).

O PDD é o instrumento de planejamento que orienta as ações do município destinadas à redução de riscos e priorização das ações a serem realizadas, planejamento financeiro dessas ações, além de integrar as ações referentes ao manejo e drenagem das águas pluviais às ações dos demais setores municipais (SNIS-AP, 2020). No entanto, além do reduzido número de municípios que possuem esse plano, as ações de drenagem e manejo das águas pluviais ainda são susceptíveis à fragmentação das atividades, à descontinuidade administrativa e à ausência de planejamento de longo prazo, uma vez que programas e planos são muitas vezes considerados obras de uma administração e não como ações de governo (MARTINS, 2012).

O negligenciamento do planejamento impacta em todo o ambiente urbano, uma vez que não há como integrar um sistema com os demais projetos urbanos ou intermunicipais se o mesmo não apresentar um sistema de organização mínima. O planejamento de atividades urbanas relacionadas às águas pluviais deve estar integrado ao próprio planejamento urbano, incluindo-se aqui o desenho da malha urbana e sua expansão, o zoneamento de atividades, a rede viária e de transportes, fluxos de informações e aspectos paisagísticos (SILVA, 2016).

4.1.3. Aspecto Social

Os problemas sociais identificados estão relacionados à ocupação de zonas de inundação, deficiência na inclusão e conhecimento da sociedade sobre os sistemas de águas pluviais e riscos à saúde pública. Especificamente, os problemas relacionados a temática social identificados são descritos no Quadro a seguir.

Quadro 8 - Problemas relacionados a temática social identificados

| | |
|------|---|
| PS01 | Redução da proteção do solo (MARTINS, 2012; SILVA, 2016). |
| PS02 | Pressão imobiliária (MARTINS, 2012). |
| PS03 | População em condição de vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos (SILVA, 2016; SNIS-AP, 2019; TUCCI, 2008a). |
| PS04 | Habitacões em áreas de risco (MIGUEZ; MASCARENHAS; MAGALHÃES, 2007; SNIS-AP, 2019; TUCCI, 2012). |
| PS05 | Falta de conscientização da população sobre riscos de ocupar áreas de risco (TUCCI, 2008a). |
| PS06 | Difícil acesso público aos canais de discussão e debate sobre os sistemas de águas pluviais (SILVA, 2016). |
| PS07 | Falta de interesse da população em participar da tomada de decisão (SILVA, 2016). |
| PS08 | Resistência e pré-conceito da população à adoção de algumas medidas estruturais sustentáveis ou não-estruturais (GOLDENFUM et al., 2007; SOUZA, MORAES; BORJA, 2013). |
| PS09 | Déficit no atendimento à população (SILVA, 2016). |
| PS10 | Deficiência na educação da sociedade para com o manejo das águas pluviais (SILVA, 2016). |
| PS11 | Falta de percepção da importância do gerenciamento e manejo adequado de águas pluviais e não valorização de ações realizadas |
| PS12 | Proliferação de vetores (GOLDENFUM et al., 2007; SILVA, 2016). |
| PS13 | Incidência de doenças de veiculação hídrica (SILVA, 2016). |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

As várzeas desempenham diversas e importantes funções ambientais, dentre as quais servir de espaço para a passagem do leito maior do curso d'água. Quando ocorrem eventos de precipitação maiores, as áreas ribeirinhas são ocupadas pela água, independentemente de estarem ocupadas ou não, causando impactos materiais

e humanos. Conforme dados do último Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais, em 2019, 3,5% dos domicílios brasileiros estavam localizados em áreas com risco de inundação (SNIS-AP, 2020).

A ocupação em áreas de risco é um grande problema, principalmente pela vulnerabilidade a qual a população fica exposta. As várzeas são áreas com terrenos economicamente desvalorizados, tanto pelo risco naturalmente maior de inundações, quanto pela pior qualidade dos solos em termos de fundações para edificações (MARTINS, 2012). As pessoas que ocupam esses espaços, muitas vezes o ocupam por terem poder financeiro para adquirir imóveis somente nessas condições, mas nem sempre tem conhecimento do risco associado a estes espaços. Devido à marginalização dessas áreas, algumas delas acabam sendo invadidas pela população de baixa renda e a consequência imediata é o aumento da poluição (TUCCI, 2005).

A ausência de conhecimento do risco associado decorre do fato da população ter pouco conhecimento do funcionamento do sistema de drenagem, sobre os problemas e suas causas. Mesmo em um mundo ideal, os sistemas de drenagem são feitos para falhar na ocorrência de eventos superiores aos do projeto (SOUZA, MORAES; BORJA, 2013).

A deficiência de conhecimento do sistema decorre da falta de acesso à informação, falta de interesse da comunidade em participar de forma mais ativa na gestão do espaço urbano e da falta de percepção da importância de um sistema eficiente de drenagem urbana, o qual só recebe atenção quando ultrapassa os limites para os quais foi dimensionado. Villanueva et al. (2011) observaram que, para que a população se torne uma aliada nos processos de formulação de projetos e Planos Diretores de Águas Pluviais, por exemplo, é necessário que seja realizada ampla divulgação das informações e desenvolvimento de campanhas de educação continuada para a população em geral, visando à conscientização da mesma com relação às medidas de controle de escoamento pluvial. A aceitação pela população é um dos fatores a serem considerados na análise das medidas de controle do escoamento pluvial (VILLANUEVA et al., 2011).

4.1.4. Aspecto Ambiental

Os problemas ambientais identificados estão relacionados à impermeabilização do solo, ocupação desordenada do solo, interferências físicas nos canais de escoamento e redução da qualidade dos recursos hídricos. Especificamente, os

problemas relacionados a temática ambiental identificados são descritos no Quadro a seguir.

Quadro 9 - Problemas relacionados a temática ambiental identificados

| | |
|------|---|
| PA01 | Aumento do volume do escoamento, com conseqüente redução da capacidade hidráulica do sistema (MARTINS, 2012; SILVA, 2016; VILLANUEVA et al., 2011). |
| PA02 | Alteração dos padrões de circulação da água (SILVA, 2016; VILLANUEVA et al., 2011). |
| PA03 | Redução da capacidade de recarga do aquífero, devido à redução de infiltração (CAVALCANTI FILHO, 2017; SILVA, 2016; VILLANUEVA et al., 2011). |
| PA04 | Alteração do microclima (MARTINS, 2012; SILVA, 2016). |
| PA05 | Aumento da produção de sedimento devido à desproteção das superfícies (GOLDENFUM et al., 2007; MARTINS, 2012; SILVA, 2016; SOUZA; MORAES; BORJA, 2013; TUCCI, 2008a; VILLANUEVA et al., 2011). |
| PA06 | Desconhecimento das áreas de risco. |
| PA07 | Redução da vegetação marginal dos cursos d'água (CASTRO, 2007; MIGUEZ; MASCARENHAS; MAGALHÃES, 2007). |
| PA08 | Obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, canais de drenagens inadequados (TUCCI, 2008a). |
| PA09 | Assoreamento de curso d'água (CASTRO, 2007; COLOMBELLI, 2018). |
| PA10 | Modificações físicas nos canais de escoamento naturais (MARTINS, 2012; SILVA, 2016; TUCCI, 2008a). |
| PA11 | Redução da diversidade da fauna aquática nos cursos d'água. |
| PA12 | Ligações indevidas ou ilegais na rede de drenagem (como da rede de esgoto) (CAVALCANTI FILHO, 2017; MARTINS, 2012; SILVA, 2016; SOUZA; MORAES; BORJA, 2013; TUCCI, 2008a). |
| PA13 | Dificuldade de identificação de fontes poluidoras/fontes difusas (CAVALCANTI FILHO, 2017; MARTINS, 2012; SILVA, 2016; TUCCI, 2008a). |
| PA14 | Redução da beleza paisagística (SILVA, 2016; VILLANUEVA et al., 2011). |
| PA15 | Disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos comprometendo o funcionamento pleno de dispositivos de drenagem e contaminando as águas pluviais (SILVA, 2016; SOUZA; MORAES; BORJA, 2013; TUCCI, 2008a). |
| PA16 | Déficit no esgotamento sanitário (GOLDENFUM et al., 2007; TUCCI, 2008a). |
| PA17 | Contaminação dos recursos hídricos subterrâneos (TUCCI, 2008a). |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

O crescimento e desenvolvimento de áreas urbanas inevitavelmente impacta o meio ambiente em diversos aspectos, iniciando pela alteração do uso do solo. A alteração uso do solo deve ser realizada com auxílio de instrumentos reguladores de uso e ocupação, no entanto, esse não é o caso do Brasil, onde o crescimento urbano ocorreu, em grande parte, de forma desordenada, desencadeando diversos problemas, inclusive na drenagem das águas pluviais.

A impermeabilização é responsável direta pelo aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial das bacias urbanas e pela redução do tempo de concentração, gerando redução da capacidade hidráulica do sistema. Em decorrência disso, diversas intervenções estruturais são ainda realizadas para

aumento da condutividade hidráulica dos cursos d'água, o que acarreta em erosão e deslizamento das margens, aumento das irregularidades do leito do curso d'água e, novamente, a perda da capacidade de condução (MARTINS, 2012).

As alterações estruturais nos cursos hídricos também impactam significativamente na biota local. A ictiofauna é o grupo faunístico mais impactado, devido a alterações significativas em seu ambiente natural. Também, de acordo com Cavalcanti Filho (2017), em projetos higienistas é comum a redução da vegetação nativa das margens dos cursos d'água. A redução da vegetação, além de potencializar o assoreamento, a desestabilização das margens e reduzir a retenção de poluentes, limita o deslocamento da fauna terrestre em corredores ecológicos formados pela vegetação ciliar.

A perda de capacidade hidráulica também decorre de intervenções realizadas nos canais de escoamento, que são comuns e muitas vezes são realizadas de forma inadequada, causando obstruções ou aumento da rugosidade de condutos, canais e cursos d'água (BORJA; SOUZA; MORAES, 2013), sendo agravada pelo déficit existente na coleta e limpeza de resíduos. Os resíduos, além de impactarem no escoamento em cursos d'água, devido à disposição inadequada, comprometem o funcionamento pleno de dispositivos de drenagem, como bueiros, e contaminam as águas superficiais e subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação (TUCCI, 2008a).

Além da contaminação das águas pluviais pela disposição inadequada dos resíduos sólidos, a origem da maior parcela das cargas poluidoras hídricas é a poluição difusa (MORIHAMA et al., 2012). Segundo Martins (2012), nas cidades as cargas de poluição pontuais podem ser razoavelmente controladas, entretanto, as fontes difusas, que são aquelas geradoras de constituintes poluentes transportados para os corpos hídricos por ocasião das precipitações, são ainda um grande desafio para os gestores.

4.1.5. Considerações gerais sobre os problemas envolvendo águas pluviais urbanas

Os problemas envolvendo gerenciamento e manejo das águas pluviais atuais são muito semelhantes aos problemas reportados há alguns anos. Observou-se que muitos dos problemas elencados para um mesmo aspecto temático são inter-relacionados e as ações realizadas para controlar um problema podem impactar

positivamente no controle de outros problemas. O mesmo pode ser observado entre problemas de diferentes áreas. A impermeabilização do solo (problema do aspecto ambiental) e ocupação de zonas de inundação (problema do aspecto social) são problemas que poderiam ser amenizados se houvessem regulamentação e regulação adequada do uso e ocupação do solo (problema do aspecto institucional), diminuindo assim os custos gerados por danos causados por eventos hidrológicos extremos (problema do aspecto econômico).

O gerenciamento e manejo das águas pluviais é também influenciado por aspectos culturais, como preferência por medidas mitigadoras tradicionais e estruturais pelos gestores públicos e pela população e falta de consciência sobre a necessidade de destinação adequada dos resíduos (SILVA, 2016). Assim, os problemas culturais foram ajustados aos aspectos temáticos adotados neste trabalho, conforme melhor se adequavam.

4.2. INDICADORES PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Partindo dos problemas identificados, foram selecionados possíveis indicadores com potencial de auxiliar a identificar se determinado município possui, ou não, determinado problema. Inicialmente são apresentados, por aspecto temático, os indicadores simples adotados nessa pesquisa e os valores - ideais e anti-ideais - utilizados para normalização. São apresentados e discutidos os resultados da aplicação dos indicadores simples nos municípios piloto. Em seguida é apresentada a agregação e ponderação desses indicadores simples, formando cinco indicadores compostos, os quais permitem a visualização da situação geral acerca de cada aspecto temático (econômico, institucional, social e ambiental). A ponderação foi testada por meio de três métodos distintos, sendo que cada qual teve sua sensibilidade avaliada de forma a identificar qual método é o mais adequado à finalidade para a qual está sendo desenvolvido o conjunto de indicadores. Por fim são apresentados e discutidos os resultados da aplicação dos indicadores compostos nos municípios pilotos.

4.2.1. Indicadores Simples

Após seleção de possíveis indicadores simples e submissão dos mesmos aos critérios norteadores, foram selecionados 42 indicadores simples e organizados por

aspecto temático, que resultaram na seguinte distribuição: 04 indicadores econômicos, 19 indicadores institucionais, 10 indicadores sociais e 09 indicadores ambientais. Na Tabela 7 são apresentados os nomes completos e abreviados dos indicadores simples, as unidades de medida e os valores utilizados para normalizar estes indicadores.

Para os indicadores qualitativos, as respostas possíveis são “Sim”, “Não”, “Parcial” ou “Em elaboração”, conforme detalhado no Apêndice B. Nesse mesmo Apêndice ainda são apresentados, de forma detalhada, os indicadores simples, as informações necessárias para o cálculo dos mesmos, as fórmulas e as fontes dos dados utilizadas são apresentadas. Ainda, no Apêndice C é apresentada a descrição detalhada do significado de cada indicador simples.

Tabela 7 - Indicadores selecionados e valores considerados para normalização (Continua)

| Id | Indicador (nome completo) | Indicador (nome abreviado) | Unidade de medida | Valor anti-ideal | Valor ideal |
|-----------------------------------|---|--|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| Indicadores econômicos | | | | | |
| IE01 | Receita operacional anual obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas | Receita operacional | \$.ano/m ² | 0,00 | 0,14 |
| IE02 | Receita não-operacional total obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas | Receita não-operacional | \$.ano/m ² | 0,00 | 2,80 |
| IE03 | Investimento do Município em serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas | Investimento do município | \$.ano/m ² | 0,00 | 2,80 |
| IE04 | Participação da despesa dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas na despesa total do Município | Despesa dos serviços de A.P. | % | 0,00 | 1,00 |
| Indicadores institucionais | | | | | |
| II01 | Percentual de servidores públicos permanentes no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | Servidores públicos permanentes | % | 0,00 | 100,00 |
| II02 | Percentual de servidores públicos no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais com ensino técnico e/ou superior na área ou em área correlata | Servidores públicos com ensino técnico e/ou superior na área | % | 0,00 | 100,00 |
| II03 | Percentual de servidores públicos com capacitação no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, realizada no ano de referência | Percentual de servidores públicos com capacitação | % | 0,00 | 100,00 |
| II04 | Normatização para os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | Normatização para os serviços | N.A. | Não | Sim |
| II05 | Regulamentação dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | Regulamentação dos serviços | N.A. | Não | Sim |
| II06 | Regulamentação da impermeabilização do solo | Regulamentação da impermeabilização do solo | N.A. | Não | Sim |
| II07 | Estímulo à adoção de métodos de controle na fonte | Estímulo à adoção de métodos de controle na fonte | N.A. | Não | Sim |
| II08 | Regularização fundiária em áreas de assentamentos irregulares e em áreas de risco | Regularização fundiária | N.A. | Não | Sim |
| II09 | Cadastro do sistema de macrodrenagem | Cadastro do sistema de macrodrenagem | N.A. | Não | Sim |
| II10 | Cadastro do sistema de microdrenagem | Cadastro do sistema de microdrenagem | N.A. | Não | Sim |
| II11 | Percentual de cursos d'água urbanos com monitoramento fluviométrico | Cursos d'água com monitoramento fluviométrico | % | 0,00 | 100,00 |
| II12 | Monitoramento pluviométrico | Monitoramento pluviométrico | N.A. | Não | Sim |

Tabela 8 - Indicadores selecionados e valores considerados para normalização (Continuação)

| Id | Indicador (nome completo) | Indicador (nome abreviado) | Unidade de medida | Valor anti-ideal | Valor ideal |
|-----------------------------------|--|--|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| Indicadores institucionais | | | | | |
| II13 | Acesso às informações existentes relacionadas à drenagem e manejo das águas pluviais | Acesso às informações | N.A. | Não | Sim |
| II14 | Ações intermunicipais relacionadas à drenagem e manejo das águas pluviais | Ações intermunicipais | N.A. | Não | Sim |
| II15 | Limpeza e desobstrução de galerias e canais | Limpeza e desobstrução de galerias e canais | N.A. | Não | Sim |
| II16 | Limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita | Limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita | N.A. | Não | Sim |
| II17 | Área urbana com possível ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável | Área urbana para drenagem urbana sustentável | N.A. | Não | Sim |
| II18 | Regulação dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | Regulação dos serviços | N.A. | Não | Sim |
| II19 | Canal de comunicação para recebimento das demandas da comunidade | Canal de comunicação | N.A. | Não | Sim |
| Indicadores sociais | | | | | |
| IS01 | Mapeamento das áreas de risco na área urbana | Áreas de risco | % | 0,00 | 100,00 |
| IS02 | Domicílios localizados em áreas de risco na área urbana | Domicílios em área de risco | % | 25,00 | 0,00 |
| IS03 | Parcela da população urbana impactada por eventos hidrológicos | População impactada por eventos | % | 100,00 | 0,00 |
| IS04 | Banco de dados sobre áreas vulneráveis a alagamentos | Banco de dados | N.A. | Não | Sim |
| IS05 | Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo das águas pluviais | Conselho Municipal | N.A. | Não | Sim |
| IS06 | Programa de educação ambiental | Programa de educação ambiental | N.A. | Não | Sim |
| IS07 | Ocorrência de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, registradas no S2ID nos últimos cinco anos | Ocorrência de eventos registrados | Unitário | 2,50 | 0,00 |
| IS08 | Ocorrência de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, não registradas no S2ID | Ocorrência de eventos não - registrados | Unitário | 0,50 | 0,00 |
| IS09 | Controle de vetores de doenças de veiculação hídrica | Controle de vetores | N.A. | Não | Sim |
| IS10 | Óbitos relacionados a eventos hidrológicos | Óbitos | Unitário | 1,00 | 0,00 |
| Indicadores ambientais | | | | | |
| IA01 | Densidade populacional urbana | Densidade populacional urbana | hab/ha | 100,00 | 1,00 |
| IA02 | Intervenções ou manutenções realizadas em canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do Município | Intervenções ou manutenções em canais abertos ou nos cursos d'água | N.A. | Não | Sim |

Tabela 9 - Indicadores selecionados e valores considerados para normalização (Conclusão)

| Id | Indicador (nome completo) | Indicador (nome abreviado) | Unidade de medida | Valor anti-ideal | Valor ideal |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| Indicadores ambientais | | | | | |
| IA03 | Cursos d'água reestruturados | Cursos d'água reestruturados | % | 100,00 | 0,00 |
| IA04 | Taxa de cobertura do serviço de coleta domiciliar direta (porta-a-porta) da população urbana do Município | Serviço de coleta domiciliar direta | % | 0,00 | 100,00 |
| IA05 | Limpeza de dispositivos de drenagem, no ano de referência | Limpeza de dispositivos de drenagem | N.A. | Não | Sim |
| IA06 | Taxa de cobertura do serviço de esgotamento sanitário (coleta e tratamento) da população urbana do Município | Serviço de esgotamento sanitário | % | 0,00 | 100,00 |
| IA07 | Contaminação das águas pluviais | Contaminação das águas pluviais | N.A. | Não | Sim |
| IA08 | Contaminação de cursos d'água | Contaminação de cursos d'água | N.A. | Não | Sim |
| IA09 | Mata ciliar nos cursos d'água urbanos | Mata ciliar nos cursos d'água | % | 0,00 | 100,00 |

Legenda: A.P.: Águas Pluviais; N.A.: Não se Aplica.

Fonte: Camila A. Baum (2022).

O aspecto econômico é composto pelo menor número de indicadores (quatro). As informações abertas disponibilizadas pelos municípios sobre questões econômicas relacionadas às águas pluviais ainda são escassas. No Diagnóstico do SNIS-AP, referente ao ano de 2018, identificou-se que um conjunto significativo de municípios respondentes (44,16%) pareceu informar dados que não necessariamente expressam a sua realidade orçamentária e fiscal, a qual, pelo conhecimento tácito do setor, tende a ser de déficit nos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais (SNIS-AP, 2019). Dessa forma, a reduzida disponibilidade e confiabilidade de dados e informações relacionados à questão econômica limitaram a seleção/desenvolvimento de indicadores para esse aspecto. Já o aspecto com o maior número de indicadores foi o institucional. A questão institucional é extremamente relevante para que haja um gerenciamento apropriado das águas pluviais e, apesar da amplitude, é um assunto pouco explorado. De acordo com Tucci (2012), um dos grupos de componentes em que a estrutura da gestão das águas urbanas se baseia é o institucional.

Também se observa que, do total de 42 indicadores, 23 são qualitativos, enquanto os demais são quantitativos. Há a predominância de indicadores qualitativos dentre os indicadores institucionais, enquanto os indicadores econômicos são todos quantitativos. Os indicadores dos aspectos ambiental e social apresentaram equilíbrio entre indicadores quantitativos e qualitativos.

4.2.1.1. Normalização dos indicadores simples

Para atribuir comensurabilidade aos resultados dos indicadores, os mesmos foram normalizados entre 0,00 e 1,00 (Muito Crítico e Bom). Como valores máximos e valores mínimos para realizar essa normalização foram adotados os valores ideais e anti-ideais. Para alguns indicadores, os valores ideais e anti-ideais são evidentes, enquanto para outros esses valores são mais complexos, como é o caso dos valores ideais dos indicadores IE01(Receita operacional), IE02 (Receita não-operacional), IE03 (Investimento do município), IE04 (Despesa dos serviços de A.P.), IA01(Densidade populacional urbana) e dos valores anti-ideais dos indicadores IS02 (Domicílios em área de risco), IS07 (Ocorrência de eventos registrados), IS08 (Ocorrência de eventos não – registrados) e IA01(Densidade populacional urbana).

No que tange aos valores estipulados para normalização dos indicadores econômicos, cabe esclarecimento em relação aos valores máximos (ideais), que

consideram valores aproximados. A receita operacional, que corresponde à receita de taxas e preços públicos e tem como destino a cobertura de custos indiretos (operação e manutenção), considerada como ideal nesse trabalho, é o valor correspondente a 0,14 R\$/m² por área impermeável. Este valor foi apontado por Tasca (2016). Para cálculo da área impermeável considerou-se a densidade populacional urbana e foi utilizada a fórmula proposta por Menezes Filho & Tucci (2012). Como valores ideais do IE02 (Receita não-operacional) e do IE03 (Investimento do município) admitiu-se o mesmo valor, sendo este vinte vezes maior que o valor ideal do IE01 (Receita operacional), considerando que os custos indiretos (operação e manutenção) correspondem a 5% do total de investimentos em drenagem urbana. Este valor teve como base o levantamento realizado por Cruz (2004), que pesquisou doze anos de gestão no município de Porto Alegre e observou que o valor de operação e manutenção equivale a 5% do total do investimento em drenagem. Para o valor ideal de IE04 (Despesa dos serviços de A.P.), não foram encontradas referências que subsidiassem a adoção de algum valor, no entanto foi arbitrado o valor de 1% como valor ideal da participação da despesa dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas na despesa total do Município, o que para a realidade brasileira seria um valor considerável diante dos investimentos atuais pouco expressivos.

Os valores anti-ideais dos indicadores IS07 (Ocorrência de eventos registrados) e IS08 (Ocorrência de eventos não – registrados) foram calculados considerando a probabilidade de ocorrência de evento superior ao qual as estruturas de drenagem são projetadas. Considerando que estes indicadores levam em conta a ocorrência de alagamentos, que é comumente relacionada à microdrenagem, e esta é dimensionada para um tempo de retorno entre 2 e 10 anos, foi adotada uma recorrência de 2 anos, por ser a condição mais crítica para o cálculo da probabilidade e, conseqüentemente, definição dos valores anti-ideais (que é quando os eventos ocorrem com uma recorrência inferior ao planejado).

Em relação ao valor anti-ideal do IS02 (Domicílios em área de risco) nenhum percentual de domicílios em área de risco é aceitável, no entanto, não foram encontrados referentes a este aspecto. Considerando a realidade brasileira, com recorrência de domicílios em área de risco, foi arbitrado como valor anti-ideal 25% dos domicílios em área de risco, de forma que qualquer percentual igual ou acima de 25% representa a pior situação possível. Em relação aos valores ideais e anti-ideais do

indicador IA01 (densidade populacional urbana) não foram identificados valores na literatura que possam orientar.

4.2.1.2. *Aplicação dos indicadores simples*

Os resultados da aplicação nos municípios piloto dos indicadores listados na Tabela 7, após normalização, são apresentados na Tabela 10.

Quando comparados os resultados por município para cada aspecto temático, conforme apresentado na Figura 6, observa-se que os indicadores econômicos possuem os resultados mais críticos para todos os municípios, enquanto os indicadores sociais, no geral, apresentam os resultados mais positivos. Alguns municípios apresentaram maior ou menor número de indicadores mensurados do que os demais para um mesmo aspecto temático devido à ausência de dados para cálculo de todos os indicadores daquele aspecto temático.

De modo geral, o aspecto temático econômico apresenta resultados muito críticos, corroborando a deficiência orçamentária existente para os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais. Esse serviço, que é o serviço do saneamento que possui o maior *déficit*, é efetivado pelas prefeituras, de forma direta ou por contratos com o setor privado, sendo o seu financiamento um grande gargalo (SANTOS; KUWAJIMA; SANTANA, 2020). Por outro lado, o aspecto temático social apresentou os resultados mais positivos dentre os aspectos temáticos avaliados.

Tabela 10 - Resultados da aplicação dos indicadores simples nos municípios piloto (Continua)

| Id | | Esteio (RS) | São Bento do Sul (SC) | Medianeira (PR) | Sengés (PR) | Fraiburgo (SC) | Tubarão (SC) | Capão da Canoa (RS) | Não-Me-Toque (RS) |
|------|--|-------------|-----------------------|-----------------|-------------|----------------|--------------|---------------------|-------------------|
| IE01 | Receita operacional | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| IE02 | Receita não-operacional | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| IE03 | Investimento do município | 0,130 | 0,010 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,130 | 0,010 | 0,000 |
| IE04 | Despesa dos serviços de A.P. | 1,000 | 0,377 | N.C. | 0,443 | 0,082 | 0,150 | 0,095 | 0,188 |
| II01 | Servidores públicos permanentes | N.C. | N.C. | N.C. | 0,000 | 0,500 | N.C. | N.C. | N.C. |
| II02 | Servidores públicos com ensino técnico e/ou superior na área | N.C. | N.C. | N.C. | 0,400 | 0,500 | N.C. | N.C. | N.C. |
| II03 | Percentual de servidores públicos com capacitação | N.C. | N.C. | N.C. | 0,000 | 0,000 | N.C. | N.C. | N.C. |
| II04 | Normatização para os serviços | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,00 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 |
| II05 | Regulamentação dos serviços | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| II06 | Regulamentação da impermeabilização do solo | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| II07 | Estímulo à adoção de métodos de controle na fonte | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| II08 | Regularização fundiária | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 |
| II09 | Cadastro do sistema de macrodrenagem | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 0,500 | 0,000 |
| II10 | Cadastro do sistema de microdrenagem | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 0,500 | 0,000 |
| II11 | Cursos d'água com monitoramento fluviométrico | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,667 | 0,000 | 0,000 |
| II12 | Monitoramento pluviométrico | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| II13 | Acesso às informações | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| II14 | Ações intermunicipais | 0,500 | 0,000 | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 0,000 |
| II15 | Limpeza e desobstrução de galerias e canais | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 |
| II16 | Limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| II17 | Área urbana para drenagem urbana sustentável | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 |
| II18 | Regulação dos serviços | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 |
| II19 | Canal de comunicação | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 |

Tabela 11 - Resultados da aplicação dos indicadores simples nos municípios piloto (Conclusão)

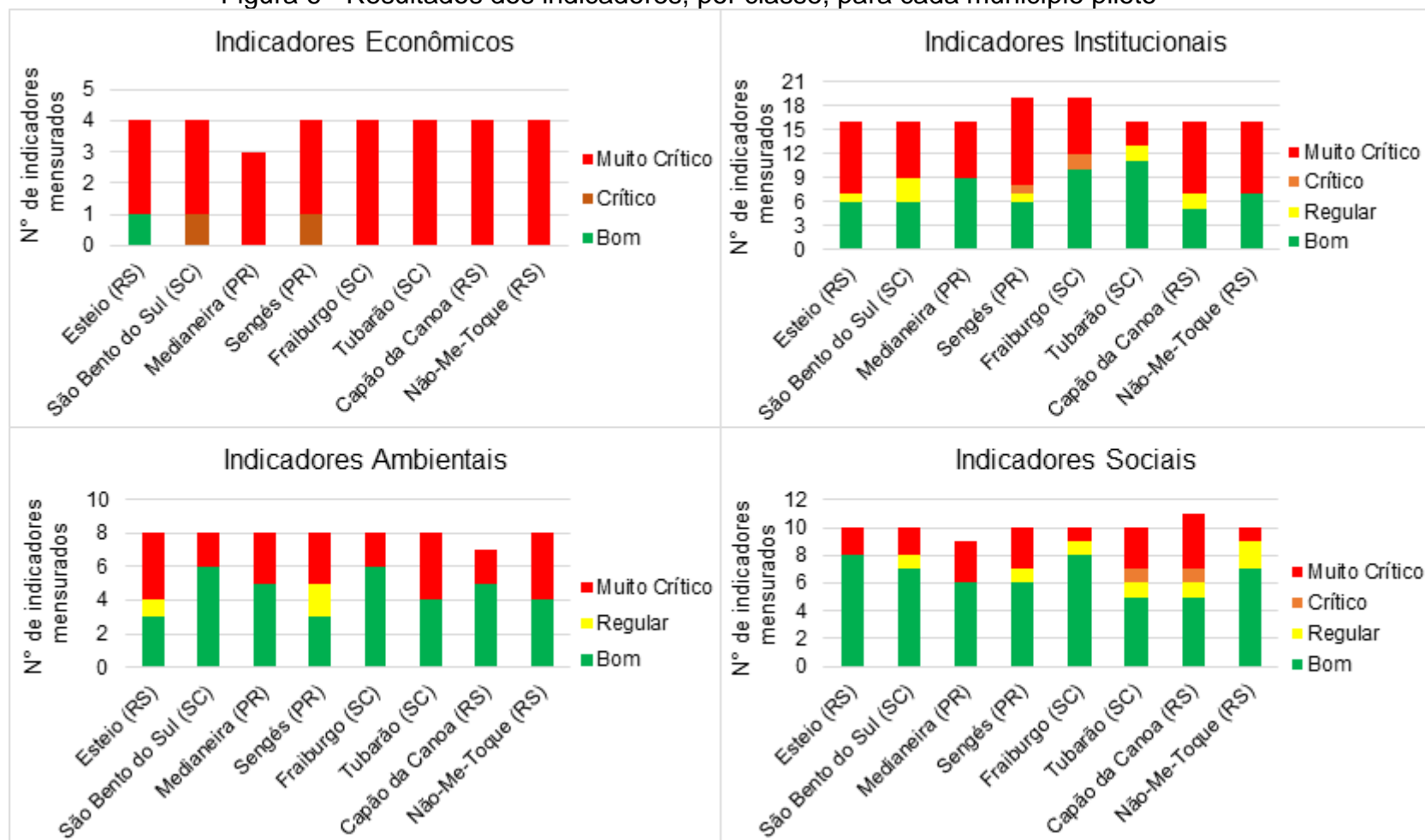
| Id | | Esteio (RS) | São Bento do Sul (SC) | Medianeira (PR) | Sengés (PR) | Fraiburgo (SC) | Tubarão (SC) | Capão da Canoa (RS) | Não-Me-Toque (RS) |
|------|--|-------------|-----------------------|-----------------|-------------|----------------|--------------|---------------------|-------------------|
| IS01 | Áreas de risco | 1,000 | 0,760 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,260 | 0,000 | 0,510 |
| IS02 | Domicílios em área de risco | 0,946 | 0,691 | 0,974 | 0,777 | 1,000 | 0,230 | 0,412 | 0,992 |
| IS03 | População impactada por eventos | 0,802 | 0,938 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,999 |
| IS04 | Banco de dados | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| IS05 | Conselho Municipal | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 |
| IS06 | Programa de educação ambiental | 1,000 | 1,000 | N.C. | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,000 |
| IS07 | Ocorrência de eventos registrados | 0,000 | 0,000 | 0,800 | 1,000 | 1,000 | 0,800 | 1,000 | 0,600 |
| IS08 | Ocorrência de eventos não - registrados | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| IS09 | Controle de vetores | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 |
| IS10 | Óbitos | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| IA01 | Densidade populacional urbana | 0,591 | 0,907 | 0,778 | 0,833 | 0,943 | 0,829 | 0,917 | 0,987 |
| IA02 | Intervenções ou manutenções em canais abertos ou nos cursos d'água | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| IA03 | Cursos d'água reestruturados | 0,146 | 0,900 | 0,823 | 1,000 | 0,775 | 1,000 | N.A. | 0,074 |
| IA04 | Serviço de coleta domiciliar direta | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,506 | 1,000 | 0,958 | 1,000 | 1,000 |
| IA05 | Limpeza de dispositivos de drenagem | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| IA06 | Serviço de esgotamento sanitário | 0,082 | 0,208 | 0,225 | 0,501 | 0,157 | 0,000 | 0,082 | 0,000 |
| IA07 | Contaminação das águas pluviais | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 |
| IA08 | Contaminação de cursos d'água | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| IA09 | Mata ciliar nos cursos d'água | N.C. | N.C. | N.C. | N.C. | N.C. | N.C. | N.C. | N.C. |

Legenda: Para indicadores quantitativos: Em vermelho, indicadores "Muito Crítico" (de 0,00 a 0,25); em laranja, indicadores "Crítico" (de 0,26 a 0,50); em amarelo, indicadores "Regular" (de 0,51 a 0,75); e em verde, indicadores "Bom" (de 0,76 a 1,00). Para indicadores qualitativos: em vermelho, indicadores "Muito Crítico" (0,00); em amarelo, indicadores "Regular" (0,50); e em verde, indicadores "Bom" (1,00).

