



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL -
PPGECA

FRANCISCO DAS CHAGAS DA COSTA FILHO

**METODOLOGIA DE APOIO À GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS
DA MACRODRENAGEM URBANA EM ÁREAS DE ARRANJOS POPULACIONAIS
MÉDIOS**

CAMPINA GRANDE - PB

2020

FRANCISCO DAS CHAGAS DA COSTA FILHO

**METODOLOGIA DE APOIO À GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS
DA MACRODRENAGEM URBANA EM ÁREAS DE ARRANJOS POPULACIONAIS
MÉDIOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadoras:

Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura.

Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues.

CAMPINA GRANDE - PB

2020

C837m

Costa Filho, Francisco das Chagas da.

Metodologia de apoio à gestão de qualidade de água pluviais da macrodrenagem urbana em áreas de arranjos populacionais médios / Francisco das Chagas da Costa Filho. - Campina Grande, 2020.

155f. : il. Color.

Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura, Profa. Dra Andréa Carla Lima Rodrigues".

Referências.

1. Saneamento Básico. 2. Qualidade das Águas Urbanas. 3. Plano de Gerenciamento. 4. . I. Coura, Mônica de Amorim. II. Rodrigues, Andréa Carla Lima. III. Título.

CDU 628.2(043)

FRANCISCO DAS CHAGAS DA COSTA FILHO

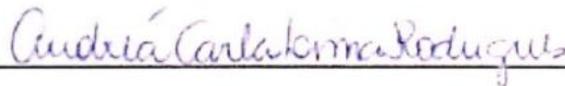
**METODOLOGIA DE APOIO À GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS
DA MACRODRENAGEM URBANA EM ÁREAS DE ARRANJOS POPULACIONAIS
MÉDIOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil e Ambiental.

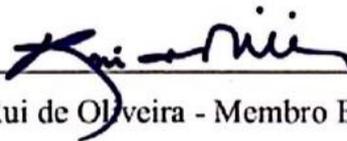
BANCA EXAMINADORA



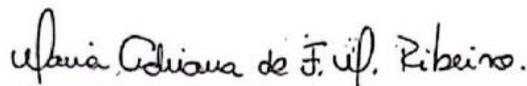
Prof. Dra. Mônica de Amorim Coura - Orientadora (UFCG)



Prof. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues - Orientadora (UFCG)



Prof. Dr. Rui de Oliveira - Membro Externo (UEPB)



Prof. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro - Membro Externo (UEPB)



Prof. Dra. Kainara Lira dos Anjos - Membro Externo (UFCG)

METODOLOGIA DE APOIO À GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS DA MACRODRENAGEM URBANA EM ÁREAS DE ARRANJOS POPULACIONAIS MÉDIOS

Francisco das Chagas da Costa Filho

Orientadoras: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura
Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues

RESUMO

Os impactos decorrentes do aumento populacional e do processo de urbanização são intensificados quando as atividades antrópicas ocorrem de forma não sustentável, acarretando diversos problemas sociais, econômicos e ambientais. Tais impactos também são agravados pela má gestão das cidades e pelos baixos investimentos em infraestrutura. No âmbito das águas urbanas, a falta ou a ineficiência de gestão pode contribuir para o agravamento da poluição das águas de drenagem e, conseqüente diminuição da qualidade dos recursos hídricos urbanos. No Brasil, como em outros países em desenvolvimento, a preocupação imediata em termos de drenagem e manejo das águas pluviais está associada à diminuição do risco de cheias urbanas, sendo comumente deixada em segundo plano a qualidade das águas drenadas para os corpos hídricos naturais. Com o intuito de reduzir essa lacuna, a presente pesquisa teve como objetivo desenvolver uma proposta metodológica para gestão sustentável de qualidade de águas pluviais da macrodrenagem urbana, em áreas de arranjos populacionais médios. A metodologia utilizou grupos de indicadores de operação/manutenção, de instrumentos legais, físico-químicos e microbiológico escolhidos para auxiliar a classificação da gestão atual de qualidade das águas de drenagem de bacias urbanas em cenários distintos de gestão (eficiente, parcial e ineficiente), levando em consideração, entre outros aspectos, a vulnerabilidade social e a fragilidade ambiental. A metodologia de caracterização e classificação da gestão atual em um dos cenários propostos foi aplicada em uma bacia piloto, bacia do Riacho do Prado, localizada na área urbana do distrito sede de Campina Grande - PB. Para a política ambiental, foram sugeridos dez princípios de gestão de qualidade de água, um objetivo geral, seis objetos específicos e diversas medidas mitigadoras relacionada ao risco ambiental e às características dos cenários propostos. Os resultados mostraram que, com relação à bacia do Riacho do Prado foram observados vários problemas urbanos e depreciação da qualidade da água presente no sistema de macrodrenagem,

predominância de vulnerabilidade social média, tendendo a alta, diferentes classes de fragilidade ambiental emergente, risco ambiental variando de médio a muito alto, resultando em um índice geral de gestão de qualidade de água de 0,4, o que classifica a bacia piloto em uma gestão parcial de qualidade de água de drenagem urbana. Diante do exposto, é de suma importância que os arranjos populacionais médios, como Campina Grande, invistam na estruturação dos sistemas e na manutenção da qualidade das águas de drenagem e dos corpos hídricos urbanos. Além disso, é preciso uma conscientização conjunta, população e órgão gestor, pois a gestão sustentável da qualidade das águas da macrodrenagem urbana só é possível com a integração dos agentes urbanos e análises das inter-relações entre os sistemas de saneamento básico.

Palavras-chave: Saneamento básico. Qualidade de águas urbanas. Plano de gerenciamento.

**METHODOLOGY OF SUPPORT FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT OF
URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN AREAS OF MEDIUM POPULATION
ARRANGEMENTS**

Francisco das Chagas da Costa Filho

Orientadoras: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura
Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues

ABSTRACT

The impacts resulting from the population increase and the urbanization process are intensified when the anthropic activities occur in an unsustainable way, causing several social, economic and environmental problems. Such impacts are also aggravated by poor city management and low investments in infrastructure. In the area of urban waters, the lack or inefficiency of management can contribute to the worsening of the pollution of drainage waters and, consequently, a reduction in the quality of urban water resources. In Brazil, as in other developing countries, the immediate concern in terms of drainage and management of rainwater is associated with a reduction in the risk of urban floods, with the quality of the water drained into the natural water bodies being often left in the background. In order to reduce this gap, the present research aimed to develop a methodological proposal for sustainable management of rainwater quality in urban macrodrainage, in areas of medium population arrangements. The methodology used groups of operation / maintenance indicators, legal, physical-chemical and microbiological instruments chosen to help classify the current quality management of drainage waters in urban basins under different management scenarios (efficient, partial and inefficient), taking into account, among other aspects, social vulnerability and environmental fragility. The methodology for characterizing and classifying the current management in one of the proposed scenarios was applied in a pilot basin, Riacho do Prado basin, located in the urban area of the headquarters district of Campina Grande - PB. For the environmental policy, ten water quality management principles, a general objective, six specific objects and several mitigating measures related to the environmental risk and the characteristics of the proposed scenarios were suggested. The results showed that, in relation to the Riacho do Prado basin, several urban problems and depreciation of the water quality present in the macro-drainage system were observed, predominance of medium social vulnerability, tending to rise, different classes of

emerging environmental fragility, environmental risk varying medium to very high, resulting in a general water quality management index of 0.4, which classifies the pilot basin as a partial urban drainage water quality management. In view of the above, it is of paramount importance that medium-sized population arrangements, such as Campina Grande, invest in structuring systems and maintaining the quality of drainage waters and urban water bodies. In addition, there is a need for joint awareness, population and management body, as sustainable management of the water quality of urban macrodrainage is only possible with the integration of urban agents and analysis of the interrelationships between basic sanitation systems.

Key-words: Basic sanitation. Urban water quality. Management plan.

DEDICATÓRIA

A Sebastião Alves de Araújo, meu avô, que foi e sempre será um grande exemplo de ser humano, dignidade e bondade (*In memoriam*).

Aos meus pais, Maria de Fátima Alves da Costa e Francisco das Chagas da Costa, que sempre me apoiaram na busca dos meus sonhos e sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar força, coragem, sabedoria, paciência e fé para concretizar esse sonho;

Aos meus pais, por sempre estarem do meu lado, me apoiando nas minhas decisões e acreditando que sou capaz de conseguir tudo que almejo, escrevendo a minha própria história.

Aos senhores, que me deram os maiores bens que eu poderia ter recebido, o conhecimento, a sabedoria e o gosto pela área acadêmica. A vós, o meu eterno agradecimento e admiração;

À toda minha família, em especial às minhas irmãs, Fernanda e Fabiana Costa, pelo apoio e incentivo, por tentarem me ajudar de todas as formas possíveis e pelas as vezes que entoaram as seguintes palavras: “vai dar tudo certo...”. A vocês minha gratidão e meu carinho;

A Mauriceia Medeiros, Kainara dos Anjos, Adriana Sales, Madson Freitas, Vinícius Gomes, Iana Vidal, Márcia Aratusa, Ana Paula Caldas, Rudna Angélica, Emilly Batista e Alenuska Lucena que além de amigos, são irmãos que Deus em sua imensa bondade colocou em meu caminho. A vocês eu agradeço de todo o coração, pelas vezes em que estiveram do meu lado, pelo apoio e palavras de incentivo para que eu seguisse em busca dos meus objetivos; por estenderem as mãos em diversas formas; pelos conselhos e por aturar os meus devaneios em horas difíceis. A vocês a minha eterna amizade e companheirismo;

A todos os meus amigos, em especial a Alcio Farias, Leonardo Barbieri, Petterson Gomes, Thales Costa, Brenda Sales, João Júnior Souza, Jackson Fernandes, Wanessa Dunga, Hudson Toscano, Enio Amorim, Estevan Serafim, Solange Dombroski, Ivny Cavalcante, Andréia Moura, Pâmella Oliveira, Paulo Nóbrega e Grace Santos, que contribuíram de forma particular com a amizade, apoio e companheirismo;

A Lucimar Isídio, pela generosidade, carinho e amizade que me foram ofertados nesses anos em Campina Grande - PB. Por sempre está disposta à ajudar e por ter me acolhido em sua família, mesmo sem me conhecer. A você eu desejo toda felicidade que uma pessoa possa ter nesse mundo.

Aos Mestres, que me auxiliaram na construção do conhecimento científico necessário para o desenvolvimento do curso e para minha formação como docente;

Às minhas orientadoras, Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura e Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues, pela amizade, companheirismo, incentivo, paciência e dedicação que foram a mim

ofertados durante o período de desenvolvimento desta pesquisa. Por acreditares que eu seria capaz e confiarem que eu concluiria esta etapa da minha vida acadêmica com êxito. Por todo o conhecimento transferido e, principalmente, pela humildade que demonstraram durante as orientações, esclarecendo dúvidas e condução ao caminho certo;

A Wellington Laurentino, pela paciência, disponibilidade e prestação de serviço como assistente administrativo do programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECA;

A Bárbara Tsuyuguchi, Sinara Martins, Débora Medeiros, Lorena França, Igor Cavalcante, Cristina Paz, Savana Maia, Valmária Oliveira e Francisco Bandeira, pela amizade, companheirismo, dedicação e pela imensa contribuição na pesquisa. A vocês dedico cada linha deste trabalho, pois sem vocês eu não teria conseguido concluir o cronograma proposto. Meus sinceros agradecimentos, obrigado!

À Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, pelos materiais e laboratórios fornecidos para a realização dos ensaios necessários para a concretização da pesquisa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba - FAPESQ, pela bolsa de doutorado e por acreditar na educação pública, gratuita e de qualidade.

À banca de qualificação e defesa, pela disponibilidade e contribuições que deram ao meu trabalho.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.
(Albert Einstein)

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1 - Relação entre os sistemas das águas urbanas..... | 20 |
| Figura 2 - A pirâmide da informação na gestão de recursos naturais e a geração do conhecimento..... | 23 |
| Figura 3 - Fluxograma das etapas para o desenvolvimento da pesquisa..... | 40 |
| Figura 4 - Descrição dos mapas de vulnerabilidade social e fragilidade ambiental..... | 45 |
| Figura 5 - Passos metodológicos para construção do mapa de fragilidade ambiental..... | 46 |
| Figura 6 - Variáveis de vulnerabilidade social..... | 47 |
| Figura 7 - Passos metodológicos para construção do mapa de vulnerabilidade social..... | 48 |
| Figura 8 - Localização do Município de Campina Grande e da Bacia do Riacho do Prado.... | 56 |
| Figura 9 - Indicadores para a definição dos cenários de gestão..... | 70 |
| Figura 10 - Características físicas da bacia do Riacho do Prado..... | 94 |
| Figura 11 - Mapas de fragilidade ambiental potencial e emergente..... | 96 |
| Figura 12 - Mapas sociais da bacia do Riacho do Prado..... | 98 |
| Figura 13 - Mapa de risco da bacia do Riacho do Prado..... | 99 |
| Figura 14 - Pontos de coleta escolhidos com base no mapa de risco ambiental..... | 100 |
| Figura 15 - Pontos de coleta e ruas utilizadas para o cálculo do raio dos mapas de intensidade..... | 110 |
| Figura 16 - Pontos de coleta e edificações consultadas..... | 111 |
| Figura 17 - Mapas de densidade das variáveis V_1 a V_4 | 113 |
| Figura 18 - Mapas de densidade das variáveis V_5 a V_8 | 114 |
| Figura 19 - Canais do Riacho do Prado..... | 116 |
| Figura 20 - Mapas de densidade das variáveis V_9 a V_{12} | 117 |
| Figura 21 - Mapas de densidade das variáveis V_{13} a V_{16} | 118 |
| Figura 22 - Remoção da vegetação próxima aos canais de drenagem..... | 120 |
| Figura 23 - Mapas de densidade das variáveis V_{17} a V_{20} | 121 |
| Figura 24 - Frequência de coleta de lixo..... | 122 |
| Figura 25 - Frequência de varrição e sarjetas..... | 123 |
| Figura 26 - Frequência de limpeza dos canais..... | 123 |
| Figura 27 - Não conformidades observadas nos canais da bacia do Riacho do Prado..... | 124 |
| Figura 28 - Setores de monitoramento..... | 129 |
| Figura 29 - Programas de ação para gestão de qualidade de água de drenagem..... | 134 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 - Caracterização global dos serviços de DMAPU | 18 |
| Tabela 2 - Valores médios de indicadores de qualidade da água pluvial em mg/l para algumas cidades. | 32 |
| Tabela 3 - Agrupamentos do teste de Tukey | 102 |
| Tabela 4 - Parâmetros descritivos dos indicadores físico-químicos e microbiológico..... | 104 |
| Tabela 5 - Dados necessários para o cálculo da população amostral e população resultante | 110 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 1 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas em países desenvolvidos | 11 |
| Quadro 2 - Comparação entre a infraestrutura urbana de países desenvolvidos e do Brasil.... | 12 |
| Quadro 3 - Instrumentos legais federais acerca do saneamento no Brasil - Leis e Decretos ... | 16 |
| Quadro 4 - Instrumentos legais Federais acerca do saneamento - Portarias e Resoluções | 16 |
| Quadro 5 - Critérios apresentados por diferentes autores para seleção de indicadores..... | 23 |
| Quadro 6 - Lista de indicadores relacionados a problemas no manejo de águas pluviais..... | 25 |
| Quadro 7 - Associação entre os usos da água e os requisitos de qualidade. | 31 |
| Quadro 8 - Doenças relacionadas com a água | 33 |
| Quadro 9 - Variáveis de serviços urbanos | 43 |
| Quadro 10 - Variáveis de características dos moradores..... | 44 |
| Quadro 11 - Classes de declividade, cobertura e tipo de solo definidos por Ross (1994) | 46 |
| Quadro 12 - Pesos e notas para a construção do mapa de vulnerabilidade social | 48 |
| Quadro 13 - Indicadores físico-químicos e microbiológico e respectivas metodologias | 49 |
| Quadro 14 - Princípios de gestão de qualidade de água de drenagem urbana..... | 60 |
| Quadro 15 - Objetivos de gestão de qualidade de drenagem urbana..... | 63 |
| Quadro 16 - Medidas mitigadoras para problemas de origem ambiental..... | 66 |
| Quadro 17 - Medidas mitigadoras relacionadas à vulnerabilidade social | 69 |
| Quadro 18 - Indicadores de operação e manutenção | 72 |
| Quadro 19 - Indicadores de instrumentos legais | 75 |
| Quadro 20 - Indicadores físico-químicos e microbiológico | 76 |
| Quadro 21 - Pesos e notas para indicadores e cenários de gestão | 81 |
| Quadro 22 - Medidas mitigadoras para o cenário gestão eficiente..... | 83 |
| Quadro 23 - Medidas mitigadoras para o cenário gestão parcial | 85 |
| Quadro 24 - Medidas mitigadoras para o cenário gestão ineficiente | 88 |
| Quadro 25 - Destinos sustentáveis para os cenários propostos | 93 |
| Quadro 26 - Descrição dos pontos de amostragem | 101 |
| Quadro 27 - Instrumentos legais de Campina Grande..... | 106 |
| Quadro 28 - Variáveis analisadas em campo..... | 111 |
| Quadro 29 - Cálculo dos índices e classificação da bacia piloto..... | 125 |
| Quadro 30 - Medidas mitigadoras relacionadas a fragilidade ambiental e vulnerabilidade social | 132 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 31 - Medidas mitigadoras relacionadas a gestão atual da qualidade de água de drenagem | 133 |
| Quadro 32 - Programas de ação para gestão de qualidade de água de drenagem | 134 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|-----------------|----|
| Equação 1 | 50 |
| Equação 2 | 50 |
| Equação 3 | 53 |
| Equação 4 | 53 |
| Equação 5 | 54 |
| Equação 6 | 54 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ANA - Agência Nacional de Águas;
- ANOVA - Análise de variância.
- APP - Área de Proteção Permanente;
- APHA - American Public Health Association;
- Art. - Artigo;
- BNH - Banco Nacional da Habitação;
- Cap. - Capítulo;
- Ce - Condutividade elétrica;
- CEAEs - Companhias Estaduais de Água e Esgoto;
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo;
- CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
- COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos;
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente;
- CTT - Coliformes Temotolerante;
- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio;
- DHWA - Department of Health of Western Austrália;
- DMAUP - Drenagem e manejo de águas pluviais urbanas;
- DQO - Demanda química de oxigênio;
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
- EPA - Environmental Protection Agency;
- FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente;
- FMEA - Failure Mode and Effect Analysis;
- FM - Indicadores físico-químicos e microbiológico;
- FUNASA - Fundação Nacional de Saúde;
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- IL - Indicadores de instrumentos legais;
- Inc. - Inciso;
- INSA - Instituto Nacional do Semiárido;
- MAP - Manejo de águas pluviais;

MNT - Modelo numérico de terreno;

N_{amon} - Nitrogênio amoniacal;

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora;

NMP - Número mais provável;

OM - Indicadores de operação e manutenção;

P - Fósforo total;

pH - Potencial Hidrogeniônico;

PLANASA - Plano Nacional de Saneamento;

PMC - Prefeitura Municipal de Curitiba;

PMCG - Prefeitura Municipal de Campina Grande;

PMPA - Prefeitura Municipal de Porto Alegre;

PMSP - Prefeitura Municipal de São Paulo;

PMT - Prefeitura Municipal de Teresina;

PPGECA - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental;

SAP - Percentual de uso de cobertura vegetal no sistema de águas pluviais;

SESUMA - Secretária de Serviços Urbanos e Meio Ambiente;

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento;

SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental;

SRTM - Missão Topográfica Radar Shuttle;

SST - Sólidos Suspensos Totais;

T - Turbidez;

UEPB - Universidade Estadual da Paraíba;

UFC - Unidade formadora de colônia;

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande;

UNT - Unidade de turbidez;

WHO - World Health Organization.