N.A.: Não se aplica; N.C.: Não calculado.

Fonte: Camila A. Baum (2022).

Figura 6 - Resultados dos indicadores, por classe, para cada município piloto



Fonte: Camila A. Baum (2022).

4.2.1.3. *Considerações gerais sobre os indicadores simples*

O método de normalização de transformação das variáveis para valores entre 0,00 (zero) e 1,00 (um), utilizando como valores máximos e mínimos valores ideais e anti-ideais, se mostra adequado à proposta deste trabalho, que é formular um conjunto de indicadores que possa ser utilizado para diferentes municípios de até cem mil habitantes. Dentre as principais limitações de transformação das variáveis para valores entre 0,00 (zero) e 1,00 (um) está o poder que valores extremos têm de distorcer o resultado do indicador transformado (OECD, 2008), isso porque essa transformação não costuma ser estável quando os dados para um novo ponto no tempo ficam disponíveis. Ao utilizar como valores máximos e mínimos valores ideais e anti-ideais, é dada estabilidade à transformação e eliminada a limitação inerente a valores extremos. Cabe destacar que o processo de normalização é fundamental por permitir comparação entre os resultados dos indicadores simples. Há uma grande quantidade de estudos em que não é descrito o método de normalização dos dados utilizado ou sequer é aplicado um método de normalização.

A aplicação de indicadores que requeiram uma grande quantidade de informações que não necessitam estar obrigatoriamente disponíveis é desafiadora, na medida em que a transparência de informações, nesse caso relacionada às águas pluviais, não é uma questão prioritária para os municípios. Ademais, para o conjunto de indicadores propostos, para que o mesmo retrate a situação real e evite distorções, é importante que os dados e informações utilizadas sejam referentes a um mesmo espaço temporal. Por essas questões, a massiva utilização dos dados dos SNIS-AP se mostrou interessante, apesar de os mesmos deverem ser usados com cautela, de acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento (SNIS, 2020).

4.2.2. Indicadores Compostos

4.2.2.1. *Agregação e Ponderação*

Os indicadores compostos foram agregados nos quatro aspectos temáticos, aplicados também para organização dos problemas e dos indicadores simples. Para o aspecto institucional, foram desenvolvidos dois indicadores compostos, totalizando assim cinco indicadores compostos:

- 1) Indicador Composto Econômico (ICE): IE01, IE02, IE03 e IE04.

- 2) Indicador Composto Institucional 1 (ICI I): II01, II02, II03, II04, II05, II06, II07, II08, II18 e II19.
- 3) Indicador Composto Institucional 2 (ICI II): II09, II10, II11, II12, II13, II14, II15, II16 e II17.
- 4) Indicador Composto Social (ICS): IS01, IS02, IS03, IS04, IS05, IS06, IS07, IS08, IS09 e IS10.
- 5) Indicador Composto Ambiental (ICA): IA01, IA02, IA03, IA04, IA05, IA06, IA07, IA08 e IA09.

Quanto à ponderação, inicialmente são apresentados os resultados das ponderações pelos três métodos estudados para essa etapa da formulação dos indicadores compostos: Média Aritmética, Processo de Análise Hierárquica (PAH) e Análise dos Componentes Principais (ACP).

Na Tabela 12 são apresentados os pesos para cada indicador simples que compõem o respectivo indicador composto, conforme método de ponderação.

Tabela 12 - Ponderação dos indicadores simples por método testado (Continua)

| Id | Média Aritmética | Processo de Análise Hierárquica (PAH) | Análise dos Componentes Principais (ACP) |
|-----------|-------------------------|--|---|
| IE01 | 0,250 | 0,290 | N.C. |
| IE02 | 0,250 | 0,090 | N.C. |
| IE03 | 0,250 | 0,570 | N.C. |
| IE04 | 0,250 | 0,040 | N.C. |
| II01 | 0,100 | 0,045 | N.C. |
| II02 | 0,100 | 0,071 | N.C. |
| II03 | 0,100 | 0,018 | N.C. |
| II04 | 0,100 | 0,040 | 0,158 |
| II05 | 0,100 | 0,120 | N.C. |
| II06 | 0,100 | 0,083 | N.C. |
| II07 | 0,100 | 0,088 | 0,185 |
| II08 | 0,100 | 0,181 | 0,285 |
| II18 | 0,100 | 0,327 | 0,096 |
| II19 | 0,100 | 0,027 | 0,275 |
| II09 | 0,111 | 0,138 | 0,288 |
| II10 | 0,111 | 0,138 | 0,288 |
| II11 | 0,111 | 0,021 | 0,035 |
| II12 | 0,111 | 0,092 | 0,176 |
| II13 | 0,111 | 0,067 | 0,067 |
| II14 | 0,111 | 0,032 | 0,056 |
| II15 | 0,111 | 0,252 | 0,006 |
| II16 | 0,111 | 0,232 | 0,055 |
| II17 | 0,111 | 0,028 | 0,030 |

Tabela 9 - Ponderação dos indicadores simples por método testado (Conclusão)

| Id | Média Aritmética | Processo de Analítica Hierárquica (PAH) | Análise dos Componentes Principais (ACP) |
|-----------|-------------------------|--|---|
| IS01 | 0,100 | 0,136 | 0,233 |
| IS02 | 0,100 | 0,121 | 0,002 |
| IS03 | 0,100 | 0,153 | 0,174 |
| IS04 | 0,100 | 0,043 | 0,129 |
| IS05 | 0,100 | 0,016 | 0,057 |
| IS06 | 0,100 | 0,034 | N.C. |
| IS07 | 0,100 | 0,070 | 0,208 |
| IS08 | 0,100 | 0,070 | 0,138 |
| IS09 | 0,100 | 0,021 | 0,003 |
| IS10 | 0,100 | 0,336 | 0,055 |
| IA01 | 0,111 | 0,018 | 0,005 |
| IA02 | 0,111 | 0,244 | 0,056 |
| IA03 | 0,111 | 0,290 | N.C. |
| IA04 | 0,111 | 0,062 | 0,294 |
| IA05 | 0,111 | 0,055 | 0,302 |
| IA06 | 0,111 | 0,122 | 0,276 |
| IA07 | 0,111 | 0,031 | 0,066 |
| IA08 | 0,111 | 0,139 | 0,000 |
| IA09 | 0,111 | 0,040 | N.C. |

N.C.: Não utilizado para cálculo da ponderação.

Fonte: Camila A. Baum (2022).

A ponderação pelo método de ACP foi comprometida por: 1) ausência de algumas informações para cálculo dos indicadores simples; e 2) um mesmo indicador simples apresentar o mesmo resultado para todos os municípios (o que inviabiliza a ACP devido ao desvio padrão ser nulo). A ACP para o Indicador Composto Econômico (ICE) foi totalmente comprometida, dessa forma não foram obtidos resultados de ponderação por ACP para este indicador composto. Já os Indicadores Compostos Institucional¹ (ICI I), Social (ICS) e Ambiental (ICA) tiveram suas ponderações parcialmente comprometidas, conforme pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 - Número de indicadores simples que compõe o indicador composto ponderados por ACP

| | ICE | ICI I | ICI II | ICS | ICA |
|---|------------|--------------|---------------|------------|------------|
| Número total de indicadores simples | 4 | 10 | 9 | 10 | 9 |
| Número de indicadores simples ponderados | * | 5 | 9 | 9 | 7 |

* Não houve ponderação. Fonte: Camila A. Baum (2022).

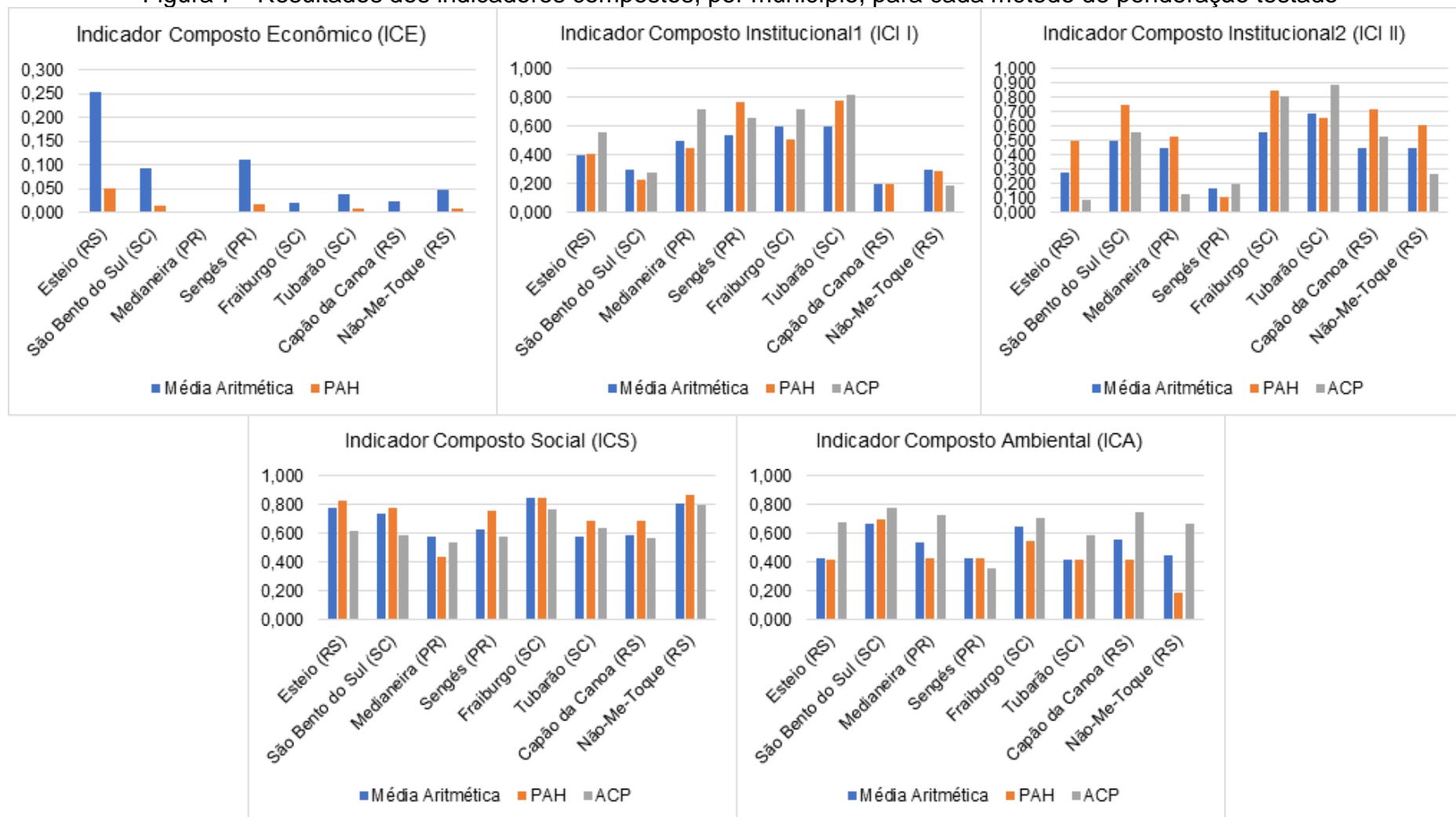
Apesar das vantagens da ACP, como a não necessidade da opinião de especialistas, de acordo com a OECD (2008) este método apresenta como desvantagem a sensibilidade a modificações de dados básicos: revisões e atualizações de dados podem alterar o conjunto de pesos usados no indicador composto, sensibilidade à presença de valores discrepantes, problemas com amostras pequenas e com indisponibilidade de dados.

A aplicação dos indicadores compostos nos municípios para cada aspecto temático considerou os valores ponderados apresentados na Tabela 12. No caso do cálculo dos indicadores compostos pelo método ACP, foram utilizados apenas os indicadores simples utilizados para cálculo da ponderação, condição que evidenciou ainda mais limitações inerentes à aplicação desse método para ponderação de indicadores. Os resultados da aplicação são apresentados na Figura 7.

Para o ICA, os maiores resultados, na maioria dos municípios, foram obtidos pela ponderação pela ACP. Esse resultado foi ocasionado pela combinação de ponderação elevada pelo método ACP para indicadores que possuíam resultados próximos a 1,00 (um), elevando assim o resultado final por esse método para o ICA. Já no caso do ICI II, os maiores resultados foram obtidos pela ponderação PAH, por motivo semelhante ao observado no caso anterior.

O valor máximo de um indicador composto é de, no máximo, 1 porque a soma dos pesos dos indicadores simples que compõem o indicador composto é igual a 1 e o resultado de cada indicador simples que compõem o indicador composto varia de 0 a 1 (devido ao método de normalização adotado).

Figura 7 - Resultados dos indicadores compostos, por município, para cada método de ponderação testado



Fonte: Camila A. Baum (2022).

A relação entre os resultados da aplicação dos indicadores compostos nos municípios piloto a partir dos diferentes métodos de ponderações é apresentada na Tabela 14. Todos os resultados foram positivos e apenas a correlação PAH x ACP para o ICA foi fraca. As correlações mais fortes foram obtidas para o ICE e ICI I.

Tabela 14 - Correlação linear entre os resultados da aplicação dos indicadores compostos desenvolvidos a partir de diferentes métodos de ponderação

| Indicador composto | Correlação | | |
|--------------------|-------------|-------------|-----------|
| | Média X PAH | Média x ACP | PAH X ACP |
| ICE | 0,994 | N.C. | N.C. |
| ICI I | 0,876 | 0,965 | 0,833 |
| ICI II | 0,805 | 0,811 | 0,651 |
| ICS | 0,785 | 0,756 | 0,676 |
| ICA | 0,717 | 0,642 | 0,271 |

N.C.: Não calculado.

Fonte: Camila A. Baum (2022).

4.2.2.2. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade nesse estudo explora o efeito de duas principais incertezas associadas à construção dos indicadores temáticos em estudo: (1) tipo de ponderação; e (2) variabilidade na quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto.

Análise de sensibilidade - Ponderação

Para avaliar a sensibilidade atrelada aos diferentes métodos de ponderação foram atribuídas as ponderações dos Cenários 1 a 5 para os indicadores simples: II09 (Cadastro do sistema de macrodrenagem), II11 (Cursos d'água com monitoramento fluviométrico), II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais) - (referentes ao Indicador Composto Institucional 02 - ICI II), IS01 (Áreas de risco) e IS03 (População impactada por eventos) - (referentes ao Indicador Composto Social – ICS), conforme detalhado no item 3.3.7.1 e, posteriormente, realizada a análise de correlação com o respectivo resultado do indicador composto por município, para cada método de ponderação testado, tratado como cenário homogêneo (CH) nessa análise.

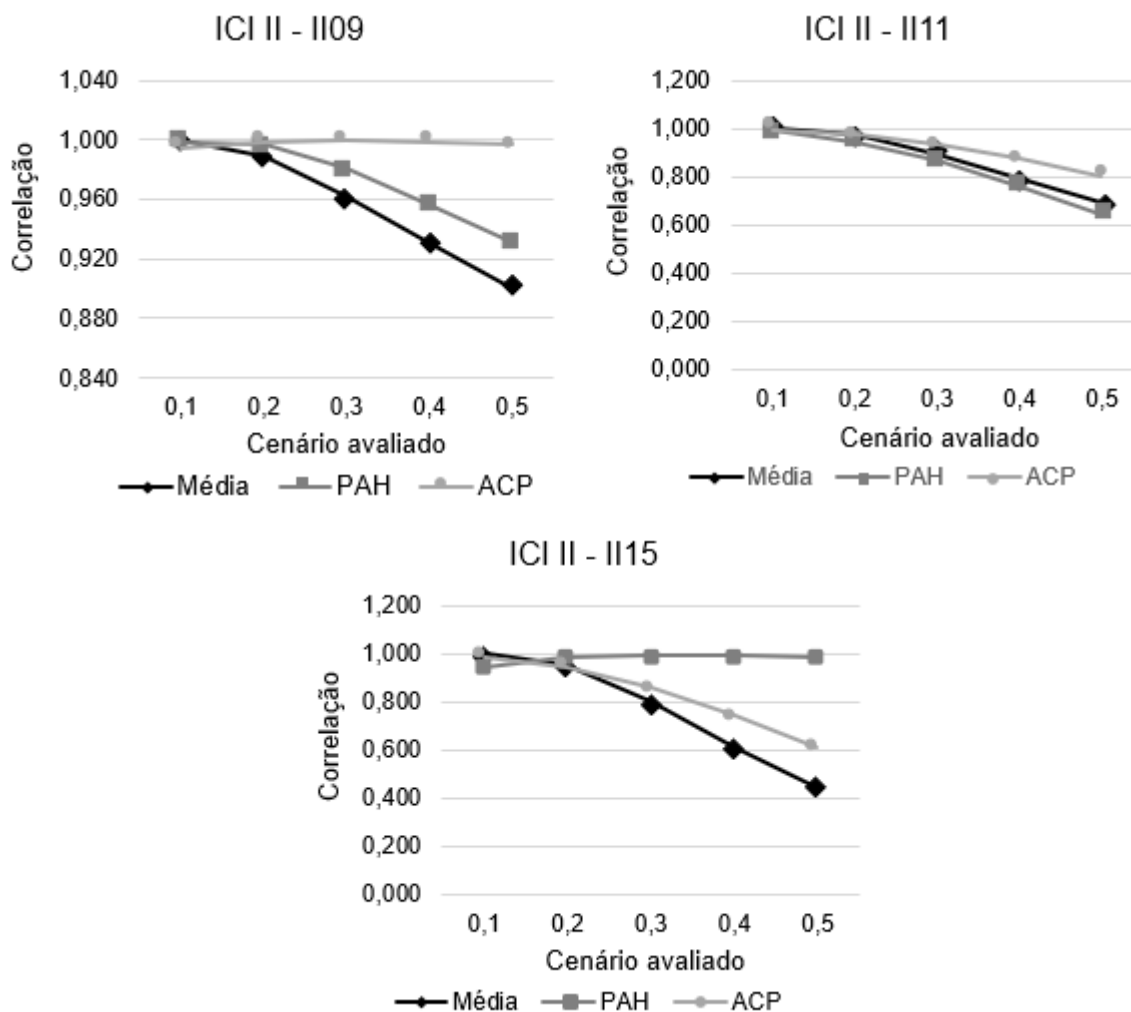
Os resultados das correlações são apresentados nas Tabela 15 e Tabela 16 e, na forma gráfica, nas Figura 8 e Figura 9. Nos gráficos destas figuras, cada curva representa a distribuição dos valores de correlação à medida que se alteram os pesos atribuídos aos indicadores para um método de ponderação.

Tabela 15 - Correlação do cenário homogêneo x cenários ponderados - II09, II11 e II15

| Cenário | Indicador Composto Institucional 02 – ICI II | | | | | | | | |
|-----------|--|-------|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | Correlação II09 | | | Correlação II11 | | | Correlação II15 | | |
| | Média | PAH | ACP | Média | PAH | ACP | Média | PAH | ACP |
| Cenário 1 | 1,000 | 0,998 | 0,994 | 1,000 | 0,990 | 0,997 | 0,999 | 0,946 | 0,988 |
| Cenário 2 | 0,989 | 0,997 | 0,999 | 0,974 | 0,945 | 0,976 | 0,953 | 0,983 | 0,942 |
| Cenário 3 | 0,962 | 0,980 | 1,000 | 0,896 | 0,864 | 0,935 | 0,799 | 0,992 | 0,856 |
| Cenário 4 | 0,931 | 0,957 | 0,999 | 0,796 | 0,757 | 0,876 | 0,610 | 0,991 | 0,739 |
| Cenário 5 | 0,901 | 0,931 | 0,997 | 0,696 | 0,641 | 0,802 | 0,445 | 0,985 | 0,607 |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

Figura 8 - Distribuição dos valores de correlação para os indicadores simples II09, II11 e II15 submetidos a variação, conforme metodologia de ponderação



Fonte: Camila A. Baum (2022).

Como é possível observar, para o ICI II, o método que apresentou maior sensibilidade a alterações nas ponderações foi a média aritmética. O método de PAH

apresentou sensibilidade elevada nas análises dos indicadores II09 (Cadastro do sistema de macrodrenagem) e II11 (Cursos d'água com monitoramento fluviométrico), nos quais os pesos eram mais semelhantes aos pesos para esse mesmo indicador ponderado pelo método de ACP. Contudo, o método PAH apresentou baixa sensibilidade na análise do indicador II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais), onde a ponderação por PAH é elevada e por ACP é reduzida. Nesse mesmo indicador é observada a maior sensibilidade pelo método ACP, porém, inferior à sensibilidade pelo método da média aritmética.

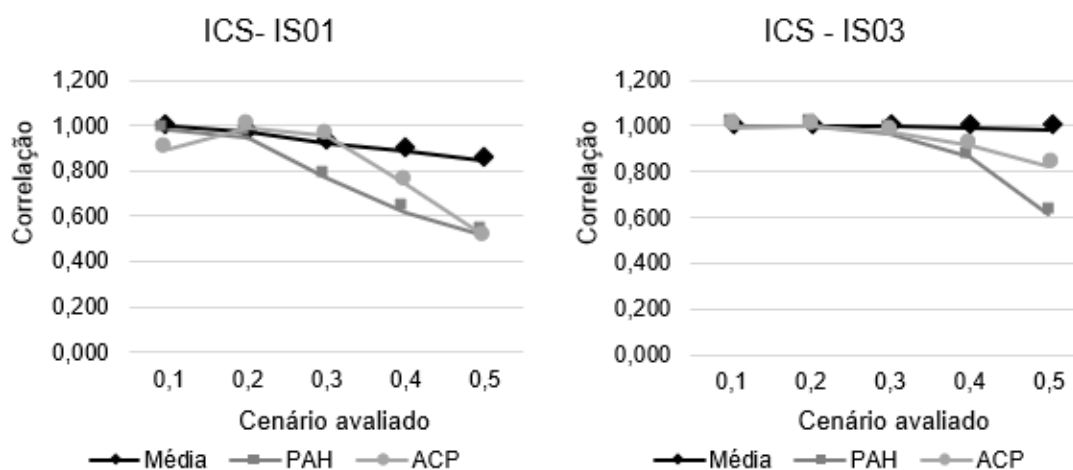
Para o Indicador Composto Social (ICS), o método que apresentou maior sensibilidade a alterações nas ponderações foram os métodos de PAH, enquanto o método que apresentou menor sensibilidade foi o da média aritmética (Tabela 16; Figura 9).

Tabela 16 - Correlação do cenário homogêneo x cenários ponderados – IS01 e IS03
Indicador Composto Social

| Cenário | Correlação IS01 | | | Correlação IS03 | | |
|---------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | Média | PAH | ACP | Média | PAH | ACP |
| C1 | 1,000 | 0,979 | 0,896 | 1,000 | 0,998 | 0,993 |
| C2 | 0,971 | 0,944 | 0,991 | 0,999 | 0,998 | 0,999 |
| C3 | 0,925 | 0,766 | 0,955 | 0,995 | 0,968 | 0,975 |
| C4 | 0,883 | 0,617 | 0,746 | 0,991 | 0,861 | 0,916 |
| C5 | 0,849 | 0,516 | 0,513 | 0,986 | 0,614 | 0,823 |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

Figura 9 - Distribuição dos valores de correlação para os indicadores simples IS01 e IS03 submetidos a variação, conforme metodologia de ponderação



Fonte: Camila A. Baum (2022).

O método de ACP apresentou sensibilidade elevada na análise do indicador IS01 (Áreas de risco). A sensibilidade verificada para as ponderações pelos métodos da média aritmética e PAH para o indicador IS03 (População impactada por eventos) foi inversa à apresentada na análise do II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais) (o qual apresenta características de ponderação semelhante - elevada por PAH e reduzida por ACP). Cabe atentar que os comportamentos para ambas as ponderações para os dois indicadores (IS01 e IS03) demonstraram comportamentos relativamente similares, apesar das ponderações apresentarem características distintas (Figura 9).

Quando comparados os resultados dos indicadores IS03 (População impactada por eventos) e II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais) (ambos possuem ponderação elevada pelo PAH e reduzida pelo método da ACP), é possível observar que o comportamento da curva de ACP é similar, apesar das correlações do IS03 serem mais fortes. Já o comportamento das curvas de correlações de PAH e média aritmética apresentam comportamento inverso.

Outro aspecto a destacar é que, para todos os indicadores analisados, considerando o método da média aritmética, a maior correlação sempre está na ponderação 0,1. Isso se deve ao fato de que a ponderação pelo método da média aritmética é de 0,11 para o ICI II e de 0,10 para o ICS, representando assim o cenário muito próximo ou igual ao cenário homogêneo.

Por meio da análise de sensibilidade pode-se observar distintos comportamentos dos métodos de ponderação. O método da ACP para os demais indicadores apresentou sensibilidade mediana ou reduzida, apesar de apresentar alta sensibilidade no indicador IS01 (Áreas de risco). O método de ponderação pela média aritmética apresentou maior sensibilidade para os indicadores institucionais, quando comparado aos demais métodos de ponderação, porém foi o método que apresentou menor sensibilidade para os indicadores sociais. O método de PAH apresentou elevada sensibilidade para todos os indicadores quando comparado aos demais métodos, com exceção do indicador II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais).

Considerando que é desejável que o método de ponderação seja sensível a alterações nos pesos dos indicadores simples, permitindo assim, diferenciar situações. O método de PAH foi o que apresentou melhores resultados quanto à sensibilidade.

Análise de sensibilidade - Quantidade de indicadores

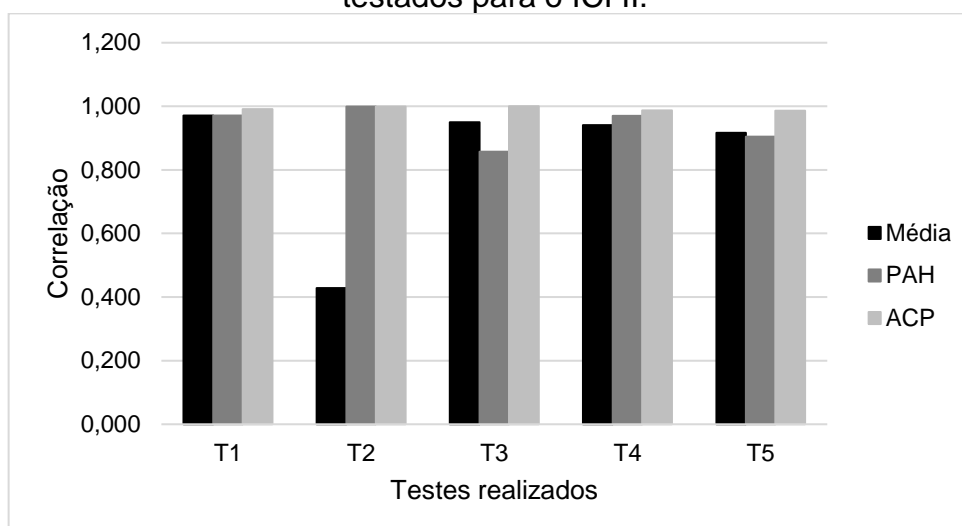
A sensibilidade atrelada à quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto foi testada no ICI II. Foram testados cinco arranjos (T1, T2, T3, T4 e T5), conforme descrito no item 3.3.7.2. Os resultados são apresentados na Tabela 17 e Figura 10.

Tabela 17 - Correlação entre o resultado original e os arranjos testados para o ICI II.

| Métodos de ponderação | Arranjos testados | | | | |
|-----------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
| Média | 0,971 | 0,428 | 0,950 | 0,941 | 0,916 |
| PAH | 0,971 | 0,999 | 0,857 | 0,970 | 0,904 |
| ACP | 0,992 | 0,999 | 1,000 | 0,987 | 0,987 |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

Figura 10 - Representação da correlação entre o resultado original e os arranjos testados para o ICI II.



Fonte: Camila A. Baum (2022).

Esta análise de sensibilidade indicou que a média aritmética é o método mais sensível à ponderação, enquanto o método menos sensível é a ACP. O método de PAH também apresentou baixa sensibilidade à redução no número de indicadores, porém mais sensível que o método de ACP.

A análise comprovou que, quando o indicador desconsiderado no arranjo possui ponderação reduzida - por ACP e PAH - na formulação do indicador composto, o resultado do indicador composto é pouco alterado - para ACP e PAH -, como observado no T2, onde só o método da média aritmética apresentou sensibilidade, sendo elevada.

Já no T4, em que os indicadores desconsiderados no arranjo possuem ponderação reduzida - por ACP e PAH - na formulação do indicador composto II11 (Cursos d'água com monitoramento fluviométrico) e ponderação elevada - por PAH e ACP - na formulação do indicador composto II09 (Cadastro do sistema de macrodrenagem), a média não apresentou sensibilidade tão elevada, mesmo assim, superior aos dos demais métodos. Comportamento muito semelhante é observado quando da exclusão apenas do indicador II9 (T1).

É desejável reduzida sensibilidade em relação a variabilidade de indicadores simples, quando da ausência de dados. Isso porque é esperado que um indicador composto consiga fornecer os indicadores representativos mesmo com a ausência de algumas informações, algo que é muito provável em relação as águas pluviais no Brasil. Nesse sentido o método de ACP foi o que apresentou melhores resultados quanto à sensibilidade.

4.2.2.3. Considerações gerais sobre indicadores compostos

A comparação entre métodos permitiu avaliar as diferenças entre as ponderações e, também, verificar se métodos de ponderação mais complexos (PAH e ACP) possuem diferenças significativas quando comparados a métodos de ponderação menos complexo (Média Aritmética). No Quadro 10 são apresentadas as vantagens e limitações identificadas para cada método de ponderação testado para o cálculo dos indicadores compostos propostos.

As análises de sensibilidade quanto ao método de ponderação sugerem que o método com maior sensibilidade é o PAH, uma vez que para esse caso é interessante a elevada sensibilidade. Já em relação à sensibilidade quanto a variabilidade na quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto, verificou-se que, quando o indicador indisponível possuía reduzido peso, o impacto provocado no resultado é reduzido, e o método da ACP apresentou sensibilidade muito reduzida à indisponibilidade de indicadores, o que, nesse caso, é um aspecto positivo. No entanto, é importante destacar que para esse estudo relacionado a indicadores compostos, foi utilizado um conjunto de dados de apenas 8 municípios piloto para a ponderação pelo método da ACP, que podem não se traduzir adequadamente a realidade de outros municípios.

Quadro 10 - Vantagens e limitações dos métodos de ponderação testados

| Método de ponderação | Vantagens | Limitações |
|-----------------------------------|--|--|
| Média Aritmética | Fácil compreensão. Ponderação independente de dados/amostras. Fácil desagregação. Não manipular os pesos em decorrência das opiniões. | Não diferenciação da importância inerente a cada indicador. Elevada sensibilidade à variabilidade da quantidade de indicadores simples que compõe o indicador composto. |
| Processo de Análise Hierárquica | Fácil compreensão; ponderação independente de dados/amostras. Elevada sensibilidade a alterações na ponderação. Fornece uma medida da inconsistência nas respostas do(s) respondente(s). | Limite de indicadores para construção do indicador composto. Desagregação complexa. Ponderação dependente do analista. |
| Análise de Componentes Principais | Ponderação dependente dos dados ¹ e independente do analista. Não manipular os pesos em decorrência das opiniões. Sensibilidade reduzida à ausência de indicadores | Ponderação dependente dos dados ¹ . Compreensão complexa; Desagregação complexa; Sensível a modificações de dados básicos; Sensível diante de valores extremos; Sensível a problemas de pequena amostra ou escassez de dados. |

¹ Nesse estudo em específico, essa característica é limitante, devido à indisponibilidade de alguns dados e a amostra ser reduzida.

Fonte: Camila A. Baum (2022).

4.2.3. Sistema de indicadores de problemas de gerenciamento e manejo das águas pluviais

A associação entre problemas envolvendo gerenciamento de águas pluviais e respectivos indicadores é apresentada no Apêndice D. Os resultados da aplicação do modelo sistematizado nos municípios piloto são apresentados na Figura 11. Nessa figura é apresentada a quantidade de problemas para os quais há indicador (via sistema de indicadores formulado), a quantidade de problemas que foi possível identificar (via sistema de indicadores, formulado), a quantidade de problemas identificados nos PMSBs/PMU, a quantidade de problemas identificados que pertencem a mesma classe - em relação a existência do problema (Problema Existente e Problema Inexistente) e a quantidade de problemas identificados que pertencem a classes distintas - em relação a existência do problema. Para o município de Sengés não foram apresentados resultados devido à reduzida apresentação dos resultados referentes ao serviço de drenagem das águas pluviais no PMSB.

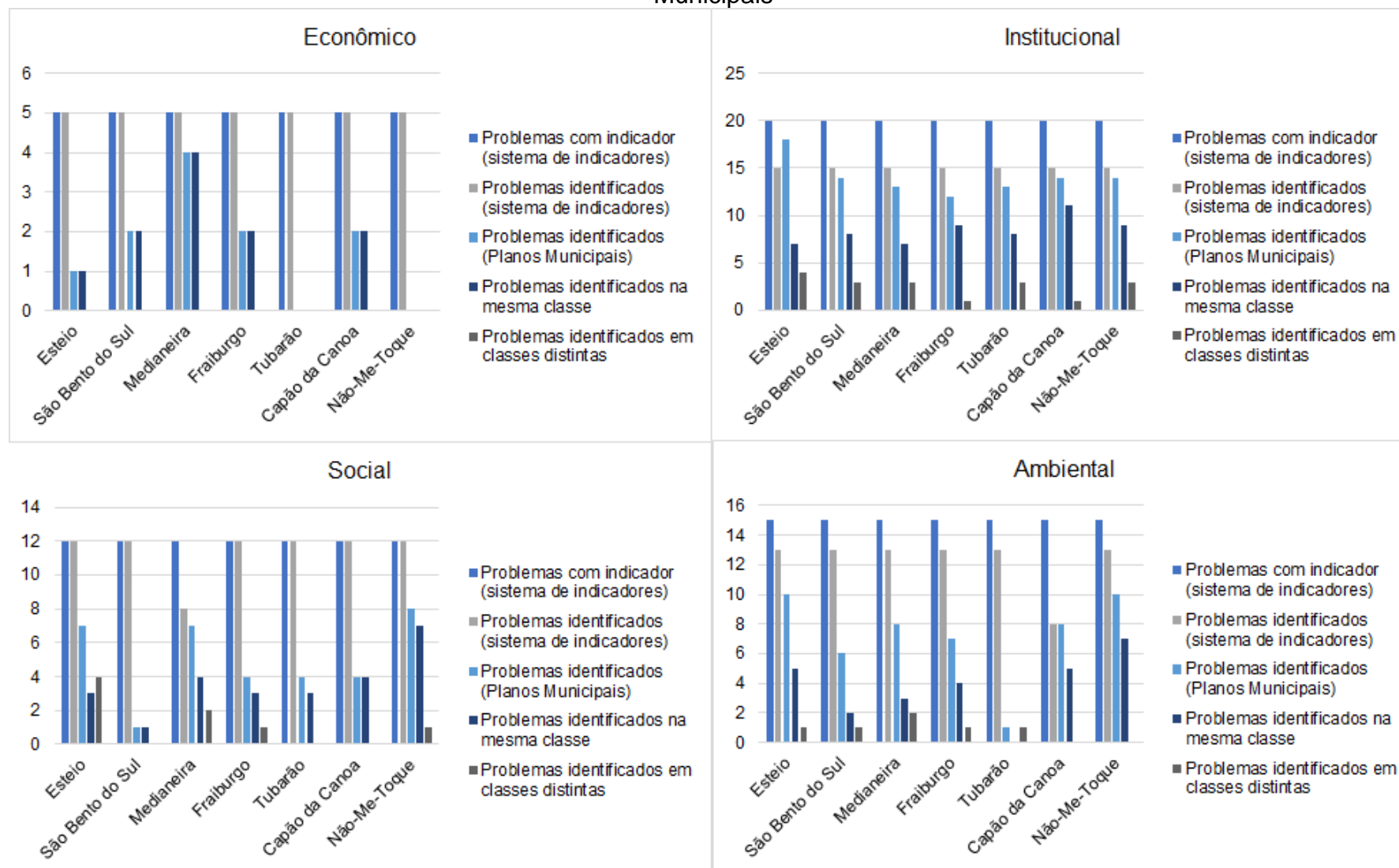
O conjunto formulado de 42 indicadores tem potencial de identificar 88,14% do total de 59 problemas identificados relacionados ao gerenciamento e manejo de águas pluviais urbanas. Não foi possível a formulação de indicadores para todos os problemas devido a alguns problemas exigirem dados complexos para a formulação de indicadores. Os problemas sem indicadores são: PE03 (Ausência de fontes de

investimento e custeio para gerenciamento e manejo das águas pluviais), PI04 (Falta de conhecimento sobre formas de evitar e controlar inundações, por parte dos planejadores urbanos), PI21 (Dificuldade de integração entre órgãos públicos), PI22 ((Projetos urbanos e sistemas de águas pluviais conflituosos), PS02 (Pressão imobiliária), PA08 (Obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, canais de drenagens inadequados) e PA17 (Contaminação dos recursos hídricos subterrâneos).

Também, cabe destacar que três dos indicadores formulados (IE04 (Despesa dos serviços de A.P.), II18 (Regulação dos serviços) e IS10 (Óbitos)) não indicam nenhum problema específico, mas auxiliam na compreensão da situação das águas pluviais municipais. O IS10, por exemplo, indica a possibilidade de uma situação crítica quanto a eventos hidrológicos, no entanto, não tem potencial de indicar qual problema específico gera essa situação.

Apesar dos problemas identificados nos Planos Municipais serem reduzidos, para os problemas identificados nos Planos Municipais e via sistema de indicadores, uma parcela considerável está categorizada na mesma classe, ou seja, o problema foi identificado tanto via sistema de indicadores quanto via Planos Municipais como problema “Existente” ou problema “Não Existente”.

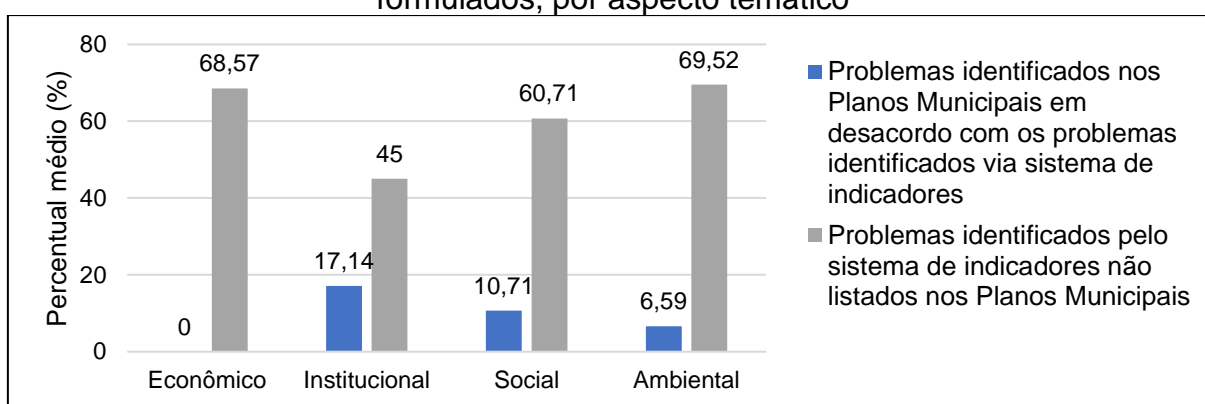
Figura 11 - Resultado comparativo entre os problemas identificados via sistema de indicadores e os identificados nos Planos Municipais



Fonte: Camila A. Baum (2022).

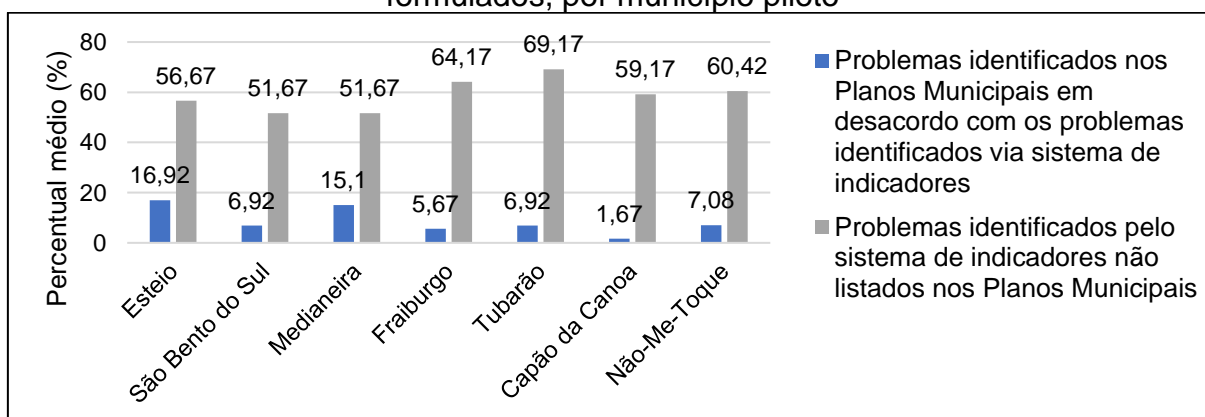
Para uma análise mais detalhada da efetividade da sistematização entre problemas envolvendo águas pluviais urbanas e os indicadores formulados, a seguir são apresentados os percentuais de problemas identificados nos Planos Municipais em desacordo com os problemas identificados via sistema de indicadores; e de problemas identificados pelo sistema de indicadores não listados nos Planos Municipais, por aspecto temático - econômico, institucional, social e ambiental (Figura 12) e por município piloto (Figura 13).

Figura 12 - Efetividade da sistematização entre problemas e os indicadores formulados, por aspecto temático



Fonte: Camila A. Baum (2022).

Figura 13 - Efetividade da sistematização entre problemas e os indicadores formulados, por município piloto



Fonte: Camila A. Baum (2022).

Quando analisada a efetividade da sistematização em relação aos problemas identificados nos Planos Municipais em desacordo com os problemas identificados via sistema de indicadores é possível observar que a temática Institucional é a que apresenta os piores resultados (17,14% dos problemas estão em desacordo). No entanto, de modo geral, este aspecto temático teve a maior quantidade de problemas

identificados via Planos Municipais. Já para a temática econômica não foram observados problemas em desacordo, o que pode ser atribuído ao fato, já bem relatado, de que há deficiência econômica no setor das águas pluviais. Em relação aos problemas em desacordo, para os municípios (Figura 13), os percentuais de maior desacordo foram identificados nos municípios de Esteio (16,92%) e Medianeira (15,10%).

Quanto aos percentuais de problemas identificados pelo sistema de indicadores não listados nos Planos Municipais, estes se mostraram elevados para todos os aspectos temáticos, o que pode ser atribuído à questão dos Planos Municipais de Saneamento Básico não serem documentos (muitas vezes) tão completos, desenvolvidos para cumprimento de leis e para acesso a benefícios. Quando observado esse aspecto, para os municípios, Tubarão apresentou o maior percentual de problemas identificados pelo sistema de indicadores não listados no Plano. Nesse tocante, cabe destacar que, para este município, o documento analisado foi o Plano de Macrodrenagem Urbana, o que pode ser a explicação, uma vez que esse documento é mais técnico, descrevendo menos aspectos sociais de forma detalhada, enquanto aspectos institucionais técnicos são mais detalhados, até mais do que a ferramenta proposta exige.

Alguns problemas não puderam ser identificados ou foram identificados erroneamente devido à limitação dos dados apresentados nos Planos Municipais. A qualidade da informação impacta diretamente nos resultados da ferramenta.

4.2.4. Considerações gerais sobre indicadores para gerenciamento das águas pluviais urbanas

A tomada de decisão sobre águas pluviais urbanas, considerando de forma conjunta fatores econômicos, ambientais, sociais e institucionais, é uma tarefa complexa. Algumas limitações identificadas interferiram tanto no desenvolvimento dos indicadores simples, como no desenvolvimento dos indicadores compostos, como a disponibilidade de dados confiáveis e abertos. No entanto, essa dificuldade é relatada por diversos autores que desenvolveram indicadores, tanto relacionados às águas pluviais urbanas, quanto a assuntos correlatos. Os diagnósticos do SNIS-AP, apesar de serem de grande importância, apresentam muitos dados inconsistentes. Um aspecto relevante que pode explicar essa situação é que o preenchimento do diagnóstico muitas vezes é uma das condicionantes para acesso a recursos ou

benefícios governamentais. Nesse sentido, a ocorrência de preenchimento apenas para comprimento de condicionante, sem considerar a importância da divulgação de um dado consistente, conduz ao preenchimento e, conseqüentemente, divulgação de informações que nem sempre representam a realidade.

É fundamental, para o avanço de políticas públicas, o desenvolvimento de ferramentas de suporte e de estudos relacionados ao setor e incentivo ao fornecimento de informações representativas da realidade.

No caso da ausência de dados, para os cálculos dos indicadores simples, fica explícito na apresentação dos resultados qual indicador não foi possível calcular, permitindo que o gestor tenha atenção quanto às questões relacionadas a esse indicador e quanto às conclusões acerca dos resultados. Ademais, apesar da grande quantidade de informações resultante, a apresentação dos resultados permite visualizar de forma mais específica onde estão os pontos que demandam maior investimento e que carecem de maior atenção. Já para os indicadores compostos, a ausência de dados não é verificável na apresentação dos resultados desses indicadores.

No que tange aos indicadores compostos, o teste de sensibilidade a partir de diferentes métodos de ponderação permitiu concluir que a ponderação pelo método de PAH é a mais adequado à finalidade para a qual está sendo desenvolvido o conjunto de indicadores, que é contribuir na redução da subjetividade e de incertezas associadas à percepção e interpretação dos resultados dos indicadores pelos tomadores de decisão. Em relação a variabilidade na quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto o método de ACP se apresentou como mais adequado, no entanto, devido às limitações impostas por esse método, aliada à deficiência de dados, impactaram fortemente nos resultados, visto que a ponderação por esse método é única e exclusivamente baseada nos dados, cabendo a atenção do analista quando da utilização desse método.

Os indicadores compostos nesse estudo indicam qual a situação de cada aspecto (econômico, institucional, ambiental e social) em relação às águas pluviais e qual aspecto carece de mais atenção e investimentos. Porém, eles não permitem que sejam observados que tipo de investimento é necessário (em recursos humanos, em intervenções estruturais ou em intervenções não estruturais, por exemplo). Os indicadores simples permitem observar com maior clareza quais itens carecem de maior atenção, de forma mais específica e de mais fácil entendimento. Diante disso,

é importante que seja estabelecido, antes da definição de qual formato de indicadores utilizar (simples ou composto), qual o objetivo da análise do gerenciamento das águas pluviais e qual é o nível de conhecimentos dos gestores analistas em relação às águas pluviais e como os diversos elementos urbanos se relacionam.

Em relação à sistematização entre problemas e indicadores, os reduzidos percentuais de desacordo indicam que um bom percentual dos resultados que puderam ser comparados estavam adequados. No entanto, os elevados percentuais dos problemas não listados nos Planos Municipais demonstram que há uma lacuna quanto à avaliação final da efetividade da ferramenta, o que está atrelado a carência de informações constantes nos Planos Municipais.

Por fim, cabe destacar que não há limite mínimo de população para que o município possa aplicar o conjunto de indicadores apresentado. Para municípios com população superior a 100.000 habitantes o conjunto de indicadores não foi testado por entender-se que é possível que estes municípios apresentem condições complexas relacionadas às águas pluviais, e que o conjunto de indicadores possa não representar a realidade. Ademais, cabe destacar que, apesar de a densidade urbana e a taxa de impermeabilização serem aspectos importantes quando analisada a realidade das águas pluviais de determinado município, esse estudo utilizou critério populacional devido às questões orçamentárias e percentuais de eventos hidrológicos a que municípios com população inferior a 100.000 mil habitantes são expostos.

4.3. ARRANJOS DE MEDIDAS MITIGADORAS POSSÍVEIS PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

As medidas mitigadoras possíveis para problemas de manejo e drenagem de águas pluviais foram obtidas por meio de revisão bibliográfica e os arranjos de medidas mitigadoras para cada município foram obtidos a partir da identificação dos problemas nos municípios piloto.

4.3.1. Identificação das medidas mitigadoras

A revisão bibliográfica permitiu a identificação de 30 medidas mitigadoras, as quais foram organizadas em seis eixos principais, apresentadas no Quadro 11 e discutidas nas seções seguintes. As medidas são apresentadas e discutidas em uma ordem de potencial prioridade, muito embora a implementação de algumas medidas dependa da implementação de outras, que são apresentadas posteriormente.

A ordem de potencial prioridade adotada, utilizou como critério inicialmente a segurança da população, seguido de medidas que envolvam a sociedade, que muitas vezes tem custo financeiro reduzido e tem potencial de auxiliar na redução de diversos problemas, assim como medidas estratégicas e institucionais, no entanto, estas podem envolver algum custo financeiro um pouco mais substancial e demandar pessoas capacitadas para seu desenvolvimento. As medidas de infraestrutura, por envolverem investimentos elevados, apesar de serem muito relevantes, necessitam que haja orçamento para sua execução. Já as medidas de qualidade ambiental foram as últimas a serem elencadas pois grande parte delas necessitam que medidas de infraestrutura sejam implementadas para a efetividade destas.

Quadro 11 - Medidas mitigadoras elencadas por eixo temático (Continua)

| |
|---|
| Medidas Mitigadoras - Eixo: Segurança |
| MSe01 - Sistema de previsão e alerta de precipitação e inundação |
| MSe02 - Zoneamento das áreas de inundação |
| MSe03 - Obras de proteção individual contra inundações |
| MSe04 - Seguro contra inundações |
| MSe05 - Planos de contingência e emergência definidos |
| Medidas Mitigadoras - Eixo: Sociedade |
| MSo01 - Campanhas educativas e preventivas relacionadas às águas pluviais para todas as partes interessadas |
| MSo02 - Participação ativa da sociedade |
| MSo03 - Regularização fundiária e suporte para a população residente em áreas de risco |
| Medidas Mitigadoras - Eixo: Estratégico |
| MEs01 - Ferramentas e mecanismos de monitoramento e avaliação da gestão e de suporte à decisão |
| MEs02 - Incentivos para promoção de estruturas de infiltração de águas pluviais |
| MEs03 - Apoio técnico |
| MEs04 - Consideração da bacia hidrográfica no planejamento e gestão |
| MEs05 - Promoção de parcerias entre entidades públicas e entidades de pesquisas sobre gestão e manejo das águas pluviais |
| Medidas Mitigadoras - Eixo: Institucional |
| MIns01 - Geração, registro, integração e compartilhamento de informações |
| MIns02 - Capacitação, transferência de conhecimento e atualização técnica contínua |
| MIns03 - Desenvolvimento de Planos e Manuais Técnicos de suporte para a gestão de águas pluviais e na implementação de estruturas de águas pluviais |
| MIns04 - Desenvolvimento e atualização de leis relacionadas às águas pluviais, considerando problemas, tecnologias e mecanismos atuais |
| MIns05 - Manutenção periódica do sistema de drenagem |
| MIns06 - Regulação de aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo, uso de técnicas compensatórias, qualidade e quantidade de água pluvial |
| MIns07 - Adoção de gestão de águas pluviais de caráter abrangente e integrado |
| MIns08 - Fiscalização dos serviços relacionados às águas pluviais urbanas e do uso e ocupação do solo. |

Quadro 11 - Medidas mitigadoras elencadas por eixo temático (Conclusão)

| |
|---|
| Medidas Mitigadoras - Eixo: Infraestrutura |
| MInf01 - Monitoramento quali-quantitativo contínuo de cursos hídricos |
| MInf02 - Viabilização financeira para implantação e manutenção da infraestrutura e para ações |
| MInf03 - Integração entre estruturas de macrodrenagem e espaços de lazer |
| MInf04 - Adoção de medidas compensatórias e medidas tradicionais de controle extensivas |
| MInf05 - Adoção de medidas tradicionais de controle intensivas |
| Medidas Mitigadoras - Eixo: Qualidade Ambiental |
| MQA01 - Gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos e esgotamento sanitário adequado |
| MQA02 - Proteção e estabilização de margens e encostas de cursos hídricos |
| MQA03 - Controle de vetores de doenças relacionados às águas pluviais |
| MQA04 - Recomposição e preservação de áreas de preservação permanente e de áreas verdes |

Fonte: Camila A. Baum (2022).

4.3.1.1. Medidas Mitigadoras - Eixo: Segurança

A segurança da população e de bens é a prioridade nas ações de contingência e emergência quando da ocorrência de eventos hidrológicos extremos. Medidas mitigadoras não-estruturais relacionadas à segurança da população são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com eventos hidrológicos extremos e que, em conjunto com as medidas estruturais, ou não, podem minimizar significativamente os prejuízos sob um custo menor (TUCCI, 2005), como zoneamento das áreas susceptíveis à inundação, sistema de previsão e alerta de precipitação e inundação e seguro contra inundações (CANHOLI, 2015; GUSMÃO, 2016; MARTINS, 2012; MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015; TUCCI, 2005; TUCCI; GENZ, 2015).

Medidas não-estruturais podem ser vistas como um primeiro passo para a proteção das pessoas na ausência de medidas estruturais, além de serem necessárias para administrar o risco residual que permanece após a implementação de medidas estruturais (JHA; BLOCH; LAMOND, 2012). Essas medidas geralmente não exigem investimentos elevados (CANHOLI, 2015; JHA; BLOCH; LAMOND, 2012) e apresentam horizontes mais longos de atuação (CANHOLI, 2015), mas com frequência necessitam de um bom entendimento do perigo de inundação (probabilidade de ocorrência) e de sistemas adequados de previsão meteorológica (JHA; BLOCH; LAMOND, 2012). Ações não estruturais procuram disciplinar a ocupação territorial, o comportamento de consumo das pessoas e as atividades econômicas (CANHOLI, 2015).

A adição de algumas medidas estruturais, tratadas como obras de proteção individual contra inundações, que são adaptações estruturais das construções para reduzir os impactos das inundações ou a realocação de casas que estão em vias de drenagem e planícies aluviais (PARKINSON, 2003), se caracterizam como medidas preventivas (CANHOLI, 2015; GUSMÃO, 2016; MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015; PARKINSON, 2003) e, normalmente, são definidas adequadamente a partir do zoneamento das áreas de inundações. O zoneamento e a respectiva regulamentação para a construção e obras de proteção individual é estabelecido por meio da delimitação das áreas sujeitas a inundações em função do risco (CANHOLI, 2015).

Já os sistemas de alerta de inundações em tempo real têm sido aprimorados com o avanço no poder de computação e com a aplicação de tecnologias de radar meteorológico e técnicas de mapeamento de Sistemas de Informações Geográficas (VOJINOVIC; VAN TEEFFELEN, 2007). Jha, Bloch & Lamond (2012), no entanto, destacam a importância da participação e engajamento das partes interessadas e instituições públicas, isso porque, em alguns casos, o evento impactante é de baixa recorrência, enfraquecendo a memória dos impactos na comunidade, além do fato de que grande parte das medidas não-estruturais são desenvolvidas para minimizar, e não evitar danos, e, por isso, grande parte das pessoas instintivamente preferem a adoção de medidas estruturais intensivas.

A resposta a emergências exige antecipação e treinamento apropriado de diversos setores (MARTINS, 2012). A elaboração de um plano de ação emergencial deve considerar os sistemas de previsão e alerta como forma de antecipar os impactos, um mapeamento prévio destes impactos e o dimensionamento dos recursos necessários para eliminar as perdas fatais e minimizar os danos materiais (MARTINS, 2012).

Nesse contexto, cabe destaque para a importância de comunicação amplamente acessível, uma vez que esta é crítica, para garantir que as estratégias de mobilização e evacuação sejam eficazes (PARKINSON, 2003). Essas estratégias devem estar bem definidas no plano de emergência e contingência local. Planos de ação emergencial devem indicar com exatidão e confiabilidade a cadeia de comunicação e decisão a serem seguidas quando do estabelecimento de uma emergência, e a forma como essa comunicação deve ser realizada, levando-se em conta os diversos órgãos intervenientes nestes processos, como a Defesa Civil, as agências reguladoras e hospitais (MARTINS, 2012). Embora os riscos de inundações e qualidade da água

sejam uma séria ameaça para as comunidades urbanas em todo o mundo, notadamente, esses riscos afetam desproporcionalmente as comunidades marginalizadas social e economicamente (SCARLETT et al., 2021).

4.3.1.2. *Medidas Mitigadoras - Eixo: Sociedade*

A sociedade é peça chave para que as medidas mitigadoras sejam definidas adequadamente e promovam o efeito esperado no gerenciamento das águas pluviais urbanas. De acordo com Vasconcelos & Barbassa (2021), o diálogo entre as partes interessadas, direta ou indiretamente envolvidas com a gestão de águas pluviais, deve ser utilizado como ferramenta de apoio no processo de tomada de decisão, visto que é essencial para a implementação de uma gestão sustentável de águas pluviais urbanas.

De forma sintetizada, três medidas mitigadoras são apontadas para este eixo: 1) Campanhas educativas e preventivas relacionadas às águas pluviais para todas as partes interessadas, 2) Participação ativa da sociedade, e 3) Regularização fundiária e suporte para a população residente em áreas de risco. Ademais, cabe destacar que as duas primeiras medidas se inter-relacionam diretamente com diversas outras medidas de outros eixos.

A educação da sociedade em relação às águas pluviais é enfatizada por diversos autores (MARTINS, 2012; MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015; PORTO, 2015), por intermédio de envolvimento da comunidade utilizando-se de demonstrações (ROY et al., 2008), ações preventivas e mudanças comportamentais (DHAKAL; CHEVALIER, 2016; PARKINSON, 2003). Gusmão (2016) destaca para a educação com relação às questões hidroambientais, enquanto Goldenfum et al. (2007) destacam que é necessário favorecer a transferência de conhecimento, em diferentes níveis: 1) informações técnicas aos projetistas; 2) informações gerais aos legisladores e decisores; e 3) educação ambiental para o público em geral. Paralelamente, é destacada a educação ambiental relacionada ao controle da poluição difusa e de resíduos sólidos (CANHOLI, 2015; PORTO, 2015).

Portanto, fomentar o envolvimento da comunidade é necessário. Além de colaborar na tomada de decisões, o engajamento e a participação da comunidade também aumentam a eficácia das ações da gestão sustentável de águas pluviais

urbanas, que dependem da colaboração da população, como construção, manutenção e fiscalização de estruturas (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021).

Experiências diárias de perigos podem aumentar a conscientização pública sobre os problemas de águas pluviais, no entanto, o conhecimento técnico e a gestão inacessíveis podem levar à percepção de que as águas pluviais não são um problema social e ambiental (SCARLETT et al., 2021). Dessa forma, a contribuição social, quando da formulação, execução e avaliação de planos de manejo das águas pluviais, é fundamental (GUSMÃO, 2016). A participação dos usuários paralelamente à inserção de novos equipamentos de drenagem no meio urbano também é imprescindível, haja visto o papel fundamental que exercem no que se refere à sua aceitação, manutenção e correto funcionamento (SANTOS et al., 2016).

Por fim, e não menos relevante, a medida mitigadora relacionada à regularização fundiária e suporte para a população residente em áreas de risco deve ser implantada juntamente das demais. De acordo com Parkinson (2003), as pessoas com menores condições financeiras são afetadas de forma desproporcional, devido ao fato de, frequentemente, residirem em assentamentos informais localizados em terras marginais - terras baixas, margens de rios, várzeas e encostas íngremes - que o mercado habitacional formal não tem interesse.

De acordo com Tucci (2008a), o planejamento urbano acontece prioritariamente para a região ocupada pela população de renda média e alta. Nas áreas de ocupação ilegal, observam-se processos de invasão, com construções frequentemente ocorrendo sobre áreas de risco.

O tratamento das populações em encostas e áreas baixas (MARTINS, 2012), securitização da área de risco de inundação (MARTINS, 2012) e a regularização fundiária são medidas que podem amenizar a problemática das populações residentes em áreas de risco, aliando a educação ambiental e medidas mitigadoras relacionadas à segurança. Quanto à realocação da população, Parkinson (2003) afirma que a experiência indica que o despejo em grande escala e a realocação forçada podem agravar os problemas sociais, que podem ser mais problemáticos para as autoridades urbanas do que o problema relacionado às águas pluviais. As abordagens não estruturais de gestão de águas pluviais para mitigação dos impactos das enchentes se concentram em ações preventivas e dependem predominantemente de mudanças comportamentais para serem eficazes (PARKINSON, 2003).

4.3.1.3. *Medidas Mitigadoras - Eixo: Estratégico*

A drenagem e manejo das águas pluviais é o eixo do saneamento que demanda serviços de forma diferenciada dos demais eixos devido à abrangência dos efeitos das águas pluviais depender dos limites políticos do município. Esse aspecto demanda uma visão mais ampla, estratégica e que abranja todos os envolvidos. Tucci & Meller (2007) destacam a necessidade de estabelecer um mecanismo institucional de gestão que dependa do estabelecimento da gestão institucional entre a bacia e a cidade e de regulamentação dentro da cidade. Gusmão (2016) destaca a necessidade de se considerar a bacia hidrográfica como unidade mínima de estudo e de planejamento do sistema de drenagem e manejo das águas pluviais.

Tipicamente, a gestão da água urbana ocorre independentemente dos problemas das bacias hidrográficas (ONEDA; BARROS, 2021). Ferramentas e mecanismos de monitoramento e avaliação da gestão e de suporte à decisão (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021), informação geral aos legisladores e decisores, de forma a informar sobre a existência de outras soluções que não a simples transferência das inundações (GOLDENFUM et al., 2007), e incentivo à capacidade dos gestores urbanos de promoverem a articulação interdisciplinar e transdisciplinar (GUSMÃO, 2016), são alternativas estratégicas para a superação de impasses entre entes envolvidos de uma mesma bacia de drenagem.

Uma alternativa estratégica a ser implantada de forma mais localizada, mas que atenua o impacto de eventos na bacia hidrográfica, é a prática de gestão sustentável, ainda incipiente no Brasil. O manejo sustentável de águas pluviais urbanas é uma abordagem abrangente e integrada de gestão da água urbana, que aborda não apenas os aspectos sanitários tradicionais, mas também as questões ambientais e de qualidade de vida (FLETCHER et al., 2015). Para uma implementação eficaz do manejo sustentável de águas pluviais urbanas é necessário o suporte técnico para a tomada de decisões (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). De acordo com Vasconcelos & Barbassa (2021), as ferramentas de apoio à decisão otimizam o manejo sustentável de águas pluviais urbanas e a participação da comunidade legitima as escolhas e aumenta sua eficácia.

Para além de uma organização da gestão e de práticas sustentáveis, é fundamental para a implementação que haja incentivos financeiros (TUCCI, 2016; VASCONCELOS, 2020) e apoio técnico (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002; TUCCI; MELLER, 2007) para que as estratégias sejam praticáveis e se estabeleçam. Ao

contrário das taxas de água e esgoto, uma taxa de águas pluviais pode ser reduzida por créditos de águas pluviais (TASCA; ASSUNÇÃO; FINOTTI, 2018). Proprietários que instalam melhores práticas de gestão (BMPs), como jardins de chuva, barris de chuva, lagoas de retenção, biovaletas, telhados verdes, banhados construídos e outras opções, podem se qualificar para reduções permanentes ou de longo prazo em suas taxas de águas pluviais (TASCA; ASSUNÇÃO; FINOTTI, 2018).

No que tange ao apoio técnico, são citados o apoio estadual e federal, através de escritórios técnicos ou agências de apoio (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002; TUCCI; MELLER, 2007). Outra forma de, em certo grau, obter apoio técnico é por meio da promoção de parcerias entre entidades públicas e entidades de pesquisas sobre gestão e manejo das águas pluviais. Do ponto de vista tecnológico, experimentos com conceitos e tecnologias inovadoras por meio de projetos-piloto apoiados pela aprendizagem entre cidades para acelerar o aprendizado e fomentar a inovação parece ser uma estratégia promissora para lidar com a complexidade da gestão de águas pluviais urbanas (JIANG; ZEVENBERGEN; MA, 2018). Gusmão (2016) destaca que a conexão entre o conhecimento desenvolvido no ambiente acadêmico e a prática da gestão realizada nos órgãos públicos ainda é precária, corroborando Souza (2013), o qual afirma que as pesquisas acadêmicas nessa área têm pouca visibilidade e, raramente, são avaliadas em escala real. A criação de uma agência regional de apoio à pesquisa e educação, sugerida como forma de incentivar a geração de informações (DHAKAL; CHEVALIER, 2017), poderia auxiliar na implementação todas essas atividades.

4.3.1.4. *Medidas Mitigadoras - Eixo: Institucional*

Diversos autores indicam a necessidade de fortalecimento técnico-institucional para mitigar alguns dos problemas relacionados às águas pluviais urbanas. Para que o sistema funcione adequadamente e atenda às expectativas para as quais foi desenvolvido é de fundamental importância uma estrutura institucional robusta, com normatização e informações atualizadas e equipe técnica capacitada. Além da necessidade de equipes técnicas qualificadas, instruídas e treinadas no assunto (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002), a definição de uma política de treinamento e atualização técnica de recursos humanos por meio de *workshops* (ROY et al., 2008)

aos projetistas, a fim de permitir a elaboração de projetos adequados (GOLDENFUM et al., 2007), são alternativas apontadas para o fortalecimento técnico.

No entanto, para que uma equipe capacitada seja capaz de desempenhar suas atividades, é necessário que as informações existentes sejam compartilhadas entre os interessados (GUSMÃO, 2016; SOUZA, 2013) e que novas informações sejam geradas (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021), mantendo assim o sistema atualizado. Gusmão (2016) destaca a necessidade de ampliar o número e o uso de mecanismos de monitoramento e de avaliação da eficiência e da eficácia da gestão do manejo das águas pluviais urbanas.

Poucos são os municípios que possuem o cadastro de rede atualizado, sendo este necessário para o planejamento e projetos de medidas tanto estruturais, quanto não estruturais para o manejo das águas pluviais. O planejamento da drenagem e manejo das águas pluviais deveria constar nos Planos Diretores de Águas Pluviais, enquanto as diretrizes técnicas e normas são apresentadas em Manuais Técnicos, que podem ou não pertencer ao Plano Diretor. Um Plano Diretor de Águas Pluviais é, no mínimo, um conjunto de diretrizes para definir a gestão do sistema de águas pluviais, mitigar o impacto ambiental do fluxo de águas pluviais e fornecer controle da poluição da água (ONEDA; BARROS, 2021). Atualmente, no Brasil, apenas 19,6% dos municípios possuem um Plano Diretor de Águas Pluviais (SNIS-AP, 2020), apesar da necessidade de desenvolvimento desses documentos ser apontada por diversos especialistas nos últimos anos (GUSMÃO, 2016; MARTINS, 2012; PARKINSON, 2003; VASCONCELOS; BARBASSA, 2021; VASCONCELOS, 2020).

Para além dos Planos Diretores de Águas Pluviais, são necessárias leis e regulamentos para implementá-los. Quando as leis existentes não são devidamente regulamentadas, sua adoção não é viável (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). Diversos autores, assim como Colombelli (2018), sugerem a regulação como medida para atenuar diversos impasses relacionados às águas pluviais. Especificamente, em relação à quantidade de água (TUCCI, 2005, 2016) e à ocupação da área de risco de áreas ribeirinhas (TUCCI, 2005), em relação à recarga de aquífero (TUCCI; MELLER, 2007), em relação à qualidade da água e sedimentos, erosão e sedimentação (TUCCI, 2016) e em relação às áreas em construção, a fim de controlar a poluição por cargas difusas. Por fim, destaca-se a regulamentação do uso e ocupação do solo associado a medidas sustentáveis/compensatórias (CANHOLI, 2015; MARTINS, 2012; MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015; TUCCI; GENZ, 2015; VASCONCELOS, 2020).

De acordo com Dhakal & Chevalier (2017), a regulamentação deve ser baseada em critérios hidrológicos locais. No caso de medidas estruturais sustentáveis/compensatórias, além da regulamentação das legislações existentes, é necessário incorporar o manejo sustentável de águas pluviais urbanas às legislações pertinentes e que ainda não o contemplam, o que é uma realidade na maioria dos locais onde o manejo sustentável de águas pluviais urbanas é incipiente (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). Para solucionar o impasse de padrões e diretrizes de engenharia insuficientes, Roy et al. (2008) sugerem a criação de uma portaria modelo e a promoção de documentos orientativos. Complementarmente, Baptista & Nascimento (2002) propõem a definição de uma política de atualização cadastral.