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| LISTA DE FIGURAS..... | xii |
| LISTA DE TABELAS..... | xiii |
| LISTA DE QUADROS..... | xiv |
| LISTA DE EQUAÇÕES..... | xvi |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS..... | xvii |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA..... | 3 |
| 1.2 OBJETIVO GERAL..... | 3 |
| 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 4 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1 O ESPAÇO URBANO E AS VULNERABILIDADES SOCIOAMBIENTAIS..... | 5 |
| 2.1.1 Vulnerabilidade social..... | 7 |
| 2.1.2 Fragilidade ambiental..... | 8 |
| 2.2 GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE URBANA..... | 10 |
| 2.3 SANEAMENTO BÁSICO E ARCABOUÇO LEGAL BRASILEIRO..... | 14 |
| 2.4 DRENAGEM URBANA E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS..... | 17 |
| 2.4.1 Gestão das águas pluviais..... | 19 |
| 2.4.2 Indicadores para a gestão das águas pluviais..... | 21 |
| 2.5 QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS..... | 29 |
| 2.5.1 Relação entre a qualidade das águas pluviais e a saúde humana..... | 33 |
| 2.5.2 Pesquisas relacionadas à qualidade das águas de drenagem urbana..... | 34 |
| 3 METODOLOGIA..... | 39 |
| 3.1 DEFINIÇÃO DA POLÍTICA AMBIENTAL PARA A QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS EM SISTEMAS DE MACRODRENAGEM..... | 39 |
| 3.2 PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS..... | 41 |

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.1 | Diagnóstico da área de estudo | 41 |
| 3.2.2 | Definição dos cenários de gestão | 51 |
| 3.2.3 | Classificação da qualidade da água nos cenários propostos..... | 52 |
| 3.2.4 | Definição de ações a serem adotadas para mitigação de impactos em cada cenário | 54 |
| 3.2.5 | Sugestões de destino sustentável de efluentes para cada cenário..... | 54 |
| 3.3 | APLICAÇÃO DA PROPOSTA DO MODELO DE GERENCIAMENTO EM ÁREA PILOTO | 55 |
| 3.3.1 | Escolha da área piloto | 55 |
| 3.3.2 | Implementação do modelo na bacia em estudo | 57 |
| 3.3.3 | Observação do comportamento do modelo a partir da sua aplicação..... | 58 |
| 3.4 | VERIFICAÇÃO E AÇÕES CORRETIVAS APÓS APLICAÇÃO DO MODELO | 58 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 60 |
| 4.1 | RESULTADOS DA DEFINIÇÃO DA POLÍTICA AMBIENTAL PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM SISTEMAS DE MACRODRENAGEM | 60 |
| 4.1.1 | Princípios de gestão de qualidade de água pluvial urbana..... | 60 |
| 4.1.2 | Objetivos do plano de gerenciamento de qualidade de águas de drenagem urbana | 62 |
| 4.1.3 | Diretrizes Gerais..... | 63 |
| 4.1.4 | Medidas mitigadoras gerais..... | 65 |
| 4.2 | RESULTADOS REFERENTES À PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS..... | 70 |
| 4.2.1 | Definição dos grupos de indicadores e cenários de gestão..... | 70 |
| 4.2.2 | Classificação da qualidade da água nos cenários propostos..... | 80 |
| 4.2.3 | Definição de ações a serem adotadas para mitigação de impactos em cada cenário | 82 |
| 4.2.4 | Sugestão de destino sustentável de efluentes para cada cenário | 91 |

| | | |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3 | RESULTADO DA APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO EM ÁREA PILOTO | 94 |
| 4.3.1 | Implementação do modelo na bacia estudada | 94 |
| 4.3.2 | Observação do comportamento do modelo e de melhoria contínua | 127 |
| 4.4 | RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO E AÇÕES CORRETIVAS APÓS APLICAÇÃO DO MODELO..... | 129 |
| 4.4.1 | Sugestões para o monitoramento das atividades e operações que possam causar impactos ambientais | 129 |
| 4.4.2 | Sugestões de procedimentos para prevenir e eliminar o reaparecimento de não conformidades..... | 132 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 137 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 139 |
| | APÊNDICE A | 152 |
| | APÊNDICE B..... | 153 |

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano e o crescimento econômico das cidades sempre estiveram vinculados à modificação do meio ambiente e à geração de impactos de diversas classificações. Entre os impactos mais danosos ao ser humano e ao meio natural estão a contaminação do solo, do ar, a mortalidade da fauna e flora devido a ações antrópicas, a proliferação de doenças ocasionadas pela deposição incorreta de resíduos, de efluentes domésticos e industriais, e a diminuição da qualidade dos corpos hídricos.

Segundo Jatobá (2011) o crescimento populacional, as mudanças climáticas e a urbanização não sustentável têm tornado mais comum a ocorrência de eventos naturais extremos, como secas prolongadas, chuvas intensas e ácidas, entre outros desastres que diminuem a qualidade da vida humana.

Tais eventos alertam para a necessidade de uma intervenção na forma de gerir as cidades e os sistemas que as compõem, além da regulação mais rígida para com as atividades antrópicas sobre o meio natural e urbanizado. Entre esses sistemas, destacam-se os não naturais, como as infraestruturas construídas para subsidiar a gestão das águas urbanas.

O estudo das águas urbanas inclui os sistemas do saneamento básico, as inundações ribeirinhas e a gestão dos sólidos totais (TUCCI, 2008). A integração dos planos existentes para a gestão do ambiente urbano, com atenção especial para os planos aliados aos serviços de saneamento, e à compreensão das inter-relações que os envolvem, contribui significativamente para a manutenção da qualidade das águas e dos ecossistemas aquáticos.

No meio urbano, os impactos antrópicos exercem influência direta e indireta nas características das águas pluviais, tornando-se os principais agentes para a depreciação da qualidade das mesmas. A compreensão desses impactos de forma individual, como a determinação da origem e os possíveis efeitos, é de suma importância no âmbito da gestão para determinar medidas que solucionem ou, pelo menos, minimizem seus efeitos negativos (TUCCI, 2005).

Tais impactos não são sentidos da mesma forma por toda a população residente, principalmente quando se analisam aqueles oriundos da ocupação desordenada, pois a vulnerabilidade da população está diretamente relacionada às questões socioeconômicas (SANTOS; SOUZA, 2014), além do acesso à infraestrutura básica de saneamento, educação, saúde e lazer. Sendo assim, a forma de planejar, gerir e desenvolver as cidades exerce um papel fundamental na qualidade de vida da população.

O modelo de desenvolvimento aplicado nas cidades pode gerar conflitos ambientais devido as divergências entre o modelo desenvolvimentista e o meio ambiente, implicando no surgimento da injustiça ambiental e de suas consequências, como a distribuição desigual dos riscos relatado por Santos e Souza (2014) e da degradação ambiental em uma área urbana, deixando explícito a relação direta entre o meio social e o ambiental. Tais conflitos alimentam os movimentos de lutas para a obtenção de um meio ambiente sadio e produtivo para todos (NASCIMENTO; MENDONÇA, 2015).

Entre as ações antrópicas que implicam na diminuição da qualidade das águas drenadas em meio urbano, tornando-as esgotos, estão o lançamento de resíduos sólidos em canais de drenagem e dispositivos de captação, a ligação de efluentes domésticos em sistema separador absoluto, a ineficiência da limpeza urbana, a falta de instrumentos normativos inerentes à qualidade de drenagem e a não implementação dos instrumentos que regulamentam as atividades antrópicas em relação à expansão urbana.

Em relação à saúde, a transmissão de doenças de veiculação hídrica poderá ocorrer por via feco-oral, transmitidas por vetores que se relacionam com a água, ou simplesmente pela insuficiência de água com qualidade para a higienização geral (VON SPERLING, 2014).

Tais doenças provavelmente são decorrentes da presença de efluentes domésticos nas águas urbanas drenadas e/ou por lançamento de efluentes nos corpos hídricos. No Brasil, o Decreto nº 7.217/2010 (BRASIL, 2010), que regulamenta a Lei Federal do saneamento básico brasileiro de nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), recomenda a utilização de sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, mesmo assim, ainda se observam sistemas unitários ou ligações clandestinas em vários municípios brasileiros, ocasionando a contaminação das águas de drenagem por esgotos domésticos devido à falta de rede e recursos para infraestrutura.

Santos (2016) relata que já existem modelos de planejamento estratégico com enfoque integrado em gerenciamento sustentável das águas urbanas, objetivando a construção de soluções técnicas mais eficientes e com abordagens sistêmicas. Nesse contexto, o enfoque integrado auxiliaria o gerenciamento das águas pluviais tanto em termos de quantidade, quanto de qualidade. Porém, a maioria dos estudos no âmbito da drenagem urbana, como os de Agostinho e Poletto (2012), Santos Júnior e Santos (2013) e Schellin e Leinig (2018) visam o manejo das águas pluviais com o foco na redução dos impactos ocasionados por cheias urbanas.

Diante do exposto, o presente estudo desenvolveu uma metodologia de apoio à gestão da qualidade de águas pluviais da macrodrenagem urbana, tendo como base cenários de gestão construídos a partir de indicadores de operação, manutenção, físico-químicos, microbiológico

e dispositivos legais. A metodologia foi aplicada em uma bacia piloto, bacia do Riacho do Prado, Campina Grande - PB, apresentando-se eficiente para a caracterização da área em relação ao risco ambiental, classificação nos cenários propostos e para a determinação de medidas mitigadoras relacionadas aos problemas socioambientais e de falta de gestão.

1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

Após treze anos da publicação do marco regulatório do saneamento básico brasileiro, a Lei Federal nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), é perceptível que os municípios ainda não atingiram a universalização dos serviços de saneamento básico e que, entre as vertentes do saneamento, o esgotamento sanitário e o manejo de águas pluviais são as que possuem o maior déficit de infraestrutura urbana.

Soma-se a este fato, a redução da qualidade das águas dos corpos hídricos urbanos devido à poluição destes por efluentes domésticos e industriais não tratados, diminuindo a disponibilidade de água com os requisitos mínimos para tratabilidade e posterior uso para abastecimento humano. Além disso, sabe-se que os investimentos em saneamento reduzem significativamente os gastos com saúde pública, pois minimizam, de forma concreta, os riscos de proliferação de doenças de veiculação hídrica e por vetores de transmissão.

No âmbito da drenagem urbana, observa-se a preocupação em distanciar as águas pluviais dos aglomerados populacionais, reduzindo as possibilidades de enchentes, entretanto a problemática da qualidade dessas águas ainda figura em segundo plano.

Para uma gestão mais sustentável das águas pluviais urbanas, almeja-se com a presente pesquisa contribuir para a gestão da qualidade das águas pluviais auxiliando a administração pública na tomada de decisão e na elaboração de ações que melhorem a qualidade das águas dos sistemas de drenagem urbana, visando a redução de risco à população e à sustentabilidade ambiental em arranjos populacionais médios, pois, estes, estão ligados diretamente a dinâmica de desenvolvimento urbano e necessitam de instrumentos específicos, visto que tanto as problemáticas, quanto as soluções, são diferentes as grandes cidades e metrópoles.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma proposta metodológica para a gestão sustentável de qualidade de águas pluviais da macrodrenagem urbana em arranjos populacionais médios.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Definir indicadores de operação/manutenção, instrumentos legais, físico-químicos e microbiológico para a gestão de qualidade de água em sistemas de macrodrenagem;
- ii. Estabelecer limites de transição entre as gestões eficiente, parcial e ineficiente a partir dos indicadores definidos;
- iii. Definir, com base nos aspectos de vulnerabilidade social e fragilidade ambiental, as características de bacias de drenagem urbana;
- iv. Analisar, em uma bacia piloto, a eficiência do modelo de caracterização e de classificação da gestão atual de qualidade de águas de drenagem urbana;
- v. Definir, com base nos indicadores ambientais e nas possíveis respostas das análises espaciais avançadas, medidas mitigadoras que auxiliem na gestão de qualidade das águas de drenagem urbana.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O ESPAÇO URBANO E AS VULNERABILIDADES SOCIOAMBIENTAIS

No espaço urbano ocorrem relações sociais e interações entre os seres humanos e o meio ambiente. De acordo com Corrêa (1989) o espaço urbano é fragmentado e articulado. Fragmentado quando se analisa o conjunto complexo de uso da terra, como o centro, áreas de serviços, comerciais, industriais, residenciais, lazer, de gestão, entre outros, e as áreas reservadas para a expansão futura; e articulado quando se analisa as relações entre cada fragmento da organização espacial e os seres humanos.

Segundo Gehl (2013), ao longo da história contemporânea houve um crescimento desordenado da população mundial e urbana. Em 1900 a população mundial era de 1,65 bilhões de pessoas, sendo que apenas 10% habitavam em cidades. Em 2007, a população mundial já havia ultrapassado a marca de seis bilhões de pessoas das quais mais de 50% estavam concentradas nas zonas urbanas.

De acordo com United Nations (2017) a projeção da população mundial para 2050 e 2100 é de, respectivamente, 9,772 e 11,184 bilhões de pessoas, com expectativa de concentração urbana superior a 75%. Nesse contexto, Gehl (2013) afirma que o aumento populacional que ocasiona o crescimento explosivo das cidades é uma espécie de catalizador de problemas e desafios urbanos.

Jatobá (2011) comenta que se tornou mais comum nos últimos anos a ocorrência de desastres ambientais por fontes naturais em áreas urbanas como tsunamis, secas prolongadas ou chuvas intensas, terremotos, entre outros. Esses desastres se intensificam com a densidade populacional, a urbanização crescente e as mudanças climáticas.

O aumento da densidade nas áreas urbanas devido ao crescimento populacional e ao processo de migração do campo para as cidades, também sobrecarrega os sistemas urbanos preexistentes e produz demandas na infraestrutura, gerando necessidade de melhorias e ampliação dos sistemas já construídos.

A urbanização no Brasil se intensificou na segunda metade do Séc. XX, elevando a população urbana de 26,3%, em 1940, para 81,2% da população total nos anos 2000 (MARICATO, 2000). Entre os desafios vivenciados pelas grandes cidades, Maricato (2011) cita a precariedade dos serviços de saneamento, contaminação das águas e solos urbanos, falta de integração entre os planos dos municípios que compõe as regiões metropolitanas, a não implementação das políticas públicas que são criadas e altas taxas de ocupação de favelas.

De acordo com Raquel Rolnik (2012) o problema nas cidades brasileiras não é a falta de moradias e sim de cidades. Os programas de créditos para a obtenção de moradias estão distantes de resolver esta problemática. As políticas públicas existentes muitas vezes visam o crescimento econômico e a geração de emprego e, como consequência, geram áreas com elevada densidade de pessoas economicamente vulneráveis.

Vieira Filho *et al.* (2015) analisando o impacto na infraestrutura urbana devido ao crescimento populacional e da ocupação urbana sem planejamento apontaram, entre os problemas gerados pela superpopulação em áreas urbanas, a sobrecarga nos serviços de saneamento, a fragilidade na infraestrutura de energia e na rede de saúde, a precariedade dos transportes coletivos, a falta de moradias adequadas para a população, a ocupação irregular em áreas de proteção ambiental e o aumento do desemprego que amplia a desigualdade social.