Gusmão (2016) enfatiza a necessidade de haver legislação em âmbito Municipal, Estadual e Federal, que trate dos recursos ambientais, sobretudo os hidroambientais, para apoiar as decisões, a resolução de conflitos e controlar as ações relativas ao manejo das águas pluviais urbanas. A nível federal tem-se a Lei Nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), a qual demonstrou necessidade de alterações (Colombelli, 2018), que não foram atendidas pela Lei 14026/2020 (BRASIL, 2020). Ademais, é imprescindível que haja atualização e compatibilização entre as normas e regulamentos das prefeituras que tratem do manejo das águas pluviais urbanas, bem como a adequação das mesmas às especificidades locais (GUSMÃO, 2016). Os volumes de chuva para os mesmos critérios de projeto variam, portanto é necessário estabelecer as diretrizes de controle de acordo com as características de chuva locais, uso do solo e viabilidade econômica (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021).

Porém, não bastam leis e a devida regulação se não há controle, por meio de fiscalização. De acordo com Gusmão (2016), a fiscalização garante a contínua obediência às medidas de controle de enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas por parte de todos os atores envolvidos na gestão do manejo das águas pluviais urbanas. Os usos da água servem de parâmetro para analisar as legislações que os regulamentam, inclusive apontando os agentes que possuem competência para regulamentar, fiscalizar e garantir a efetivação dessas leis (PEIXOTO; STUDART; CAMPOS, 2016). De acordo com Oneda & Barros (2021), a maioria dos municípios brasileiros não possui políticas públicas, normas e fiscalizações sobre águas pluviais ou aproveitamento de águas pluviais.

Além da fiscalização, a inspeção e manutenção periódica e contínua do sistema de drenagem é fundamental para o funcionamento adequado do mesmo (COLOMBELLI, 2018; MARTINS, 2012; VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). É necessário estabelecer e cumprir uma rotina de ações de reparos e de investimentos nas redes de macro e de microdrenagem do sistema de drenagem de águas pluviais de forma a fazer com que o serviço urbano da drenagem não seja interrompido ou que ele seja realizado de forma ineficiente (GUSMÃO, 2016).

Para que todas as medidas apontadas anteriormente sejam efetivas e funcionem de forma coordenada, é necessária a adoção de gestão de águas pluviais de caráter abrangente e integrado. Diversos autores apontam para a necessidade de avanços e de maior comprometimento em relação à gestão de águas pluviais. No caso do Brasil, a gestão de águas pluviais deve acompanhar a transição e evolução do desenvolvimento da gestão no país (TUCCI; MELLER, 2007), com real integração institucional entre os diversos órgãos administrativos das cidades (GOLDENFUM et al., 2007) e estabelecimento de mecanismos institucionais dedicados à participação, governança coordenada e integrada da iniciativa política (JIANG; ZEVENBERGEN; MA, 2018).

Ademais, o planejamento de longo prazo deve ser priorizado (GUSMÃO, 2016; GOLDENFUM et al., 2007) pelo desenvolvimento de Planos Diretores de Drenagem Urbana adequados e pela implementação de leis e condições reais para fazer cumprir a adoção e manutenção adequada de dispositivos compensatórios (GOLDENFUM et al., 2007) e que contenha a visão que a população de uma determinada sociedade quer para sua cidade (GUSMÃO, 2016).

4.3.1.5. Medidas Mitigadoras - Eixo: Infraestrutura

A infraestrutura da drenagem e manejo das águas pluviais é um dos aspectos mais notáveis do gerenciamento das mesmas. O bom funcionamento da infraestrutura de drenagem das águas pluviais impacta diretamente na qualidade ambiental e social quando da ocorrência de eventos extremos. De acordo com Baptista & Nascimento (2002) e Souza (2013), sistemas de monitoramento hidrológico e de qualidade da água são uma forma de suporte necessário aos órgãos municipais responsáveis pela drenagem pluvial. Barbosa, Fernandes & David (2012) afirmam que um programa de monitoramento deve ser estruturado com base nas características locais, no orçamento e no tempo disponível e no objetivo.

O monitoramento quali-quantitativo de águas pluviais permite, por exemplo, o desenvolvimento de metodologias de dimensionamento de novos sistemas, o diagnóstico correto de problemas de funcionamento em sistemas existentes, a adequada concepção e dimensionamento de soluções para esses problemas (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002). As estratégias propostas para o controle do volume do escoamento devem atender adequadamente aos objetivos estabelecidos (VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). Canholi (2015), Miguez, Veról & Rezende (2015) e Tucci & Genz (2015) são alguns dos autores que descrevem medidas de controle das águas pluviais, sejam elas medidas estruturais tradicionais de controle intensivas ou medidas estruturais compensatórias e medidas tradicionais de controle extensivas. É comprovado que as medidas estruturais tradicionais de controle intensivas não reproduzem as condições de pré-desenvolvimento como as medidas estruturais compensatórias e as medidas tradicionais de controle extensivas. No entanto, com o desenvolvimento urbano consolidado e altamente impactante sobre o balanço hídrico, em algumas situações do contexto urbano as alternativas que se apresentam como possíveis de serem implantadas são medidas estruturais tradicionais de controle. De acordo com Marsalek & Schreier (2009), nenhuma medida inovadora única é adequada em todas as circunstâncias, e abordagens multibarreiras são consideradas as mais eficazes.

De forma alternativa, medidas compensatórias associadas à paisagem urbana ou espaços públicos, como praças, tem sido sugeridas e implementadas. A combinação de estruturas da paisagem urbana com funções hidráulicas permite uma combinação capaz de auxiliar a equacionar o problema de enchentes urbanas de modo harmônico e saudável (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015). Nesse contexto, o conceito que integra funções diversas, reunindo paisagismo, lazer, valorização ambiental e controle de cheias, é o da paisagem multifuncional (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015).

Apesar da evidente necessidade de adoção de novas abordagens para o gerenciamento de águas pluviais, devido ao aumento da variabilidade climática e ao aumento da densidade das áreas urbanas simultaneamente, muitas vezes os requisitos adicionais associados à mudança da abordagem convencional para a inovadora são excessivos e desencorajam a inovação (MARSALEK; SCHREIER, 2009). Segundo os autores, são necessários incentivos para facilitar e acelerar o processo de aprovação e fornecer licenças experimentais a quem deseja implementar.

Jefferson et al. (2017) destacam a necessidade de ajustes em estruturas regulatórias ou estruturas de incentivo econômico, que provavelmente precisariam mudar para incentivar a adoção generalizada de estratégias de gerenciamento de águas pluviais que enfatizam medidas compensatórias sustentáveis.

A necessidade de viabilização financeira para implantação e manutenção da infraestrutura e para ações relacionadas ao sistema de drenagem e manejo das águas pluviais é apontada por diversos especialistas (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002; PARKINSON, 2003; ROY et al., 2008; VASCONCELOS; BARBASSA, 2021). A infraestrutura pública requer manutenção, reparo e substituição dispendiosos para manter o serviço, além da expansão dos serviços existentes para atender às novas demandas. Assim, muitos municípios têm buscado uma fonte de financiamento dedicada para esses programas e práticas (TASCA; ASSUNÇÃO; FINOTTI, 2018).

Jiang, Zevenbergen & Ma (2018) e Tucci & Meller (2007) destacam o papel do governo na criação de condições favoráveis para investimentos e de condições que viabilizem as ações. Também são apontados como alternativas, subsídios de impostos para as áreas de inundações (TUCCI; GENZ, 2015) e taxas, que são mecanismos importantes para induzir mudanças no comportamento dos usuários (TASCA; ASSUNÇÃO; FINOTTI, 2018). No entanto, de acordo com Tasca, Assunção & Finotti (2018), na prática, as taxas de águas pluviais não são altas o suficiente para motivar os donos de lotes unifamiliares a reduzirem seu escoamento. Vasconcelos & Barbassa (2021) destacam que a população muitas vezes se opõe à cobrança de taxas devido à corrupção e à ineficiência comum dos órgãos públicos no uso adequado dos recursos. Assim, para que essa medida seja adotada, ela deve estar associada à uma política eficaz e transparente de uso dos recursos e de aumento da confiança da população no governo local.

4.3.1.6. Medidas Mitigadoras - Eixo: Qualidade Ambiental

Atualmente, a gestão de águas pluviais também inclui proteção ambiental, valorização dos recursos hídricos e regulação (qualidade da água e prevenção de danos por inundações) (TASCA; ASSUNÇÃO; FINOTTI, 2018). No entanto, o saneamento, que ainda é precário na maioria dos países em desenvolvimento (TASCA; ASSUNÇÃO; FINOTTI, 2018), interfere diretamente e pode afetar o desempenho do sistema de drenagem e manejo das águas pluviais. Uma das causas

mais importantes da má qualidade da água em rios urbanos no Brasil é a baixa eficiência de coleta do sistema de esgoto, devido a interconexões indevidas com o sistema de drenagem de águas pluviais (MORIHAMA et al., 2012). O gerenciamento adequado dos serviços de esgotamento, coleta de resíduos e varrição de ruas tem impacto significativo na qualidade das águas pluviais e no desempenho de estruturas de drenagem (PARKINSON, 2003; PORTO, 2015; TUCCI; MELLER, 2007).

De acordo com Jefferson et al. (2017), nos Estados Unidos o escoamento de águas pluviais urbanas é a terceira maior fonte de degradação da qualidade da água em baías e estuários e a sexta maior fonte de degradação para riachos. O controle da poluição difusa deve ser feito através de ações sobre a bacia hidrográfica, de modo a se ter redução das cargas poluidoras antes do lançamento da drenagem no corpo receptor (Porto, 2015). Esse tipo de controle é alcançado pela adoção de um conjunto de medidas capazes de reduzir o potencial poluidor das águas de drenagem chamadas de *Best Management Practices* (BMP's). Iniciativas inovadoras também precisam ser interligadas dentro da bacia hidrográfica (MARSALEK; SCHREIER, 2009). Já, dentre as medidas não-estruturais de controle da poluição por cargas difusas, as mais utilizadas são o controle do uso do solo urbano, regulamentação para áreas em construção, áreas verdes, controle de ligações clandestinas, varrição de ruas, controle da coleta e disposição final e educação da população (PORTO, 2015).

Os serviços de águas pluviais têm uma grande contribuição para a saúde e bem-estar das pessoas que vivem nas comunidades (TASCA; ASSUNÇÃO; FINOTTI, 2018). De acordo com Parkinson (2003), além dos efeitos diretos negativos provocados por eventos hidrológicos extremos na qualidade de vida da sociedade, há os efeitos indiretos, como o aumento da prevalência de doenças, em decorrência da proliferação de vetores, fazendo com que as famílias redirecionem os bens para o tratamento. Geralmente é difícil fornecer evidências conclusivas de que a drenagem das águas pluviais melhora a saúde, mas os resultados de um estudo em Salvador, Brasil, demonstraram que a infraestrutura de saneamento de uma comunidade pode ter um impacto significativo nas doenças diarreicas, mesmo sem quaisquer medidas significativas para promover mudanças no comportamento de higiene dentro da casa (MORAES et al., 2003).

Além da deficiência nos serviços de esgotamento sanitário e resíduos sólidos, que reduzem a qualidade da água e impactam na proliferação de vetores, a desproteção das margens é um agravante para a poluição difusa e assoreamento dos

cursos hídricos. A proteção dos rios evita ou ameniza processos erosivos e de assoreamento (TUCCI; MELLER, 2007). Canholi (2015), Tucci (2005) e Galenari et al. (2015) destacam a necessidade de controle da erosão do solo nas margens dos cursos hídricos e ao longo da bacia hidrográfica.

A pavimentação é parte importante no controle da erosão urbana, mesmo com a rede de galerias já executada, pois evita que o escoamento sobre as ruas desprotegidas cause a erosão (GALENARI et al, 2015). Há outras medidas, tanto estruturais quanto não estruturais, que podem ser obras de macrodrenagem ou de contenção de encostas para controle da erosão urbana (GALENARI et al., 2015). Cabe destaque para medidas de recomposição e preservação de áreas de preservação permanente e de áreas verdes (CANHOLI, 2015; MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015; TUCCI, 2005), que, além de amenizarem processos erosivos, amenizam poluição por fontes difusa (GALENARI et al., 2015), na medida em que protegem os cursos hídricos. De acordo com esses mesmos autores, dentre as principais medidas estruturais de controle da poluição por cargas difusas estão a minimização da área diretamente conectada, faixas gramadas ou plantadas e valetas gramadas.

4.3.2. Aplicabilidade das medidas mitigadoras para os problemas de gerenciamento e manejo das águas pluviais

Identificados os problemas e as medidas mitigadoras relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais para a realidade brasileira, a próxima etapa é conhecer as medidas possíveis para superar esses problemas. Como constatado anteriormente, muitos dos problemas são inter-relacionados, de forma que as medidas mitigadoras, se adotadas de forma integrada, tem maior potencial de efetividade na mitigação de um ou mais problemas. A aplicabilidade das medidas mitigadoras dos seis eixos para superar os problemas gerais elencados no Apêndice A é apresentada no Quadro 12, construída a partir das informações apresentadas no subcapítulo anterior. De forma específica, a relação entre as medidas mitigadoras e os problemas específicos de gerenciamento e manejo das águas pluviais (listados também no Apêndice A) é apresentado no Apêndice E. Mesmo para os problemas que não puderam ser identificados via sistema de indicadores (devido a não haver indicador específico para tal problema), foram elencadas possíveis medidas mitigadoras.

A associação entre problemas e medidas mitigadoras fornece uma fonte prática de informações para os gestores buscarem as melhores medidas para superar seus problemas locais. Dessa forma, é possível identificar, da melhor forma, o arranjo de medidas mitigadoras para a resolução de cada problema. É possível observar que, para qualquer problema, são necessárias medidas mitigadoras de diversos eixos temáticos, da mesma forma que as medidas de um eixo temático auxiliam na mitigação de mais de um problema, demonstrando a necessidade de uma análise integrada dos problemas existentes, dos impactos desses problemas no sistema urbano e das medidas mitigadoras possíveis.

Por exemplo, para mitigação do problema 'Redução da qualidade dos recursos hídricos' são necessárias medidas elencadas em cinco dos seis eixos temáticos (Quadro 12). De forma mais específica, no Apêndice D é possível visualizar que a maior parte das medidas mitigadoras para esse problema são medidas do eixo temático Qualidade Ambiental. Porém, medidas relacionadas à regularização fundiária e conscientização da população (medidas do eixo Sociedade) e relacionadas à manutenção dos sistemas de drenagem (medida do eixo Institucional) são imprescindíveis para a mitigação desse problema. Isso reforça a necessidade de uma abordagem ampla e integrada para avançar no gerenciamento e manejo das águas pluviais de forma efetiva. As medidas mitigadoras a serem adotadas para superar um problema dependem do contexto local, das possibilidades e das preferências das partes interessadas.

Quadro 12 - Matriz de relação entre problemas gerais e medidas mitigatórias de impacto direto e de impacto indireto

| | | Medida Mitigadora | | | | | | |
|----------------|--------|---|--------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|-----|
| | | Eixo: Segurança | Eixo: Sociedade | Eixo: Estratégico | Eixo: Institucional | Eixo: Infraestrutura | Eixo: Qualidade Ambiental | |
| Problema Geral | PGE 01 | Deficiência orçamentária para gerenciamento da drenagem e manejo das águas pluviais | | I | | I | D | |
| | PGE 02 | Custos gerados por deficiências no manejo das águas pluviais | D/I | I | | I | | |
| | PGI 01 | Deficiência de capacitação técnica | I | | D/I | D/I | | |
| | PGI 02 | Deficiência na normatização | | | I | D/I | D | |
| | PGI 03 | Deficiência nos sistemas físicos dos sistemas de águas pluviais | I | D/I | D/I | D/I | D/I | D |
| | PGI 04 | Ausência de integralização de informações | D | | D/I | D/I | D | |
| | PGS 01 | Ocupação de zonas de inundação | D/I | D/I | | D/I | D | I |
| | PGS 02 | Deficiência na inclusão e conhecimento da sociedade sobre os sistemas de águas pluviais | | D/I | D | D/I | D | |
| | PGS 03 | Riscos à saúde pública | | D/I | | D | I | D/I |
| | PGA 01 | Impermeabilização do solo | | | D | D/I | D | D |
| | PGA 02 | Ocupação desordenada do solo | D | D/I | | D/I | D | D/I |
| | PGA 03 | Interferências físicas nos canais de escoamento | | I | | D/I | I | D |
| | PGA 04 | Redução da qualidade dos recursos hídricos | | D | D | D | D/I | D/I |

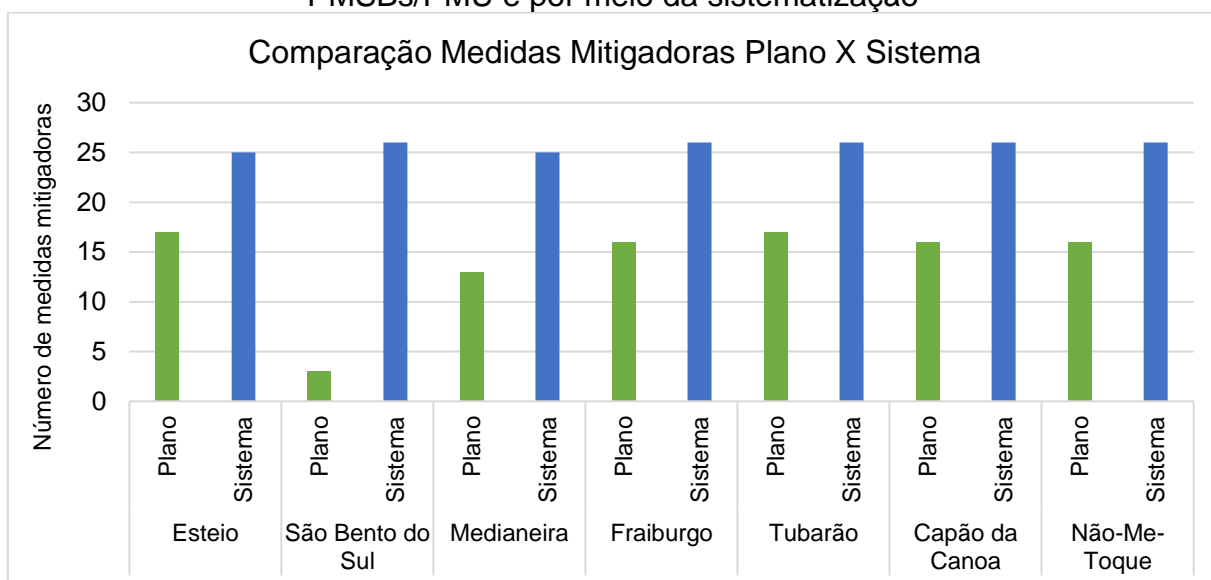
Legenda: D = Impacto Direto (vermelho); I = Impacto Indireto (amarelo); D/I = Impacto Direto e Indireto (laranja).

Fonte: Camila A. Baum (2022).

4.3.2.1. Validação das medidas mitigadoras possíveis

A aplicabilidade das medidas mitigadoras propostas foi verificada através da comparação entre as medidas apontadas nos PMSBs/PMU e as identificadas para os problemas dos municípios pilotos (previamente identificados via sistema de indicadores, conforme apresentado no subcapítulo ‘Sistema de indicadores de problemas de gerenciamento e manejo das águas pluviais’). Como é possível observar (Figura 14; Quadro 13), a maioria das medidas mitigadoras propostas neste estudo foram apontadas pela sistematização problemas x medidas mitigadoras como medidas diretas para solucionar os problemas, mesmo que várias destas medidas não tenham sido apontadas diretamente no Plano Municipal do respectivo município piloto.

Figura 14 - Comparação entre o número de medidas mitigadoras com potencial de auxiliar diretamente nos problemas das águas pluviais urbanas identificadas nos PMSBs/PMU e por meio da sistematização



Fonte: Camila A. Baum (2022).

Quadro 13 - Medidas mitigadoras identificadas nos PMSBs/PMU e por meio da sistematização (Conclusão)

| Medidas Mitigadoras | Municípios piloto | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|---------|------------------|---------|------------|---------|-----------|---------|---------|---------|----------------|---------|--------------|---------|
| | Esteio | | São Bento do Sul | | Medianeira | | Fraiburgo | | Tubarão | | Capão da Canoa | | Não-Me-Toque | |
| Eixo: Infraestrutura | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema |
| MInf01 | | | | | | | | | | | | | | |
| MInf02 | | | | | | | | | | | | | | |
| MInf03 | | | | | | | | | | | | | | |
| MInf04 | | | | | | | | | | | | | | |
| MInf05 | | | | | | | | | | | | | | |
| Eixo: Qualidade Ambiental | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema | Plano | Sistema |
| MQA01 | | | | | | | | | | | | | | |
| MQA02 | | | | | | | | | | | | | | |
| MQA03 | | | | | | | | | | | | | | |
| MQA04 | | | | | | | | | | | | | | |

Legenda: Em verde, medidas identificadas nos Planos Municipais; em azul, medidas identificadas via sistematização.

Fonte: Camila A. Baum (2022).

Devido a uma mesma medida ser capaz de auxiliar diretamente na mitigação de mais de um problema (Quadro 13) e considerando que problemas de maior gravidade não foram diferenciados daqueles de menor gravidade, o sistema de validação aplicado apresenta-se pouco específico no que tange a medidas mais urgentes ou importantes, por exemplo, o que pode ser observado pelas medidas mitigadoras propostas pelo sistema serem praticamente as mesmas para todos os municípios piloto. No entanto, essas medidas sistematizadas podem contribuir para a otimização dos esforços no gerenciamento de águas pluviais urbanas em municípios de pequeno porte, principalmente.

4.3.3. Considerações gerais sobre arranjos de medidas mitigadoras

Este sub-capítulo apresentou as informações sistematizadas e atualizadas sobre medidas mitigadoras para superar problemas e melhorar significativamente o gerenciamento e manejo das águas pluviais em municípios brasileiros de pequeno e médio portes. Trinta medidas mitigadoras, sintetizadas e organizadas em seis eixos principais, foram apresentadas, também sendo discutida sua aplicabilidade para a realidade de municípios brasileiros. Cada medida mitigadora adotada pode colaborar com a superação de mais de um problema e melhorar o sistema de águas pluviais como um todo. Ademais, é possível verificar como as medidas se interligam, dentro de um mesmo eixo e com medidas de outros eixos, evidenciando a importância de um gerenciamento integrado.

A associação entre medidas mitigadoras e problemas adotados neste estudo em municípios de pequeno e médio portes demonstrou ser abrangente e com dificuldades de apontar medidas específicas para resolver os problemas mais impactantes em cada município. Isso decorre por dois motivos principais: 1) aplicabilidade múltipla de cada medida na resolução de problemas, apontada no parágrafo anterior; e 2) a gravidade dos problemas indicados como existentes nos municípios não é apresentada. A superação desses impasses, para que os arranjos de medidas propostos para cada município sejam mais efetivos, demanda a quantificação da gravidade dos problemas de cada um desses. Ademais, o detalhamento sobre a ordem de prioridade depende muito das características locais, questões orçamentárias e disposição de envolvimento dos *stakeholders* no que for sua atribuição; no entanto, os arranjos de medidas mitigadoras obtidos através de sistema

de inter-relação entre problemas e medidas mitigadoras tem potencial de auxiliar os gestores na tomada decisão, ao permitir a visualização das alternativas possíveis.

Também cabe salientar a imprecisão de alguns Planos Municipais, utilizados como fonte de informação, que carecem de um detalhamento maior sobre as medidas mitigadoras para o serviço de drenagem e manejo das águas pluviais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs a elaboração de uma ferramenta sistematizada de suporte para o gerenciamento das águas pluviais urbanas baseado em um conjunto de indicadores com vistas a fomentar a tomada de decisão por parte dos gestores públicos de municípios com população de até cem mil habitantes. Para isso, inicialmente foi realizada a avaliação do estado da arte do gerenciamento de águas pluviais e uso de indicadores no gerenciamento no Brasil. Essa temática, de indicadores relacionados às águas pluviais urbanas, tem-se difundido nos últimos anos, no entanto, estudos relacionados a indicadores para fins de gerenciamento das águas pluviais ainda são limitados, principalmente por exigirem informações complexas para seu cálculo. A elevada subjetividade e incertezas associadas à construção de indicadores e índices e à percepção e interpretação dos resultados dos indicadores para gerenciamento de águas pluviais urbanas pelos tomadores de decisão, além da ausência de estudos relacionados a mecanismos que auxiliem na utilização desses resultados, são as principais lacunas associadas.

O desenvolvimento de um conjunto de indicadores para gerenciamento das águas pluviais urbanas que identifique e quantifique os aspectos das águas pluviais urbanas que necessitam mais suporte foi alcançado. Com base nos 59 problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas identificados, foi estruturado um conjunto composto por 42 indicadores simples, que posteriormente foram agregados em 5 indicadores compostos. Foram apresentados os resultados dos indicadores simples e compostos, sendo que para os indicadores compostos verificou-se que o método de PAH apresentou como o método de ponderação mais adequado. Para a identificação dos principais problemas relacionados às águas pluviais no sistema municipal, os indicadores simples foram sistematizados com os problemas.

Os problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas identificados inicialmente foram relacionados com 30 medidas mitigadoras estruturais e não-estruturais identificadas como potenciais para gerenciamento de águas pluviais e sistematizados gerando arranjos de medidas mitigadoras possíveis, de acordo com os problemas existentes nos municípios piloto avaliados, alcançando, assim, o segundo objetivo específico proposto para essa pesquisa. Portanto, uma

longa lista de alternativas está disponível e pode ser utilizada em diversos contextos, de acordo com os interesses e demandas dos atores locais.

Com os dois objetivos específicos alcançados e os problemas, indicadores simples e medidas mitigadoras estruturados em uma planilha eletrônica de forma sistematizada, atingiu-se o objetivo geral proposto, apresentado ao início dessa seção.

Cientificamente, o desenvolvimento, aplicação e análise de indicadores simples e compostos, permitiram verificar que indicadores simples se mostraram mais adequados para o gerenciamento e manejo das águas pluviais para fins de suporte à gestão municipal, uma vez que possibilitam identificar com maior clareza e facilidade quais itens carecem de maior atenção, de forma mais específica e de mais fácil entendimento, além da identificação dos problemas e possíveis medidas. No que tange aos indicadores compostos, o teste de sensibilidade, a partir de diferentes métodos de ponderação, permitiu concluir que a ponderação pelo método de PAH é a mais adequada à finalidade para a qual está sendo desenvolvido o conjunto de indicadores, que é contribuir na redução da subjetividade e de incertezas associadas à percepção e interpretação dos resultados dos indicadores pelos tomadores de decisão, no entanto, devido principalmente a pouca uniformidade no fornecimento dos dados relacionados às águas pluviais no Brasil os indicadores compostos não foram inseridos na ferramenta desenvolvida devido. Em relação a variabilidade na quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto o método de ACP se apresentou como mais adequado, no entanto, devido às limitações impostas por esse método, aliada à deficiência de dados, impactaram fortemente nos resultados, visto que a ponderação por esse método é única e exclusivamente baseada nos dados, cabendo a atenção do analista quando da utilização desse método.

De forma prática, a ferramenta desenvolvida fornece aos gestores de municípios de até cem mil habitantes suporte na análise dos problemas existentes relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas e identificação de medidas mitigadoras para esses problemas, auxiliando, assim, em decisões mais assertivas.

Por fim, destaca-se o propósito da busca pelo bem-estar social e ambiental. Os impactos decorrentes de eventos hidrológicos intensos em área urbanas, que afetam diariamente a vida da população e causam danos financeiros e ambientais, apresentam registros cada vez mais frequentes. De forma indireta, o trabalho

desenvolvido, se aplicado adequadamente pelos gestores públicos, tem potencial de amenizar os impactos desses eventos.

5.2. LIMITAÇÕES

Para além da dificuldade relacionada à contribuição das prefeituras dos municípios piloto no fornecimento dos dados necessários (que não são abertos) para cálculo dos indicadores, foram observadas as limitações inerentes à metodologia adotada.

Não foi possível quantificar os problemas das águas pluviais urbanas em termos de gravidade e complexidade. Esse impasse impediu que fosse realizada uma priorização dos problemas a serem mitigados, sendo atribuída ao analista a responsabilidade de identificar qual problema é mais urgente e importante. Ademais, devido aos problemas não terem sido quantificados em termos de gravidade e complexidade, também não foi possível identificar quais as medidas mitigadoras prioritárias ou quais apresentariam maior efetividade quando da possibilidade de realizar investimentos, de acordo com a realidade de cada município, por exemplo.

A formulação dos indicadores simples apresentou algumas limitações, dentre as quais a necessidade de desenvolvimento de indicadores que envolvessem reduzida complexidade e retratassem a realidade, devido à condição do quadro de servidores e gestores com conhecimento limitado acerca do sistema de águas pluviais. Os indicadores simples foram formulados pensando nos problemas das águas pluviais urbanas, no entanto, para alguns problemas não foi possível apontar indicadores, devido a estes requerem informações muito específicas e de complexa obtenção, não atendendo, assim, o critério norteador acessibilidade. Quanto aos indicadores compostos, a limitação intrínseca a cada método de ponderação testado é apresentada no item 4.2.2.3.

A validação dos resultados dos indicadores foi realizada com base nos problemas das águas pluviais urbanas disponíveis nos Planos Municipais dos municípios piloto que, em muitos casos, não abordavam todos os aspectos que envolvem o serviço de manejo e drenagem de águas pluviais urbanas, tornando a validação, por vezes, limitada e demandando que decisões subjetivas fossem adotadas. Ademais, cabe destacar a limitação temporal relacionada aos dados utilizados para cálculo dos indicadores e dos PMSB's onde, apesar da maioria dos dados utilizados para cálculo dos indicadores serem referentes ao ano de 2018, houve

dados referentes a 2017, por exemplo, e os PMSB's datavam de anos variados, entre 2013 e 2018. Essa limitação pode distorcer o processo de validação, uma vez que um problema não identificado via conjunto de indicadores propostos pode estar indicado como problema em um PMSB, no entanto, esse problema do PMSB foi resolvido até 2018, e por esse motivo não foi indicado pelo sistema de indicadores.

5.3. RECOMENDAÇÕES

A partir das limitações identificadas pela metodologia aplicada e de todo o trabalho desenvolvido, identificou-se possíveis pesquisas futuras, que poderiam contribuir tanto no gerenciamento de águas pluviais quanto no aperfeiçoamento da ferramenta desenvolvida.

Recomenda-se relacionar quantitativamente problemas e medidas mitigadoras relacionados ao gerenciamento das águas pluviais urbanas. Há estudos desenvolvidos relacionando problemas e estratégias relacionados ao gerenciamento sustentável das águas pluviais, no entanto, como é de amplo conhecimento, em áreas urbanas consolidadas apenas medidas estruturais sustentáveis não suportam a demanda, sendo necessárias medidas estruturais tradicionais.

Outra possível pesquisa está relacionada ao processo de validação dos indicadores considerando aspectos temporais e a disponibilidade de dados, seja pelo método aplicado neste estudo, seja por outro método. A disponibilidade de dados relacionados a manejo e drenagem de águas pluviais urbanas de forma pública ainda é um gargalo no Brasil, no entanto, nos últimos anos tem apresentado desenvolvimento, de forma que novos métodos de validação podem vir a ser testados.

Ainda sobre indicadores para gestão de águas pluviais urbanas, são recomendados estudos que debatam as implicações da diversidade climática, fisiográfica, sociocultural e/ou econômica existente entre os municípios brasileiros no gerenciamento de águas pluviais urbanas e como essas características podem ser analisadas para cada município, para além dos problemas e medidas mitigadoras de ampla abrangência discutidos nesse estudo.

Por fim, esse estudo foi desenvolvido para populações de até 100.000 habitantes, devido a questões orçamentárias e percentuais de eventos hidrológicos a que estes municípios são expostos, no entanto não foi avaliada efetividade quando aplicado este conjunto de indicadores em municípios de maior porte, sendo esta uma possibilidade de pesquisa futura.

6. REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Hidroweb** - Disponível em:<<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em 20 out. 2020.

ARAÚJO, D. C. de. et al. Análise multicriterial aplicada à gestão das águas pluviais urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, n. 18, 2017.

ASSUNÇÃO, F. **Estratégias para tratamento de variáveis com dados faltantes durante o desenvolvimento de modelos preditivos**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. de O. Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, 29-49, 2002.

BAPTISTA, M. B. et al. Performance-costs evaluation for urban storm drainage. **Water Science and Technology**, v. 51, n. 2, p. 99–107, 2005.

BARBOSA, A. E.; FERNANDES, J. N.; DAVID, L. M. Key issues for sustainable urban stormwater management. **Water Research**, v. 46, n. 20, 6787–6798, 2012.

BARROCA, B. et al. Indicators for identification of urban flooding vulnerability. **Natural Hazards and Earth System Sciences**. v. 6, 553-561, 2006.

BAULER, T. An analytical framework to discuss the usability of (environmental) indicators for policy. **Ecological Indicators**, v. 17, 38–45, 2012.

BAUM, C. A.; GOLDENFUM, J. A. Indicadores e índices para o gerenciamento de águas pluviais urbanas no Brasil : situação atual e oportunidades de evolução. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, 2021.

BERTILSSON, L. et al. Urban flood resilience – A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning. **Journal of Hydrology**, v. 573, 970–982, 2019.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. Integrated urban stormwater management: Evolution and multidisciplinary perspective. **Journal of Hydro-Environment Research**, v. 38, 72–83, 2021.

BOULANGER, P. M. Sustainable development indicators: a scientific challenge, a democratic issue. **Surveys and Perspectives Integrating Environment and**

Society, v. 1, p. 59-73, 2008.

BRASIL. **Política Nacional de Assistência Social - PNAS/ 2004**. Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, Brasília: 2005. Disponível em: <http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/assistencia_social/Normativas/PNAS_2004.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2022.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Brasília: Diário Oficial da União. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 jan. 2007.

BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Básico, 2014, 220 p.

BRASIL. **O que você precisa saber sobre as transferências fiscais da união**. Ministério da Fazenda - Secretaria do Tesouro Nacional. Brasília: 2018. 2018a. Disponível em: <https://sisweb.tesouro.gov.br/apex/f?p=2501:9:::9:P9_ID_PUBLICACAO_ANEXO:6370>. Acesso em: 15 jul. 2021.