O processo de urbanizar implica na concentração de pessoas e o exercício de atividades produtivas em um espaço restrito e, estes geram impactos degradadores no meio ambiente.

Segundo Di Pace, Crojethovich e Herrero (2005 apud RESTREPO; MORALES-PINZÓN, 2018) no âmbito dos conceitos socioecológicos e de metabolismo urbano, a cidade é definida como um superorganismo, com estrutura e dimensão espacial, que abriga os elementos vivos e não vivos e, estes, coexistem e interagem entre si, gerando diversos sistemas entre o meio natural e a sociedade, incluindo os ciclos biogeoquímicos e fluxos de energia.

Na prática, o metabolismo urbano envolve a quantificação das entradas, saídas e armazenamento de insumos e rejeitos; entre estes, citam-se: energia, nutrientes, materiais, água e resíduos. De fato, as análises das cidades através de conceitos socioecológicos, como também a sua associação com ecossistemas naturais, que comumente são autossuficientes ou subsidiados por insumos sustentáveis, dão contribuições à compreensão e ao desenvolvimento de cidades sustentáveis; caso estas, possam incorporar em si, características inerentes aos ecossistemas naturais (KENNEDY; PINCETL; BUNJE, 2011).

Embora outras atividades, além da urbanização, gerem impactos ambientais relevantes, como é o caso dos setores da agropecuária, mineração e a produção de energia, a urbanização tende a concentrar a geração dos seus impactos e, posteriormente, difundi-los além dos limites urbanos. Problemas como o aquecimento global, questões relativas ao saneamento ambiental, poluição hídrica e atmosférica têm suas origens nas atividades humanas em áreas urbanizadas. Além disso, soma-se ao poder degradativo das atividades humanas, o padrão de consumo e os rejeitos produzidos pela população que, muitas vezes, requerem áreas maiores do que as ocupadas por ela, pois a pegada ecológica de algumas cidades pode superar em mais de 100 vezes o seu tamanho (JATOBÁ, 2011).

De acordo com Jatobá (2011) as regiões mais urbanizadas são as que mais consomem recursos naturais; e as mais pobres do Planeta são as que mais vem se urbanizando, porém, aliadas à precariedade da infraestrutura, ao elevado grau de pobreza, à desigualdade e à degradação ambiental. Em contrapartida, a concentração da população em uma área restrita possibilita uma redução de pressão dos ecossistemas e áreas naturais, o que contribui para a sustentabilidade, pois reduz o terreno natural necessário a ser ocupado e minimiza gastos em infraestrutura urbana. No que tange à parte social, as cidades apresentam maiores oportunidades de educação, emprego, moradia adequada e serviços de saúde do que as áreas rurais.

É perceptível que as vulnerabilidades socioambientais envolvem variantes naturais, como a susceptibilidade do ambiente se recuperar dos efeitos nocivos das ações humanas e variantes sociais como as condições de infraestrutura, renda, educação e saúde. Neste contexto, dentro da esfera de vulnerabilidades socioambientais, dois conceitos podem ser considerados relevantes para o entendimento das interações entre o meio ambiente e o homem, são eles: a vulnerabilidade social e a fragilidade ambiental.

2.1.1 Vulnerabilidade social

No contexto social, o termo vulnerabilidade é frequentemente relacionado à deficiência ou ausência de algo e, comumente, realiza-se esta análise a partir do entendimento das características socioeconômicas de uma determinada área ou indivíduo. No âmbito urbano, pode-se relacionar a vulnerabilidade social ao risco (SANTOS, 2015), sugerindo que vulnerável é estar fisicamente exposto e, devido a isso, possuir menores condições de se recuperar ou absorver as perturbações ocorridas.

Marandola Jr. e Hogan (2005) analisam as discussões e as semelhanças entre os conceitos de vulnerabilidade nos âmbitos geográfico e demográfico. Ambas as áreas incluem a dimensão ambiental na conceituação, porém a primeira concentra-se nas dinâmicas sociais e naturais e, a segunda, nas componentes socioeconômicas, concordando que a vulnerabilidade é um conceito complementar ao de risco.

A definição de vulnerabilidade surgiu para expressar a predisposição de um sistema a ser danificado; ser vulnerável é estar exposto a um agente estressor. A análise de vulnerabilidade está associada a três processos distintos: a produção do conhecimento, a aplicação do conhecimento e a resposta aos questionamentos que surgem a partir da interação entre os dois primeiros processos. Com isso, o estudo da vulnerabilidade pode contribuir para a produção de políticas (LEE, 2014).

Em termos sociais, a vulnerabilidade é produto das desigualdades sociais, estas incluem fatores que influenciam ou moldam a susceptibilidade e também as características das comunidades, como o nível de urbanização e economia local. Existem diversas características expostas em pesquisas em ciências sociais que influenciam a vulnerabilidade social, entre elas citam-se a idade, sexo, raça, status socioeconômico, a qualidade dos assentamentos humanos (tipologia de construção e infraestrutura) e o próprio ambiente construído (CUTTER, BORUFF; SHIRLEY, 2003).

Assim, os efeitos negativos oriundos de uma ocupação desordenada em uma determinada área, não são sentidos igualmente por todo o grupo, o que implica que a vulnerabilidade também está associada às condições socioeconômicas do grupo em análise (SANTOS; SOUZA, 2014). Compreender a influência dos diversos indicadores sociais no estudo da vulnerabilidade pode favorecer na formulação de políticas e diretrizes frente às mudanças ambientais nos níveis global, regional e local (BERROUET; VILLEGAS-PALACIO; BOTERO, 2019).

Fatemi *et al.* (2017) analisaram 43 referências bibliográficas sobre a vulnerabilidade social em áreas predispostas a desastres. Os autores observaram que todos os trabalhos utilizavam indicadores como a porcentagem de mulheres na população, idade, educação, condição de saúde pública, emprego, acessibilidade, situação social, recursos médicos e infraestruturas públicas, para expressar a vulnerabilidade social. Nesse referido estudo, foram encontrados cerca de 32 indicadores e 150 variáveis possíveis para analisar a vulnerabilidade social.

2.1.2 Fragilidade ambiental

Ainda dentro do contexto do espaço urbano, a ocupação, seja ela planejada ou não, requer modificações no meio físico natural, o que promove transformações na estrutura e no funcionamento dos sistemas naturais. Um exemplo dessas transformações é a alteração dos caminhos naturais de drenagem devido ao uso e à ocupação da terra.

A fragilidade ambiental é definida como a facilidade do meio natural sofrer modificações frente às ações antrópicas; estando esta, condicionada às características genéticas do meio (SPÖRL; ROSS, 2004). Schiavo *et al.* (2016) descrevem essa facilidade de alteração como a susceptibilidade do ambiente a sofrer intervenções.

Os ambientes naturais se encontram em equilíbrio dinâmico até o momento em que os seres humanos passam a explorar intensamente os recursos naturais para satisfazerem as suas

necessidades (ROSS, 2011). Esta intensa busca pelos recursos naturais e por ocupação do espaço se amplia com o crescimento populacional, com a industrialização e com o desenvolvimento tecnológico.

Os problemas ambientais representam um risco para o funcionamento das cidades. Tais problemas juntamente com a rápida urbanização provavelmente continuarão contribuindo para a ocorrência de secas intensas, aumento da temperatura e inundações repentinas (COBBINAH; POKU-BOANSI; PEPRAH, 2017).

Ross (2011) acrescenta outras atividades que levam a alterações no meio natural de forma irreversível, como a industrialização urbana, mecanização dos sistemas de monocultura, maximização na exploração de recursos energéticos e matérias primas, aumento nas áreas de pastagem, mineração e o uso dos recursos hídricos de forma não sustentável.

Diante dos problemas ambientais resultantes de práticas predatórias, torna-se urgente a necessidade de planejar o espaço físico territorial não só com uma perspectiva econômica e social, mas também ambiental, levando em consideração as potencialidades dos recursos e as fragilidades dos ambientes, face à inserção direta do ser humano no ambiente natural.

O mapeamento da fragilidade dos ambientes favorece o reconhecimento das áreas mais susceptíveis a danos devido às modificações antrópicas. Os sistemas naturais tendem a reagir às ações humanas nos componentes da paisagem, como a cobertura vegetal, clima, solo, relevo e os recursos hídricos. Dessa forma, o mapeamento torna-se um recurso importante para o planejamento territorial (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

No âmbito urbano, as análises de fragilidade podem subsidiar estudos para a determinação de áreas para a criação de aterros sanitários, de ocupação urbana, zoneamento ambiental, para correlacionar a fragilidade do ambiente com a potencialidade de poluição deste por águas residuárias domésticas ou pluviais com contribuição de esgotos e criação de políticas públicas de gerenciamento do saneamento como um todo.

Santos (2015) realizou um estudo sobre a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos em área urbana de Fortaleza - CE. Com a pesquisa, foi possível verificar a distribuição das diferentes realidades sociais, que apresentaram uma certa relação com o valor do solo urbano e a disponibilidade da infraestrutura. Em relação à fragilidade ambiental, foram encontradas 32 unidades de fragilidade, sendo 14 potenciais (mais estáveis) e 18 emergentes (mais instáveis), que, respectivamente, ocupavam cerca de 73% e 27% do território do município de Fortaleza - CE. As avaliações dos riscos foram feitas com base no cruzamento dos mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social, o que permitiu a identificação de 40 tipos diferentes de combinações de riscos.

2.2 GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE URBANA

A palavra gestão está associada ao ato de administrar, gerenciar e conduzir insumos para alcançar o objetivo pretendido. No âmbito ambiental, cabe à gestão o equacionamento dos problemas ambientais para o alcance das soluções necessárias, tornando o ato do equacionamento uma função imediata da gestão ambiental.

Agra Filho (2013, p. 702) e a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA (1997, p. 123) elencam alguns conceitos de gestão ambiental com ênfase no controle do uso dos recursos ambientais. São eles:

- Selden (1990): *“A condução, a direção e o controle pelo governo do uso dos recursos naturais, através de determinados instrumentos, o que inclui medidas econômicas, regulamentos e normalização, investimentos públicos e financiamentos, requisitos interinstitucionais e judiciais”*.
- Hurtubia (1980): *“A tarefa de administrar o uso produtivo de um recurso renovável sem reduzir a produtividade e a qualidade ambiental, normalmente em conjunto com o desenvolvimento de uma atividade”*.
- Encyclopaedia Britannica (1978): *“O controle apropriado do meio ambiente físico, para propiciar o seu uso com o mínimo abuso, de modo a manter as comunidades biológicas, para o benefício continuado do homem”*.

Diante dos conceitos elencados, Agra Filho (2013) relata que, mesmo sendo uma função imediata da gestão ambiental, o equacionamento dos problemas ambientais deve estar aliado a uma atuação preventiva com ações direcionadas aos fatores causadores dos problemas em questão, com a finalidade de uma maior eficácia na sua resolução e tendo como objetivo a sustentabilidade.

Com relação à sustentabilidade, Nascimento (2012) diz que existem duas vertentes, uma com base biológica por meio da ecologia e outra na economia; referindo-se estas, respectivamente, à resiliência, capacidade de recuperação e reprodução dos ecossistemas afetados pelas ações antrópicas ou naturais e ao desenvolvimento, com a percepção na finitude dos recursos naturais.

Segundo Andrade (2013) a sustentabilidade relaciona-se com o uso racional dos recursos naturais, com o objetivo de satisfazer as necessidades presentes e a manutenção dos recursos para as gerações futuras.

No âmbito das cidades, Teodoro (2013) diz que a sustentabilidade urbana perpassa a relação com os recursos naturais e adentra na função social de gestão, buscando práticas socioespaciais mais sustentáveis e a transformação dos padrões de produção e consumo. Para que cidades se tornem mais sustentáveis é necessário a redução significativa da vulnerabilidade ambiental, ou seja, redução da pobreza, como relata o primeiro objetivo do desenvolvimento sustentável (SOTTO *et al.*, 2019).

Andrade (2013) afirma que as ocupações desordenadas no meio urbano não satisfazem o objetivo da sustentabilidade, pois estas requerem o desmatamento de grandes áreas e a poluição do meio, principalmente das águas, ao serem construídas moradias inadequadas e irregulares às margens de corpos hídricos. Para que a cidade seja sustentável, as necessidades da população devem ser atendidas sem a imposição de demandas insustentáveis sobre os recursos naturais locais e globais (SILVA, 2016).

Andrade (2013) realizou uma abordagem acerca da ocupação humana desordenada no espaço urbano a fim de analisar a sustentabilidade e os impactos socioambientais. Para o autor o processo de degradação ambiental de áreas urbanizadas pode ser minimizado a partir de propostas sustentáveis como o controle do uso e ocupação do solo normatizadas por instrumentos legais, planos diretores, código de postura e de obras e o Estatuto da Cidade, além de planejar, executar e monitorar as áreas de ocupação, considerando a dimensão socioambiental e a participação de líderes populares; promover a educação ambiental e relocar as famílias socialmente fragilizadas e que estejam em situações de risco.

Tucci (2008) mostra algumas fases do desenvolvimento das águas urbanas em países desenvolvidos e associa essas fases ao desenvolvimento sustentável (Quadro 1). Segundo o autor, infelizmente o Brasil ainda se encontra na fase higienista pois ainda possui déficits no tratamento do esgoto, no controle dos resíduos sólidos e infraestrutura de drenagem.

Quadro 1 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas em países desenvolvidos

| Fase | Características | Consequências |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Pré-higienista: até o início do Século XX | Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio. | Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações. |
| Higienista: antes de 1970 | Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento. | Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações. |

| Fase | Características | Consequências |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Corretiva: entre 1970 e 1990 | Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento. | Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental. |
| Desenvolvimento sustentável: depois de 1990 | Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural. | Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida. |

Fonte: Tucci (2008).

Fazendo uma associação com o conceito de espaço urbano apresentado por Corrêa (1989), a gestão urbana atual também se fundamenta a partir de uma fragmentação, neste caso, dos sistemas necessários para o funcionamento do meio urbano, como o sistema de saúde, o sistema de esgoto sanitário, sistema de drenagem urbana, sistema de abastecimento de água, de energia elétrica, entre outros (GUSMÃO, 2016), sendo estes, também utilizados como critérios para diferenciar as áreas urbanas das rurais, em alguns países (UNITED NATIONS, 2015). O mau funcionamento desses sistemas afeta diretamente a população urbana, fazendo-se necessário o equilíbrio para gerar desenvolvimento de forma sustentável.

Tratando-se das falhas na gestão dos sistemas em ambientes urbanos, a exemplo da drenagem urbana, esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos, a ineficiência em um destes, afetará indiretamente a eficiência dos demais apesar de serem sistemas individuais (GUSMÃO, 2016).

Tucci (2002) realizou uma comparação entre a infraestrutura urbana associada ao saneamento de países desenvolvidos e países em desenvolvimento, como o Brasil (Quadro 2). Observa-se que nos países desenvolvidos, grande parte dos problemas relacionados ao saneamento já foram solucionados. Em relação à drenagem urbana, por exemplo, é priorizado o uso de medidas não-estruturais que obrigam a população a controlar a origem dos impactos oriundos da urbanização.

Situação contrária a esta é observada em países em desenvolvimento, pois estes ainda estão em fase de estruturação para tratar seus efluentes. Consequentemente, há um maior lançamento de efluentes não tratados em corpos hídricos, ocasionando a redução dos mananciais para o abastecimento humano devido à contaminação.

Quadro 2 - Comparação entre a infraestrutura urbana de países desenvolvidos e do Brasil.

| Infraestrutura urbana | Países desenvolvidos | Brasil |
|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abastecimento de água | Cobertura total | Grande parte atendida, entretanto, existem problemas relacionados a redução da disponibilidade devido à contaminação, e grande quantidade de perdas na rede. |

| Infraestrutura urbana | Países desenvolvidos | Brasil |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Esgotamento sanitário | Cobertura quase total | Falta de redes e estações de tratamento e subutilização das redes existentes. |
| Drenagem urbana | Controlados os aspectos quantitativos; Desenvolvimento de investimentos para controle dos aspectos de qualidade da água. | Ocorrência de grandes inundações; Aspectos de qualidade da água nem mesmo foram identificados. |
| Inundações ribeirinhas | Medidas de controle não-estruturais como seguro e zoneamento de inundações. | Grandes prejuízos por falta de política de controle. |

Fonte: Adaptado de Tucci (2002).

Em relação à gestão brasileira, o sistema federativo baseia-se em uma divisão tripartida, política-administrativa-territorial, autônoma e com poderes exclusivos, organizados por ministérios e secretarias. Em busca de uma melhor integração na gestão, criou-se o Ministério das Cidades em 2003, que teve a sua concepção celebrada pelas organizações não governamentais ligadas aos movimentos populares pró-moradias, profissionais associados ao setor da habitação, pesquisadores e professores universitários e grupos de civis que defendiam a integração das políticas setoriais inerentes ao transporte/mobilidade, regulamentação fundiária e saneamento (MASCARELLI; KLEIMAN, 2017).