BRASIL. Portaria nº 719, de 12 de dezembro de 2018. Brasília: Diário Oficial da União. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 dez. 2018. Seção 1, p. 85. 2018b.

BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico: Mais Saúde com Qualidade de Vida e Cidadania**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Saneamento, 2019, 240 p

BRASIL. Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Brasília: Diário Oficial da União. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRAULIO-GONZALO, M.; BOVEA, M. D.; RUÁ, M. J. Sustainability on the urban scale: Proposal of a structure of indicators for the Spanish context. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 53, p. 16–30, jul. 2015.

BRITO, D. S. de. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

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

CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. Oficina de textos, 2015. 384 p.

CASTRO, L. M. A. de; BAPTISTA, M. B.; Cordeiro Netto, O. de M. Análise Multicritério para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana Proposição de Indicadores e de Sistemática de Estudo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 4, 05-19, 2004.

CASTRO, L. M. A. de. **Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água**. 2007. 321 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CASTRO, L. M. A. de.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. Proposição de Metodologia para a Avaliação dos Efeitos da Urbanização nos Corpos de Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 4, 113-123, 2009.

CALCAGNO, A.; MENDIBURO, N.; NOVILLO, M. G. **Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina**. CEPAL (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe). **World Water Vision**, p. 151, 2000.

CARRERA, J. et al. Water Security in Latin America: The Urban Dimension. Empirical Evidence and Policy Implications from 26 Cities. In: **Global Water Security**. Springer: Singapore, 2018.

CAVALCANTI FILHO, M. J. L. **Desenvolvimento e avaliação de um conjunto de indicadores para representação do sistema de drenagem urbana**. 2017. 146 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe. **Informe de la reunión de consulta sobre indicadores de desarrollo sostenible**. 2004. In CEPAL (Org.), Chile. Disponível em: <<http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/29900/lcr2120.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2022: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/29900/lcr2120.pdf>

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. DOS S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, v. 43, 94–108, 2019.

COLOMBELLI, K. **Serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas**: avaliação do contexto brasileiro e da adaptabilidade de práticas norte-americanas para a proposição de melhorias institucionais e financeiras. 2018. 218 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) -

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. P. DA S.; CONCEIÇÃO, T. M. DA. Indicadores de pressão-estado-resposta para avaliação da conservação ambiental de riachos urbanos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 194–205, 2019.

CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. **Disaster Year in Review 2020 Global Trends and Perspectives**. In: Brussels (Ed.). 2021.

CRUZ, M. A. S. Otimização do controle da drenagem em macrobacias urbanas. 2004. 233 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CRUZ, C. M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, 59–71, 2008.

CSD - Sustainable Development Commission. **Indicators of sustainable development: framework and methodologies**. New York: Department of Economic and Social Affairs, 2001.

DEBORTOLI, N. S. et al. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Natural Hazards**, v. 86, n. 2, 557–582, 2017.

DHAKAL, K. P.; CHEVALIER, L. R. Urban Stormwater Governance: The Need for a Paradigm Shift. **Environmental Management**, v. 57, 1112-1124, 2016.

DHAKAL, K. P.; CHEVALIER, L. R. Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application. **Journal of Environmental Management**, v. 203, 171–181, 2017.

DONNELLY, A. et al. Selecting environmental indicator for use in strategic environmental assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 27, 161–175, 2007.

ESCODA, Maria do Socorro Quirino. Avaliação de efetividade de ações de saneamento: análise de gestão. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, n 2, 493-497, 2005.

EEA - European Environment Agency. *EEA core set of indicators*. Office for Official

Publications of the European Communities, Org., **European Environment 46**. Luxembourg: 2005.

ESTY, D. C.; LEVY, M. A.; SREBOTNJAK, T.; DE SHERBININ, A. **Environmental Sustainability Index. Benchmarking national environmental stewardship**. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law and Policy, 2005.

FABRÍCIO, E. P. et al. Planejamento Urbano Sustentável. **Meio ambiente e sustentabilidade: pesquisa, reflexões e diálogos emergentes**, v. 5, n. 2, 1326–1338, 2019.

FIDALGO, E. C. C. Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais. 2003. 276 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, 525–542, 2015.

GALERANI, C. et al. Controle da erosão urbana. In: TUCCI, C. E. M.; BARROS, M. T. L. DE; PORTO, R. L. L. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015.

GAO, J.; CHRISTENSEN, P.; KØRNØV, L. Indicators' role: How do they influence Strategic Environmental Assessment and Sustainable Planning – The Chinese experience. **Science of The Total Environment**, v. 592, 60–67, 2017.

GOLDENFUM, J. A. et al. Challenges for the sustainable urban stormwater management in developing countries : from basic education to technical and institutional issues Défis pour la gestion durable des eaux pluviales urbaines dans les. **Novatech**, 357–364, 2007.

GREGORY, A.; HALL, M. Urban water sustainability. In: **Water: Science and Solutions for Australia**. CSIRO: Collingwood, 2011.

GUSMÃO, M. B. R. de. **Diretrizes para uma abordagem sistêmica de gestão das águas pluviais urbanas**. 2016. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

GUZMÁN, P.; RODERS, A. P.; COLENBRANDER, B. Measuring links between cultural heritage management and sustainable urban development: An overview of global monitoring tools. **Cities**, v. 60, 192–201, 2017.

HAMMOND, A. et al. **Environmental Indicators**: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. (Vol. 36). Washington, DC: World Resources Institute, 1995.

HOLZ, J. **Levantamento e mapeamento do índice de risco de alagamento da bacia do Riacho Reginaldo**. 2010. 163 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

HUANG, L.; JIANGUO, W.; LIJIAO, Y.; WU, J. Defining and measuring urban sustainability: a review of indicators. **Landscape Ecology**, v. 30, 1175–1193, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **MUNIC - Perfil dos Municípios Brasileiros: 2017. Downloads: 2017: Tabelas de Resultados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?edicao=25506&t=downloads>>. Acesso em: 01 mai. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **MUNIC - Suplemento de Saneamento Básico**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/pesquisa/10087/76819>>. Acesso em: 01 mai. 2022.

INNES, J. E. Information in Communicative Planning. **Journal of the American Planning Association**, v. 64, n. 1, 52–63, 1998.

JANNUZZI, P. de M. Indicadores para diagnóstico, monitoramento e avaliação de programas sociais no Brasil. **Revista do Serviço Público**, v.6, n. 2, 137–160, 2005.

JEFFERSON, A. J. et al. Stormwater management network effectiveness and implications for urban watershed function: A critical review. **Hydrological Processes**, v. 31, n. 23, 4056–4080, 2017.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. **Cidades e Inundações Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI**. Um Resumo para os Formuladores de Políticas. THE WORLD BANK: Joaquin Toro e Frederico Ferreira Pedroso Banco Mundial/Escritório de Brasília, 2012. Disponível em: <http://mi.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=3c3b9a72-9358-415f-9efe-89fad4cbb381&groupId=10157>. Acesso em: 30 maio. 2019.

JIA, H. et al. Development of a multi-criteria index ranking system for urban runoff best management practices (BMPs) selection. **Environmental monitoring and assessment**, v. 185, n. 9, 7915-7933, 2013.

JIANG, Y.; ZEVENBERGEN, C.; MA, Y. Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and "sponge cities" strategy. **Environmental Science and Policy**, v. 80, 132-143, 2018.

KAUR, H.; GARG, P. Urban sustainability assessment tools: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, 146–158, 2019.

KLOPP, J. M.; PETRETTA, D. L. The urban sustainable development goal: Indicators, complexity and the politics of measuring cities. **Cities**, v. 63, 92–97, 2017.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006, 109 p.

KOLSKY, P.; BUTLER, D. Performance indicators for urban storm drainage in developing countries. **Urban Water**, v. 4, n. 2, 137–144, 2002.

LAZZARINI, S.G.; VASCONCELLOS, L.; SETTER FILHO, J. G. **A Lupa na cidade**. Painel de Indicadores de desenvolvimento de áreas urbanas vulneráveis. Disponível em: < <https://rbma.site/wp-content/uploads/2022/05/A-lupa-na-cidade-1.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2022.

LINDHOLM, O.; GREATOREX, J. M.; PARUCH, A. M. Comparison of methods for calculation of sustainability indices for alternative sewerage systems: theoretical and practical considerations. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 1, p. 71-78, 2007.

LOPARDO, R. A.; BACCHUEHA, J. D.; HIGA, L. E. Argentina Desafios planteados por el manejo de aguas em zonas urbanas. In: Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS). **Desafios del agua urbana en las Américas: Perspectivas de las Academias de Ciencias - Resumen**. México: IANAS y UNESCO, 2018. Disponível em: < <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245202>>. Acesso em: 09 mai. 2022.

MARLOW, D. R. et al. Towards sustainable urban water management: A critical reassessment. **Water Research**, v. 47, 7150–7161, 2013.

MARQUES, C. E. B. **Proposta de método para a formulação de planos diretores de drenagem urbana**. 2006. 168 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2006.

MARSALEK, J.; SCHREIER, H. Innovation in stormwater management in Canada: The way forward. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 44, n. 1, 2009.

MARTIN, C.; RUPERD, Y.; LEGRET, M. Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. **European Journal of Operational Research**, v. 181, n. 1, 338–349, 2007.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia é suficiente?**. 2012. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidraulic/gestaodrenagem.pdf> Acesso em: 10 jan 2020.

MAYER, A. L. Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems. **Environment International**, v. 34, n. 2, 277–291, 2008.

MCCLYMONT, K. et al. Towards urban resilience through Sustainable Drainage Systems: A multi-objective optimisation problem. **Journal of Environmental Management**, v. 275, 2020.

MCGRANE, S. J. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 13, 2295–2311, 2016.

MENDONÇA, E. C.; DE SOUZA, M. A. A. Uma metodologia multiobjetivo e multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. **Ingeniería del agua**, v. 23, n. 2, 89 - 106, 2019.

MENEZES FILHO, F.; TUCCI, C. Alteração na relação entre densidade habitacional x área impermeável: Porto Alegre-RS. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 9, n. 1, 50–55, 2012.

MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B.; MAGALHÃES, L. P. C. Multifunctional landscapes for urban flood control in developing countries. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 2, n. 2, 153–166, 2007.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. A catchment scale Integrated Flood Resilience Index to support decision making in urban flood control design. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 44, n. 5, 925–946, 2017.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. GEN LTC, 2015, 384 p.

MIRANDA, F. M. et al. Simplified Flood Risk Index Applied to the Duque de Caxias Municipality in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro. **Novatech**, 1–4, 2019.

MOGLIA, M.; COOK, S. Transformative approaches for sustainable water management in the urban century. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 5, 2019.

MORAES, L. R. S. et al. Impact of drainage and sewerage on diarrhoea in poor urban areas in Salvador, Brazil. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 97, n. 2, 153-158, 2003.

MORALES-TORRES, A. et al. Decision Support Tool for energy-efficient, sustainable and integrated urban stormwater management. **Environmental Modelling & Software**, v. 84, 518–528, 2016.

MORIHAMA, A. C. D. et al. Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions. **Water Science and Technology**, v. 66, n. 4, 704–711, 2012.

MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 6, n. 1, 31–42, 2009.

MOURA, P. M.; BARRAUD, S.; BAPTISTA, M. B. Metodologia para avaliação de sistemas de infiltração de águas pluviais urbanas – fase de concepção. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 7, n. 2, 5–16, 2010.

NARDO, M., SAISANA, M., TARANTOLA, A., STEFANO, S. **Tools for Composite Indicators Building**. European Commission, report EUR 21682 EN (Joint Research Centre, Ispra, Italy), 2005.

NETO, W. J. S. **Síntese que organiza o olhar : uma proposta para construção e representação de indicadores de desenvolvimento sustentável e sua aplicação para os municípios fluminenses**. 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais). Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Rio de Janeiro, 2006.

NICKEL, D. Water in the city of the future. **Urban Water Journal**, v. 15, n. 6, 507, 2018.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. **Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide**. 2008. Disponível em: <<https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>> Acesso em: 10 jan 2020.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. **Environmental Indicators: Development, Measurement and Use**. 2003. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/7/47/24993546.pdf>> Acesso em: 10 jan 2020.

ONEDA, T. M. S. **Planos Diretores de Drenagem Urbana: uma análise comparativa entre planos de países desenvolvidos e em desenvolvimento**. 2018. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2018.

ONEDA, T. M. S.; BARROS, V. G. On stormwater management master plans: comparing developed and developing cities. **Hydrological Sciences Journal**, v. 66, n. 1, p. 1–11, 2021.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Sustainable Development Goal 11: Cidades e comunidades sustentáveis | As Nações Unidas no Brasil**. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

PADILHA, D. G., TREVISAN, M. L., CRUZ, J. C. Sensibilidade do modelo de fragilidades ambientais à ponderação multicriterial: Aspectos físicos da bacia hidrográfica do alto Uruguai. **Floresta**, v.44, n.3, 535–548, 2014.

PARKINSON, J. Drainage and stormwater management strategies for low-income urban communities. **Environment and Urbanization**, v. 15, n. 2, 115–126, 2003.

PCS - Programa Cidades Sustentáveis. **Guia de indicadores para a gestão pública**. Disponível em:<https://www.cidadessustentaveis.org.br/arquivos/Publicacoes/Guia_de_Indicadores_para_a_Gestao_Publica.pdf>. Acesso em 26 set. 2022.

PEIXOTO, F.; STUDART, T.; CAMPOS, J. Gestão das águas urbanas: questões e integração entre legislações pertinentes. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 13, n. 2, 160–174, 2016.

PEREIRA, C. et al. Inundation risk index as an urban planning supportive tool. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**, v. 8, n. 2, 235–251, 2020.

PEREZ, L. P. **Índice de vulnerabilidade urbana a alagamentos e deslizamentos de terra, em função de eventos extremos de clima, na Região Metropolitana de São Paulo: uma proposta de método**. 2013. 141 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas

urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; BARROS, M. T. L. DE; PORTO, R. L. L. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015.

RASCH, R. J. Assessing urban vulnerability to flood hazard in Brazilian municipalities. **Environment and Urbanization**, v. 28, n. 1, 145–168, 2016.

REZENDE, O. et al. A framework to introduce urban flood resilience into the design of flood control alternatives. **Journal of Hydrology**, v. 576, n. June, 478–493, 2019.

REZENDE, O. M. et al. Mapping the flood risk to Socioeconomic Recovery Capacity through a multicriteria index. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, 2020.

RIPOL E SILVA, B.; PINHEIRO, H.; LOPES, D. D. Seleção de indicadores de sustentabilidade para avaliação do sistema de drenagem urbana. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, n. 27, 18–21, 2013.

ROTAVA, J. **Índices de resiliência hídrica e de perigo para gestão do risco de inundação urbanas**. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

ROY, A. H. et al. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States. **Environmental Management**, v. 42, n. 2, 344–359, 2008.

RUBIN, D. B. Inference and missing data. **Biometrika**, v.63, n.3, 581–592, 1976.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, 234–281, 1977.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SANTOS, G. R. dos; KUWAJIMA, J. I.; SANTANA, A. S. de. **Regulação e investimento no setor de saneamento no Brasil**: trajetórias, desafios e incertezas. Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília : Rio de Janeiro: Ipea, 2020

SANTOS JÚNIOR, V. J. dos. Avaliação da fragilidade no sistema de drenagem pluvial urbana: o caso da bacia hidrográfica do Córrego das Melancias em Montes Claros – MG. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 3986–3997, 2014.

SANTOS, M. F. N. et al. Descentralizando o manejo das águas pluviais: Como

promover a participação da comunidade? In: 7º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 2016, Maceió. **Anais Eletronicos...** 2016.

SÃO PAULO. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais**. Aspectos tecnológicos: fundamentos (Vol. II). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo, São Paulo, 2012.

SCARLETT, R. D. et al. Stormwater on the margins: Influence of race, gender, and education on willingness to participate in stormwater management. **Journal of Environmental Management**, v. 290, n. March, 2021.

SEPE, P. M. I.; GOMES, S. **Indicadores Ambientais e Gestão Urbana: Desafios para a Construção da Sustentabilidade na Cidade de São Paulo**. São Paulo: Secretaria Municipal do Verde e do Meio ambiente: Centro de Estudos da Metrópole, 2008.

SHIELDS, D. J.; ŠOLAR, S. V.; MARTIN, W. E. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicators**, v. 2, 149–160, 2002.

SILVA, S. **Ferramenta de apoio ao manejo de águas pluviais urbanas com base em indicadores de sustentabilidade - SAMSAP**. 2016, 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

SNIS-AP - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento-Águas Pluviais. **Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas - 2015**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2018.

SNIS-AP - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento-Águas Pluviais. **Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas - 2017**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2019.

SNIS-AP - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento-Águas Pluviais. 4º **Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas - 2019**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2020.

SNIS-RS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento-Resíduos Sólidos. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2018**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2019.

SOUZA, V. C. B. de. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**

GESTÃO, v. 1, n. 1, 52–66, 2013.

SOUZA, V. C. B. de; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. Déficit na drenagem urbana: buscando o entendimento e contribuindo para a definição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 2, 162–175, 2013.

SZLAFSZTEIN, C.; STERR, H. A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil. **Journal of Coastal Conservation**, v. 11, n. 1, 53–66, 2007.

S2ID - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. **Dados 2018**. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em 20 out. 2020.

TASCA, F. A. **Simulação de uma Taxa para Manutenção e Operação de Drenagem Urbana para Municípios de Pequeno Porte**. 2016. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

TASCA, F. A.; ASSUNÇÃO, L. B.; FINOTTI, A. R. International experiences in stormwater fee. **Water Science and Technology**, v. 2017, n. 1, 287–299, 2018.

THE GUARDIAN. **Inside China's leading "sponge city"**: Wuhan's war with water | Cities | The Guardian. 2019. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/cities/2019/jan/23/inside-chinas-leading-sponge-city-wuhans-war-with-water>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

TINGSANCHALI, T. Urban flood disaster management. **Procedia Engineering**, v. 32, 25–37, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco, 2005. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gest%C3%A3o_de_Aguas_Pluviais__.PDF?1370615799>. Acesso em: 15 abr. 2022.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 97–112, 2008a.

TUCCI, C. E. M. **Urbanização e drenagem urbana – Rhama | Aprenda**. 2008b. Disponível em: <<http://www.rhama.com.br/blog/index.php/sem-categoria/urbanizacao-e-drenagem-urbana/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA. Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 2012.

TUCCI, C. E. M. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 13, n. 1, 29–42, 2016.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do Impacto da Urbanização. In: TUCCI, C. E. M.; BARROS, M. T. L. DE; PORTO, R. L. L. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015.

TUCCI, C. E. M.; MELLER, A. Regulação das águas pluviais urbanas. **Revista de Gestão das Águas da América Latina**, v. 4, n. 1, 75–92, 2007.

UNEP-DPCSD - United Nations Environment Programme-United Nations Department for Policy Coordination and Sustainable Development . **The Role of Indicators in Decision-making**. Discussion paper prepared for UNEP for the Indicators of Sustainable Development for Decision-Making Workshop: Ghent - Belgium, 1995.

VAN BELLEN. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: FGV, 2005. 256 p.

VASCONCELOS, A. F. **Estratégias para o avanço do manejo sustentável de águas pluviais urbanas no Brasil**. 2020. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

VASCONCELOS, A.; BARBASSA, A. Sustainable urban stormwater management in developing countries: integrating strategies to overcome Brazilian barriers. **Urban Water Journal**, 2021.

VASCONCELOS, A. F. et al. Barriers to sustainable urban stormwater management in developing countries: The case of Brazil. **Land Use Policy**, v. 112, 264–8377, 2022.

VERMA, P.; RAGHUBANSHI, A. S. Urban sustainability indicators: Challenges and opportunities. **Ecological Indicators**, v. 93, 282–291, 2018.

VERÓL, A. P. et al. The urban river restoration index (URRIX) - A supportive tool to assess fluvial environment improvement in urban flood control projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, 2019.

VILLANUEVA, A. O. N. et al. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 8, n.1, 5–18, 2011.

VOJINOVIC, Z.; VAN TEEFFELEN, J. An integrated stormwater management approach for small islands in tropical climates. **Urban Water Journal**, v. 4, n. 3, 211–231, 2007.

VON ANCKEN, N. B.; TEIXEIRA, B. A. do N.; SILVA, S. P. da. Aplicação de indicadores de sustentabilidade para o manejo de águas pluviais: estudo de caso em São Carlos-SP. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2017, Florianópolis. **Anais Eletrônicos**...Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <<http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/60/PAP022536.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2022.

WINOGRAD, M. **Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe**: Hacia la sustentabilidad en el uso de tierras. San José, Costa Rica: 1995.

ZISCHG, J. et al. Future trajectories of urban drainage systems: A simple exploratory modeling approach for assessing socio-technical transitions. **Science of the Total Environment**, v. 651, 2019.

ZONSEIN, J. **Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

APÊNDICE A – PROBLEMAS GERAIS E ESPECÍFICOS

Quadro 14 - Problemas gerais e específicos do sistema de águas pluviais urbanas (Continua)

| Problema Geral | | Problema Específico | |
|-------------------------------|---|---------------------|---|
| Temática Econômica | | | |
| PGE 01 | Deficiência orçamentária para gerenciamento da drenagem e manejo das águas pluviais | PE01 | Orçamento insuficiente para adoção de medidas preventivas |
| | | PE02 | Orçamento insuficiente para manutenção das estruturas de drenagem e manejo das águas pluviais existentes |
| | | PE03 | Ausência de fontes de investimento e custeio para gerenciamento e manejo das águas pluviais |
| | | PE04 | Cobrança insuficiente (ou ausência de cobrança) para manutenção dos serviços públicos de águas pluviais |
| PGE 02 | Custos gerados por deficiências no manejo das águas pluviais | PE05 | Investimento para mitigação dos danos (materiais/humanos) causados por eventos hidrológicos extremos |
| | | PE06 | Prejuízos econômicos causados por eventos hidrológicos extremos ou pelo manejo inadequado das águas pluviais |
| Temática Institucional | | | |
| PGI 01 | Deficiência de capacitação técnica | PI01 | Equipe limitada, em quantidade e/ou em termos de capacidade técnica |
| | | PI02 | Ausência de formação e atualização das equipes técnicas |
| | | PI03 | Desconhecimento, pela equipe técnica, dos processos físicos/hidrológicos que influenciam na drenagem das águas pluviais |
| | | PI04 | Falta de conhecimento sobre formas de evitar e controlar inundações, por parte dos planejadores urbanos. |
| PGI 02 | Deficiência na normatização | PI05 | Ausência de planejamento a curto, médio e longo prazo |
| | | PI06 | Ausência/deficiência na regulamentação de temas que envolvem a drenagem e manejo das águas pluviais |
| | | PI07 | Ausência de um banco de dados e informações de acompanhamento sobre o sistema de águas pluviais |
| | | PI08 | Ausência de instrumentos de ordenamento de uso do solo |
| | | PI09 | Ausência de fiscalização do uso e ocupação do solo |
| | | PI10 | Desconhecimento do sistema de drenagem devido à falta de cadastro do sistema ou cadastro parcial |

Quadro A1 - Problemas gerais e específicos do sistema de águas pluviais urbanas (Continuação)

| Problema Geral | | Problema Específico | |
|-------------------------------|---|---------------------|--|
| Temática Institucional | | | |
| PGI 03 | Deficiência nos sistemas físicos dos sistemas de águas pluviais | PI11 | Deficiências na elaboração de projetos do sistema de águas pluviais |
| | | PI12 | Deficiências na execução de projetos do sistema de águas pluviais |
| | | PI13 | Deficiência na manutenção do sistema de águas pluviais |
| | | PI14 | Implantação do sistema de águas pluviais de forma fragmentada |
| | | PI15 | Ausência de utilização de soluções e técnicas de drenagem e manejo das águas pluviais mais integradas ao contexto urbano |
| | | PI16 | Ausência de espaços públicos ou privados adequados à implementação de dispositivos compensatórios |
| | | PI17 | Preferência por medidas mitigadoras tradicionais e estruturais |
| PGI 04 | Ausência de integralização de informações | PI18 | Falta de controle e monitoramento hidrológico e ausência ou ineficiência de sistemas de alerta |
| | | PI19 | Precariedade das informações hidrológicas e hidráulicas para avaliar a condição atual e propor cenários |
| PGI 02 | Deficiência na normatização | PI20 | Fragmentação das atividades e descontinuidade administrativa |
| | | PI21 | Dificuldade de integração entre órgãos públicos |
| PGI 04 | Ausência de integralização de informações | PI22 | Projetos urbanos e sistemas de águas pluviais conflituosos (falta de integração entre os setores relacionados à gestão urbana) |
| | | PI23 | Deficiência na articulação e em diálogos intermunicipais e visão municipalizada do manejo das águas pluviais |
| Temática Social | | | |
| PGS 01 | Ocupação de zonas de inundação | PS01 | Redução da proteção do solo |
| | | PS02 | Pressão imobiliária |
| | | PS03 | População em condição de vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos |
| | | PS04 | Habitações em áreas de risco |
| | | PS05 | Falta de conscientização da população sobre riscos de ocupar áreas de risco |

Quadro A1 - Problemas gerais e específicos do sistema de águas pluviais urbanas (Continuação)

| Problema Geral | | Problema Específico | |
|---------------------------|---|---------------------|--|
| Temática Social | | | |
| PGS 02 | Deficiência na inclusão e conhecimento da sociedade sobre os sistemas de águas pluviais | PS06 | Difícil acesso público aos canais de discussão e debate sobre os sistemas de águas pluviais |
| | | PS07 | Falta de interesse da população em participar da tomada de decisão |
| | | PS08 | Resistência e pré-conceito da população à adoção de algumas medidas estruturais sustentáveis ou não-estruturais |
| | | PS09 | Déficit no atendimento à população |
| | | PS10 | Deficiência na educação da sociedade para com o manejo das águas pluviais |
| | | PS11 | Falta de percepção da importância do gerenciamento e manejo adequado de águas pluviais e não valorização de ações realizadas |
| PGS 03 | Riscos à saúde pública | PS12 | Proliferação de vetores |
| | | PS13 | Incidência de doenças de veiculação hídrica |
| Temática Ambiental | | | |
| PGA 01 | Impermeabilização do solo | PA01 | Aumento do volume do escoamento, com conseqüente redução da capacidade hidráulica do sistema |
| | | PA02 | Alteração dos padrões de circulação da água |
| | | PA03 | Redução da capacidade de recarga do aquífero, devido à redução de infiltração |
| PGA 02 | Ocupação desordenada do solo | PA04 | Alteração do microclima |
| | | PA05 | Aumento da produção de sedimento devido à desproteção das superfícies |
| | | PA06 | Desconhecimento das áreas de risco |
| | | PA07 | Redução da vegetação marginal dos cursos d'água |
| PGA 03 | Interferências físicas nos canais de escoamento | PA08 | Obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, canais de drenagens inadequados |
| | | PA09 | Assoreamento de curso d'água |
| | | PA10 | Modificações físicas nos canais de escoamento naturais |
| | | PA11 | Redução da diversidade da fauna aquática nos cursos d'água |

Quadro A1 - Problemas gerais e específicos do sistema de águas pluviais urbanas (Conclusão)

| Problema Geral | | Problema Específico | |
|--------------------|--|---------------------|--|
| Temática Ambiental | | | |
| PGA 04 | Redução da qualidade dos recursos hídricos | PA12 | Ligações indevidas ou ilegais na rede de drenagem (como da rede de esgoto) |
| | | PA13 | Dificuldade de identificação de fontes poluidoras/fontes difusas |
| | | PA14 | Redução da beleza paisagística |
| | | PA15 | Disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos comprometendo o funcionamento pleno de dispositivos de drenagem e contaminando as águas pluviais |
| | | PA16 | Déficit no esgotamento sanitário |
| | | PA17 | Contaminação dos recursos hídricos subterrâneos |

APÊNDICE B – DETALHAMENTO DOS INDICADORES SIMPLES

Quadro 15 - Problemas gerais e específicos do sistema de águas pluviais urbanas (Continua)

| Id | INDICADOR/INFORMAÇÃO | Fórmula/Fonte de dados |
|---|--|--|
| Informações Gerais | | |
| ig01 | População urbana residente no município (hab); | GE006 - SNIS-AP |
| ig02 | Quantidade total de domicílios existentes na área urbana do município (unidade); | GE008- SNIS-AP |
| ig03 | Área urbana total, incluindo áreas urbanas isoladas (km²); | GE002 - SNIS-AP |
| INDICADORES E INFORMAÇÕES - TEMÁTICA ECONÔMICA | | |
| IE01 | <i>Receita operacional anual obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas</i> | <i>IE01=</i> <i>ie01/((ig03*1000000)*((0,57*(ig01/(ig03*100))+13)/100)), em \$.ano/m²</i> |
| ie01 | Receita operacional total anual obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (R\$); | FN005 - SNIS-AP |
| ig01 | População urbana residente no município (hab); | GE006 - SNIS-AP |
| ig03 | Área urbana total, incluindo áreas urbanas isoladas (km²); | GE002 - SNIS-AP |
| IE02 | <i>Receita não-operacional total obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas</i> | <i>IE02=</i> <i>ie02/((ig03*1000000)*((0,57*(ig01/(ig03*100))+13)/100)), em \$.ano/m²</i> |
| ie02 | Receita não-operacional total obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência (R\$); | FN008 - SNIS-AP |
| ig01 | População urbana residente no município (hab); | GE006 - SNIS-AP |
| ig03 | Área urbana total, incluindo áreas urbanas isoladas (km²); | GE002 - SNIS-AP |
| IE03 | <i>Investimento do Município em serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas</i> | <i>IE03=</i> <i>ie03/((ig03*1000000)*((0,57*(ig01/(ig03*100))+13)/100)), em \$.ano/m²</i> |
| ie03 | Investimento total municipal (valor desembolsado) em serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência (R\$); | FN023 - SNIS-AP |
| ig01 | População urbana residente no município (hab); | GE006 - SNIS-AP |
| ig03 | Área urbana total, incluindo áreas urbanas isoladas (km²); | GE002 - SNIS-AP |
| IE04 | <i>Participação da despesa dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas na despesa total do Município</i> | <i>IE04=ie01/ie04* 100, em %</i> |
| ie05 | Despesa total dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência (R\$); | FN016 - SNIS-AP |
| ie04 | Despesa total do município, no ano de referência (R\$); | FN012 - SNIS-AP |

Quadro B1 - Indicadores simples, informações/dados necessários para sua resolução e fonte de informações/dados (Continuação)

| INDICADORES E INFORMAÇÕES - TEMÁTICA INSTITUCIONAL | | |
|--|---|--|
| <i>II01</i> | <i>Percentual de servidores públicos permanentes no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais</i> | <i>II01=ii01/ii02*100, em %</i> |
| ii01 | Quantidade de servidores públicos permanentes existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais; | Prefeitura Municipal |
| ii02 | Quantidade total de servidores públicos existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais; | AD003 - SNIS-AP |
| <i>II02</i> | <i>Percentual de servidores públicos no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais com ensino técnico e/ou superior na área ou em área correlata</i> | <i>II02=ii03/ii02*100, em %</i> |
| ii03 | Quantidade de servidores públicos no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais com ensino superior na área ou em área correlata; | Prefeitura Municipal |
| ii02 | Quantidade total de servidores públicos existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais; | AD003 - SNIS-AP |
| <i>II03</i> | <i>Percentual de servidores públicos com capacitação no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, realizada no ano de referência</i> | <i>II03=ii04/ii02*100, em %</i> |
| ii04 | Quantidade de servidores públicos no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais que realizaram algum curso de capacitação ou treinamento na área, no ano de referência; | Prefeitura Municipal |
| ii02 | Quantidade total de servidores públicos existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais; | AD003 - SNIS-AP |
| <i>II04</i> | <i>Normatização para os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais</i> | <i>II04=()Sim ()Em elaboração ()Não</i> |
| ii05 | O município possui diretrizes para os Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais; | Ordenamento Jurídico Municipal/Plano Municipal de Saneamento Básico |
| <i>II05</i> | <i>Regulamentação dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais</i> | <i>II05=()Sim ()Em elaboração ()Não</i> |
| ii06 | O município possui algum Plano (Plano Diretor de Drenagem Urbana, Plano Municipal de Saneamento Básico), regulamentado, para os Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais, contendo planejamento a curto, médio e longo prazo; | Perfil dos Municípios Brasileiros - Suplemento de Saneamento Básico (IBGE) |
| <i>II06</i> | <i>Regulamentação da impermeabilização do solo</i> | <i>II06=()Sim ()Em elaboração ()Não</i> |
| ii07 | O município possui instrumentos legais para minimizar os efeitos da impermeabilização do solo (Código de Obras, Código de Posturas, Leis de parcelamento do solo); | Ordenamento Jurídico Municipal/Plano Municipal de Saneamento Básico |

Quadro B1 - Indicadores simples, informações/dados necessários para sua resolução e fonte de informações/dados (Continuação)

| | | |
|-------------|--|---|
| <i>II07</i> | <i>Estímulo à adoção de métodos de controle na fonte</i> | <i>II07=()Sim ()Em elaboração ()Não</i> |
| ii08 | O município possui legislação que prevê implantação de subsídios em tributos municipais para estimular a reserva de área permeável nos lotes ou loteamentos; | Ordenamento Jurídico Municipal/Plano Municipa de Saneamento Básico |
| <i>II08</i> | <i>Regularização fundiária em áreas de assentamentos irregulares e em áreas de risco</i> | <i>II08=()Sim ()Em elaboração ()Não</i> |
| ii09 | O município possui programas ou ações de regularização fundiária em áreas de assentamentos irregulares e em áreas de risco; | Ordenamento Jurídico Municipal/Plano Municipa de Saneamento Básico/Prefeitura Municipal |
| <i>II09</i> | <i>Cadastro do sistema de macrodrenagem</i> | <i>II09=i()Sim ()Parcial ()Não</i> |
| ii10 | O município possui o sistema de macrodrenagem georreferenciado? | Plano Municipal de Saneamento Básico |
| <i>II10</i> | <i>Cadastro do sistema de microdrenagem</i> | <i>II10=()Sim ()Parcial ()Não</i> |
| ii11 | O município possui o sistema de microdrenagem georreferenciado? | Plano Municipal de Saneamento Básico |
| <i>II11</i> | <i>Percentual de cursos d'água urbanos com monitoramento fluviométrico</i> | <i>II11=ii12/ii13, *100, em %</i> |
| ii12 | Número de cursos d'água urbanos que possuem monitoramento do nível da água; | Hidroweb/Plano de Bacia |
| ii13 | Número de cursos d'água urbanos; | Plano Municipal de Saneamento Básico |
| <i>II12</i> | <i>Monitoramento pluviométrico</i> | <i>II12=()Sim ()Não</i> |
| ii14 | O município possui pluviômetros de monitoramento oficiais na área urbana municipal; | Hidroweb/Plano de Bacia |
| <i>II13</i> | <i>Acesso às informações existentes relacionadas à drenagem e manejo das águas pluviais</i> | <i>II13=()Sim ()Parcial ()Não</i> |
| ii15 | Disponibilização das informações existentes (cadastro de rede; plano de ações; dados de monitoramentos) em um local de fácil acesso para qualquer setor da esfera municipal; | Prefeitura Municipal |
| <i>II14</i> | <i>Ações intermunicipais relacionadas à drenagem e manejo das águas pluviais</i> | <i>II14=()Sim ()Parcial ()Não</i> |
| ii16 | Existência de ações a serem realizadas em nível de bacia hidrográfica para situações de inundações; | Plano da Bacia |
| <i>II15</i> | <i>Limpeza e desobstrução de galerias e canais</i> | <i>II15=()Sim ()Não</i> |
| ii17 | Foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de galerias e canais no ano de referência? | OP001- SNIS-AP |
| <i>II16</i> | <i>Limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita</i> | <i>II16=()Sim ()Não</i> |
| ii18 | Foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita no ano de referência? | OP001- SNIS-AP |
| <i>II17</i> | <i>Área urbana com possível ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável</i> | <i>II17=()Sim ()Não</i> |
| ii19 | Existem áreas, públicas ou privadas, com possibilidade de ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável (registrada em algum Plano)? | Plano Municipal de Saneamento Básico |