Apesar da intenção de integralizar as temáticas em um só organismo ministerial, o Ministério das Cidades foi subdividido em secretarias que possuíam departamentos ou programas com estrutura própria. Estas secretarias respondem pelos seguintes temas (MASCARELLI; KLEIMAN, 2017):

- Acessibilidade e programas urbanos: responsáveis pela aplicação dos preceitos do Estatuto da Cidade, como a regularização fundiária, criação de planos diretores, prevenção e contenção de riscos em assentamentos em condições precárias, reabilitação em áreas centrais, entre outros, em nível municipal;
- Habitação: responsável pela criação de instrumentos que facilitem à implementação da Política Nacional de Habitação e articulação com políticas existentes acerca do desenvolvimento urbano;
- Saneamento: responsável pelo planejamento das políticas de saneamento em nível setorial e por garantir fontes de financiamento para os municípios que procedam a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico;
- Transporte e Mobilidade: responsável pela formulação e implementação das políticas de mobilidade à luz da sustentabilidade urbana, por meio da integração do planejamento

entre as políticas urbanas e a universalização do acesso ao serviço de transporte público de qualidade.

No dia primeiro de janeiro de 2019, com a publicação da Portaria Provisória nº 870 (BRASIL, 2019), houve a fusão entre o Ministério das Cidades e o Ministério da Integração Nacional, dando origem ao Ministério do Desenvolvimento Regional. O art. 29 da referida Portaria apresenta as áreas de competências do Ministério do Desenvolvimento Regional, entre estas, citam-se as políticas nacionais de desenvolvimento regional e urbano, recursos hídricos e segurança hídrica, irrigação (observadas as competências inerentes ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), habitação, saneamento, mobilidade urbana, além de serem responsáveis pela elaboração de metas, diretrizes, planos, ações e projetos voltados para a promoção de saneamento, habitação e mobilidade urbana.

2.3 SANEAMENTO BÁSICO E ARCAPOÇO LEGAL BRASILEIRO

A lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007) que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico brasileiro, define o saneamento básico como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

- Abastecimento de água potável, incluindo todas as atividades inerentes a captação, tratabilidade e destinação aos usuários; além da disponibilização da infraestrutura adequada para garantir o serviço e a manutenção da qualidade;

- Esgotamento sanitário, incluindo as atividades necessárias para a eficiência na operação do sistema, como a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos, e na manutenção da infraestrutura do sistema de esgotamento sanitário;

- Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, que inclui atividades, infraestrutura e instalações necessárias para a coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação adequada dos resíduos domiciliares e de limpeza urbana; e

- Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, incluindo as atividades, instalações e infraestrutura necessária para a captação, transporte, detenção ou retenção, tratamento e destinação final, e a manutenção do sistema de drenagem.

Porém, em se tratando do saneamento básico, Salles (2008) diz que a história do saneamento como setor iniciou em meados dos anos de 1960, quando se pensava na criação das companhias estaduais de saneamento, realização de investimentos e planejamento no abastecimento de água. Nesse período foi elaborado um projeto de saneamento para todo o

território nacional e, a partir da sua implementação, foi criado o Plano Nacional de Saneamento - PLANASA.

Com o PLANASA foram criadas novas companhias que se estendiam em todos os estados da federação. Mesmo com os investimentos, não foi possível observar o alcance de todas as metas estabelecidas para o abastecimento de água e esgotamento sanitário. O PLANASA, juntamente com o Banco Nacional da Habitação - BNH foram extintos oficialmente em 1986.

A nova política nacional do saneamento passou duas décadas em discussão, sendo publicada somente em 2007 pela Lei nº 11.445/2007. Enquanto isso, houve aplicações de vários programas federais no setor do saneamento como o Pró-Saneamento e o Pró-Infra. Além desses investimentos no âmbito do saneamento, em 1996, o Governo Federal criou o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA do Ministério das Cidades. O SNIS é o maior sistema de informação sobre o setor do saneamento brasileiro; atualmente, o sistema contempla informações sobre todas as variantes do saneamento básico.

O inc. XX do art. 21 do Cap. 2 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), diz que compete à União instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, e deixa explícito a inclusão das vertentes do saneamento básico, além da habitação e transporte público. O inc. IX do art. 23, acrescenta a competência a nível compartilhado entre a União, os Estados, Distrito Federal e os Municípios, da promoção de programas para melhoria na infraestrutura de saneamento básico, das condições habitacionais e construções de novas moradias.

Complementando essas informações, o inc. V do art. 30, diz que cabe aos municípios organizar e oferecer à população, diretamente ou sob concessão ou permissão, os serviços públicos necessários para o bem-estar geral, incluindo os de caráter essencial como o transporte público.

Existem diversos instrumentos acerca do saneamento, como leis, decretos, portarias, resoluções e normas metodológicas (Quadros 3 e 4) nas esferas federal, estaduais e municipais. Em nível municipal, citam-se como instrumentos legais: Plano Diretor do Município; Plano de Saneamento Básico; Plano Diretor de Drenagem; Plano de Resíduos Sólidos; Lei de Uso e Ocupação do Solo; Lei de Parcelamento do Solo; Código de obras; Lei de Zoneamento de Áreas Especiais e de Interesse Social, entre outros.

Quadro 3 - Instrumentos legais federais acerca do saneamento no Brasil - Leis e Decretos

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Lei n° 5.318/1967</i> |
| Institui a Política Nacional de Saneamento e cria o Conselho Nacional de Saneamento. |
| <i>Constituição Federal de 1988</i> |
| Assegura o exercício dos direitos sociais e individuais, a liberdade, a segurança, o bem-estar, o desenvolvimento, a igualdade e a justiça. |
| <i>Lei n° 8.036/1990</i> |
| Dispõe sobre o Fundo de Garantia do Tempo de Serviço, e dá outras providências. |
| <i>Lei n° 8.078/1990</i> |
| Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. |
| <i>Lei n° 8.987/1995</i> |
| Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. |
| <i>Lei n° 9.074/1995</i> |
| Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. |
| <i>Lei n° 9.605/1998</i> |
| Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. |
| <i>Lei n° 10.257/2001</i> |
| Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. |
| <i>Lei n° 11.107/2005</i> |
| Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. |
| <i>Projeto de Lei n° 7.361/2006</i> |
| Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. |
| <i>Lei n° 11.445/2007</i> |
| Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. |
| <i>Lei n° 12.305/2010</i> |
| Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. |
| <i>Lei n° 13.089/2015</i> |
| Institui o Estatuto da Metr pole, altera a Lei no 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências |
| <i>Decreto n° 5.440/2005</i> |
| Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação. |
| <i>Decreto n° 7.217/2007</i> |
| Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Quadro 4 - Instrumentos legais Federais acerca do saneamento - Portarias e Resoluções

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Portaria de Consolidação n° 5/2017</i> |
| Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. |
| <i>Resolução CONAMA n° 01/1986</i> |
| Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impactos ambientais. |
| <i>Resolução CONAMA n° 05/1988</i> |
| Dispõe sobre o licenciamento de obras de saneamento. |

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Resolução CONAMA n° 237/1997</i> |
| Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. |
| <i>Resolução CONAMA n° 54/ 2005</i> |
| Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. |
| <i>Resolução CONAMA n° 357/2005</i> |
| Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. |
| <i>Resolução CONAMA n° 369/2006</i> |
| Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em área de Preservação Permanente - APP. |
| <i>Resolução CONAMA n° 375/2006</i> |
| Dispõe critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. |
| <i>Resolução CONAMA n° 377/2006</i> |
| Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistema de Esgotamento Sanitário. |
| <i>Resolução CONAMA n° 430/2011</i> |
| Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357 |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Apesar dos instrumentos legais existentes no Brasil, os investimentos destinados ao saneamento básico ainda são insuficientes. Leoneti, Prado e Oliveira (2011) estudaram sobre os investimentos ocorridos no saneamento brasileiro e sobre a sustentabilidade para o Século XXI. Os autores afirmam que os investimentos, desde 1950, foram pontuais, contribuindo para a não universalização dos serviços, o aumento da desigualdade e o déficit no acesso. Além disso, tais investimentos partiram predominantemente da iniciativa pública, sem uma definição concreta a respeito das responsabilidades de cada um dos níveis de governança (Federal, Estadual e Municipal). Os autores concluíram que ainda é necessária uma melhoria na infraestrutura e na governança deste setor com um bom planejamento nos recursos investidos.

2.4 DRENAGEM URBANA E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

O SNIS calcula anualmente os índices de atendimento dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos urbanos, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Esses índices são feitos a partir de dados informados pelas prestadoras de serviços e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e são calculados através de estimativas com base no percentual da população urbana do último censo demográfico.

A drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas foi o último serviço de saneamento incorporado ao diagnóstico anual; sendo, portanto, o que possui menos dados monitorados em nível nacional. O primeiro diagnóstico realizado para a Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas - DMAPU foi elaborado com informações e indicadores SNIS do ano de 2015.

Para a realização do diagnóstico foram consultados 2.541 dos 5.570 municípios brasileiros, representando 45,6% do total; responsáveis por 62,7% da população brasileira em 2015 e 66,8% da população urbana (BRASIL, 2018). A Tabela 1 apresenta a caracterização global dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas para os municípios participantes.

Tabela 1 - Caracterização global dos serviços de DMAPU

| INFORMAÇÃO | TOTAL |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Percentual de municípios com sistemas de águas pluviais exclusivos para drenagem. | 53,1% |
| Extensão total de vias públicas urbanas com pavimento e meio-fio (ou semelhante) ^a | 2.792.532,7 km |
| Quantidade de captações ^b | 5.795.151 captações |
| Extensão total de vias públicas urbanas com rede ou canais de águas pluviais subterrâneos ^c | 1.886.434,8 km |
| Extensão total de vias públicas urbanas com soluções de drenagem natural (faixas ou valas de infiltração) | 19.198,5 km |
| Percentual de municípios com vias públicas urbanas com canais artificiais abertos | 18,7% |
| Quantidade total de reservatórios de DMAPU ^d | 274 reservatórios |
| Quantidade total de parques lineares ^e | 347 parques lineares |
| Percentual de municípios que não realizaram intervenção ou manutenção no sistema de drenagem | 23,0% |

a - Foram expurgadas as informações dos municípios com extensão total de vias públicas com pavimento e meio-fio (ou semelhante) superior à extensão total de vias públicas urbanas.
b - Foram expurgadas as informações dos municípios com IN051 superior a 2.000 captações/km² (YAZAKI, 2018).
c - Foram expurgadas as informações dos municípios com extensão total de vias públicas urbanas com redes ou canais de águas pluviais subterrâneas superiores à extensão total de vias públicas urbanas.
d - Foram expurgadas as informações de reservatórios com volume igual a zero e aqueles com IN051 superior a 30.000 m³ por Km² (YAZAKI, 2018).
e - Foram excluídas as informações com parques lineares de área igual a zero.

Fonte: Adaptado do SNIS (BRASIL, 2018).

Com os dados apresentados pela Tabela 1 percebe-se que apenas 53,1% dos municípios possuem sistema de águas pluviais exclusivo para drenagem, e conseqüentemente, 46,9% dos municípios amostrados estão em situação irregular perante a legislação brasileira, pois na Seção III, o parágrafo 2º do art. 9º do Decreto de nº 7.217/2010 (BRASIL, 2010) relata que as leis e normas poderão prever penalidades para os casos de lançamento de águas pluviais ou de esgotos

com características não compatíveis com a rede de esgotamento sanitário, deixando exposta a recomendação da execução de sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto.

Outra informação relevante é a porcentagem de municípios com vias públicas urbanas contendo canais artificiais abertos (18,7%). Nesta disposição, as águas pluviais encontram-se mais expostas à poluição de forma pontual e difusa, além de serem convidativas a atos insustentáveis como o lançamento de resíduos e ligações clandestinas de efluentes domésticos.

2.4.1 Gestão das águas pluviais

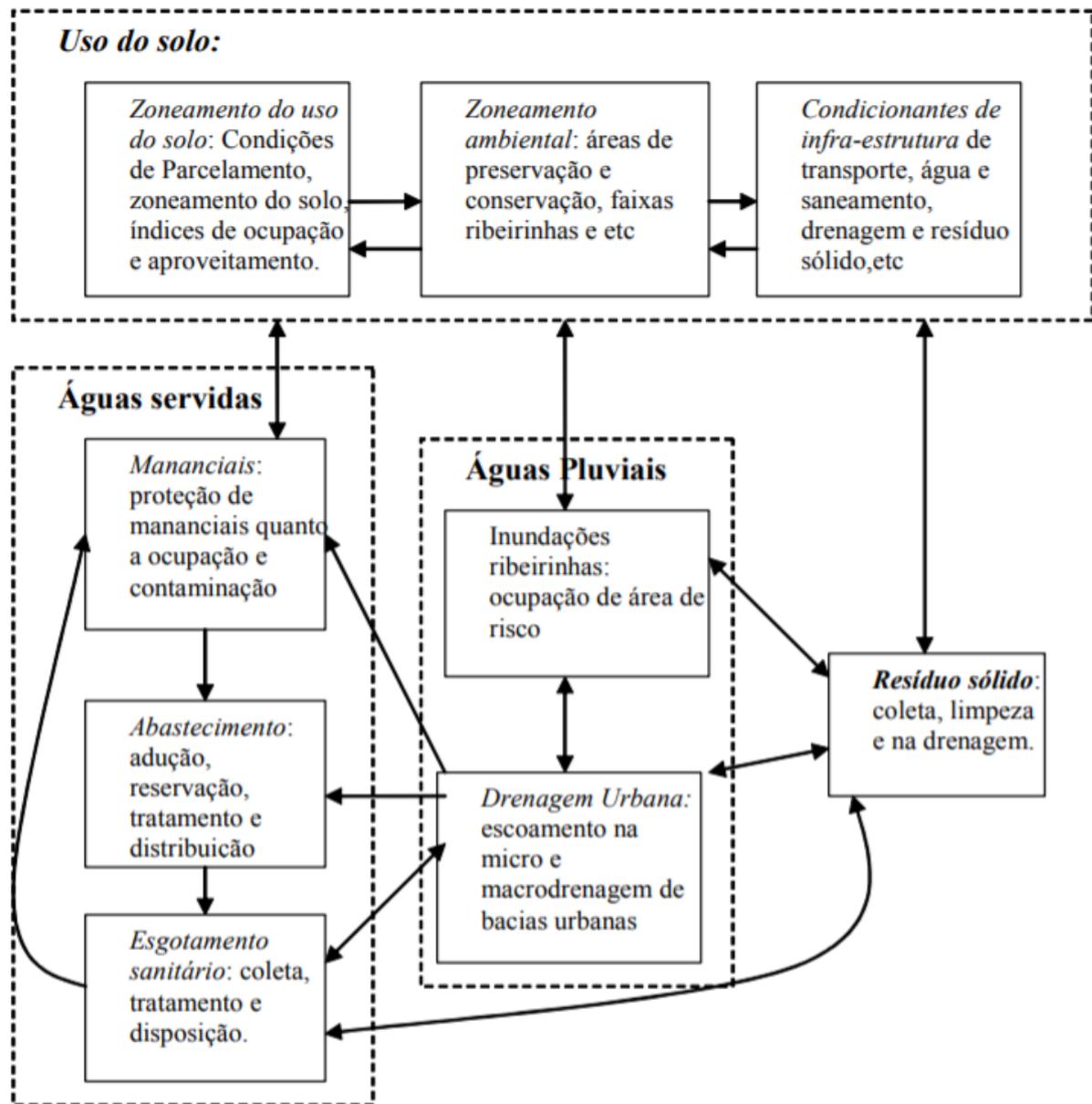
No contexto urbano, atualmente, o que se tenta colocar em prática é a gestão sustentável e integrada dos serviços de saneamento básico. Para a realização desse tipo de gestão, se faz necessário o conhecimento do uso do solo, da infraestrutura existente com suas potencialidades e fragilidades, dos instrumentos legais e das tendências de expansão da cidade.

Kirshen *et al.* (2018) afirmam que alguns dos problemas devidos ao mal gerenciamento dos sistemas urbanos poderiam ser resolvidos a partir de planejamento integrados das águas urbanas. Este planejamento se caracteriza pelo gerenciamento holístico das águas e efluentes, com a finalidade de alcançar benefícios sustentáveis nos âmbitos econômico, social e ambiental. Desta forma, os sistemas seriam gerenciados em conjunto, em vez de separadamente.

Santos (2016) apresenta um modelo baseado no planejamento estratégico e enfoque integrado para o uso das águas urbanas. O planejamento estratégico é composto pelas seguintes etapas: elaboração da visão, organização dos cenários e preparação de estratégias que auxiliem o alcance da visão.

Grande parte dos problemas relacionados à infraestrutura das águas urbanas tem sido provocado pelo mau planejamento, já que historicamente, os sistemas são construídos de forma setorializada e sem inter-relação. Para o planejamento urbano, deve-se levar em consideração aspectos relacionados ao planejamento do desenvolvimento urbano; abastecimento de água e saneamento; transporte; drenagem urbana e controle de enchentes; resíduos sólidos e controle ambiental (TUCCI, 2002). Em se tratando do planejamento das águas urbanas, o entendimento das inter-relações (Figura 1) entre os sistemas é fundamental para a eficiência da gestão e a manutenção da qualidade das águas.

Figura 1 - Relação entre os sistemas das águas urbanas.



Fonte: Tucci (2005).

Souza (2013) pesquisou sobre a gestão da drenagem urbana no Brasil e seus desafios para atingir a sustentabilidade. Segundo o autor, os sistemas existentes estão fadados a falhas em longo prazo, pois os projetos seguem comumente um padrão de eficiência hidráulica de condutos, não levando em consideração os impactos ocorridos na bacia. Avanços significativos no campo teórico foram observados nos últimos anos em relação à abordagem integrada do planejamento urbano, a sustentabilidade dos sistemas de drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas. Contudo, ainda existe uma relativa dificuldade para colocar em prática o conhecimento científico adquirido.