Quadro B1 - Indicadores simples, informações/dados necessários para sua resolução e fonte de informações/dados (Continuação)

| | | |
|--|---|--|
| <i>II18</i> | <i>Regulação dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais</i> | <i>II18=()Sim ()Não</i> |
| ii20 | O município possui órgão responsável pela regulação dos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais; | Perfil dos Municípios Brasileiros - Suplemento de Saneamento Básico (IBGE) |
| <i>II19</i> | <i>Canal de comunicação para recebimento das demandas da comunidade</i> | <i>II19=()Sim ()Não</i> |
| ii21 | O município possui ouvidoria municipal ou central de atendimento ao cidadão para recebimento de reclamações ou manifestações sobre os serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais; | Perfil dos Municípios Brasileiros - Suplemento de Saneamento Básico (IBGE) |
| INDICADORES E INFORMAÇÕES - TEMÁTICA SOCIAL | | |
| <i>IS01</i> | <i>Mapeamento das áreas de risco na área urbana</i> | <i>IS01= (%)</i> |
| is01 | Percentual da área total do município que está mapeada quanto aos riscos de inundação (%); | RI009 - SNIS-AP |
| <i>IS02</i> | <i>Domicílios localizados em áreas de risco na área urbana</i> | <i>IS02=is02/ig02*100, em %</i> |
| is02 | Domicílios sujeitos a inundações na área urbana (unidade); | RI013 - SNIS-AP |
| ig02 | Quantidade total de domicílios existentes na área urbana do município (unidade); | GE008- SNIS-AP |
| <i>IS03</i> | <i>Parcela da população urbana impactada por eventos hidrológicos</i> | <i>IS03=is03/ig01*100, em %</i> |
| is03 | Quantidade de habitantes desabrigados ou desalojados, residentes em área urbana, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID (hab); | RI028 - SNIS-AP |
| ig01 | População urbana residente no município (hab); | GE006 - SNIS-AP |
| <i>IS04</i> | <i>Banco de dados sobre áreas vulneráveis a alagamentos</i> | <i>IS04=()Sim ()Em elaboração ()Não</i> |
| is04 | Existência de um banco de dados sobre áreas vulneráveis a alagamentos (ruas, bairros); | Plano Municipal de Saneamento Básico |
| <i>IS05</i> | <i>Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo das águas pluviais</i> | <i>IS05=()Sim ()Em elaboração ()Não</i> |
| is05 | Existência de um Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo das águas pluviais, com participação pública; | Perfil dos Municípios Brasileiros - Suplemento de Saneamento Básico (IBGE) |
| <i>IS06</i> | <i>Programa de educação ambiental</i> | <i>IS06=()Sim ()Parcial ()Não</i> |
| is06 | O município possui programas de educação ambiental envolvendo drenagem e manejo das águas pluviais e problemas em decorrência da ocupação de áreas de risco; | Prefeitura Municipal |
| is07 | O município possui programas de educação ambiental em relação à resíduos sólidos urbanos; | Prefeitura Municipal |

Quadro B1 - Indicadores simples, informações/dados necessários para sua resolução e fonte de informações/dados (Continuação)

| | | |
|---|--|--|
| <i>IS07</i> | <i>Ocorrência de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, registradas no S2ID nos últimos cinco anos</i> | <i>IS07=(is08+is09)/2, nos últimos cinco anos.</i> |
| is08 | Quantidade de alagamentos e enxurradas em áreas urbanas do município, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID; | RI022 - SNIS-AP e RI024 - SNIS-AP |
| is09 | Quantidade de inundações em áreas urbanas do município, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID; | RI026 - SNIS-AP |
| <i>IS08</i> | <i>Ocorrência de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, não registradas no S2ID</i> | <i>IS08=(is10+is11)/2, no ano de referência.</i> |
| is10 | Quantidade de alagamentos e enxurradas em áreas urbanas do município, no ano de referência, não registradas no S2ID; | RI064 - SNIS-AP e RI065 - SNIS-AP |
| is11 | Quantidade de inundações em áreas urbanas do município, no ano de referência, não registradas no S2ID; | RI066 - SNIS-AP |
| <i>IS09</i> | <i>Controle de vetores de doenças de veiculação hídrica</i> | <i>IS09=()Sim ()Não</i> |
| is12 | O município possui equipe responsável pelo controle de vetores de doenças de veiculação hídrica? | Prefeitura Municipal |
| <i>IS10</i> | <i>Óbitos relacionados a eventos hidrológicos</i> | <i>IS10=is13</i> |
| is13 | Número de óbitos, na área urbana do município, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos 5 anos (hab); | RI070 - SNIS-AP |
| INDICADORES E INFORMAÇÕES - TEMÁTICA AMBIENTAL | | |
| <i>IA01</i> | <i>Densidade populacional urbana</i> | <i>IA01=ig01/(ig03*100), hab/ha</i> |
| ig01 | População urbana residente no município (hab); | GE006 - SNIS-AP |
| ig03 | Área urbana total, incluindo áreas urbanas isoladas (km²); | GE002 - SNIS-AP |
| <i>IA02</i> | <i>Intervenções ou manutenções realizadas em canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do Município</i> | <i>IA02=()Sim ()Parcial ()Não</i> |
| ia01 | Foram realizadas intervenções ou manutenções em canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do município, no ano de referência? | OP001 - SNIS-AP |

Quadro B1 - Indicadores simples, informações/dados necessários para sua resolução e fonte de informações/dados (Conclusão)

| | | |
|-------------|---|--|
| IA03 | Cursos d'água reestruturados | $IA03=(ia02+ia03+ia04)/ia05*100$, em % |
| ia02 | Total dos cursos d'água naturais perenes com retificação (km); | IE036 - SNIS-AP |
| ia03 | Total dos cursos d'água naturais perenes canalizados fechados (km); | IE035 - SNIS-AP |
| ia04 | Total dos cursos d'água naturais perenes canalizados abertos (km); | IE034 - SNIS-AP |
| ia05 | Total dos cursos d'água naturais perenes (km); | IE032 - SNIS-AP |
| IA04 | Taxa de cobertura do serviço de coleta domiciliar direta (porta-a-porta) da população urbana do Município | $IA04=ia06/ig01*100$, em % |
| ia06 | Número de habitantes urbanos atendidos pelo serviço de coleta domiciliar direta, ou seja, porta a porta (hab); | CO165 - SNIS-RS |
| ig01 | População urbana residente no município (hab); | GE006 - SNIS-AP |
| IA05 | Limpeza de dispositivos de drenagem, no ano de referência | $IA05=()Sim ()Parcial ()Não$ |
| ia07 | Realização de limpeza de bocas-de-lobo, desobstrução de bueiros, galerias, canaletas e outros dispositivos de drenagem pluvial, no ano de referência (pelo agente público e/ou empresas contratadas); | OP001 - SNIS-AP |
| IA06 | Taxa de cobertura do serviço de esgotamento sanitário (coleta e tratamento) da população urbana do Município | $IA06=ia08$, em % |
| ia08 | Taxa da população com serviço de esgotamento sanitário adequado (%); | Atlas Esgotos |
| IA07 | Contaminação das águas pluviais | $IA07=()Sim ()Não$ |
| ia09 | Sistema de drenagem urbana unitário (misto com esgotamento); | IE016 - SNIS-AP |
| IA08 | Contaminação de cursos d'água | $IA08=()Sim ()Não$ |
| ia10 | Lançamento do esgoto sem tratamento, diretamente nos cursos d'água; | Atlas Esgotos |
| IA09 | Mata ciliar nos cursos d'água urbanos | $IA09=ia11/(2*ia05)*100$, em % |
| ia11 | Extensão total das margens com mata ciliar (km); | Prefeitura Municipal |
| ia05 | Total dos cursos d'água naturais perenes (km); | IE032 - SNIS-AP |

APÊNDICE C – DETALHAMENTO DOS INDICADORES SIMPLES

Quadro 16 - Problemas gerais e específicos do sistema de águas pluviais urbanas (Continua)

| Identificador | Detalhamento do Indicador |
|---------------|---|
| IE01 | Quantificar a receita municipal obtida com a cobrança praticada para os serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas no ano de referência, por metro quadrado impermeável da área urbana. |
| IE02 | Quantificar a receita municipal obtida com a aplicação de penalidades de posturas ou contratuais, de aplicações financeiras e de outras receitas eventuais, tais como ressarcimento de danos, indenizações etc., relativa aos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas no ano de referência, por metro quadrado da área urbana. |
| IE03 | Medir o investimento médio (desembolsados) por metro quadrado da área urbana com serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, no ano de referência. |
| IE04 | Avaliar o nível de prioridade dos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas nos Municípios quanto ao esforço financeiro realizado para a manutenção, melhorias e ampliação dos serviços. |
| II01 | Medir o contingente de recursos humanos do Município (pertencente ao corpo do funcionalismo público permanente) que trabalha nos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, em relação ao contingente total que trabalha nos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. Indica a força de trabalho continuada envolvida nos serviços de drenagem. |
| II02 | Avaliar o conhecimento técnico específico dos recursos humanos do Município (pertencente ao corpo do funcionalismo público) que trabalham nos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, na área em questão. |
| II03 | Medir o contingente de recursos humanos do Município que trabalha nos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas e que recebeu, no ano de referência, alguma forma de instrução (capacitação e/ou treinamento sobre Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas). |
| II04 | Avaliar a existência de diretrizes que normatizem o serviço de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. |
| II05 | Avaliar a existência de algum Plano (Plano Diretor de Drenagem Urbana, Plano Municipal de Saneamento Básico), regulamentado, para os serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, contendo planejamento a curto, médio e longo prazo. Indica a continuidade administrativa e das atividades do serviço de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. |
| II06 | Avaliar a existência de instrumentos legais para minimizar os efeitos da impermeabilização do solo (Código de Obras, Código de Posturas, Leis de parcelamento do solo). Indica se há instrumentos de ordenamento de uso do solo urbano. |
| II07 | Avaliar a existência de legislação que prevê implantação de subsídios em tributos municipais para estimular a reserva de área permeável nos lotes ou loteamentos. Indica se há incentivos por parte do Município para adoção de soluções de controle na fonte. |
| II08 | Avaliar se há instrumentos legais para a regularização de assentamentos irregulares e em área de risco (de inundação). |
| II09 | Verificar se há conhecimento sobre o sistema de macrodrenagem municipal existente. |
| II10 | Verificar se há conhecimento sobre o sistema de microdrenagem municipal existente. |
| II11 | Avaliar o conhecimento municipal existente a respeito do comportamento dos cursos d'água urbanos. |
| II12 | Verificar se há conhecimento sobre a pluviometria no município. |

Quadro C1 - Descrição detalhada do significado dos indicadores simples (Continuação)

| Identificador | Detalhamento do Indicador |
|---------------|--|
| II13 | Verificar a disponibilidade das informações existentes relacionadas à Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (cadastro de rede; plano de ações; dados de monitoramentos) em um local de fácil acesso para qualquer setor da esfera municipal. |
| II14 | Avaliar a existência de ações a serem realizadas em nível de bacia hidrográfica para situações de inundações. Indica o nível de articulação e diálogos intermunicipais em relação a situações de inundações. |
| II15 | Avaliar a frequência em que foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de galerias e canais. |
| II16 | Avaliar a frequência em que foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita. |
| II17 | Verificar a existência de áreas, públicas ou privadas, com possibilidade de ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável (registrada em algum Plano) |
| II18 | Verificar a existência de um órgão responsável pela regulação dos serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais no Município. |
| II19 | Avaliar a existência de um canal (ouvidoria municipal ou central de atendimento) para recebimento de demandas, reclamações ou manifestações da comunidade municipal sobre os serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais. |
| IS01 | Quantificar a parcela da área urbana mapeada como de risco à inundações na área urbana, em relação a área urbana total. |
| IS02 | Avaliar o percentual de unidades edificadas tributadas sujeitas a riscos de inundação em relação à quantidade total de unidades edificadas tributadas do Município. |
| IS03 | Avaliar a parcela da população urbana afetada desabrigada ou desalojada devido à ocorrência de inundações. |
| IS04 | Avaliar a existência de um banco de dados sobre áreas alagáveis (ruas, bairros), de acordo com a intensidade de precipitação. |
| IS05 | Avaliar a existência de um Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo de águas pluviais, com participação pública. |
| IS06 | Verificar a existência de programas de educação ambiental envolvendo drenagem e manejo de águas pluviais, problemas em decorrência da ocupação de áreas de risco e resíduos sólidos urbanos. |
| IS07 | Quantificar a incidência de episódios de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, registrados no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres, nos últimos cinco anos. Indica a existência de deficiências drenagem municipal e registro dos episódios no Sistema Integrado de informações sobre Desastres. |
| IS08 | Quantificar a incidência de episódios inundações em áreas urbanas do Município, registrados ou não no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres, no ano de referência. Indica a existência de deficiências drenagem municipal e ausência de registro dos episódios no Sistema Integrado de informações sobre Desastres. |
| IS09 | Verificar a existência de uma equipe municipal responsável pelo controle de vetores de doenças de veiculação hídrica. |
| IS10 | Quantificar o percentual de óbitos, na área urbana do Município, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos cinco anos, registrados no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. |

Quadro C1 - Descrição detalhada do significado dos indicador simples (Conclusão)

| Identificador | Detalhamento do Indicador |
|---------------|--|
| IA01 | Determinar a densidade demográfica na área urbana. Contribui para avaliar o índice de impermeabilização global da área urbana por meio de correlações disponíveis em literatura e em planos de drenagem. |
| IA02 | Avaliar a quantidade de interferências físicas (dragagem, desassoreamento) realizadas nos canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do Município. |
| IA03 | Quantificar o percentual de cursos d'água naturais perenes urbanos que foram reestruturados com revestimento, tamponamento e/ou retificação, em relação a extensão total dos cursos d'água naturais perenes urbanos. |
| IA04 | Quantificar o número de habitantes urbanos atendidos pelo serviço de coleta domiciliar direta, ou seja, porta a porta, em relação a população urbana total. Contribui para compreender o desempenho de dispositivos de drenagem. |
| IA05 | Avaliar a realização de limpeza de bocas-de-lobo, desobstrução de bueiros, galerias, canaletas e outros dispositivos de drenagem pluvial, no ano de referência (pelo agente público e/ou empresas contratadas). |
| IA06 | Medir a abrangência do atendimento do serviço de Esgotamento Sanitário, em relação a população urbana total. Contribui para avaliar a qualidade das águas urbanas pluviais. |
| IA07 | Avaliar a existência de lançamento do esgoto sem tratamento, diretamente nas tubulações de águas pluviais. |
| IA08 | Avaliar a existência de lançamento do esgoto sem tratamento, diretamente nos cursos d'água. |
| IA09 | Verificar se é mantida a vegetação ciliar nos cursos d'água urbanos. |

APÊNDICE D – ASSOCIAÇÃO ENTRE PROBLEMAS E INDICADORES

Quadro 17 - Associação entre problemas de manejo e drenagem de águas pluviais urbanas e dos indicadores propostos (Continua)

| Problemas | | Indicador Direto | Indicador Indireto |
|-------------------------------|--|------------------------------------|--------------------|
| Temática Econômica | | | |
| PE01 | Orçamento insuficiente para adoção de medidas preventivas | IE02, IE03 | S.Ind. |
| PE02 | Orçamento insuficiente para manutenção das estruturas de drenagem e manejo das águas pluviais existentes | IE01 | S.Ind. |
| PE03 | Ausência de fontes de investimento e custeio para gerenciamento e manejo das águas pluviais | S.Ind. | S.Ind. |
| PE04 | Cobrança insuficiente (ou ausência de cobrança) para manutenção dos serviços públicos de águas pluviais | IE01 | S.Ind. |
| PE05 | Investimento para mitigação dos danos (materiais/humanos) causados por eventos hidrológicos extremos | IE02 | S.Ind. |
| PE06 | Prejuízos econômicos causados por eventos hidrológicos extremos ou pelo manejo inadequado das águas pluviais | S.Ind. | IS07 |
| Temática Institucional | | | |
| PI01 | Equipe limitada, em quantidade e/ou em termos de capacidade técnica | II01, II02 | IE03 |
| PI02 | Ausência de formação e atualização das equipes técnicas | II02, II03 | S.Ind. |
| PI03 | Desconhecimento, pela equipe técnica, dos processos físicos/hidrológicos que influenciam na drenagem das águas pluviais | II02 | S.Ind. |
| PI04 | Falta de conhecimento sobre formas de evitar e controlar inundações, por parte dos planejadores urbanos. | S.Ind. | S.Ind. |
| PI05 | Ausência de planejamento a curto, médio e longo prazo | II05 | II04 |
| PI06 | Ausência/deficiência na regulamentação de temas que envolvem a drenagem e manejo das águas pluviais | II04, II05 | S.Ind. |
| PI07 | Ausência de um banco de dados e informações de acompanhamento sobre o sistema de águas pluviais | II13 | S.Ind. |
| PI08 | Ausência de instrumentos de ordenamento de uso do solo | II06, II08 | S.Ind. |
| PI09 | Ausência de fiscalização do uso e ocupação do solo | S.Ind. | II08 |
| PI10 | Desconhecimento do sistema de drenagem devido à falta de cadastro do sistema ou cadastro parcial | II09, II10 | S.Ind. |
| PI11 | Deficiências na elaboração de projetos do sistema de águas pluviais | II02, II03 | S.Ind. |
| PI12 | Deficiências na execução de projetos do sistema de águas pluviais | II02, II03 | S.Ind. |
| PI13 | Deficiência na manutenção do sistema de águas pluviais | II15, II16, IA05 | S.Ind. |
| PI14 | Implantação do sistema de águas pluviais de forma fragmentada | S.Ind. | II09, II10 |
| PI15 | Ausência de utilização de soluções e técnicas de drenagem e manejo das águas pluviais mais integradas ao contexto urbano | II07 | II17 |
| PI16 | Ausência de espaços públicos ou privados adequados à implementação de dispositivos compensatórios | II17 | S.Ind. |
| PI17 | Preferência por medidas mitigadoras tradicionais e estruturais | S.Ind. | II07 |
| PI18 | Falta de controle e monitoramento hidrológico e ausência ou ineficiência de sistemas de alerta | II11, II12 | S.Ind. |
| PI19 | Precariedade das informações hidrológicas e hidráulicas para avaliar a condição atual e propor cenários | II09, II10, II11, II12, IS01, IS04 | S.Ind. |
| PI20 | Fragmentação das atividades e descontinuidade administrativa | II05 | S.Ind. |
| PI21 | Dificuldade de integração entre órgãos públicos | S.Ind. | S.Ind. |

Quadro D1 - Associação entre problemas de manejo e drenagem de águas pluviais urbanas e dos indicadores propostos (Continuação)

| Problemas | | Indicador Direto | Indicador Indireto |
|-------------------------------|--|------------------|--------------------|
| Temática Institucional | | | |
| PI22 | Projetos urbanos e sistemas de águas pluviais conflituosos (falta de integração entre os setores relacionados à gestão urbana) | S.Ind. | S.Ind. |
| PI23 | Deficiência na articulação e em diálogos intermunicipais e visão municipalizada do manejo das águas pluviais | II14 | S.Ind. |
| Temática Social | | | |
| PS01 | Redução da proteção do solo | S.Ind. | IS01 |
| PS02 | Pressão imobiliária | S.Ind. | S.Ind. |
| PS03 | População em condição de vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos | IS02, IS03 | S.Ind. |
| PS04 | Habitacões em áreas de risco | IS01, IS02 | S.Ind. |
| PS05 | Falta de conscientização da população sobre riscos de ocupar áreas de risco | S.Ind. | IS06 |
| PS06 | Difícil acesso público aos canais de discussão e debate sobre os sistemas de águas pluviais | S.Ind. | II19, IS05 |
| PS07 | Falta de interesse da população em participar da tomada de decisão | IS05 | S.Ind. |
| PS08 | Resistência e pré-conceito da população à adoção de algumas medidas estruturais sustentáveis ou não-estruturais | IS06 | S.Ind. |
| PS09 | Déficit no atendimento à população | IS07, IS08 | S.Ind. |
| PS10 | Deficiência na educação da sociedade para com o manejo das águas pluviais | IS06 | S.Ind. |
| PS11 | Falta de percepção da importância do gerenciamento e manejo adequado de águas pluviais e não valorização de ações realizadas | S.Ind. | IS06 |
| PS12 | Proliferação de vetores | IS09 | S.Ind. |
| PS13 | Incidência de doenças de veiculação hídrica | IS09 | S.Ind. |
| Temática Ambiental | | | |
| PA01 | Aumento do volume do escoamento, com conseqüente redução da capacidade hidráulica do sistema | IA03 | S.Ind. |
| PA02 | Alteração dos padrões de circulação da água | IA01, IA03 | S.Ind. |
| PA03 | Redução da capacidade de recarga do aquífero, devido à redução de infiltração | IA01 | S.Ind. |
| PA04 | Alteração do microclima | IA01 | S.Ind. |
| PA05 | Aumento da produção de sedimento devido à desproteção das superfícies | IA02, IA09 | S.Ind. |
| PA06 | Desconhecimento das áreas de risco | IS01 | S.Ind. |
| PA07 | Redução da vegetação marginal dos cursos d'água | IA09 | S.Ind. |
| PA08 | Obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, canais de drenagens inadequados | S.Ind. | S.Ind. |
| PA09 | Assoreamento de curso d'água | S.Ind. | IA02 |
| PA10 | Modificações físicas nos canais de escoamento naturais | IA03 | IA02 |
| PA11 | Redução da diversidade da fauna aquática nos cursos d'água | S.Ind. | IA03 |
| PA12 | Ligações indevidas ou ilegais na rede de drenagem (como da rede de esgoto) | IA07, IA08 | S.Ind. |
| PA13 | Dificuldade de identificação de fontes poluidoras/fontes difusas | IA07, IA08 | S.Ind. |

Quadro D1 - Associação entre problemas de manejo e drenagem de águas pluviais urbanas e dos indicadores propostos (Conclusão)

| Problemas | | Indicador Direto | Indicador Indireto |
|---------------------------|--|------------------|--------------------|
| Temática Ambiental | | | |
| PA14 | Redução da beleza paisagística | IA03 | IA02 |
| PA15 | Disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos comprometendo o funcionamento pleno de dispositivos de drenagem e contaminando as águas pluviais | IA04, IA05, IS06 | S.Ind. |
| PA16 | Déficit no esgotamento sanitário | IA06, IA07, IA08 | S.Ind. |
| PA17 | Contaminação dos recursos hídricos subterrâneos | S.Ind. | S.Ind. |

OBS: As linhas em destaque apresentam os problemas para os quais não foram obtidos indicadores.

Legenda: S.Ind = Sem Indicador

APÊNDICE E – ASSOCIAÇÃO ENTRE PROBLEMAS E MEDIDAS MITIGADORAS

MATERIAL SUPLEMENTAR I – FERRAMENTA: PLANILHA ELETRÔNICA



Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Núcleo de Estudos em Segurança Hídrica



A ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas, aqui apresentada, foi desenvolvida para municípios brasileiros com contingente populacional até 100.000 habitantes, com vistas a fomentar a tomada de decisão por parte dos gestores públicos municipais. Essa ferramenta foi desenvolvida com base em 42 indicadores simples e permite a identificação de até 52 problemas relacionados as águas pluviais urbanas e possíveis medidas mitigadoras para tais problemas.

Os indicadores foram selecionados considerando a capacidade dos mesmos de caracterizar, quantificar e/ou avaliar algum problema relacionado as águas pluviais e de requerer dados de fácil obtenção. Esses indicadores foram obtidos em estudos já publicados e no Diagnóstico de Manejo e Drenagem de Águas Pluviais Urbanas - 2018 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, mantendo suas formulações ou adaptando-as, sempre que pertinente. Os indicadores, assim como os problemas foram organizados por aspecto temático: Econômico, Institucional, Social e Ambiental.

Essa Ferramenta é uma alternativa para municípios, com limitação no seu quadro de profissionais com conhecimentos técnicos em águas pluviais urbanas, identificarem os principais problemas existentes e possíveis medidas mitigadoras para os mesmos. De forma integrada, a ferramenta disponibiliza medidas para mitigar problemas em aspectos econômicos, institucionais, sociais e ambientais relacionados às águas pluviais urbanas.

Informações detalhadas sobre os indicadores, problemas e medidas mitigadoras são apresentadas no Manual do Usuário.

Esta ferramenta foi desenvolvida pela doutoranda Camila Angélica Baum, acadêmica do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), sob orientação do Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum. Em caso de dúvidas e sugestões, entrar em contato pelo seguinte endereço de e-mail: eng.camilabaum@gmail.com



Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Núcleo de Estudos em Segurança Hídrica



| DADOS DE ENTRADA | | | | | |
|------------------|--|-------------------------|------------------|--|---|
| Id | Dado/Informação | Tipo de dado de entrada | Dados de entrada | Status do dado de entrada (OK ou INVÁLIDO) | Indicador que utiliza esse dado |
| ig01 | População urbana residente no município (hab); | Numérico | | INVÁLIDO | IE01 - IE02 - IE03 - IS03 - IA01 - IA04 |
| ig02 | Quantidade total de domicílios existentes na área urbana do município (unidade); | Numérico | | INVÁLIDO | IS02 |
| ig03 | Área urbana total, incluindo áreas urbanas isoladas (km ²); | Numérico | | INVÁLIDO | IE01 - IE02 - IE03 - IA01 |
| ie01 | Receita operacional total anual obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (R\$) | Numérico | | INVÁLIDO | IE01 - IE04 |
| ie02 | Receita não-operacional total obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência (R\$); | Numérico | | INVÁLIDO | IE02 |
| ie03 | Investimento total municipal (valor desembolsado) em serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência (R\$); | Numérico | | INVÁLIDO | IE03 |
| ie04 | Despesa total do município, no ano de referência (R\$); | Numérico | | INVÁLIDO | |
| ie05 | Despesa total dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência; | | | INVÁLIDO | IE04 |
| ii01 | Quantidade de servidores públicos permanentes existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais; | Numérico | | INVÁLIDO | II01 |
| ii02 | Quantidade total de servidores públicos existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais; | Numérico | | INVÁLIDO | II01 - II02 - II03 |
| ii03 | Quantidade de servidores públicos no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais com ensino superior na área ou em área correlata; | Numérico | | INVÁLIDO | II02 |
| ii04 | Quantidade de servidores públicos no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais que realizaram algum curso de capacitação ou treinamento na área, no ano de referência; | Numérico | | INVÁLIDO | II03 |
| ii05 | O município possui diretrizes para os Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais? | Sim/EmElaboração/Não | | INVÁLIDO | II04 |
| ii06 | O município possui algum Plano (Plano Diretor de Drenagem Urbana, Plano Municipal de Saneamento Básico), regulamentado, para os Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, contendo planejamento a curto, médio e longo prazo? | Sim/EmElaboração/Não | | INVÁLIDO | II05 |
| ii07 | O município possui instrumentos legais para minimizar os efeitos da impermeabilização do solo (Código de Obras, Código de Posturas, Leis de parcelamento do solo); | Sim/EmElaboração/Não | | INVÁLIDO | II06 |
| ii08 | O município possui legislação que prevê implantação de subsídios em tributos municipais para estimular a reserva de área permeável nos lotes ou loteamentos? | Sim/EmElaboração/Não | | INVÁLIDO | II07 |
| ii09 | O município possui programas ou ações de regularização fundiária em áreas de assentamentos irregulares e em áreas de risco; | Sim/EmElaboração/Não | | INVÁLIDO | II08 |
| ii10 | O município possui o sistema de macrodrenagem georreferenciado? | Sim/Parcial/Não | | INVÁLIDO | II09 |
| ii11 | O município possui o sistema de microdrenagem georreferenciado? | Sim/Parcial/Não | | INVÁLIDO | II10 |
| ii12 | Número de cursos d'água urbanos que possuem monitoramento do nível da água; | Numérico | | INVÁLIDO | II11 |
| ii13 | Número de cursos d'água urbanos; | Numérico | | INVÁLIDO | II11 |
| ii14 | O município possui pluviômetros de monitoramento oficiais na área urbana municipal; | Sim/Não | | INVÁLIDO | II12 |
| ii15 | Disponibilização das informações existentes (cadastro de rede; plano de ações; dados de monitoramentos) em um local de fácil acesso para qualquer setor da esfera municipal; | Sim/Parcial/Não | | INVÁLIDO | II13 |
| ii16 | Existência de ações a serem realizadas em nível de bacia hidrográfica para situações de inundações; | Sim/Parcial/Não | | INVÁLIDO | II14 |
| ii17 | Foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de galerias e canais, no ano de referência? | Sim/Não | | INVÁLIDO | II15 |
| ii18 | Foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita, no ano de referência? | Sim/Não | | INVÁLIDO | II16 |
| ii19 | Existem áreas, públicas ou privadas, com possibilidade de ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável (registrada em algum Plano)? | Sim/Não | | INVÁLIDO | II17 |
| ii20 | O município possui órgão responsável pela regulação dos serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais; | Sim/Não | | INVÁLIDO | II18 |
| ii21 | O município possui ouvidoria municipal ou central de atendimento ao cidadão para recebimento de reclamações ou manifestações sobre os serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais; | Sim/Não | | INVÁLIDO | II19 |
| is01 | Percentual da área total do município que está mapeada quanto aos riscos de inundação (%); | Numérico | | INVÁLIDO | IS01 |
| is02 | Domicílios sujeitos a inundações na área urbana (unidade); | Numérico | | INVÁLIDO | IS02 |
| is03 | Quantidade de habitantes desabrigados ou desalojados, residentes em área urbana, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID (hab); | Numérico | | INVÁLIDO | IS03 |
| is04 | Existência de um banco de dados sobre áreas vulneráveis a alagamentos (ruas, bairros); | Sim/EmElaboração/Não | | INVÁLIDO | IS04 |



Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Núcleo de Estudos em Segurança Hídrica



| DADOS DE ENTRADA | | | | | |
|------------------|---|-------------------------|------------------|--|---------------------------------|
| Id | Dado/Informação | Tipo de dado de entrada | Dados de entrada | Status do dado de entrada (OK ou INVÁLIDO) | Indicador que utiliza esse dado |
| is05 | Existência de um Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo de águas pluviais, com participação pública; | Sim/EmElaboração/Não | | INVÁLIDO | IS05 |
| is06 | O município possui programas de educação ambiental envolvendo drenagem e manejo de águas pluviais e problemas em decorrência da ocupação de áreas de risco; | Sim/Parcial/Não | | INVÁLIDO | IS06 |
| is07 | O município possui programas de educação ambiental em relação à resíduos sólidos urbanos; | Sim/Parcial/Não | | INVÁLIDO | IS06 |
| is08 | Quantidade de alagamentos e enxurradas em áreas urbanas do município, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID; | Numérico | | INVÁLIDO | IS07 |
| is09 | Quantidade de inundações em áreas urbanas do município, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID; | Numérico | | INVÁLIDO | IS07 |
| is10 | Quantidade de alagamentos e enxurradas em áreas urbanas do município, no ano de referência, não registradas no S2ID; | Numérico | | INVÁLIDO | IS08 |
| is11 | Quantidade de inundações em áreas urbanas do município, no ano de referência, não registradas no S2ID; | Numérico | | INVÁLIDO | IS08 |
| is12 | O município possui equipe responsável pelo controle de vetores de doenças de veiculação hídrica? | Sim/Não | | INVÁLIDO | IS09 |
| is13 | Número de óbitos, na área urbana do município, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos 5 anos (hab); | Numérico | | INVÁLIDO | IS10 |
| ia01 | Foram realizadas intervenções ou manutenções em canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do município, no ano de referência? | Sim/Parcial/Não | | INVÁLIDO | IA02 |
| ia02 | Total dos cursos d'água naturais perenes com retificação (km); | Numérico | | INVÁLIDO | IA03 |
| ia03 | Total dos cursos d'água naturais perenes canalizados fechados (km); | Numérico | | INVÁLIDO | IA03 |
| ia04 | Total dos cursos d'água naturais perenes canalizados abertos (km); | Numérico | | INVÁLIDO | IA03 |
| ia05 | Total dos cursos d'água naturais perenes (km); | Numérico | | INVÁLIDO | IA03 - IA09 |
| ia06 | Número de habitantes urbanos atendidos pelo serviço de coleta domiciliar direta, ou seja, porta a porta (hab); | Numérico | | INVÁLIDO | IA04 |
| ia07 | Realização de limpeza de bocas-de-lobo, desobstrução de bueiros, galerias, canaletas e outros dispositivos de drenagem pluvial, no ano de referência (pelo agente público e/ou empresas contratadas); | Sim/Parcial/Não | | INVÁLIDO | IA05 |
| ia08 | Taxa da população com serviço de esgotamento sanitário inadequado (%); | Numérico | | INVÁLIDO | IA06 |
| ia09 | Sistema de drenagem urbana unitário (misto com esgotamento); | Sim/Não | | INVÁLIDO | IA07 |
| ia10 | Lançamento do esgoto sem tratamento, diretamente nos cursos d'água; | Sim/Não | | INVÁLIDO | IA08 |
| ia11 | Extensão total das margens com mata ciliar (km); | Numérico | | INVÁLIDO | IA09 |



Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Núcleo de Estudos em Segurança Hídrica



| RESULTADOS DOS INDICADORES | | |
|----------------------------|---|-----------------------|
| Indicador | | Resultado Normalizado |
| IE01 | Receita operacional anual obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas | 0,00 |
| IE02 | Receita não-operacional total obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas | 0,00 |
| IE03 | Investimento do Município em serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas | 0,00 |
| IE04 | Participação da despesa dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas na despesa total do Município | 0,00 |
| II01 | Percentual de servidores públicos permanentes no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | 0,00 |
| II02 | Percentual de servidores públicos no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais com ensino técnico e/ou superior na área ou em área correlata | 0,00 |
| II03 | Percentual de servidores públicos com capacitação no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, realizada no ano de referência | 0,00 |
| II04 | Normatização para os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | 0,00 |
| II05 | Regulamentação dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | 0,00 |
| II06 | Regulamentação da impermeabilização do solo | 0,00 |
| II07 | Estímulo à adoção de métodos de controle na fonte | 0,00 |
| II08 | Regularização fundiária em áreas de assentamentos irregulares e em áreas de risco | 0,00 |
| II09 | Cadastro do sistema de macrodrenagem | 0,00 |
| II10 | Cadastro do sistema de microdrenagem | 0,00 |
| II11 | Percentual de cursos d'água urbanos com monitoramento fluviométrico | 0,00 |
| II12 | Monitoramento pluviométrico | 0,00 |

| PROBLEMAS | | |
|-----------|---|-----------|
| Problemas | | STATUS |
| PE01 | Orçamento insuficiente para adoção de medidas preventivas | Existente |
| PE02 | Orçamento insuficiente para manutenção das estruturas de drenagem e manejo das águas pluviais existentes | Existente |
| PE04 | Cobrança insuficiente (ou ausência de cobrança) para manutenção dos serviços públicos de águas pluviais | Existente |
| PE05 | Investimento para mitigação dos danos (materiais/humanos) causados por eventos hidrológicos extremos | Existente |
| PE06 | Prejuízos econômicos causados por eventos hidrológicos extremos ou pelo manejo inadequado das águas pluviais | Existente |
| PI01 | Equipe limitada, em quantidade e/ou em termos de capacidade técnica | Existente |
| PI02 | Ausência de formação e atualização das equipes técnicas | Existente |
| PI03 | Desconhecimento, pela equipe técnica, dos processos físicos/hidrológicos que influenciam na drenagem das águas pluviais | Existente |
| PI05 | Ausência de planejamento a curto, médio e longo prazo | Existente |
| PI06 | Ausência/deficiência na regulamentação de temas que envolvem a drenagem e manejo das águas pluviais | Existente |
| PI07 | Ausência de um banco de dados e informações de acompanhamento sobre o sistema de águas pluviais | Existente |
| PI08 | Ausência de instrumentos de ordenamento de uso do solo | Existente |
| PI09 | Ausência de fiscalização do uso e ocupação do solo | Existente |
| PI10 | Desconhecimento do sistema de drenagem devido à falta de cadastro do sistema ou cadastro parcial | Existente |
| PI11 | Deficiências na elaboração de projetos do sistema de águas pluviais | Existente |
| PI12 | Deficiências na execução de projetos do sistema de águas pluviais | Existente |

| MEDIDAS MITIGADORAS | | |
|---------------------|--|------------------------|
| Medidas Mitigadoras | | STATUS |
| MSe01 | Sistema de previsão e alerta de precipitação e inundação | Necessária/Recomendada |
| MSe02 | Zoneamento das áreas de inundação | Necessária/Recomendada |
| MSe03 | Obras de proteção individual contra inundações | Necessária/Recomendada |
| MSe04 | Seguro contra inundações | Necessária/Recomendada |
| MSe05 | Planos de contingência e emergência definidos | Necessária/Recomendada |
| MSo01 | Campanhas educativas e preventivas relacionadas às águas pluviais para todas as partes interessadas | Necessária/Recomendada |
| MSo02 | Participação ativa da sociedade | Necessária/Recomendada |
| MSo03 | Regularização fundiária e suporte para a população | Necessária/Recomendada |
| MEs01 | Ferramentas e mecanismos de monitoramento e avaliação da gestão e de suporte à decisão | Necessária/Recomendada |
| MEs02 | Incentivos para promoção de estruturas de infiltração de águas pluviais | Necessária/Recomendada |
| MEs03 | Apoio técnico | Necessária/Recomendada |
| MEs04 | Consideração da bacia hidrográfica no planejamento e gestão | Necessária/Recomendada |
| MEs05 | Promoção de parcerias entre entidades públicas e entidades de pesquisas sobre gestão e manejo das águas pluviais | Necessária/Recomendada |
| MIns01 | Geração, registro, integração e compartilhamento de informações | Necessária/Recomendada |
| MIns02 | Capacitação, transferência de conhecimento e atualização técnica contínua | Necessária/Recomendada |
| MIns03 | Desenvolvimento de Planos e Manuais Técnicos de suporte para a gestão de águas pluviais e na implementação de estruturas de águas pluviais | Necessária/Recomendada |



Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Núcleo de Estudos em Segurança Hídrica



| RESULTADOS DOS INDICADORES | | |
|----------------------------|--|-----------------------|
| Indicador | | Resultado Normalizado |
| II13 | Acesso às informações existentes relacionadas à drenagem e manejo das águas pluviais | 0,00 |
| II14 | Ações intermunicipais relacionadas à drenagem e manejo das águas pluviais | 0,00 |
| II15 | Limpeza e desobstrução de galerias e canais | 0,00 |
| II16 | Limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita | 0,00 |
| II17 | Área urbana com possível ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável | 0,00 |
| II18 | Regulação dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | 0,00 |
| II19 | Canal de comunicação para recebimento das demandas da comunidade | 0,00 |
| IS01 | Mapeamento das áreas de risco na área urbana | 0,00 |
| IS02 | Domicílios localizados em áreas de risco na área urbana | 0,00 |
| IS03 | Parcela da população urbana impactada por eventos hidrológicos | 0,00 |
| IS04 | Banco de dados sobre áreas vulneráveis a alagamentos | 0,00 |
| IS05 | Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo de águas pluviais | 0,00 |
| IS06 | Programa de educação ambiental | 0,00 |
| IS07 | Ocorrência de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, registradas no S2ID nos últimos cinco anos | 0,00 |
| IS08 | Ocorrência de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, não registradas no S2ID | 0,00 |
| IS09 | Controle de vetores de doenças de veiculação hídrica | 0,00 |
| IS10 | Óbitos relacionados a eventos hidrológicos | 0,00 |
| IA01 | Densidade populacional urbana | 0,00 |

| PROBLEMAS | | |
|-----------|--|-----------|
| Problemas | | STATUS |
| PI13 | Deficiência na manutenção do sistema de águas pluviais | Existente |
| PI14 | Implantação do sistema de águas pluviais de forma fragmentada | Existente |
| PI15 | Ausência de utilização de soluções e técnicas de drenagem e manejo das águas pluviais mais integradas ao contexto urbano | Existente |
| PI16 | Ausência de espaços públicos ou privados adequados à implementação de dispositivos compensatórios | Existente |
| PI17 | Preferência por medidas mitigadoras tradicionais e estruturais | Existente |
| PI18 | Falta de controle e monitoramento hidrológico e ausência ou ineficiência de sistemas de alerta | Existente |
| PI19 | Precariedade das informações hidrológicas e hidráulicas para avaliar a condição atual e propor cenários | Existente |
| PI20 | Fragmentação das atividades e descontinuidade administrativa | Existente |
| PI23 | Deficiência na articulação e em diálogos intermunicipais e visão municipalizada do manejo das águas pluviais | Existente |
| PS01 | Redução da proteção do solo | Existente |
| PS03 | População em condição de vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos | Existente |
| PS04 | Habitacões em áreas de risco | Existente |
| PS05 | Falta de conscientização da população sobre riscos de ocupar áreas de risco | Existente |
| PS06 | Difícil acesso público aos canais de discussão e debate sobre os sistemas de águas pluviais | Existente |
| PS07 | Falta de interesse da população em participar da tomada de decisão | Existente |
| PS08 | Resistência e pré-conceito da população à adoção de algumas medidas estruturais sustentáveis ou não-estruturais | Existente |
| PS09 | Déficit no atendimento à população | Existente |
| PS10 | Deficiência na educação da sociedade para com o manejo das águas pluviais | Existente |

| MEDIDAS MITIGADORAS | | |
|---------------------|--|------------------------|
| Medidas Mitigadoras | | STATUS |
| MIns04 | Desenvolvimento e atualização de leis relacionadas às águas pluviais, considerando problemas, tecnologias e mecanismos atuais | Necessária/Recomendada |
| MIns05 | Manutenção periódica do sistema de drenagem | Necessária/Recomendada |
| MIns06 | Regulação de aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo, uso de técnicas compensatórias, qualidade e quantidade de água pluvial | Necessária/Recomendada |
| MIns07 | Adoção de gestão de águas pluviais de caráter abrangente e integrado | Necessária/Recomendada |
| MIns08 | Fiscalização dos serviços relacionados às águas pluviais urbanas e do uso e ocupação do solo. | Necessária/Recomendada |
| MInf01 | Monitoramento quali-quantitativo contínuo de cursos hídricos | Necessária/Recomendada |
| MInf02 | Viabilização financeira para implantação e manutenção da infraestrutura e para ações | Necessária/Recomendada |
| MInf03 | Integração entre estruturas de macrodrenagem e espaços de lazer | Necessária/Recomendada |
| MInf04 | Adoção de medidas compensatórias e medidas tradicionais de controle extensivas | Necessária/Recomendada |
| MInf05 | Adoção de medidas tradicionais de controle intensivas | Necessária/Recomendada |
| MQA01 | Gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos e esgotamento sanitário adequado | Necessária/Recomendada |
| MQA02 | Proteção e estabilização de margens e encostas de cursos hídricos | Necessária/Recomendada |
| MQA03 | Controle de vetores de doenças relacionados às águas pluviais | Necessária/Recomendada |
| MQA04 | Recomposição e preservação de áreas de preservação permanente e de áreas verdes | Necessária/Recomendada |



Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Núcleo de Estudos em Segurança Hídrica



| RESULTADOS DOS INDICADORES | | |
|----------------------------|--|-----------------------|
| Indicador | | Resultado Normalizado |
| IA02 | Intervenções ou manutenções realizadas em canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do Município | 0,00 |
| IA03 | Cursos d'água reestruturados | 0,00 |
| IA04 | Taxa de cobertura do serviço de coleta domiciliar direta (porta-a-porta) da população urbana do Município | 0,00 |
| IA05 | Limpeza de dispositivos de drenagem, no ano de referência | 0,00 |
| IA06 | Taxa de cobertura do serviço de esgotamento sanitário (coleta e tratamento) da população urbana do Município | 0,00 |
| IA07 | Contaminação das águas pluviais | 0,00 |
| IA08 | Contaminação de cursos d'água | 0,00 |
| IA09 | Mata ciliar nos cursos d'água urbanos | 0,00 |

| PROBLEMAS | | |
|-----------|--|-----------|
| Problemas | | STATUS |
| PS11 | Falta de percepção da importância do gerenciamento e manejo adequado de águas pluviais e não valorização de ações realizadas | Existente |
| PS12 | Proliferação de vetores | Existente |
| PS13 | Incidência de doenças de veiculação hídrica | Existente |
| PA01 | Aumento do volume do escoamento, com consequente redução da capacidade hidráulica do sistema | Existente |
| PA02 | Alteração dos padrões de circulação da água | Existente |
| PA03 | Redução da capacidade de recarga do aquífero, devido à redução de infiltração | Existente |
| PA04 | Alteração do microclima | Existente |
| PA05 | Aumento da produção de sedimento devido à desproteção das superfícies | Existente |
| PA06 | Desconhecimento das áreas de risco | Existente |
| PA07 | Redução da vegetação marginal dos cursos d'água | Existente |
| PA09 | Assoreamento de curso d'água | Existente |
| PA10 | Modificações físicas nos canais de escoamento naturais | Existente |
| PA11 | Redução da diversidade da fauna aquática nos cursos d'água | Existente |
| PA12 | Ligações indevidas ou ilegais na rede de drenagem (como da rede de esgoto) | Existente |
| PA13 | Dificuldade de identificação de fontes poluidoras/fontes difusas | Existente |
| PA14 | Redução da beleza paisagística | Existente |
| PA15 | Disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos comprometendo o funcionamento pleno de dispositivos de drenagem e contaminando as águas pluviais | Existente |
| PA16 | Déficit no esgotamento sanitário | Existente |

| MEDIDAS MITIGADORAS | |
|---------------------|--------|
| Medidas Mitigadoras | STATUS |

Planilha Auxiliar: Normalização

| INDICADOR | | RESULTADO | NORMALIZAÇÃO | | RESULTADO NORMALIZADO |
|-----------|---|-----------|------------------|-------------|-----------------------|
| | | | Valor Anti-ideal | Valor Ideal | |
| IE01 | Receita operacional anual obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 0,00 |
| IE02 | Receita não-operacional total obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas | 0,00 | 0,00 | 2,80 | 0,00 |
| IE03 | Investimento do Município em serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas | 0,00 | 0,00 | 2,80 | 0,00 |
| IE04 | Participação da despesa dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas na despesa total do Município | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 |
| II01 | Percentual de servidores públicos permanentes no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| II02 | Percentual de servidores públicos no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais com ensino técnico e/ou superior na área ou em área correlata | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| II03 | Percentual de servidores públicos com capacitação no setor responsável pelos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, realizada no ano de referência | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| II04 | Normatização para os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II05 | Regulamentação dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II06 | Regulamentação da impermeabilização do solo | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II07 | Estímulo à adoção de métodos de controle na fonte | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II08 | Regularização fundiária em áreas de assentamentos irregulares e em áreas de risco | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II09 | Cadastro do sistema de macrodrenagem | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II10 | Cadastro do sistema de microdrenagem | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II11 | Percentual de cursos d'água urbanos com monitoramento fluviométrico | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| II12 | Monitoramento pluviométrico | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II13 | Acesso às informações existentes relacionadas à drenagem e manejo das águas pluviais | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II14 | Ações intermunicipais relacionadas à drenagem e manejo das águas pluviais | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II15 | Limpeza e desobstrução de galerias e canais | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II16 | Limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II17 | Área urbana com possível ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II18 | Regulação dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| II19 | Canal de comunicação para recebimento das demandas da comunidade | 0,00 | Não | Sim | 0,00 |
| IS01 | Mapeamento das áreas de risco na área urbana | 0 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| IS02 | Domicílios localizados em áreas de risco na área urbana | 25,00 | 25,00 | 0,00 | 0,00 |
| IS03 | Parcela da população urbana impactada por eventos hidrológicos | 100,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| IS04 | Banco de dados sobre áreas vulneráveis a alagamentos | 0,00 | Não | Sim | 0,00 |
| IS05 | Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo de águas pluviais | 0,00 | Não | Sim | 0,00 |
| IS06 | Programa de educação ambiental | 0,00 | Não | Sim | 0,00 |
| IS07 | Ocorrência de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, registradas no S2ID nos últimos cinco anos | 2,50 | 2,50 | 0,00 | 0,00 |
| IS08 | Ocorrência de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, não registradas no S2ID | 0,50 | 0,50 | 0,00 | 0,00 |
| IS09 | Controle de vetores de doenças de veiculação hídrica | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| IS10 | Óbitos relacionados a eventos hidrológicos | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| IA01 | Densidade populacional urbana | 0,00 | 100,00 | 1,00 | 0,00 |
| IA02 | Intervenções ou manutenções realizadas em canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do Município | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| IA03 | Cursos d'água reestruturados | 100,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| IA04 | Taxa de cobertura do serviço de coleta domiciliar direta (porta-a-porta) da população urbana do Município | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| IA05 | Limpeza de dispositivos de drenagem, no ano de referência | 0 | Não | Sim | 0,00 |
| IA06 | Taxa de cobertura do serviço de esgotamento sanitário (coleta e tratamento) da população urbana do Município | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| IA07 | Contaminação das águas pluviais | 0 | Sim | Não | 0,00 |
| IA08 | Contaminação de cursos d'água | 0 | Sim | Não | 0,00 |
| IA09 | Mata ciliar nos cursos d'água urbanos | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |

Planilha Auxiliar: Classificações

| DADOS DE ENTRADA | | RESULTADOS | | |
|---|----------------------------------|---|--|--|
| Status Dados de Entrada | | Status Problemas | | |
| OK | Dado informado aceito | Existente | Resultado do(s) indicador(es) correspondete(s) inferior a 1,00 | |
| INVÁLIDO | Dado informado deve ser revisado | Não Existente | Resultado do(s) indicador(es) correspondete(s) igual a 1,00 | |
| Escala - Indicadores simples qualitativos | | | | |
| Resposta | Valor Normalizado | Classe | | |
| Sim | 1,00 | Bom | | |
| Em andamento/Parcial | 0,50 | Regular | | |
| Não | 0,00 | Muito Crítico | | |
| Escala - Indicadores simples quantitativos | | | | |
| Valor Normalizado Mínimo | Valor Normalizado Máximo | Classe | | |
| 0,76 | 1,00 | Bom | | |
| 0,51 | 0,75 | Regular | | |
| 0,26 | 0,50 | Crítico | | |
| 0,00 | 0,25 | Muito Crítico | | |
| Status Medidas Mitigadoras | | | | |
| Necessária/Recomendável | | Se algum dos problemas que a mesma mitiga apresenta status 'Existente' | | |
| Dispensável | | Se nenhum dos problemas que a mesma mitiga apresenta status 'Existente' | | |

MATERIAL SUPLEMENTAR II – FERRAMENTA: MANUAL DO USUÁRIO

FERRAMENTA DE SUPORTE PARA O GERENCIAMENTO MUNICIPAL
DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS
MANUAL DO USUÁRIO

Derivado da Tese de Doutorado desenvolvida por Camila Angélica Baum no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum.

PORTO ALEGRE, 2022

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 3 |
| 2. GUIA DO USUÁRIO..... | 4 |
| 2.1. ESTRUTURA DA FERRAMENTA..... | 4 |
| 2.2. USO DA FERRAMENTA..... | 5 |
| 2.2.1. Dados necessários | 5 |
| 2.2.2. Resultados da ferramenta | 9 |
| Apêndice I – DETALHAMENTO DOS DADOS | 13 |
| Apêndice II– DETALHAMENTO DOS INDICADORES SIMPLES | 19 |
| Apêndice III– ASSOCIAÇÃO ENTRE PROBLEMAS E INDICADORES | 24 |
| Apêndice IV– ASSOCIAÇÃO ENTRE PROBLEMAS E MEDIDAS MITIGADORAS | 27 |

1. INTRODUÇÃO

O presente documento, denominado Manual do Usuário, é um documento técnico que orienta a utilização da Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas.

A Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas foi desenvolvida para municípios brasileiros com contingente populacional de até 100.000 habitantes, com vistas a fomentar a tomada de decisão por parte dos gestores públicos municipais. Essa ferramenta foi estruturada com base em 42 indicadores simples e permite a identificação de até 52 problemas relacionados as águas pluviais urbanas e possíveis medidas mitigadoras para tais problemas. Os indicadores foram selecionados considerando a capacidade dos mesmos de caracterizar, quantificar e/ou avaliar algum problema relacionado as águas pluviais e de requerem dados de fácil obtenção. Esses indicadores foram obtidos em estudos já publicados e no Diagnóstico de Manejo e Drenagem de Águas Pluviais Urbanas - 2018 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, mantendo suas formulações ou adaptando-as, sempre que pertinente.

Este Manual tem como objetivo auxiliar técnicos e gestores públicos municipais vinculados ao serviço de águas pluviais urbanas na utilização da Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas. Essa Ferramenta é uma alternativa para municípios, com limitação no seu quadro de profissionais com conhecimentos técnicos em águas pluviais urbanas, identificarem os principais problemas existentes e possíveis medidas mitigadoras para os mesmos. De forma integrada, a ferramenta disponibiliza medidas para mitigar problemas em aspectos econômicos, institucionais, sociais e ambientais relacionados às águas pluviais urbanas.

A Ferramenta de suporte para o gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas é originária da Tese de Doutorado da acadêmica Camila Angélica Baum, desenvolvida sob orientação do Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com fomento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio da concessão de bolsa de pesquisa.

Em caso de dúvidas e sugestões, entrar em contato pelo seguinte endereço de e-mail: eng.camilabaum@gmail.com

2. GUIA DO USUÁRIO

Nessa seção é apresentada a estrutura da ferramenta e suas interrelações, o funcionamento da mesma e o que os resultados de cada etapa significam.

2.1. ESTRUTURA DA FERRAMENTA

A Ferramenta é apresentada em arquivo Excel (.xlsx) composto por três planilhas principais: “Introdução”, “Dados de Entrada” e “Resultados”, e por duas planilhas auxiliares “Classificações” e “Normalização”. O conteúdo de qualquer uma dessas planilhas pode ser visualizado ou impresso pelo usuário a qualquer momento, mas as únicas células desbloqueadas para o usuário são os “Dados de Entrada” na planilha “Dados de Entrada”.

Uma descrição geral do que é apresentado em cada uma dessas planilhas é apresentado a seguir.

Planilha “Introdução”:

Nessa planilha é apresentada uma breve introdução da ferramenta, contendo objetivos e principais características.

Planilha “Dados de Entrada”:

Nessa Planilha devem ser fornecidos os 53 dados/informações de entrada solicitados. Os dados podem ser quantitativos, sendo indicada a unidade de medida na descrição do dado/informação, ou qualitativos. Há a coluna “Tipo de dado de entrada” que especifica se o dado é numérico ou se é qualitativo e, para o caso de qualitativo, são indicadas as possíveis respostas: “Sim”, “Não”, “EmElaboração” ou “Parcial”. Após o preenchimento do “Dado de entrada” a ferramenta atribui o status ao dado/informação: “OK” ou “INVÁLIDO”. Para as situações em que a status for “INVÁLIDO” é sugerido que o dado/informação informado seja revisto. No Apêndice I são apresentadas as informações detalhadas sobre os dados de entrada.

Planilha “Resultados”:

Essa planilha é formada por três blocos de informação: “RESULTADOS DOS INDICADORES”, “PROBLEMAS” e “MEDIDAS MITIGADORAS”.

No bloco “RESULTADOS DOS INDICADORES” são apresentados os resultados normalizados dos indicadores e indicado, por meio de cores, a classificação do resultado, sendo: representados pela cor vermelha os indicadores categorizados como “Muito Crítico”, em laranja os indicadores categorizados como “Crítico”, em amarelo os indicadores categorizados como “Regular” e em verde os indicadores categorizados como “Bom”.

No bloco “PROBLEMAS” são indicados todos os problemas possíveis de serem identificados via sistematização entre indicadores e problemas. Para todos os problemas que estão relacionados a um ou mais indicadores que apresentem resultado diferente de 1,00, o “STATUS” do problema é “Existente”. Somente os problemas que estão relacionados com indicadores que apresentem resultado igual a 1,00 são considerados como problemas “NãoExistente”.

No bloco “MEDIDAS MITIGADORAS” são listadas as “Medidas Mitigadoras”, o “STATUS” (“Necessária/Recomendada” ou “Dispensável”) e “Problemas que essa medida tem potencial para mitigar”. Como uma mesma medida tem potencial de mitigar mais de um problema, ela só será “Dispensável” se todos os problemas que ela tem potencial de mitigar apresentarem status “NãoExistente”.

Planilha “Classificações”:

Nessa planilha são apresentadas informações auxiliares referente aos “Status Dados de Entrada”, “Status Problemas” e “Status Medidas Mitigadoras”. Também são apresentadas as escalas de classe dos indicadores qualitativos e quantitativos: “Escala - Indicadores simples qualitativos” e “Escala - Indicadores simples quantitativos”

Planilha “Normalização”:

Nessa planilha são apresentados os indicadores, seus resultados não normalizados: “RESULTADOS”, os valores para “NORMALIZAÇÃO” dos resultados dos indicadores e os “RESULTADOS NORMALIZADOS”. A metodologia de normalização é apresentada no item 2.2.2. desse documento.

2.2. USO DA FERRAMENTA

2.2.1. Dados necessários

São requeridos 53 dados/informações de entrada, apresentados a seguir. Detalhadamente, no Apêndice I são apresentadas possíveis fontes para obtenção desses dados/informações, os valores mínimos e máximos (quando houver) para as informações que demandam dados/informações numéricas, as respostas possíveis para os indicadores qualitativos e qual indicador utiliza esse dado/informação.

ig01 - População urbana residente no município (hab);

ig02 - Quantidade total de domicílios existentes na área urbana do município (unidade);

ig03 - Área urbana total, incluindo áreas urbanas isoladas (km²);

ie01 - Receita operacional total anual obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (R\$)

ie02 - Receita não-operacional total obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência (R\$);

ie03 - Investimento total municipal (valor desembolsado) em serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência (R\$);

ie04 - Despesa total do município, no ano de referência (R\$);

ie05 - Despesa total dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência;

ii01 - Quantidade de servidores públicos permanentes existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais;

ii02 - Quantidade total de servidores públicos existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais;

ii03 - Quantidade de servidores públicos no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais com ensino superior na área ou em área correlata;

ii04 - Quantidade de servidores públicos no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais que realizaram algum curso de capacitação ou treinamento na área, no ano de referência;

ii05 - O município possui diretrizes para os Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais?

ii06 - O município possui algum Plano (Plano Diretor de Drenagem Urbana, Plano Municipal de Saneamento Básico), regulamentado, para os Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, contendo planejamento a curto, médio e longo prazo?

ii07 - O município possui instrumentos legais para minimizar os efeitos da impermeabilização do solo (Código de Obras, Código de Posturas, Leis de parcelamento do solo);

ii08 - O município possui legislação que prevê implantação de subsídios em tributos municipais para estimular a reserva de área permeável nos lotes ou loteamentos?

ii09 - O município possui programas ou ações de regularização fundiária em áreas de assentamentos irregulares e em áreas de risco;

ii10 - O município possui o sistema de macrodrenagem georreferenciado?

ii11 - O município possui o sistema de microdrenagem georreferenciado?

ii12 - Número de cursos d'água urbanos que possuem monitoramento do nível da água;

ii13 - Número de cursos d'água urbanos;

ii14 - O município possui pluviômetros de monitoramento oficiais na área urbana municipal;

ii15 - Disponibilização das informações existentes (cadastro de rede; plano de ações; dados de monitoramentos) em um local de fácil acesso para qualquer setor da esfera municipal;

ii16 - Existência de ações a serem realizadas em nível de bacia hidrográfica para situações de inundações;

ii17 - Foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de galerias e canais, no ano de referência?

ii18 - Foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita, no ano de referência?

ii19 - Existem áreas, públicas ou privadas, com possibilidade de ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável (registrada em algum Plano)?

ii20 - O município possui órgão responsável pela regulação dos serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais;

ii21 - O município possui ouvidoria municipal ou central de atendimento ao cidadão para recebimento de reclamações ou manifestações sobre os serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais;

is01 - Percentual da área total do município que está mapeada quanto aos riscos de inundação (%);

is02 - Domicílios sujeitos a inundações na área urbana (unidade);

is03 - Quantidade de habitantes desabrigados ou desalojados, residentes em área urbana, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID (hab);

is04 - Existência de um banco de dados sobre áreas vulneráveis a alagamentos (ruas, bairros);

is05 - Existência de um Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo de águas pluviais, com participação pública;

is06 - O município possui programas de educação ambiental envolvendo drenagem e manejo de águas pluviais e problemas em decorrência da ocupação de áreas de risco;

is07 - O município possui programas de educação ambiental em relação à resíduos sólidos urbanos;

is08 - Quantidade de alagamentos e enxurradas em áreas urbanas do município, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID;

is09 - Quantidade de inundações em áreas urbanas do município, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID;

is10 - Quantidade de alagamentos e enxurradas em áreas urbanas do município, no ano de referência, não registradas no S2ID;

is11 - Quantidade de inundações em áreas urbanas do município, no ano de referência, não registradas no S2ID;

is12 - O município possui equipe responsável pelo controle de vetores de doenças de veiculação hídrica?

is13 - Número de óbitos, na área urbana do município, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos 5 anos (hab);

ia01 - Foram realizadas intervenções ou manutenções em canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do município, no ano de referência?

ia02 - Total dos cursos d'água naturais perenes com retificação (km);

ia03 - Total dos cursos d'água naturais perenes canalizados fechados (km);

ia04 - Total dos cursos d'água naturais perenes canalizados abertos (km);

ia05 - Total dos cursos d'água naturais perenes (km);

ia06 - Número de habitantes urbanos atendidos pelo serviço de coleta domiciliar direta, ou seja - porta a porta (hab);

ia07 - Realização de limpeza de bocas-de-lobo, desobstrução de bueiros, galerias, canaletas e outros dispositivos de drenagem pluvial, no ano de referência (pelo agente público e/ou empresas contratadas);

ia08 - Taxa da população com serviço de esgotamento sanitário inadequado (%);

ia09 - Sistema de drenagem urbana unitário (misto com esgotamento);

ia10 - Lançamento do esgoto sem tratamento, diretamente nos cursos d'água;

ia11 - Extensão total das margens com mata ciliar (km).

2.2.2. Resultados da ferramenta

Dados de Entrada

Antes da inserção dos dados, todos os “Dados de entrada” apresentam “status do dado de entrada” – “INVÁLIDO”. Após a inserção do dado/informação, se este estiver dentre as opções de respostas possíveis, o “status do dado de entrada” será alterado para “OK”. Caso o dado/informação informado não estiver dentre as opções de respostas possíveis a ferramenta retornará o status “INVÁLIDO”. Se não for possível o preenchimento de algum dado/informação adequadamente (status “INVÁLIDO”), a ferramenta mesmo assim funcionará, no entanto, o indicador dependente desse dado/informação apresentará o pior resultado possível.

Resultados

Resultados dos Indicadores

Os resultados dos indicadores apresentam resultados na faixa de valor entre 0,00 e 1,00, devido ao processo de normalização dos mesmos, sendo classificados de acordo com o resultado. Os resultados antes da normalização e os valores máximos e mínimos utilizados para normalização são apresentados da planilha auxiliar “Normalização”. Já a classificação em escala de cores é detalhada na planilha auxiliar “Classificações”.

No Apêndice II é apresentada a descrição do indicador e a fórmula utilizada no cálculo do mesmo

Normalização

A normalização é uma etapa do desenvolvimento de indicadores, por meio da qual é atribuída comensurabilidade aos resultados dos indicadores. Foi adotado o método de transformação das variáveis para valores entre 0 (zero) e 1 (um). Este método normaliza os indicadores para ter um intervalo idêntico [0, 1] subtraindo o valor mínimo e dividindo pelo intervalo dos valores do indicador.

Para uma variável X qualquer, o valor da variável transformada 0 - 1 para a i -ésima observação é dado pela Equação 1:

$$v_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \text{Eq. 1}$$

onde, v_i é o valor transformado da i -ésima observação da variável X , x_{\min} é o valor mínimo da variável X e x_{\max} é o valor máximo da variável X . Foram considerados como

valores máximos e valores mínimos os valores ideais e anti-ideais, respectivamente. Os valores ideais e anti-ideais foram definidos com base em bibliografias e conhecimento técnico.

Para alguns indicadores, os valores ideais e anti-ideais são evidentes, enquanto para outros esses valores são mais complexos, como é o caso do valores ideais dos indicadores IE01, IE02, IE03, IE04, IA01 e dos valores anti-ideais dos indicadores IS02, IS07, IS08 e IA01.

No que tange aos valores estipulados para normalização dos indicadores econômicos, cabe esclarecimento em relação aos valores máximos (ideais), que consideram valores aproximados. A receita operacional, que corresponde à receita de taxas e preços públicos e tem como destino a cobertura de custos indiretos (operação e manutenção), considerada como ideal nesse trabalho, é o valor correspondente a 0,14 \$/m² por área impermeável. Este valor foi apontado por Tasca (2016). Para cálculo da área impermeável considerou-se a densidade populacional urbana e foi utilizada a fórmula proposta por Menezes Filho & Tucci (2012). Como valores ideais do IE02 e IE03 admitiu-se o mesmo valor, sendo este vinte vezes maior que o valor ideal do IE01, considerando que os custos indiretos (operação e manutenção) correspondem a 5% do total de investimentos em drenagem urbana. Este valor teve como base o levantamento realizado por Cruz (2004), que pesquisou doze anos de gestão no município de Porto Alegre e observou que o valor de operação e manutenção equivale a 5% do total do investimento em drenagem. Para o valor ideal de IE04, não foram encontradas referências que subsidiassem a adoção de algum valor, no entanto foi arbitrado o valor de 1% como valor ideal da participação da despesa dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas na despesa total do Município, o que para a realidade brasileira seria um valor considerável diante dos investimentos atuais pouco expressivos.

Os valores anti-ideais dos indicadores IS07 e IS08 foram calculados considerando a probabilidade de ocorrência de evento superior ao qual as estruturas de drenagem são projetadas. Considerando que estes indicadores levam em conta a ocorrência de alagamentos, que é comumente relacionada à microdrenagem, e esta é dimensionada para um tempo de retorno entre 2 e 10 anos, foi adotada uma recorrência de 2 anos, por ser a condição mais crítica para o cálculo da probabilidade e, conseqüentemente, definição dos valores anti-ideais (que é quando os eventos ocorrem com uma recorrência inferior ao planejado).

Em relação ao valor anti-ideal do IS02: Domicílios localizados em áreas de risco, na área urbana. Nenhum percentual de domicílios em área de risco é aceitável, no entanto, considerando a realidade brasileira, foi arbitrado como valor anti-ideal 25% dos domicílios em área de risco. Em relação aos valores ideais e anti-ideais do indicador IA01 (densidade populacional urbana) não foram identificados valores na literatura que possam orientar.