O autor acrescenta que há muitas lacunas a serem preenchidas para uma mudança efetiva no tratamento da drenagem e manejo de águas pluviais, entre elas citam-se o monitoramento e modelagem dos processos hidrológicos, a compreensão das inter-relações entre as águas urbanas e o uso do solo, a difusão da conscientização de que cursos d'água não são canais de esgoto, a integração entre os instrumentos legais e a difusão do conhecimento da sustentabilidade em sistemas de drenagem para os profissionais à frente da drenagem e ao manejo das águas pluviais.

2.4.2 Indicadores para a gestão das águas pluviais

De acordo com Carvalho *et al.* (2014) a relação entre o meio ambiente e os seres humanos pode ser expressa através de indicadores de saúde ambiental. Os indicadores têm sido presentes no mundo contemporâneo em diversas pesquisas científicas como a de Vidal (2019), Fatemi *et al.* (2017), Silva (2016), Santos (2015) e Van Bellen (2004), auxiliando na compreensão de relações entre fatores naturais e antrópicos sobre a saúde ambiental, desenvolvimento humano, econômico, social, entre outros.

O termo indicador pode assumir diversos significados e, comumente, associa-se a uma informação sobre uma determinada condição. De acordo com as Nações Unidas (1999 apud SILVA, 2016, p. 90) “*indicador é uma ferramenta para esclarecer e definir com mais precisão, os objetivos e impactos; são medidas verificáveis das mudanças ou resultados; projetado para ter um padrão contra o qual se avalia, estima ou demonstra progresso em relação a metas estabelecidas*”. Desta forma, o indicador se torna uma ferramenta eficiente para descrever aspectos que dão subsídios para inferir conclusões.

Maranhão (2007, p. 39) conceitua o indicador como uma “*ferramenta de avaliação referida a uma característica específica e observável, mensurável em escala quantitativa ou qualitativa, ou a uma mudança que pode ser avaliada em relação a um critério previamente selecionado e que mostra a evolução de uma política ou de um ou mais programas implementados [...]*”. Tais Indicadores auxiliam na avaliação das características em estudos e contribuem para as tomadas de decisões em relação à intervenção. O autor ainda acrescenta que um indicador pode ser representado por dado estatístico que fornece estimativa de um resultado, ou de uma certa condição ou desempenho de um processo.

Carvalho *et al.* (2014) comentam que dentro de uma mesma área geográfica podem ser visualizadas diversas realidades quando se analisam a saúde, economia, densidade demográfica, serviços de saneamento básico, entre outros aspectos que expressam significativamente as

desigualdades existentes no Brasil; e que as análises dos municípios por indicadores, como por exemplo de saúde ambiental, são de grande relevância para influenciar a geração de discussões sobre os temas e as possíveis formas de melhorias.

Silva (2016) diz que indicadores econômicos e de qualidade de vida urbana são ineficientes para expressar a interdependência entre questões sociais, desenvolvimento econômico e preservação ambiental, sendo necessária a aplicação de novos indicadores de desempenho urbano para auxiliar na manutenção do meio natural; pois, embora seja evidente que há uma influência das cidades no meio natural além dos seus limites, e do meio com a cidade, essa inter-relação não é retratada no planejamento das áreas urbanas.

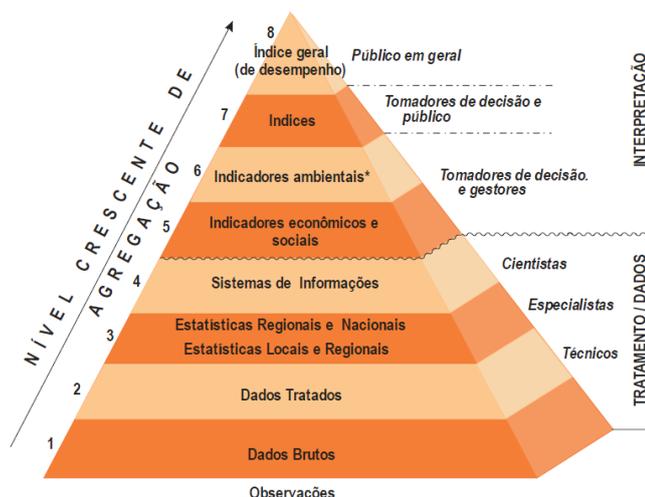
Em relação à sustentabilidade, Van Bellen (2004) enfatiza que os indicadores são ferramentas importantes na mensuração do desenvolvimento em organizações públicas e privadas. As análises de sustentabilidade por indicadores só serão bem sucedidas se incorporadas as dimensões ambiental, desempenho econômico e de qualidade de vida (VEIGA, 2010).

Maranhão (2007) relata que são as necessidades dos usuários que orientam a utilização dos indicadores. Porém, mesmo dependendo dos objetivos e necessidades, há usos que são predominantes, como: medição de desempenho de políticas públicas, projetos, planos e programas; caracterização do estado dos recursos hídricos ou meio ambiente de um país, município ou bacia hidrográfica; integração do processo decisório econômico e ambiental e a integração entre interesses externos e internos.

Ainda de acordo com o autor, o planejamento e a gestão de recursos naturais exigem a execução de alguns passos. Inicialmente realiza-se a coleta dos dados brutos e, em seguida, o tratamento, para serem associados com dados já existentes. As informações resultantes dessas associações conectam a ciência com a realidade e orientam as tomadas de decisões sustentáveis. Após a realização das associações e reflexões sobre as inter-relações entre os dados, estes são processados nos sistemas de informação e, posteriormente, calculados os indicadores e índices.

A Figura 2 apresenta a pirâmide da informação na gestão dos recursos naturais. Vale salientar que à medida em que se processa a agregação e tratamento dos dados, a quantidade e diversidade destes diminui gradualmente.

Figura 2 - A pirâmide da informação na gestão de recursos naturais e a geração do conhecimento.



Fonte: Maranhão (2007).

Com relação aos critérios de escolha de indicadores, Silva (2016) cita alguns que são comumente utilizados em trabalhos científicos. São eles: a validade científica do indicador; a compreensibilidade, simplicidade e clareza; mensurabilidade; frequência de medição; sensibilidade para lidar com as alterações realizadas por ações antrópicas; comparabilidade e a capacidade de ser modificado (atualizado).

Os Quadros 5 e 6 apresentam, respectivamente, alguns estudos baseados em indicadores com seus critérios de escolha e, indicadores associados ao manejo sustentável das águas pluviais. Os indicadores (Quadro 6) estão agrupados nas dimensões ambiental, social, econômica, política, cultural e técnica ou de gestão e elencados juntamente com os problemas associados ao manejo das águas pluviais, dimensões e descrição.

Quadro 5 - Critérios apresentados por diferentes autores para seleção de indicadores.

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Tema em foco: Sistema ecológico Uso e objetivo: indicadores ecológicos para monitoramento, avaliação e gestão dos recursos naturais Escala: local e global Autor: Dale e Beyeler (2001)</p> | <p>Critérios de seleção</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Seja mensurável facilmente 2. Seja sensível a tensões no sistema 3. Responda a tensões de maneira previsível 4. Seja antecipatório 5. Prediga mudanças que podem ser evitadas por ações da gestão |
| <p>Tema em Foco: Manejo Florestal Usos e objetivos: melhorar o manejo florestal, o bem-estar humano e a sustentabilidade dos recursos naturais. Escala: local, regional e global Autor: Ritchie <i>et al.</i> (2001)</p> | <p>Critérios de seleção</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Expressar o significado do manejo florestal sustentável para a comunidade; 2. Avaliar o desempenho diante de objetivos predefinidos; 3. Monitorar os impactos das intervenções de manejo; 4. Registrar mudanças; 5. Fornecer diretrizes de ação para o manejo sustentável através da identificação de melhores práticas; 6. Adaptar estratégias de manejo. |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Tema em Foco: Sistemas Agroflorestais Uso e objetivos: grupo de indicadores úteis na avaliação e monitoramento da sustentabilidade em sistemas agroflorestais Escala: local e regional Autor: Daniel <i>et al.</i> (2001)</p> | <p>Crítérios de seleção</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Relevante para objetivos, metas, orientação e planejamento global; 2. Adequado para escala; 3. Sensibilidade a alteração em escala espacial e temporal; 4. Baixo custo de aplicação; 5. Confiabilidade, clareza e de fácil compreensão; 6. Orientado às dimensões de sustentabilidade. |
| <p>Tema em Foco: Serviços públicos Usos e objetivos: indicadores de desempenho de serviços públicos Escala: local – global Autor: Deus (2000)</p> | <p>Crítérios de seleção</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Proporcionar uma visão das condições, das pressões ambientais e das respostas da sociedade; 2. Ser simples, de fácil interpretação e capaz de mostrar as tendências através do tempo; 3. Ser aplicável em escala local, regional ou nacional, segundo seja o caso; 4. Proporcionar uma base para as comparações internacionais; 5. Deve existir um valor de referência para que se possa comparar o seu valor, facilitando assim sua interpretação em termos relativos. |
| <p>Tema em Foco: Integridade ecológica Usos e objetivos: índice de integridade ecológica terrestre para gestão dos ecossistemas Escala: global Autor: Andreasen <i>et al.</i> (2001)</p> | <p>Características dos indicadores</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Multi escala; 2. Fundamentado em história natural; 3. Relevante e útil 4. Flexível; 5. Mensurável; 6. Compreensível: composição, estrutura e função |

Fonte: Adaptado de Silva (2016).

Com os Quadros 5 e 6 foi observado que os indicadores são ferramentas úteis para aplicações em diversas áreas, proporcionando a mensuração em diferentes escalas, análises de impactos devidos aos sistemas ou atividades aplicadas e contribuem para a melhoria contínua dos sistemas analisados. Contudo, deve ser feito um julgamento crítico a respeito da sensibilidade dos indicadores e das respostas que os mesmos oferecerão após as aplicações.

Quadro 6 - Lista de indicadores relacionados a problemas no manejo de águas pluviais.

| Dimensão | Problemas relacionados ao Manejo de Águas Pluviais - MAP | Indicadores possíveis | Descrição |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ambiental | Aumento da Impermeabilização do solo | Variação de vazões máximas devido às chuvas | Avaliar a frequência do aumento das vazões máximas, consequência das impermeabilizações |
| | | Percentual de área urbana construída/impermeabilizada | Avaliar a influência da área impermeabilizada no incremento do escoamento superficial |
| | | Percentual de incremento de vazões máximas | Avaliar o efeito do aumento das vazões de cheia causada pela impermeabilização |
| | | Existências de legislação com cobrança ou subsídios para reserva da área permeável em lotes/ loteamento | Avaliar se a administração possui ações que reduza o escoamento superficial e o incremento das vazões |
| | Diminuição da proteção do solo | Percentual de expansão urbana ao longo do tempo | Avalia a proporção de crescimento da malha urbana e o nível de impermeabilização |
| | | Percentual de áreas urbanas com cobertura vegetal | Avalia a proporção de áreas com cobertura vegetal |
| | | Percentual de ocupações urbanas em APPs. | Avalia a ocupação irregular com supressão da cobertura vegetal |
| | | Percentual de uso de cobertura vegetal no sistema de águas pluviais (SAP) | Avalia a utilização de vegetação na implantação de SAP |
| | Interferência física nos canais de escoamento | Taxa de assoreamento de canais pelo arraste de sedimentos | Avalia a redução da lâmina de água do córrego ou canal devido ao aporte de sedimentos |
| | | Existência de extração de areias e cascalhos instalados na bacia (regulares e irregulares) | Avalia a consequência da extração de areias e cascalhos e o impacto causado no canal ou córrego de assoreamento e instabilidade das margens |
| | | Percentual do comprimento de canais reestruturados com revestimento, tamponamento, retificação e ampliação de calha | Avalia a consequência da reestruturação do canal e seu efeito no escoamento das águas superficiais em períodos de chuvas. |
| | Impacto na qualidade dos recursos hídricos | Frequência de ultrapassagem dos limites dos padrões de qualidade | Avalia a consequência de impacto do escoamento superficial na qualidade das águas superficiais de canais e córregos |
| | | Diversidade da Fauna de peixes | Avalia o impacto do escoamento superficial na biodiversidade de canais e córregos em períodos pós chuva |
| | | Indicador de espécie única | Avalia a saúde ambiental dos sistemas aquáticos por meio de ausência ou presença de espécie específica sensível a alterações da qualidade do recurso hídrico |

| Dimensão | Problemas relacionados MAP | Indicadores possíveis | Descrição |
|------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Social | Déficit no atendimento à população | Percentual da área atendida pelo sistema | Avalia a cobertura do sistema em porcentagem |
| | | Extensão da cobertura do sistema de manejo de águas pluviais | Avalia a extensão da cobertura do sistema em relação a área do município |
| | | Percentual de atendimento urbano de águas pluviais | Avalia a cobertura do sistema em relação ao atendimento à população |
| | Ocupação de áreas com riscos de inundações ou de escorregamentos | Existência de Plano municipal de ação de emergência para problemas causados pela chuva | Avalia a existência de planos de emergência municipal de pessoas em situações de ocupações de áreas de risco de inundação e deslizamentos |
| | | Extensão das áreas atingidas por inundações e deslizamentos que ocorrem no Município | Mapeamento das áreas atingidas por inundações e ou deslizamentos no município |
| | | Extensão da área com registro de riscos de inundações e deslizamentos ocupadas no Município | Mapeamento das áreas de risco de inundações ou deslizamentos que são ocupadas pela população |
| | | Percentual de famílias atingidas (desalojadas / feridos/ mortos) por inundações e deslizamentos que ocorrem no Município | Avalia o percentual de pessoas atingidas e que de alguma maneira sofrem as ações e os efeitos danosos das inundações e deslizamentos |
| Econômica | Deficiência orçamentária do SAP | Existência de orçamento próprio (Autossuficiência financeira) | Avaliar se o departamento responsável possui orçamento próprio para o manejo de águas pluviais |
| | | Efetividade do orçamento utilizada no SAP | Avalia se o orçamento disponível para manejo de águas pluviais está sendo usado de maneira efetiva |
| | | Investimento per capita em drenagem urbana | Avalia o valor investido pelo departamento responsável per capita |
| | Custos gerados por deficiências no manejo de águas pluviais | Redução da arrecadação devido a interrupção dos serviços e do fluxo de mercadorias | Avalia o impacto sobre a arrecadação pela interrupção dos serviços, do fluxo de mercadorias, da estagnação das exportações e importações, prejuízos e perdas extensivas |
| | | Valor do investimento para recuperação das perdas materiais provenientes de inundações e deslizamentos | Avalia a valor a ser investido para recuperação das áreas afetadas pelas chuvas |
| | | Estimativa da perda mensal da produção em decorrência das chuvas | Estima a perda econômica no setor produtivos em decorrência das chuvas |

| Dimensão | Problemas relacionados ao MAP | Indicadores possíveis | Descrição |
|-----------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Política | Deficiência na participação pública | Existência de mecanismos avaliação sistemática pelo usuário da qualidade dos serviços de SAP | Avalia se existe a possibilidade de o usuário avaliar a qualidade dos serviços prestados na área de manejo de águas pluviais |
| | | Existência de reuniões regulares entre os gestores e a população para discussão de problemas relacionados ao SAP | Avalia a existência de reuniões periódica entre gestores e população para discussões sobre o manejo de águas pluviais |
| | | Existência de conselhos municipais de participação pública relacionados ao manejo de águas pluviais | Avalia a possibilidade da participação pública nos conselhos municipais para discussão de temas relacionados ao manejo de águas pluviais |
| | | Existência de envolvimento do público no monitoramento | Avalia a possibilidade da participação da população no monitoramento dos eventos relacionados ao manejo de águas pluviais |
| | Deficiência na normatização | Existência de legislação municipal com exigências controle de destinação final de águas pluviais | Avalia a existência de legislação que exige o controle da destinação das águas pluviais por parte da população e dos empreendedores |
| | | Existência de Plano Diretor de Manejo de águas pluviais Urbana regulamentado | Avalia a existência de Plano Diretor regulamentado específico para o manejo de águas pluviais |
| | Deficiência na integração interna para a Gestão do SAP | Existência de ações periódicas de integração entre setores de gestão urbana e equipes de manutenção e monitoramento | Avalia a existência de integração entre equipes de setores de gestão, gerenciamento e técnica relacionados ao manejo de águas pluviais |
| | | Existência de instrumentos para padronização de projetos viários e que reduzam a interferência no manejo de águas pluviais (Padrões para pavimentação, Manuais com requisitos para manejo das águas pluviais) | Avalia a existência de instrumentos de padronização de projetos e que interfiram minimamente na dinâmica do ciclo hidrológico |
| | Deficiência na articulação intermunicipal | Existência de programas intermunicipais de manejo de águas pluviais | Avalia a existência de programas de gestão das águas pluviais por bacia hidrográfica, não se limitando ao território do município |
| | | Existência de reuniões periódicas intermunicipais relacionados ao manejo de água pluviais | Avalia a existência de reuniões periódicas das equipes intermunicipais relacionadas ao manejo de águas pluviais |

| Dimensão | Problemas ao MAP | Indicadores possíveis | Descrição | |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cultural | Concepções de SAP que alteram o ciclo hidrológico original | Percentual de área atendida por técnicas mais sustentáveis (BMP, LID, técnicas compensatórias) | Avalia o percentual de métodos de manejo mais sustentáveis ou mais próximos do ciclo hidrológico original estão sendo utilizados | |
| | | Percentual de área desconectada do Sistema convencional de drenagem | Avalia quanto de área da bacia está conectada ao sistema convencional de drenagem e quanto está sendo contida na própria área de captação. | |
| | Deficiência na educação da sociedade para o manejo das águas pluviais | Existência de projetos/programas de conscientização em escolas, instituições públicas e privadas e comunidades. | Avalia o processo de conscientização da sociedade para os problemas relacionados ao manejo de águas pluviais | |
| | | Avaliação da percepção da sociedade a respeito do manejo de águas pluviais | Avalia sistematicamente as percepções dos usuários sobre os sistemas de manejo de águas pluviais e sistematiza para futuras aplicações | |
| | Lançamento e Controle Inadequados de Resíduos Sólidos | Percentual dos resíduos que não são encaminhados para a disposição final com possibilidade de assorear canais e dutos | Avalia o volume de resíduos que não tem destino correto e que podem vir a interromper o fluxo do SAP | |
| | | Quantidade de lançamentos de RSU próximos a canais e córregos | Avalia a quantidade de resíduos, principalmente da construção civil, que por ventura possam obstruir canais e dutos de SAP | |
| | | Volumes de resíduos causadores de obstrução de canais e dutos | Avalia o volume de resíduos sólidos responsável pela interrupção do fluxo do SAP | |
| | Técnica ou de Gestão | Deficiência na capacitação técnica | Existência de cursos de especialização, treinamento e capacitação de técnicos. | Avalia o compromisso da administração pública com o aperfeiçoamento do seu corpo técnico |
| | | | Percentual de profissionais enviados periodicamente à capacitação profissional | Avalia se a quantidade de profissionais é satisfatória |
| Deficiências na Elaboração de projeto do SAP | | Existência de trabalhadores capacitados com atuação em projetos de SAP | Avalia a experiência dos responsáveis pelo SAP estão capacitados para realização de atividades de gerenciamento relacionadas ao SAP | |
| | | Existência de falhas, imprecisões em projetos básicos | Avalia se os projetos estão sendo realizados de maneira adequada | |
| Deficiências na execução de projetos do SAP | | Extensão de canais e galerias com interferências de outros sistemas da infraestrutura urbana | Avalia a existência de interferências de outros sistemas de água, esgoto, etc. no SAP | |
| | | Existência de trabalhadores capacitados com atuação no manejo de águas pluviais | Avalia a capacidade técnica da equipe responsável pelo SAP na execução de atividades relacionadas ao sistema | |
| Deficiência na manutenção do SAP. | | Frequência de rompimentos anuais de canais e dutos e entupimentos de córregos por falta de manutenção | Avalia a quantidade de rompimentos do sistema e se esses rompimentos ou entupimentos estão relacionados à falta de manutenção. | |
| | | Existência de plano de manutenção preventiva dos canais | Avalia a existência de planos de manutenção preventiva | |
| | | Frequência de execução do plano de manutenção preventiva | Avalia se, havendo, plano de manutenção preventiva do sistema, a execução do mesmo está o correndo com frequência adequada | |
| | | Frequência de redução do fluxo por entupimento do canal devido à falta de manutenção | Avalia a frequência do entupimento do SAP devido à falta de manutenção | |

Fonte: Silva (2016).

2.5 QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

O termo águas urbanas engloba as águas dos sistemas de saneamento (abastecimento, drenagem e esgoto), inundações ribeirinhas e a gestão dos sólidos totais (TUCCI, 2008). Incluem-se nessas águas, corpos hídricos inseridos no meio urbano como lagos, lagoas e canais; devido ao local em que se situam, zona urbana, as mesmas estão sujeitas a altos níveis de poluição antrópica e alterações morfológicas e hidrológicas, degradando a qualidade das mesmas (TEURLINCX *et al.*, 2019).

Em se tratando de ambientes aquáticos, citam-se como principais problemas possivelmente enfrentados por estes ecossistemas, a eutrofização, a presença de espécies aquáticas invasoras, os efeitos devido à modificação na hidrologia, a alteração do habitat natural, as mudanças na quantidade e qualidade da água devido às alterações climáticas, a presença de produtos químicos e micropoluentes, a perda de biodiversidade e espécies ameaçadas, a captação de água, a superexploração de recursos hídricos e os impactos agrícolas (DOWNING, 2014).

Entre os problemas citados, Teurlinx *et al.* (2019) destacam como mais danosos para a qualidade das águas urbanas a eutrofização, as espécies invasoras, as alterações hidrológicas, as alterações dos habitats, as mudanças climáticas e a presença de micropoluentes.

A alteração do perfil natural para o urbanizado modifica o balanço hídrico natural devido à impermeabilização do solo, o que reduz a evapotranspiração e infiltração e aumenta o escoamento superficial, gerando as águas pluviais urbanas, que são captadas pelos sistemas de drenagem e transportadas para os córregos naturais. Devido a isso, há modificações de diversos âmbitos, como na morfologia do canal natural e qualidade das águas (ANIM *et al.*, 2019).

Os impactos nas águas urbanas são maiores quando há a ligação de esgoto na rede de drenagem, contaminando as águas pluviais e os corpos hídricos receptores. McLellan e Roguet (2019) comentam que as tubulações de esgotos são ambientes propícios para a proliferação de diversas espécies de bactérias e estas são propagadas para os ambientes aquáticos por meio das ligações à rede de drenagem.

Tucci (2008) relata que o desenvolvimento das cidades tem produzido um ciclo de contaminação a partir dos efluentes urbanos. Esse ciclo é decorrente das seguintes razões:

- Lançamento de esgoto bruto em corpos d'água;
- O escoamento de efluentes com altas cargas orgânicas e de metais para os rios;

- Contaminação das águas subterrâneas devido ao contato com efluentes domésticos, industriais e águas pluviais poluídas;
- Contaminação das águas superficiais e subterrâneas devido aos depósitos de resíduos sólidos;
- Uso e ocupação do solo sem análises dos possíveis impactos no sistema hídrico.

O autor ainda acrescenta alguns problemas associados à infraestrutura urbana de água ocasionados pela falta de planejamento, que são:

- Inexistência de tratamento de esgotos sanitários;
- Inundações de áreas ribeirinhas devido a ocupação;
- Inundações devido à impermeabilização do solo e falta de rede de drenagem urbana;
- Aumento da vazão de cheias devido à impermeabilização e à canalização de rios;
- Diminuição da qualidade das águas de rios urbanos ou no seu entorno, com consequente diminuição na disponibilidade de água para abastecimento humano;
- Aumento da carga de resíduos e a diminuição da qualidade da água pluvial urbana.

A qualidade das águas, naturais ou servidas, é uma descrição das suas características físicas, químicas, biológicas e radiológicas. No Brasil, as águas superficiais são classificadas em águas doces, salobras e salinas, de acordo com as suas características. Os limites entre as classes das águas e os parâmetros que as diferenciam estão expostos na Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

A água deverá ter características compatíveis com o uso destinado. O uso mais nobre é o abastecimento humano, normatizado pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde, em seu Anexo XX (BRASIL, 2017a), que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Em se tratando dos diferentes usos água, Von Sperling (2014) apresenta alguns usos específicos associados com a qualidade que é requerida (Quadro 7).

No Brasil, até o momento, não há documentos específicos que estabeleçam um padrão de qualidade das águas pluviais urbanas para lançamento em um corpo receptor pois, teoricamente, essas possuem qualidade suficiente para serem lançadas em um corpo hídrico sem tratamento prévio.

Quadro 7 - Associação entre os usos da água e os requisitos de qualidade.

| Uso geral | Uso específico | Qualidade requerida |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abastecimento de água doméstico | - | <ul style="list-style-type: none"> - Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde; - Isenta de organismos prejudiciais à saúde; - Adequada para serviços domésticos; - Baixa agressividade e dureza; - Esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor, ausência de macrorganismos). |
| Abastecimento industrial | Água é incorporada ao produto (ex.: alimento, bebidas, remédios) | <ul style="list-style-type: none"> - Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde - Isenta de organismos prejudiciais à saúde; - Esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor). |
| | Água entra em contato com o produto | <ul style="list-style-type: none"> - Variável com o produto. |
| | Água não entra em contato com o produto (ex: refrigeração, caldeiras) | <ul style="list-style-type: none"> - Baixa dureza; - Baixa agressividade. |
| Irrigação | Hortaliças, produtos ingeridos crus ou com casca | <ul style="list-style-type: none"> - Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde; - Isenta de organismo prejudiciais à saúde; - Salinidade não excessiva. |
| | Demais plantações | <ul style="list-style-type: none"> - Isenta de substâncias químicas prejudiciais ao solo e às plantações; - Salinidade não excessiva. |
| Dessedentação de animais | - | <ul style="list-style-type: none"> - Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde dos animais; - Isenta de organismo prejudiciais à saúde dos animais |
| Preservação da flora e da fauna | - | <ul style="list-style-type: none"> - Variável com os requisitos ambientais da flora e da fauna que se deseja preservar |
| Aquicultura | Criação de animais | <ul style="list-style-type: none"> - Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde dos animais e dos consumidores; - Isenta de organismos prejudiciais à saúde dos animais e dos consumidores; - Disponibilidade de nutrientes |
| | Criação de vegetais | <ul style="list-style-type: none"> - Isenta de substâncias químicas tóxicas aos vegetais e aos consumidores; - Disponibilidade de nutrientes. |
| Recreação e lazer | Contato primário (contato direto com o meio líquido; ex.: natação, esqui, surfe) | <ul style="list-style-type: none"> - Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde; - Isenta de organismos prejudiciais à saúde; - Baixos teores de sólidos em suspensão e óleos e graxas. |
| | Contato secundário (não há contato direto com o meio líquido: ex.: navegação de lazer, pesca, lazer contemplativo). | <ul style="list-style-type: none"> - Aparência agradável |
| Geração de energia | Usinas hidrelétricas | <ul style="list-style-type: none"> - Baixa agressividade |
| | Usinas nucleares ou termelétricas (ex.: torres de resfriamento) | <ul style="list-style-type: none"> - Baixa dureza |
| Transporte | - | <ul style="list-style-type: none"> - Baixa presença de material grosseiro que possa por em risco as embarcações |
| Diluição de despejos | - | - |

Fonte: Von Sperling (2014).

Em contrapartida, a Resolução nº 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011, p. 2) que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes diz que efluente é o “*termo usado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos*” e que esgotos sanitários é uma “*denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não domésticos*”; desta forma, as águas pluviais poderiam ser entendidas como efluentes gerados pelo processo de interceptação e transporte dos sistemas de drenagem e/ou por águas de infiltração.

A qualidade das águas pluviais pode ser alterada por vários fatores, principalmente aqueles relacionados à área de captação e às contribuições recebidas durante seu percurso. De acordo com Tucci (2008) essas contribuições têm grande influência na qualidade devido ao aumento da quantidade de poluente na água, sendo uma das formas eficientes para avaliar a qualidade, as análises dos indicadores de poluição orgânica e a quantificação dos metais. A Tabela 2 apresenta algumas análises listadas por Tucci (2002) realizadas para caracterização das águas pluviais.

Tabela 2 - Valores médios de indicadores de qualidade da água pluvial em mg/l para algumas cidades.

| Parâmetro | Durham ¹ | Cincinnati ² | Tulsa ³ | P. Alegre ⁴ | APWA ⁵ | |
|------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| | | | | | Mínimo | Máximo |
| DBO | | 19 | 11,8 | 31,8 | 1 | 700 |
| Sólidos totais | 1440 | | 545 | 1523 | 450 | 14.600 |
| pH | | 7,5 | 7,4 | 7,2 | | |
| Coliformes (NMP/100ml) | 23.000 | - | 18.000 | 1,5x10 ⁷ | 55 | 11,2x10 ⁷ |
| Ferro | 12 | - | - | 30,3 | - | - |
| Chumbo | 0,46 | - | - | 0,19 | - | - |
| Amônia | - | 0,4 | - | 1,0 | - | - |

Fonte: Tucci (2002).

Nota: 1 - Colson (1974); 2 - Weibel *et al.* (1964); 3 - AVCO (1970); 4 - Ide (1984); 5 - APWA (1969).

Outro fator importante para a qualidade das águas pluviais urbanas é o tipo de sistema de esgoto sanitário. Mesmo a legislação brasileira adotando o tipo separador absoluto (rede pluvial e sanitária separadas) observa-se em algumas cidades o sistema combinado (águas pluviais e sanitárias em um mesmo conduto) devido a ligações clandestinas e/ou a falta de redes individuais.

Soma-se a isso, a falta de recursos financeiros de alguns municípios para a execução das obras de esgotamento, o que colabora para que a população lance seus esgotos não tratados

diretamente nas redes pluviais, diminuindo a qualidade das águas e gerando problemas futuros como a redução das reservas hídricas com qualidade para abastecimento (TUCCI, 2008).

2.5.1 Relação entre a qualidade das águas pluviais e a saúde humana

No ambiente urbano ou rural, as condições de saneamento influenciam a qualidade de vida da população. A água de abastecimento humano, por exemplo, necessita estar devidamente tratada e adequada ao consumo. Também é esperado que as águas servidas sejam recolhidas, tratadas e destinadas ao fim ambientalmente correto, impedindo a contaminação do solo e das águas subterrânea e superficial. O mesmo cuidado deve ser dado ao destino dos resíduos sólidos a fim de minimizar as possibilidades de contaminação do meio ambiente e os riscos à saúde humana.

Igualmente às outras vertentes do saneamento básico, as águas pluviais possuem relação direta com a saúde humana. Dependendo da qualidade que as águas pluviais apresentem, estas, podem ser utilizadas para diversos fins, ou simplesmente serem recolhidas, tratadas se necessário e destinadas a um corpo d'água receptor.

Dependendo das condições da infraestrutura de saneamento, urbanização, uso do solo, costumes da população e de fatores ligados à gestão do município, a água pluvial recolhida pelo sistema de drenagem poderá afetar a saúde humana. O Quadro 8 apresenta algumas doenças relacionadas com a água não tratada, as formas de transmissão e prevenção.

Quadro 8 - Doenças relacionadas com a água

| Grupo de doenças | Formas de transmissão | Principais doenças | Formas de prevenção |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Transmitidas pela via feco-oral. | O organismo patogênico é ingerido. | <ul style="list-style-type: none"> – Diarreias e disenterias, como a cólera e a giardíase; – Febres tifoide e paratifoide; – Leptospirose; – Amebíase; – Hepatite infecciosa; – Ascaridíase (lombriga). | <ul style="list-style-type: none"> – Proteger e tratar as águas de abastecimento e evitar uso de fontes contaminadas; – Fornecer águas em quantidade adequada e promover a higiene pessoal, doméstica e dos alimentos. |
| Controladas pela limpeza com a água | A falta de água e a higiene pessoal insuficiente criam condições favoráveis para sua disseminação | <ul style="list-style-type: none"> – Infecções na pele e nos olhos, como o tracoma e o tifo relacionado com piolhos, e a escabiose. | <ul style="list-style-type: none"> – Fornecer água em quantidade adequada e promover a higiene pessoal e doméstica. |

| Grupo de doenças | Formas de transmissão | Principais doenças | Formas de prevenção |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Associadas à água (uma parte do ciclo da vida do agente infeccioso ocorre em um animal aquático). | O organismo patogênico penetra pela pele ou é ingerido. | – Esquistossomose. | – Evitar o contato de pessoas com águas infectadas; – Proteger mananciais; – Adotar medidas adequadas para a disposição de esgotos; – Combater o hospedeiro intermediário. |
| Transmitidas por vetores que se relacionam com a água | As doenças são propagadas por insetos que nascem na água ou picam perto dela. | – Malária; – Febre amarela; – Dengue; – Filariose (elefantíase). | – Combater os insetos transmissores; – Eliminar condições que possam favorecer criadouros; – Evitar o contato com criadouros; – Utilizar meios de proteção individual. |

Fonte: Von Sperling (2014).

Com o Quadro 8 é possível observar as inter-relações existentes entre os sistemas de saneamento e a influência da precariedade dos sistemas com a qualidade de vida da população. Além disso, é perceptível que a contaminação das águas de drenagem devido a incorporação de resíduos sólidos e o lançamento de efluentes nos sistemas de drenagem, afetam diretamente a qualidade das águas e, conseqüentemente, maximiza o risco à saúde humana.

2.5.2 Pesquisas relacionadas à qualidade das águas de drenagem urbana

Lee *et al.* (2010) realizaram análises de caracterização química e microbiológica de águas pluviais coletas, por bécquer (diretamente da precipitação) e por sistema piloto, e de um reservatório superficial, a fim de verificar as diferenças de qualidade e a influência do meio. A pesquisa foi realizada na cidade de Gangneung localizada na península coreana. Com base nos resultados encontrados, os autores observaram que as águas captadas pelo sistema piloto tinham qualidade superior às águas do reservatório que abastece o município. Em relação aos coliformes totais, foi observada presença em 91,6% e 94,4% das amostras, respectivamente, nas águas captadas e no reservatório. Os autores concluíram que a captação de água da chuva é um recurso alternativo com um grande potencial para áreas urbanas.

Lee, Bak e Han (2012) analisaram a qualidade da água pluvial captada a partir da área do telhado para diferentes materiais de cobertura usados na Coréia do Sul. Foram estudadas coberturas

com telhas de madeira, concreto, cerâmica e aço galvanizado. As águas foram analisadas em termos de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Em síntese, entre os quatro tipos de telhas mais utilizadas, a que se apresentou mais adequada para a captação da água de chuva foi a telha de aço galvanizado, pois os indicadores analisados obedeceram às diretrizes Coreanas e da Organização Mundial da Saúde para água potável.