Observação: Como alguns valores ideais e anti-ideais foram arbitrados, ou não apresentam uma base teórica forte, é possível que futuramente se identifique valores mais adequados do que os constantes nesse estudo, cabendo aperfeiçoamento da ferramenta. A correção só é possível mediante alterações de fórmulas que estão bloqueadas para usuários. Em caso de sugestão de aperfeiçoamento, contatar a responsável pela ferramenta pelo e-mail: eng.camilabaum@gmail.com.

Classificações

Os resultados dos indicadores além de serem apresentados em seus valores normalizados, são classificados em escala de cores. Os indicadores qualitativos foram classificados da seguinte forma: em vermelho, indicadores “Muito Crítico” (de 0,00 a 0,25); em laranja, indicadores “Crítico” (de 0,26 a 0,50); em amarelo, indicadores “Regular” (de 0,51 a 0,75); e em verde, indicadores “Bom” (de 0,76 a 1,00). Quanto aos indicadores quantitativos, os mesmos forma classificados da seguinte forma: em vermelho, indicadores “Muito Crítico” (0,00); em amarelo, indicadores “Regular” (0,50); e em verde, indicadores “Bom” (1,00).

Resultados dos Problemas

Para a identificação dos Problemas relacionados ao gerenciamento e manejo das águas pluviais, inicialmente foi realizada a associação entre problemas e indicadores a qual é apresentada no Apêndice III. Para cada problema foram relacionados possíveis indicadores que pudessem caracterizar, quantificar e/ou avaliar tal problema de gerenciamento e manejo das águas pluviais. Nessa etapa foi sistematizada essa associação entre problemas e indicadores, que direta ou indiretamente poderiam indicar a existência ou não de determinado problema.

Todos os problemas são possíveis são listados e, por meio da sistematização, classificados como Existente e Não Existente. Na classe problema “Não Existente” foram elencados apenas os problemas que foram identificados por indicadores que apresentavam valor máximo (1,00). Todos os demais foram classificados como problema “Existente”.

Resultados das Medidas Mitigadoras

Quanto aos arranjos de medidas mitigadoras, foram elencadas as medidas mitigadoras que auxiliavam de forma direta ou indireta na resolução de determinado problema e inseridas na ferramenta. Essas medidas foram relacionados com os problemas

Para a identificação das medidas mitigadoras, foram elencados os problemas que poderiam ser atenuados ou mitigados por cada uma das medidas mitigadoras, de forma direta ou indireta. Nos casos em que todos os problemas que a medida mitigadora apresentarem status “Não Existente”, essa medida é classificada como “Dispensável”; do contrário, para todos os casos em que um ou mais problemas apresentarem status “Existente”, essa medida é classificada como “Necessária/Recomendável”.

APÊNDICE I – DETALHAMENTO DOS DADOS

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | |
|------------------|--|---------------------------------------|---------------|--------------|------------------------------|---|
| Identificador | Dado/Informação | Possíveis Fontes de Dados/Informações | Dado Numérico | | Dado Qualitativo | Indicador que utiliza esse dado |
| | | | Valor Mínimo | Valor Máximo | | |
| ig01 | População urbana residente no município (hab); | GE006 - SNIS-AP | 0.00 | 100000.00 | *** | IE01 - IE02 - IE03 - IS03 - IA01 - IA04 |
| ig02 | Quantidade total de domicílios existentes na área urbana do município (unidade); | GE008- SNIS-AP | 0.00 | 1000000.00 | *** | IS02 |
| ig03 | Área urbana total, incluindo áreas urbanas isoladas (km²); | GE002 - SNIS-AP | 0.00 | 1000000.00 | *** | IE01 - IE02 - IE03 - IA01 |
| ie01 | Receita operacional total anual obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (R\$) | FN005 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | IE01 - IE04 |
| ie02 | Receita não-operacional total obtida para drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência (R\$); | FN008 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | IE02 |
| ie03 | Investimento total municipal (valor desembolsado) em serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência (R\$); | FN023 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | IE03 |
| ie04 | Despesa total do município, no ano de referência (R\$); | FN012 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | |
| ie05 | Despesa total dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, no ano de referência; | FN016 - SNIS-AP | 0.00 | < ie04 | *** | IE04 |
| ii01 | Quantidade de servidores públicos permanentes existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais; | Prefeitura Municipal | 0.00 | - | *** | II01 |
| ii02 | Quantidade total de servidores públicos existentes no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais; | AD003 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | II01 - II02 - II03 |
| ii03 | Quantidade de servidores públicos no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais com ensino superior na área ou em área correlata; | Prefeitura Municipal | 0.00 | - | *** | II02 |
| ii04 | Quantidade de servidores públicos no setor responsável pelos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais que realizaram algum curso de capacitação ou treinamento na área, no ano de referência; | Prefeitura Municipal | 0.00 | - | *** | II03 |
| ii05 | O município possui diretrizes para os Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais? | Ordenamento Jurídico Municipal/Plano | *** | *** | Sim/ EmElaboração/ Não | II04 |

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | |
|------------------|--|--|---------------|--------------|------------------------------|---------------------------------|
| Identificador | Dado/Informação | Possíveis Fontes de Dados/Informações | Dado Numérico | | Dado Qualitativo | Indicador que utiliza esse dado |
| | | | Valor Mínimo | Valor Máximo | | |
| | | Municipal de Saneamento Básico | | | | |
| ii06 | O município possui algum Plano (Plano Diretor de Drenagem Urbana, Plano Municipal de Saneamento Básico), regulamentado, para os Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, contendo planejamento a curto, médio e longo prazo? | Perfil dos Municípios Brasileiros - Suplemento de Saneamento Básico (IBGE) | *** | *** | Sim/ EmElaboração/ Não | II05 |
| ii07 | O município possui instrumentos legais para minimizar os efeitos da impermeabilização do solo (Código de Obras, Código de Posturas, Leis de parcelamento do solo); | Ordenamento Jurídico Municipal/Plano Municipal de Saneamento Básico | *** | *** | Sim/ EmElaboração/ Não | II06 |
| ii08 | O município possui legislação que prevê implantação de subsídios em tributos municipais para estimular a reserva de área permeável nos lotes ou loteamentos? | Ordenamento Jurídico Municipal/Plano Municipal de Saneamento Básico | *** | *** | Sim/ EmElaboração/ Não | II07 |
| ii09 | O município possui programas ou ações de regularização fundiária em áreas de assentamentos irregulares e em áreas de risco; | Ordenamento Jurídico Municipal/Plano Municipal de Saneamento Básico/Prefeitura Municipal | *** | *** | Sim/ EmElaboração/ Não | II08 |
| ii10 | O município possui o sistema de macrodrenagem georreferenciado? | Plano Municipal de Saneamento Básico | *** | *** | Sim/ Parcial/ Não | II09 |
| ii11 | O município possui o sistema de microdrenagem georreferenciado? | Plano Municipal de Saneamento Básico | *** | *** | Sim/ Parcial/ Não | II10 |
| ii12 | Número de cursos d'água urbanos que possuem monitoramento do nível da água; | Hidroweb/Plano de Bacia | 0.00 | <= ii13 | *** | II11 |
| ii13 | Número de cursos d'água urbanos; | Plano Municipal de Saneamento Básico | 0.00 | - | *** | II11 |
| ii14 | O município possui pluviômetros de monitoramento oficiais na área urbana municipal; | Hidroweb/Plano de Bacia | *** | *** | Sim/ Não | II12 |
| ii15 | Disponibilização das informações existentes (cadastro de rede; plano de ações; dados de monitoramentos) em um local de fácil acesso para qualquer setor da esfera municipal; | Prefeitura Municipal | *** | *** | Sim/ Parcial/ Não | II13 |

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | |
|------------------|--|--|---------------|--------------|------------------------|---------------------------------|
| Identificador | Dado/Informação | Possíveis Fontes de Dados/Informações | Dado Numérico | | Dado Qualitativo | Indicador que utiliza esse dado |
| | | | Valor Mínimo | Valor Máximo | | |
| ii16 | Existência de ações a serem realizadas em nível de bacia hidrográfica para situações de inundações; | Plano da Bacia | *** | *** | Sim/ Parcial/ Não | II14 |
| ii17 | Foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de galerias e canais, no ano de referência? | OP001- SNIS-AP | *** | *** | Sim/ Não | II15 |
| ii18 | Foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita, no ano de referência? | OP001- SNIS-AP | *** | *** | Sim/ Não | II16 |
| ii19 | Existem áreas, públicas ou privadas, com possibilidade de ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável (registrada em algum Plano)? | Plano Municipal de Saneamento Básico | *** | *** | Sim/ Não | II17 |
| ii20 | O município possui órgão responsável pela regulação dos serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais; | Perfil dos Municípios Brasileiros - Suplemento de Saneamento Básico (IBGE) | *** | *** | Sim/ Não | II18 |
| ii21 | O município possui ouvidoria municipal ou central de atendimento ao cidadão para recebimento de reclamações ou manifestações sobre os serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais; | Perfil dos Municípios Brasileiros - Suplemento de Saneamento Básico (IBGE) | *** | *** | Sim/ Não | II19 |
| is01 | Percentual da área total do município que está mapeada quanto aos riscos de inundação (%); | RI009 - SNIS-AP | 0.00 | 100.00 | *** | IS01 |
| is02 | Domicílios sujeitos a inundações na área urbana (unidade); | RI013 - SNIS-AP | 0.00 | <= ig02 | *** | IS02 |
| is03 | Quantidade de habitantes desabrigados ou desalojados, residentes em área urbana, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID (hab); | RI028 - SNIS-AP | 0.00 | <=ig01 | *** | IS03 |
| is04 | Existência de um banco de dados sobre áreas vulneráveis a alagamentos (ruas, bairros); | Plano Municipal de Saneamento Básico | *** | *** | Sim/ EmElaboração/ Não | IS04 |
| is05 | Existência de um Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo de águas pluviais, com participação pública; | Perfil dos Municípios Brasileiros - Suplemento de Saneamento Básico (IBGE) | *** | *** | Sim/ EmElaboração/ Não | IS05 |

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | |
|------------------|---|---------------------------------------|---------------|--------------|-------------------|---------------------------------|
| Identificador | Dado/Informação | Possíveis Fontes de Dados/Informações | Dado Numérico | | Dado Qualitativo | Indicador que utiliza esse dado |
| | | | Valor Mínimo | Valor Máximo | | |
| is06 | O município possui programas de educação ambiental envolvendo drenagem e manejo de águas pluviais e problemas em decorrência da ocupação de áreas de risco; | Prefeitura Municipal | *** | *** | Sim/ Parcial/ Não | IS06 |
| is07 | O município possui programas de educação ambiental em relação à resíduos sólidos urbanos; | Prefeitura Municipal | *** | *** | Sim/ Parcial/ Não | IS06 |
| is08 | Quantidade de alagamentos e enxurradas em áreas urbanas do município, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID; | RI022 - SNIS-AP e RI024 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | IS07 |
| is09 | Quantidade de inundações em áreas urbanas do município, nos últimos cinco anos, registrados no S2ID; | RI026 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | IS07 |
| is10 | Quantidade de alagamentos e enxurradas em áreas urbanas do município, no ano de referência, não registradas no S2ID; | RI064 - SNIS-AP e RI065 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | IS08 |
| is11 | Quantidade de inundações em áreas urbanas do município, no ano de referência, não registradas no S2ID; | RI066 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | IS08 |
| is12 | O município possui equipe responsável pelo controle de vetores de doenças de veiculação hídrica? | Prefeitura Municipal | *** | *** | Sim/ Não | IS09 |
| is13 | Número de óbitos, na área urbana do município, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos 5 anos (hab); | RI070 - SNIS-AP | 0.00 | - | *** | IS10 |
| ia01 | Foram realizadas intervenções ou manutenções em canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do município, no ano de referência? | OP001 - SNIS-AP | *** | *** | Sim/ Parcial/ Não | IA02 |
| ia02 | Total dos cursos d'água naturais perenes com retificação (km); | IE036 - SNIS-AP | - | <=ia05 | *** | IA03 |
| ia03 | Total dos cursos d'água naturais perenes canalizados fechados (km); | IE035 - SNIS-AP | - | <=ia05 | *** | IA03 |
| ia04 | Total dos cursos d'água naturais perenes canalizados abertos (km); | IE034 - SNIS-AP | - | <=ia05 | *** | IA03 |
| ia05 | Total dos cursos d'água naturais perenes (km); | IE032 - SNIS-AP | - | - | *** | IA03 - IA09 |
| ia06 | Número de habitantes urbanos atendidos pelo serviço de coleta domiciliar direta, ou seja, porta a porta (hab); | CO165 - SNIS-RS | 0.00 | <=ig01 | *** | IA04 |

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | |
|------------------|---|---------------------------------------|---------------|--------------|-------------------|---------------------------------|
| Identificador | Dado/Informação | Possíveis Fontes de Dados/Informações | Dado Numérico | | Dado Qualitativo | Indicador que utiliza esse dado |
| | | | Valor Mínimo | Valor Máximo | | |
| ia07 | Realização de limpeza de bocas-de-lobo, desobstrução de bueiros, galerias, canaletas e outros dispositivos de drenagem pluvial, no ano de referência (pelo agente público e/ou empresas contratadas); | OP001 - SNIS-AP | *** | *** | Sim/ Parcial/ Não | IA05 |
| ia08 | Taxa da população com serviço de esgotamento sanitário inadequado (%); | Prefeitura Municipal | 0.00 | 100.00 | *** | IA06 |
| ia09 | Sistema de drenagem urbana unitário (misto com esgotamento); | IE016 - SNIS-AP | *** | *** | Sim/ Não | IA07 |
| ia10 | Lançamento do esgoto sem tratamento, diretamente nos cursos d'água; | Prefeitura Municipal | *** | *** | Sim/ Não | IA08 |
| ia11 | Extensão total das margens com mata ciliar (km); | Prefeitura Municipal | 0.00 | <=ia05 | *** | IA09 |

APÊNDICE II– DETALHAMENTO DOS INDICADORES SIMPLES

| Identificador | Detalhamento do Indicador | Fórmula |
|---------------|---|--|
| IE01 | Quantificar a receita municipal obtida com a cobrança praticada para os serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas no ano de referência, por metro quadrado impermeável da área urbana. | $IE01 = \frac{ie01}{((ig03 * 1000000) * ((0,57 * (ig01 / (ig3 * 100)) + 13) / 100))}$, em \$.ano/m ² |
| IE02 | Quantificar a receita municipal obtida com a aplicação de penalidades de posturas ou contratuais, de aplicações financeiras e de outras receitas eventuais, tais como ressarcimento de danos, indenizações etc., relativa aos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas no ano de referência, por metro quadrado da área urbana. | $IE02 = \frac{ie02}{((ig03 * 1000000) * ((0,57 * (ig01 / (ig3 * 100)) + 13) / 100))}$, em \$.ano/m ² |
| IE03 | Medir o investimento médio (desembolsados) por metro quadrado da área urbana com serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, no ano de referência. | $IE03 = \frac{ie03}{((ig03 * 1000000) * ((0,57 * (ig01 / (ig3 * 100)) + 13) / 100))}$, em \$.ano/m ² |
| IE04 | Avaliar o nível de prioridade dos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas nos Municípios quanto ao esforço financeiro realizado para a manutenção, melhorias e ampliação dos serviços. | $IE04 = ie05 / ie04 * 100$, em % |
| II01 | Medir o contingente de recursos humanos do Município (pertencente ao corpo do funcionalismo público permanente) que trabalha nos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, em relação ao contingente total que trabalha nos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. Indica a força de trabalho continuada envolvida nos serviços de drenagem. | $II01 = ii01 / ii02 * 100$, em % |
| II02 | Avaliar o conhecimento técnico específico dos recursos humanos do Município (pertencente ao corpo do funcionalismo público) que trabalham nos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, na área em questão. | $II02 = ii03 / ii02 * 100$, em % |
| II03 | Medir o contingente de recursos humanos do Município que trabalha nos serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas e que recebeu, no ano de referência, alguma forma de instrução (capacitação e/ou treinamento sobre Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas). | $II03 = ii04 / ii02 * 100$, em % |
| II04 | Avaliar a existência de diretrizes que normatizem o serviço de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. | II04 = () Sim () Em elaboração () Não |
| II05 | Avaliar a existência de algum Plano (Plano Diretor de Drenagem Urbana, Plano Municipal de Saneamento Básico), regulamentado, para os serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, contendo planejamento a curto, médio e longo prazo. Indica a continuidade administrativa e das atividades do serviço de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. | II05 = () Sim () Em elaboração () Não |
| II06 | Avaliar a existência de instrumentos legais para minimizar os efeitos da impermeabilização do solo (Código de Obras, Código de Posturas, Leis de parcelamento do solo). Indica se há instrumentos de ordenamento de uso do solo urbano. | II06 = () Sim () Em elaboração () Não |

| Identificador | Detalhamento do Indicador | Fórmula |
|---------------|--|--------------------------------------|
| II07 | Avaliar a existência de legislação que prevê implantação de subsídios em tributos municipais para estimular a reserva de área permeável nos lotes ou loteamentos. Indica se há incentivos por parte do Município para adoção de soluções de controle na fonte. | II07= ()Sim ()Em elaboração ()Não |
| II08 | Avaliar se há instrumentos legais para a regularização de assentamentos irregulares e em área de risco (de inundação). | II08= ()Sim ()Em elaboração ()Não |
| II09 | Verificar se há conhecimento sobre o sistema de macrodrenagem municipal existente. | II09= ()Sim ()Parcial ()Não |
| II10 | Verificar se há conhecimento sobre o sistema de microdrenagem municipal existente. | II10=()Sim ()Parcial ()Não |
| II11 | Avaliar o conhecimento municipal existente a respeito do comportamento dos cursos d'água urbanos. | II11= ii12/ii13, *100, em % |
| II12 | Verificar se há conhecimento sobre a pluviometria no município. | II12= ()Sim ()Não |
| II13 | Verificar a disponibilidade das informações existentes relacionadas à Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (cadastro de rede; plano de ações; dados de monitoramentos) em um local de fácil acesso para qualquer setor da esfera municipal. | II13= ()Sim () Parcial ()Não |
| II14 | Avaliar a existência de ações a serem realizadas em nível de bacia hidrográfica para situações de inundações. Indica o nível de articulação e diálogos intermunicipais em relação a situações de inundações. | II14= ()Sim () Parcial ()Não |
| II15 | Avaliar a frequência em que foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de galerias e canais. | II15= ()Sim ()Não |
| II16 | Avaliar a frequência em que foram realizadas atividades de limpeza e desobstrução de bocas de lobo e poços de visita. | II16= ()Sim ()Não |
| II17 | Verificar a existência de áreas, públicas ou privadas, com possibilidade de ocupação por dispositivos de drenagem urbana sustentável (registrada em algum Plano) | II17= ()Sim ()Não |
| II18 | Verificar a existência de um órgão responsável pela regulação dos serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais no Município. | II18= ()Sim ()Não |
| II19 | Avaliar a existência de um canal (ouvidoria municipal ou central de atendimento) para recebimento de demandas, reclamações ou manifestações da comunidade municipal sobre os serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais. | II19= ()Sim ()Não |
| IS01 | Quantificar a parcela da área urbana mapeada como de risco à inundações na área urbana, em relação a área urbana total. | IS01= (%) |
| IS02 | Avaliar o percentual de unidades edificadas tributadas sujeitas a riscos de inundação em relação à quantidade total de unidades edificadas tributadas do Município. | IS02=is02/ig02*100 , em % |
| IS03 | Avaliar a parcela da população urbana afetada desabrigada ou desalojada devido à ocorrência de inundações. | IS03=is03/ig01*100 , em % |
| IS04 | Avaliar a existência de um banco de dados sobre áreas alagáveis (ruas, bairros), de acordo com a intensidade de precipitação. | IS04= ()Sim ()Em elaboração ()Não |

| Identificador | Detalhamento do Indicador | Fórmula |
|---------------|--|--|
| IS05 | Avaliar a existência de um Conselho municipal relacionado à drenagem e manejo de águas pluviais, com participação pública. | IS05= ()Sim ()Em elaboração ()Não |
| IS06 | Verificar a existência de programas de educação ambiental envolvendo drenagem e manejo de águas pluviais, problemas em decorrência da ocupação de áreas de risco e resíduos sólidos urbanos. | IS06= ()Sim ()Parcial ()Não |
| IS07 | Quantificar a incidência de episódios de alagamentos, enxurradas e inundações em áreas urbanas do Município, registrados no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres, nos últimos cinco anos. Indica a existência de deficiências drenagem municipal e registro dos episódios no Sistema Integrado de informações sobre Desastres. | IS07= (is08+is09)/2, nos últimos cinco anos. |
| IS08 | Quantificar a incidência de episódios inundações em áreas urbanas do Município, registrados ou não no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres, no ano de referência. Indica a existência de deficiências drenagem municipal e ausência de registro dos episódios no Sistema Integrado de informações sobre Desastres. | IS08= (is10+is11)/2, no ano de referência. |
| IS09 | Verificar a existência de uma equipe municipal responsável pelo controle de vetores de doenças de veiculação hídrica. | IS09= ()Sim ()Não |
| IS10 | Quantificar o percentual de óbitos, na área urbana do Município, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes, nos últimos cinco anos, registrados no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. | IS10= is13 |
| IA01 | Determinar a densidade demográfica na área urbana. Contribui para avaliar o índice de impermeabilização global da área urbana por meio de correlações disponíveis em literatura e em planos de drenagem. | IA01= ig01/(ig03*100), hab/ha |
| IA02 | Avaliar a quantidade de interferências físicas (dragagem, desassoreamento) realizadas nos canais abertos ou nos cursos d'água da área urbana do Município. | IA02= ()Sim ()Parcial ()Não |
| IA03 | Quantificar o percentual de cursos d'água naturais perenes urbanos que foram reestruturados com revestimento, tamponamento e/ou retificação, em relação a extensão total dos cursos d'água naturais perenes urbanos. | IA03= (ia02+ia03+ia04)/ia05*100, em % |
| IA04 | Quantificar o número de habitantes urbanos atendidos pelo serviço de coleta domiciliar direta, ou seja, porta a porta, em relação a população urbana total. Contribui para compreender o desempenho de dispositivos de drenagem. | IA04=ia06/ig01*100, em % |
| IA05 | Avaliar a realização de limpeza de bocas-de-lobo, desobstrução de bueiros, galerias, canaletas e outros dispositivos de drenagem pluvial, no ano de referência (pelo agente público e/ou empresas contratadas). | IA05= ()Sim ()Parcial ()Não |
| IA06 | Medir a abrangência do atendimento do serviço de Esgotamento Sanitário, em relação a população urbana total. Contribui para avaliar a qualidade das águas urbanas pluviais. | IA06=ia08, em % |
| IA07 | Avaliar a existência de lançamento do esgoto sem tratamento, diretamente nas tubulações de águas pluviais. | IA07= ()Sim ()Não |

| Identificador | Detalhamento do Indicador | Fórmula |
|---------------|---|-----------------------------|
| IA08 | Avaliar a existência de lançamento do esgoto sem tratamento, diretamente nos cursos d'água. | IA08= ()Sim ()Não |
| IA09 | Verificar se é mantida a vegetação ciliar nos cursos d'água urbanos. | IA09=ia11/(2*ia05)*100,em % |

APÊNDICE III- ASSOCIAÇÃO ENTRE PROBLEMAS E INDICADORES

| Problemas | | Indicador Direto | Indicador Indireto |
|-------------------------------|--|------------------------------------|--------------------|
| Temática Econômica | | | |
| PE01 | Orçamento insuficiente para adoção de medidas preventivas | IE02, IE03 | S.Ind. |
| PE02 | Orçamento insuficiente para manutenção das estruturas de drenagem e manejo das águas pluviais existentes | IE01 | S.Ind. |
| PE04 | Cobrança insuficiente (ou ausência de cobrança) para manutenção dos serviços públicos de águas pluviais | IE01 | S.Ind. |
| PE05 | Investimento para mitigação dos danos (materiais/humanos) causados por eventos hidrológicos extremos | IE02 | S.Ind. |
| PE06 | Prejuízos econômicos causados por eventos hidrológicos extremos ou pelo manejo inadequado das águas pluviais | S.Ind. | IS07 |
| Temática Institucional | | | |
| PI01 | Equipe limitada, em quantidade e/ou em termos de capacidade técnica | II01, II02 | IE03 |
| PI02 | Ausência de formação e atualização das equipes técnicas | II02, II03 | S.Ind. |
| PI03 | Desconhecimento, pela equipe técnica, dos processos físicos/hidrológicos que influenciam na drenagem das águas pluviais | II02 | S.Ind. |
| PI05 | Ausência de planejamento a curto, médio e longo prazo | II05 | II04 |
| PI06 | Ausência/deficiência na regulamentação de temas que envolvem a drenagem e manejo das águas pluviais | II04, II05 | S.Ind. |
| PI07 | Ausência de um banco de dados e informações de acompanhamento sobre o sistema de águas pluviais | II13 | S.Ind. |
| PI08 | Ausência de instrumentos de ordenamento de uso do solo | II06, II08 | S.Ind. |
| PI09 | Ausência de fiscalização do uso e ocupação do solo | S.Ind. | II08 |
| PI10 | Desconhecimento do sistema de drenagem devido à falta de cadastro do sistema ou cadastro parcial | II09, II10 | S.Ind. |
| PI11 | Deficiências na elaboração de projetos do sistema de águas pluviais | II02, II03 | S.Ind. |
| PI12 | Deficiências na execução de projetos do sistema de águas pluviais | II02, II03 | S.Ind. |
| PI13 | Deficiência na manutenção do sistema de águas pluviais | II15, II16, IA05 | S.Ind. |
| PI14 | Implantação do sistema de águas pluviais de forma fragmentada | S.Ind. | II09, II10 |
| PI15 | Ausência de utilização de soluções e técnicas de drenagem e manejo das águas pluviais mais integradas ao contexto urbano | II07 | II17 |
| PI16 | Ausência de espaços públicos ou privados adequados à implementação de dispositivos compensatórios | II17 | S.Ind. |
| PI17 | Preferência por medidas mitigadoras tradicionais e estruturais | S.Ind. | II07 |
| PI18 | Falta de controle e monitoramento hidrológico e ausência ou ineficiência de sistemas de alerta | II11, II12 | S.Ind. |
| PI19 | Precariedade das informações hidrológicas e hidráulicas para avaliar a condição atual e propor cenários | II09, II10, II11, II12, IS01, IS04 | S.Ind. |
| PI20 | Fragmentação das atividades e descontinuidade administrativa | II05 | S.Ind. |
| PI22 | Projetos urbanos e sistemas de águas pluviais conflituosos (falta de integração entre os setores relacionados à gestão urbana) | S.Ind. | S.Ind. |
| PI23 | Deficiência na articulação e em diálogos intermunicipais e visão municipalizada do manejo das águas pluviais | II14 | S.Ind. |
| Temática Social | | | |
| PS01 | Redução da proteção do solo | S.Ind. | IS01 |
| PS03 | População em condição de vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos | IS02, IS03 | S.Ind. |
| PS04 | Habitacões em áreas de risco | IS01, IS02 | S.Ind. |

| Problemas | | Indicador Direto | Indicador Indireto |
|---------------------------|--|-------------------------|---------------------------|
| PS05 | Falta de conscientização da população sobre riscos de ocupar áreas de risco | S.Ind. | IS06 |
| PS06 | Difícil acesso público aos canais de discussão e debate sobre os sistemas de águas pluviais | S.Ind. | II19, IS05 |
| PS07 | Falta de interesse da população em participar da tomada de decisão | IS05 | S.Ind. |
| PS08 | Resistência e pré-conceito da população à adoção de algumas medidas estruturais sustentáveis ou não-estruturais | IS06 | S.Ind. |
| PS09 | Déficit no atendimento à população | IS07, IS08 | S.Ind. |
| PS10 | Deficiência na educação da sociedade para com o manejo das águas pluviais | IS06 | S.Ind. |
| PS11 | Falta de percepção da importância do gerenciamento e manejo adequado de águas pluviais e não valorização de ações realizadas | S.Ind. | IS06 |
| PS12 | Proliferação de vetores | IS09 | S.Ind. |
| PS13 | Incidência de doenças de veiculação hídrica | IS09 | S.Ind. |
| Temática Ambiental | | | |
| PA01 | Aumento do volume do escoamento, com conseqüente redução da capacidade hidráulica do sistema | IA03 | S.Ind. |
| PA02 | Alteração dos padrões de circulação da água | IA01, IA03 | S.Ind. |
| PA03 | Redução da capacidade de recarga do aquífero, devido à redução de infiltração | IA01 | S.Ind. |
| PA04 | Alteração do microclima | IA01 | S.Ind. |
| PA05 | Aumento da produção de sedimento devido à desproteção das superfícies | IA02, IA09 | S.Ind. |
| PA06 | Desconhecimento das áreas de risco | IS01 | S.Ind. |
| PA07 | Redução da vegetação marginal dos cursos d'água | IA09 | S.Ind. |
| PA09 | Assoreamento de curso d'água | S.Ind. | IA02 |
| PA10 | Modificações físicas nos canais de escoamento naturais | IA03 | IA02 |
| PA11 | Redução da diversidade da fauna aquática nos cursos d'água | S.Ind. | IA03 |
| PA12 | Ligações indevidas ou ilegais na rede de drenagem (como da rede de esgoto) | IA07, IA08 | S.Ind. |
| PA13 | Dificuldade de identificação de fontes poluidoras/fontes difusas | IA07, IA08 | S.Ind. |
| PA14 | Redução da beleza paisagística | IA03 | IA02 |
| PA15 | Disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos comprometendo o funcionamento pleno de dispositivos de drenagem e contaminando as águas pluviais | IA04, IA05, IS06 | S.Ind. |
| PA16 | Déficit no esgotamento sanitário | IA06, IA07, IA08 | S.Ind. |

Legenda: S.Ind. = Sem Indicador associado a este problema.

APÊNDICE IV– ASSOCIAÇÃO ENTRE PROBLEMAS E MEDIDAS MITIGADORAS

| Medida Mitigadora | Problemas que mitiga |
|--|--|
| Sistema de previsão e alerta de precipitação e inundação | PE06; PI18; PS03 |
| Zoneamento das áreas de inundação | PE06; PI16; PS01; PS04; PA06 |
| Obras de proteção individual contra inundações | PE06; PS04 |
| Seguro contra inundações | PE05 |
| Planos de contingência e emergência definidos | PE06; PI04; PS03 |
| Campanhas educativas e preventivas relacionadas às águas pluviais para todas as partes interessadas | PE04; PI15; PI17; PS01; PS05; PS07; PS08; PS10; PS11; PS12; PS13; PA04; PA05; PA06; PA07; PA12; PA15 |
| Participação ativa da sociedade | PE04; PS02; PS05; PS07; PS08; PS11; PS12; PS13; PA06 |
| Regularização fundiária e suporte para a população residente em áreas de risco | PE06; PS04; PS05; PS09; PS12; PS13; PA06; PA09; PA12; PA15; PA16 |
| Ferramentas e mecanismos de monitoramento e avaliação da gestão e de suporte a decisão | PI05; PI07; PI14; PI22 |
| Incentivos para promoção de estruturas de infiltração de águas pluviais | PI17; PS08; PA02; PA03; PA14 |
| Apoio técnico | PI01; PI02; PI03; PI04; PI06; PI08; PI09; PI11; PI12; PI15; PI22; PI23 |
| Consideração da bacia hidrográfica no planejamento e gestão | PI23 |
| Promoção de parcerias entre entidades públicas e entidades de pesquisas sobre gestão e manejo de águas pluviais | PI01; PI02; PI03; PI04; PI23 |
| Geração, registro, integração e compartilhamento de informações | PI05; PI07; PI10; PI11; PI18; PI19; PI22; PS06; PA08 |
| Capacitação, transferência de conhecimento e atualização técnica contínua | PE06; PI01; PI02; PI03; PI04; PI05; PI11; PI12; PI13; PI14; PI15; PI17; PI22; PI23; PA01; PA02; PA03; PA10 |
| Desenvolvimento de Planos e Manuais Técnicos de suporte para a gestão de águas pluviais e na implementação de estruturas de águas pluviais | PI01; PI02; PI04; PI05; PI06; PI11; PI15; PI17; PI20; PA10 |
| Desenvolvimento e atualização de leis relacionadas às águas pluviais, considerando problemas, tecnologias e mecanismos atuais | PE04; PI05; PI06; PI08; PI09; PI13; PI15; PS01; PS02; PS03; PS04; PS09; PA01; PA02; PA03; PA04; PA05; PA06; PA07 |
| Manutenção periódica do sistema de drenagem | PE06; PI13; PS09; PS12; PA05; PA08; PA15 |
| Regulação de aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo, uso de técnicas compensatórias, qualidade e quantidade de água pluvial | PE04; PI07; PI08; PI13; PI14; PI15; PI17; PS01; PS02; PS03; PS04; PA01; PA02; PA03; PA04; PA05; PA06; PA08 |
| Adoção de gestão de águas pluviais de caráter abrangente e integrado | PI05; PI07; PI14; PI20; PI21; PI22; PI23; PS06; PS08; PS09; PA08 |
| Fiscalização dos serviços relacionados às águas pluviais urbanas e do uso e ocupação do solo. | PI09; PI13; PI15; PI22; PS01; PS02; PS04; PS09 |
| Monitoramento quali-quantitativo contínuo de cursos hídricos | PI11; PI18; PI19; PS12; PA09; PA12; PA13; PA16 |
| Viabilização financeira para implantação e manutenção da infraestrutura e para ações | PE01; PE02; PE03; PI07; PI11; PI12; PI13; PI14; PS09 |
| Integração entre estruturas de macrodrenagem e espaços de lazer | PI15; PA14 |
| Adoção de medidas compensatórias e medidas tradicionais de controle extensivas | PI15; PI16; PS03; PS04; PS09; PA01; PA02; PA03; PA04; PA05; PA07 |
| Adoção de medidas tradicionais de controle intensivas | PS03; PS04; PS09 |
| Gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos e esgotamento sanitário adequado | PS12; PS13; PA08; PA11; PA12; PA13; PA14; PA15; PA16; PA17 |

| Medida Mitigadora | Problemas que mitiga |
|---|--|
| Proteção e estabilização de margens e encostas de cursos hídricos | PS01; PS03; PS04; PA05; PA06; PA07; PA09; PA10; PA11; PA13; PA14 |
| Controle de vetores de doenças relacionados às águas pluviais | PS12; PS13 |
| Recomposição e preservação de áreas de preservação permanente e de áreas verdes | PI16; PS01; PA02; PA03; PA04; PA05; PA06; PA07; PA09; PA10; PA11; PA13; PA14 |