Ferreira e Matos (2012) caracterizaram, na zona baixa de Alcântara, em Lisboa/PT, as águas pluviais coletadas por dispositivos de drenagem em termos de indicadores físico-químicos e microbiológicos. Os resultados encontrados mostraram que as águas pluviais carregam consigo diversos poluentes oriundos das atividades antrópicas e do tráfego que são acumulados no solo e vias em épocas secas. Os altos valores médios atingidos pelos coliformes fecais (3×10^6 NNP/100mL), sólidos suspensos totais (310 mg/L) e pela demanda química de oxigênio (186 mg/L) demonstraram o potencial contaminante destas águas pluviais para o corpo receptor. Além disso, foi observada baixa relação entre os parâmetros DBO₅/DQO levando-os a concluir que a matéria orgânica presente nas águas possui uma baixa biodegradabilidade.

Sánchez, Cohim e Kalid (2015) realizaram uma revisão sobre a contaminação físico-química e microbiológica da água da chuva coletada em áreas urbanas. Para os autores a modificação da qualidade da água pluvial advém em três etapas: 1) No início da precipitação, trazendo consigo contaminantes de aerossóis, gases e finas partículas voláteis; 2) Na captação quando ao escoar pelos telhados, carregam consigo partículas depositadas na superfície do telhado e também pela limpeza dos materiais de cobertura; 3) Refere-se a contaminantes contidos nas tubulações, sistema de descarga e armazenamento. Os autores apresentaram um quantitativo de bactérias indicadoras de contaminação em diferentes tipos de águas urbanas ficando perceptível que, apesar das águas pluviais e de escoamento apresentarem tais bactérias, as faixas correspondentes são inferiores à das águas residuárias.

Ali e Khairy (2016) avaliaram os impactos dos efluentes de drenagem na qualidade da água e no nível de eutrofização do Lago Idku no Egito. Observou-se O₂ dissolvido variando de 1,7 a 7,4 mg/L; nitrato com altos valores no período do verão devido às descargas de efluentes agrícolas, variando de 59,5 a 84,5 mgN/L; nitrito na faixa de 1,5 a 10,6 mgN/L, com picos no inverno e fósforo de 0,1 a 4,3 mgP/L, com valores mínimos no verão; clorofila *a* variando de 51,2 a 102,4 mg de Chl *a*/m³. Foram encontradas diversas espécies de fitoplanctons e observado altos níveis de PO₄, NO₃ e NO₂. Os autores concluíram que, apesar dos valores elevados, existe uma política para

reduzir a eutrofização do lago, porém ainda se faz necessário simular cenários de qualidade e propor medidas para mitigar os impactos e restaurar o lago.

Angrill *et al.* (2017) dissertaram sobre a quantidade e qualidade do escoamento de águas pluviais urbanas de um campus universitário em Barcelona, na Espanha. As superfícies de captação variaram em coberturas com telha de concreto pré-fabricada, pavimentação em concreto, pavimentação asfáltica para pedestre, estradas e estacionamentos com pavimentação asfáltica. Com a pesquisa, observou-se em relação a qualidade das águas pluviais, que os espaços urbanos pavimentados com material asfáltico são mais propícios a gerar depósitos de material particulado que são carregados juntamente com o escoamento superficial ou diluídos, diminuindo a qualidade das águas pluviais. Já as áreas com superfície de concreto, apresentaram-se mais lisas, o que facilita a manutenção e a lavagem pelas primeiras águas que são descartadas pelo sistema, gerando um escoamento de melhor qualidade.

Miller e Hutchins (2017) realizaram uma revisão bibliográfica sobre os impactos da urbanização e da mudança climática nas inundações urbanas e na qualidade da água urbana no Reino Unido. Segundo os autores há evidências que tanto as mudanças climáticas quanto a urbanização resultaram em um aumento no risco de inundações e na redução da qualidade da água. No âmbito da qualidade, apontaram que a urbanização degrada a qualidade da água a partir de três mecanismos principais, que são: (i) liberação de poluentes por fontes pontuais e a mobilização destes por fontes difusas; (ii) alteração de fluxo e a (iii) da temperatura dos corpos d'água receptores de efluentes. Dados de monitoramento de indicadores químicos e biológicos de água dos rios da Inglaterra mostraram que 26% das massas de água em 2009 satisfaziam os requisitos para manutenção do equilíbrio ecológico. Porém em 2012, houve uma redução de um ponto percentual, resultando em 25%, gerando uma preocupação acerca da manutenção da qualidade das águas inglesas.

Mannina *et al.* (2018) dissertaram sobre as emissões de gases de efeito estufa provenientes de sistemas unitários de esgoto e drenagem urbana. As mudanças climáticas são resultantes de emissões de gases de efeito estufa, sendo o sistema unitário contribuinte através de emissões fugitivas, além do CH₄ e do N₂O liberados nos processos de estabilização da matéria orgânica. Os sistemas recebem contribuições de esgotos domésticos e industriais, além das águas pluviais. Parte dessas águas são encaminhadas para a estação de tratamento de águas residuárias, e o restante que ultrapassa a capacidade do sistema de esgoto e/ou a estação de tratamento, é lançado diretamente

em corpos receptores, contribuindo para o aumento do grau de poluição. Os autores concluíram que ainda não existe uma metodologia consolidada para reduzir as emissões dos gases de efeito estufa nesses sistemas, pois, estudos são realizados para mitigar essas emissões, mas as aplicações das estratégias ainda são limitadas às condições locais.

Também no Brasil algumas pesquisas em relação à qualidade das águas de drenagem têm sido realizadas com o intuito de diagnosticar a situação das águas urbanas das bacias estudadas, avaliar impactos decorrentes das ações antrópicas nesses sistemas e indicar possíveis usos para as águas.

Schneider *et al.* (2011) estudaram a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de dois córregos na bacia hidrográfica do rio Pirapó no Paraná. As sub-bacias dos córregos analisados apresentaram uso e ocupação de solo diferentes, sendo para os córregos Mandacaru e Romeira, respectivamente, urbanização e uso agrícola. Ambos os canais sofrem pela ação humana, porém, a degradação antrópica foi mais expressiva no córrego com as sub-bacias urbanizadas, pois foram observados pontos de despejos de efluentes e resíduos. Os córregos se apresentaram com altas concentrações de coliformes totais, entretanto, DBO abaixo dos limites da Resolução CONAMA nº 357/2005, provavelmente pela boa capacidade de autodepuração apresentada pelo rio Pirapó.

Cunha *et al.* (2011) avaliaram a qualidade da água pluvial em Medianeira - PR por meio de análises físico-químicas. A caracterização realizada tinha como objetivo verificar a possibilidade da utilização desta água para fins menos nobres. Com os resultados dos indicadores (pH, turbidez, condutividade elétrica, salinidade, sólidos totais dissolvidos e dureza) os autores concluíram que as águas pluviais estavam dentro dos padrões da classe I das águas doces naturais da Resolução CONAMA nº 357/2005 e que apresentavam um alto potencial para utilização na indústria em sistemas de refrigeração, com a devida correção do pH e, em irrigação, pois apresentaram baixa salinidade.

Coelho *et al.* (2014) realizaram a caracterização microbiológica das águas dos canais de drenagem urbana em Santos - SP. As águas de drenagem são direcionadas ao mar pelos canais, o que pode comprometer a balneabilidade, caso estas estejam contaminadas. As análises microbiológicas dos sete canais de drenagem apresentaram valores de coliformes totais e *E. coli* acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 274/2000, demonstrando que as águas das praias receptoras estão impróprias para recreação de contato primário. Além disso, os

autores concluíram, com as análises, que há contaminação das águas drenadas por esgoto doméstico por meio de ligações clandestinas.

Freire *et al.* (2014) analisaram o sistema separador absoluto de Campina Grande - PB, a partir de um dos canais de macrodrenagem, a fim de verificar a possível contaminação das águas por esgoto doméstico. Foram realizadas análises físico-químicas ao longo do canal de drenagem, o que permitiu evidenciar que o efluente transportado pelo canal se caracterizava como esgoto fraco. Os autores enfatizaram que, além da contribuição dos efluentes domésticos, a poluição do canal é resultante também do lançamento de resíduos sólidos, da ineficiência da limpeza pública e da contribuição de efluentes de oficinas e feira local.

Menezes *et al.* (2016) estudaram a relação entre padrões de uso e ocupação do solo e a qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, Lavras - MG. Foi observada forte relação entre as variáveis citadas a partir da quantificação da matéria orgânica e nutrientes do meio hídrico. As principais fontes observadas foram o lançamento de esgotos domésticos sem tratamento e a agropecuária com efluentes na rede de drenagem da bacia. Os autores comentam que apesar do município possuir estação de tratamento, ainda é comum observar ligações clandestinas de esgotos domésticos e resíduos sólidos no canal principal do ribeirão.

Righetto, Gomes e Freitas (2017) estudaram a poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana em Natal - RN. O objetivo era avaliar a primeira carga de lavagem por meio da quantificação de cargas poluentes contidas nos deflúvios superficiais. A amostragem foi realizada no exutório da bacia durante os primeiros 24 minutos de escoamento superficial. Os resultados mostraram que o escoamento superficial da bacia em estudo apresenta alto potencial poluidor para corpos d'água. Altos teores de fósforo total, DQO e SST foram associados às precipitações de maiores intensidades. Os autores enfatizam que a análise da poluição difusa em áreas urbanas é complexa devido a fatores como o carreamento de sólidos de ruas do entorno, ligações clandestinas de esgoto e a presença de sedimentos nos dispositivos de drenagem, dificultando a mensuração do grau de poluição.

Apesar dos variados trabalhos feitos em nível nacional e internacional sobre qualidade das águas de drenagem urbana, ainda são observadas poucas pesquisas voltadas para a gestão da qualidade dessas águas. Estudos sobre gestão de qualidade objetivam minimizar a problemática da contaminação das águas pluviais, incentivando ações preventivas, de controle e mitigação por meio de instrumentos legais e medidas educativas junto à população.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa trata de uma proposta de gerenciamento sustentável de águas de drenagem urbana transportadas por sistemas de macrodrenagem, com a finalidade de minimizar os impactos oriundos das ações antrópicas na qualidade de águas de drenagem e, conseqüentemente, nos corpos receptores a jusante da área urbana.

A proposta é direcionada para aplicação em arranjos populacionais médios, população de 100.000 a 750.000 habitantes (IBGE, 2016). A escolha por esse tipo de arranjo populacional se justifica por estar diretamente relacionado ao fenômeno da urbanização e dinâmica urbana, ou seja, arranjos que apresentam intensas modificações territoriais e concentração populacional.

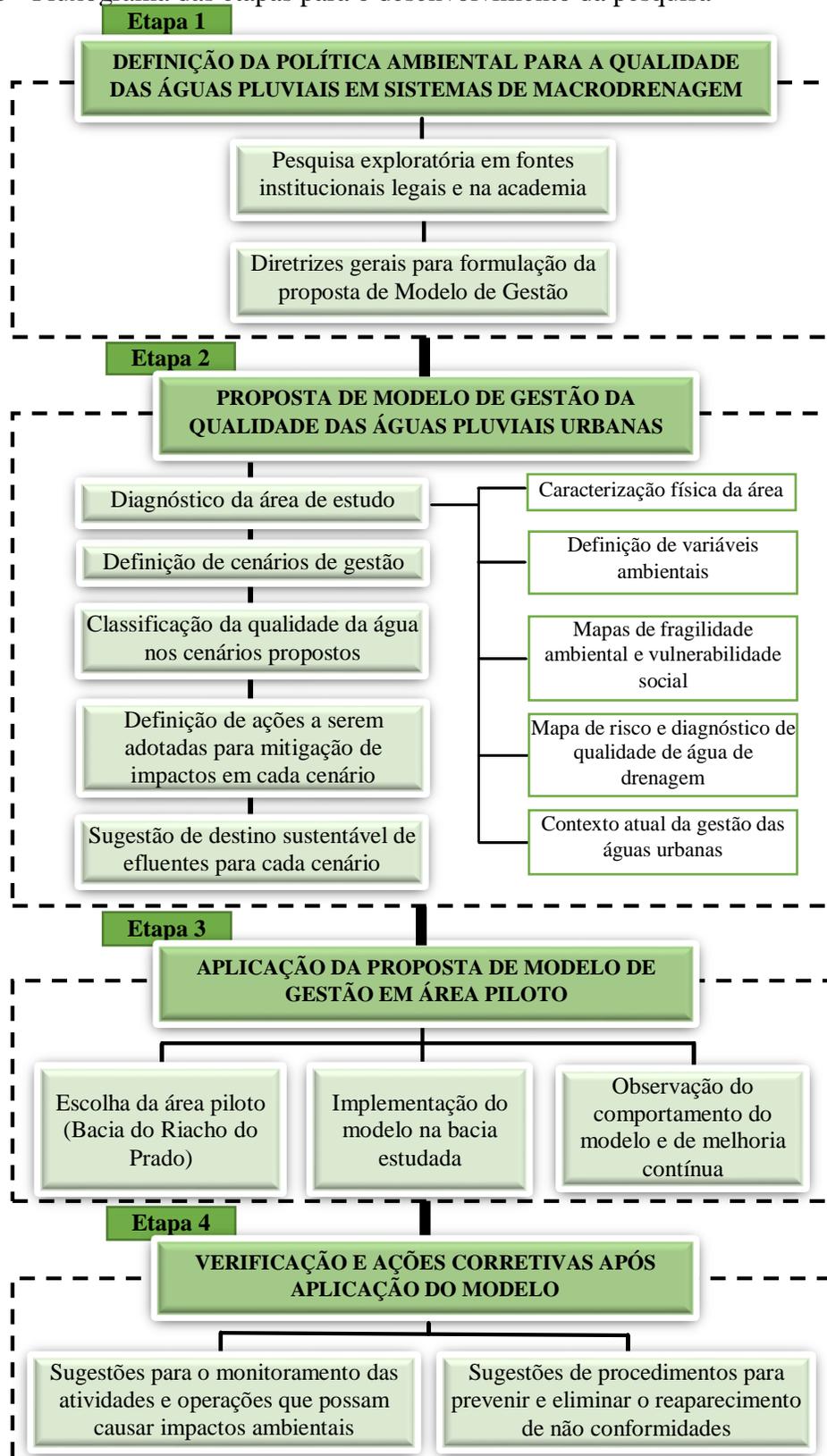
A abordagem metodológica trata de uma pesquisa quali-quantitativa dividida em quatro etapas (Figura 3). A primeira, se refere à definição da política ambiental para a qualidade das águas pluviais em sistemas de macrodrenagem; a segunda, a proposta de modelo de gestão da qualidade das águas urbanas, que contempla o diagnóstico, definição de cenários, definição de planos de ação para cada cenário e sugestões de destinos sustentáveis para os efluentes captados; a terceira, a aplicação da proposta de modelo de gestão em área piloto, e a quarta, a verificação de não conformidades e ações corretivas após aplicação do modelo proposto.

3.1 DEFINIÇÃO DA POLÍTICA AMBIENTAL PARA A QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS EM SISTEMAS DE MACRODRENAGEM

Para a definição da política ambiental, foram realizadas pesquisas documentais exploratórias em diretórios acadêmicos nacionais e internacionais e em fontes de instrumentos legais, acerca da gestão e qualidade de recursos hídricos, de águas urbanas e drenagem urbana. Essas informações subsidiaram a redação das diretrizes gerais da política ambiental, das medidas mitigadoras relacionadas ao risco e a estrutura do plano de gerenciamento.

De acordo com Tucci (2012) a política do plano diretor de drenagem urbana deve ser baseada na presença de princípios, objetivos, estratégias e cenários de desenvolvimento urbano e risco de possíveis inundações. Como este trabalho buscou a elaboração de um plano de gerenciamento que visa controlar o risco à qualidade da água, o mesmo contempla a estrutura formal do plano diretor (princípios, objetivos e estratégias de desenvolvimento), porém adaptada à situação atual de gestão do município, visando a integração dos planos existentes e a melhoria da qualidade atual da água.

Figura 3 - Fluxograma das etapas para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2020).

Silva (2016) elencou 14 princípios para o manejo das águas pluviais com base em princípios genéricos de sustentabilidade. Entre estes, citam-se o princípio da gestão sistêmica, do planejamento espacial, da responsabilidade pela impermeabilização do solo, da gestão dos resíduos sólidos urbanos, da regulamentação legal do parcelamento do solo, do limite de ocupação, dentre outros. De forma similar ao realizado por Silva, no presente estudo foi realizada uma releitura de princípios gerais de sustentabilidade e de gestão dos serviços de saneamento, com a finalidade de incorporar, de forma mais expressiva, a dimensão da qualidade da água pluvial e a promoção da saúde ambiental da bacia hidrográfica em estudo.

A partir dos princípios sugeridos, os objetivos da política ambiental do plano de gerenciamento foram definidos, não distando da dimensão da sustentabilidade do sistema, da qualidade da água de drenagem e das políticas nacionais do saneamento.

As estratégias desta etapa da pesquisa, são as mais abrangentes possíveis e buscam a manutenção ou melhoramento da qualidade das águas de drenagem da bacia em estudo, além de priorizar o controle da fonte de poluição com medidas mitigadoras não estruturais, seguindo o mesmo padrão encontrado na gestão das águas em países desenvolvidos.

3.2 PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

A proposta de modelo de gestão de qualidade das águas pluviais contempla o diagnóstico da área, definição de cenários de gestão da qualidade das águas pluviais, classificação da água nos cenários sugeridos, planos de ação para mitigar os impactos em cada cenário e sugestões de fins sustentáveis para o efluente captado pela macrodrenagem.

3.2.1 Diagnóstico da área de estudo

O diagnóstico da área de estudo consiste na descrição física da área, na definição de variáveis ambientais que possibilitam a criação de mapas para analisar a influência do entorno dos canais de macrodrenagem e do meio natural na qualidade da água, no diagnóstico qualitativo da água do sistema de macrodrenagem e na caracterização da gestão atual através de pesquisas exploratórias em documentos oficiais e na área de estudo.

a) Caracterização física da área

A caracterização física da área de estudo é realizada a partir de imagens de satélites e por dados de solo da base cartográfica do Instituto Nacional do Semiárido - INSA. Para auxiliar a delimitação da área de estudo, a caracterização e a conversão de dados é recomendado a utilizado o software Quantum Gis. É importante enfatizar que a proposta metodológica pode ser aplicada em qualquer bacia de drenagem que contenha as características dos arranjos populacionais médios e que contemple sistemas de macrodrenagem urbana.

Assim, a partir da caracterização física, serão obtidos os seguintes produtos: área e perímetro da bacia, drenagem natural, mapas de bacia e sub-bacias, mapa de localização, tipo de uso e ocupação da terra, declividade, tipo do solo e mapa hipsométrico.

Os produtos resultantes desta etapa servem de base para a produção de mapas nas etapas posteriores e para o conhecimento prévio do comportamento da drenagem natural da bacia em estudo.

b) Definição de variáveis socioambientais

A escolha das variáveis socioambientais e da base de dados partiram do trabalho desenvolvido por Vidal (2019). A autora utilizou as variáveis de serviços urbanos e de características dos moradores (Quadros 9 e 10, respectivamente) com a finalidade de caracterizar a sua área de estudo perante a vulnerabilidade social da população.

Por se tratar de variáveis que estão direta e indiretamente associadas com a qualidade da água de drenagem urbana, optou-se por adotar as variáveis socioambientais, a base de dados e os processos metodológicos de caracterização da vulnerabilidade social elencados por Vidal (2019), visando observar as distintas realidades sociais existentes em bacias urbanas e a sua influência na gestão da qualidade das águas.

É importante enfatizar que o banco de dados, censo demográfico brasileiro, facilita a caracterização da área, devido a metodologia de coleta de dados baseada em setores censitários e a escala de execução (território nacional). Porém, é preciso ressaltar, que apesar das vantagens mencionadas, os dados do censo demográfico só são levantados a cada 10 anos, podendo apresentar divergências com a realidade encontrada na área em estudo. Contudo, a periodicidade de coleta

não inviabiliza a utilização dos dados, pois a dinâmica de desenvolvimento urbano não ocorre de forma abrupta.

Quadro 9 - Variáveis de serviços urbanos

| Variáveis | Variáveis de Serviços Urbanos |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Dados gerais |
| I_{dpp} | Domicílios particulares permanentes |
| | Abastecimento de Água |
| I_{abr} | Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral |
| I_{abp} | Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade |
| I_{abc} | Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna |
| I_{abo} | Domicílios particulares permanentes com outra forma de abastecimento de água |
| | Esgotamento Sanitário |
| I_{esr} | Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial |
| I_{esfs} | Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa séptica |
| I_{esfr} | Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar |
| I_{esvv} | Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala |
| I_{esrl} | Domicílios particulares permanentes, com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar |
| I_{esou} | Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via outro escoadouro |
| | Limpeza Urbana |
| I_{jic} | Domicílios particulares permanentes com lixo coletado |
| I_{jiq} | Domicílios particulares permanentes com lixo queimado na propriedade |
| I_{jie} | Domicílios particulares permanentes com lixo enterrado na propriedade |
| I_{jit} | Domicílios particulares permanentes com lixo jogado em terreno baldio |
| I_{jir} | Domicílios particulares permanentes com lixo jogado em rio, lago ou mar |
| I_{jio} | Domicílios particulares permanentes com outro destino do lixo |
| | Infraestrutura associada à drenagem |
| I_{pav1} | Domicílios particulares permanentes próprios - Existe pavimentação |
| I_{pav2} | Domicílios particulares permanentes alugados - Existe pavimentação |
| I_{pav3} | Domicílios particulares permanentes cedidos - Existe pavimentação |
| I_{mfio1} | Domicílios particulares permanentes próprios - Existe meio-fio/guia |
| I_{mfio2} | Domicílios particulares permanentes alugados - Existe meio-fio/guia |
| I_{mfio3} | Domicílios particulares permanentes cedidos - Existe meio-fio/guia |
| I_{bue1} | Domicílios particulares permanentes próprios - Existe bueiro/boca de lobo |
| I_{bue2} | Domicílios particulares permanentes alugados - Existe bueiro/boca de-lobo |
| I_{bue3} | Domicílios particulares permanentes cedidos - Existe bueiro/boca de lobo |

Fonte: Adaptado de Vidal (2019).

Vale salientar que as variáveis selecionadas possuem forte inter-relação entre si, pois as alterações nos sistemas dos serviços urbanos, como também no padrão de vida da população (renda,

educação e disponibilidade de infraestrutura) afetam, respectivamente, a qualidade dos serviços ofertados à população e as interações do ser humano com o meio no qual está inserido.

Quadro 10 - Variáveis de características dos moradores

| Variáveis | Variáveis de Características dos Moradores |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Dados gerais |
| I _{mor} | Moradores em domicílios particulares permanentes |
| | Alfabetização |
| I _{alfa} | Pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade |
| | Rendimento |
| I _{R1} | Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo |
| I _{R2} | Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/8 a 1/4 salário mínimo |
| I _{R3} | Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/4 a 1/2 salário mínimo |
| I _{R4} | Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/2 a 1 salário mínimo |
| I _{R5} | Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1 a 2 salários mínimos |
| I _{R6} | Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 2 a 3 salários mínimos |
| I _{R7} | Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 3 a 5 salários mínimos |
| I _{R8} | Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 5 a 10 salários mínimos |
| I _{R9} | Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 10 salários mínimos |
| I _{R10} | Domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita |

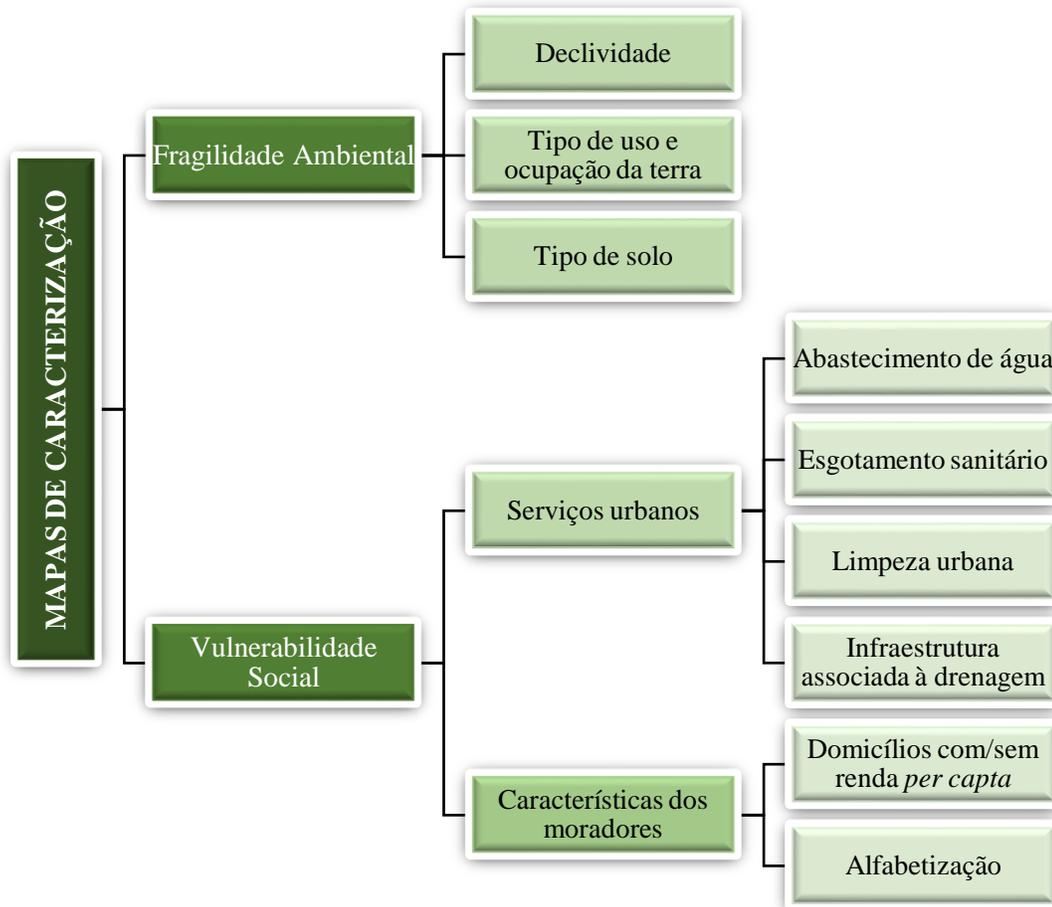
Fonte: Adaptado de Vidal (2019).

c) Mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social

Os mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social devem ser elaborados para auxiliar na caracterização da área a ser estudada, subsidiando as análises da influência do meio natural e construído na qualidade das águas de drenagem, além de contribuir para a determinação dos pontos de coleta de água pluvial utilizados para o diagnóstico da qualidade atual das águas drenadas.

O mapa de fragilidade ambiental é construído com dados de tipo de uso e ocupação da terra, declividade e tipo do solo; já o mapa de vulnerabilidade social, com as variáveis apresentadas nos Quadros 9 e 10. A Figura 4 apresenta os grupos de variáveis dos mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social.

Figura 4 - Descrição dos mapas de vulnerabilidade social e fragilidade ambiental



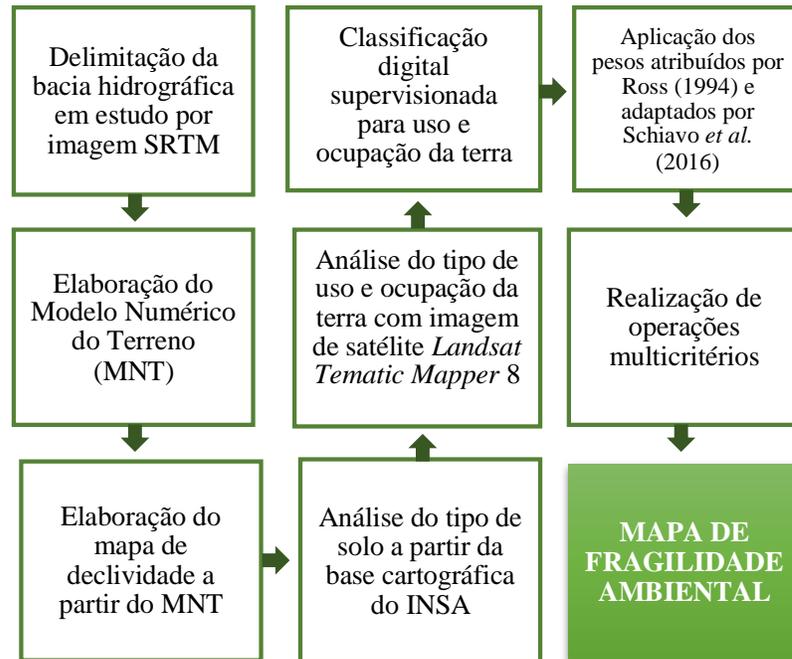
Fonte: Autoria Própria (2020).

A metodologia aplicada para a construção do mapa de fragilidade ambiental tem como base a proposta de análise empírica apresentada por Ross em 1994, para a caracterização da fragilidade de ambientes naturais e antropizados e modificada por Schiavo *et al.* (2016).

As ponderações das variáveis contempladas na fragilidade ambiental são realizadas com os pesos definidos por Schiavo *et al.* (2016) e o mapa final resulta da soma das variáveis ponderadas. A Figura 5 apresenta os procedimentos que devem ser realizados para obtenção do mapa de fragilidade ambiental.

Os pesos para a ponderação da declividade, uso e cobertura da terra e tipo de solo variam numa escala de 1 a 5 e estão associados a classes de fragilidades (Quadro 11).

Figura 5 - Passos metodológicos para construção do mapa de fragilidade ambiental



Fonte: Autoria Própria (2020).

Quadro 11 - Classes de declividade, cobertura e tipo de solo definidos por Ross (1994)

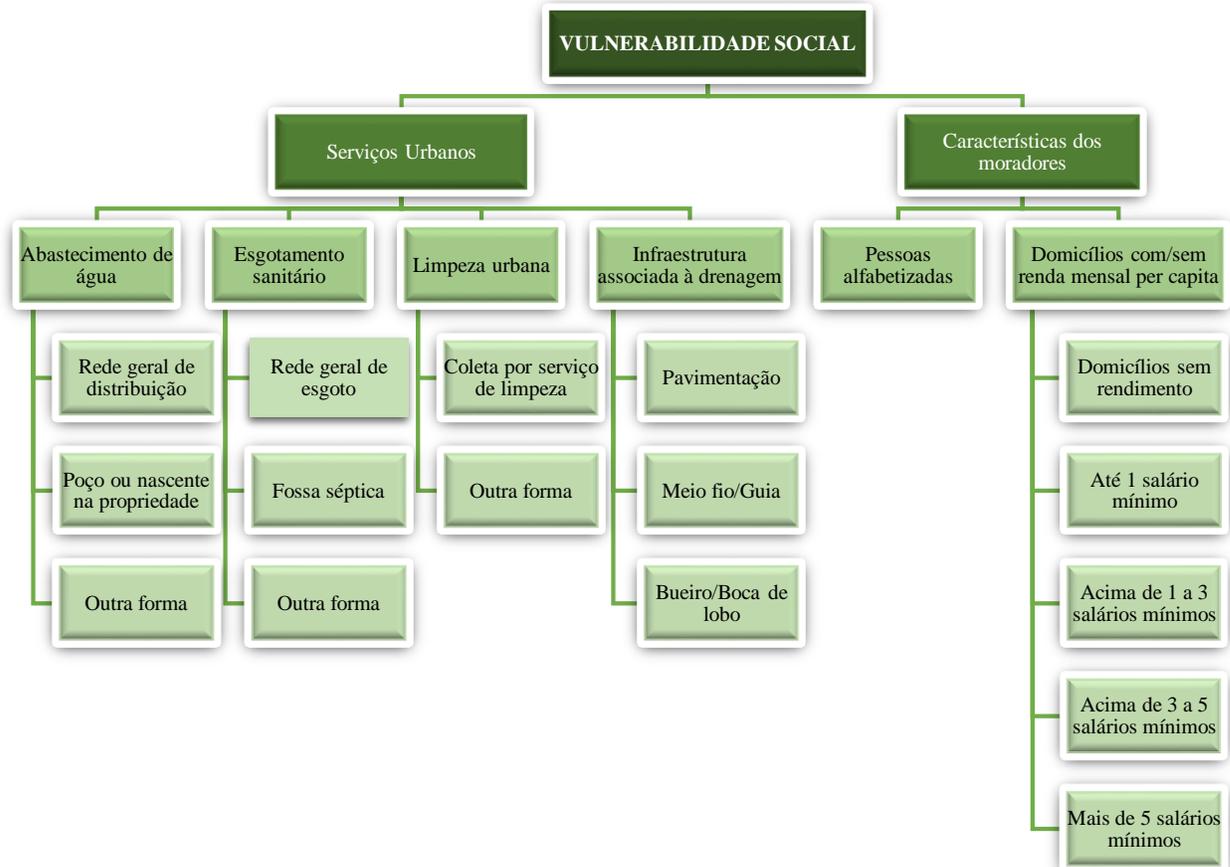
| Classes de Declividade | Classes de Fragilidade | Pesos |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|-------|
| Até 6% | Muito baixa | 1 |
| De 6 a 12% | Baixa | 2 |
| De 13 a 20% | Média | 3 |
| De 20 a 30% | Alta | 4 |
| Maior que 30% | Muito alta | 5 |
| Tipo de Cobertura | Classe de Fragilidade | Pesos |
| Florestas e matas naturais | Muito baixa | 1 |
| Formações arbustivas naturais e pastagens | Baixa | 2 |
| Cultivos de ciclo curto e silvicultura | Média | 3 |
| Culturas de ciclo longo | Alta | 4 |
| Áreas desmatadas, solo exposto e urbanização | Muito alta | 5 |
| Tipo de solo | Classe de Fragilidade | Peso |
| Latossolo roxo, latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo | Muito baixa | 1 |
| Latossolo amarelo e vermelho amarelo textura médio/argilosa | Baixa | 2 |
| Latossolo vermelho amarelo, Terra roxa, Terra Bruna, Litossolo | Média | 3 |
| Planossolo vermelho-amarelo textura média/arenosa, cambissolos | Alta | 4 |
| Podzólicos com cascalho, Litólicos e arejas quartzosas | Muito alta | 5 |

Fonte: Adaptado por Schiavo *et al.* (2016).

O mapa de vulnerabilidade social é obtido com a sobreposição dos mapas de serviços urbanos e características dos moradores (Figura 6). Os serviços urbanos analisados referem-se às formas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e limpeza urbana, além de infraestrutura

associada à drenagem de águas pluviais. Já as características dos moradores são representadas com dados de alfabetização e de domicílios com/sem renda mensal per capita.

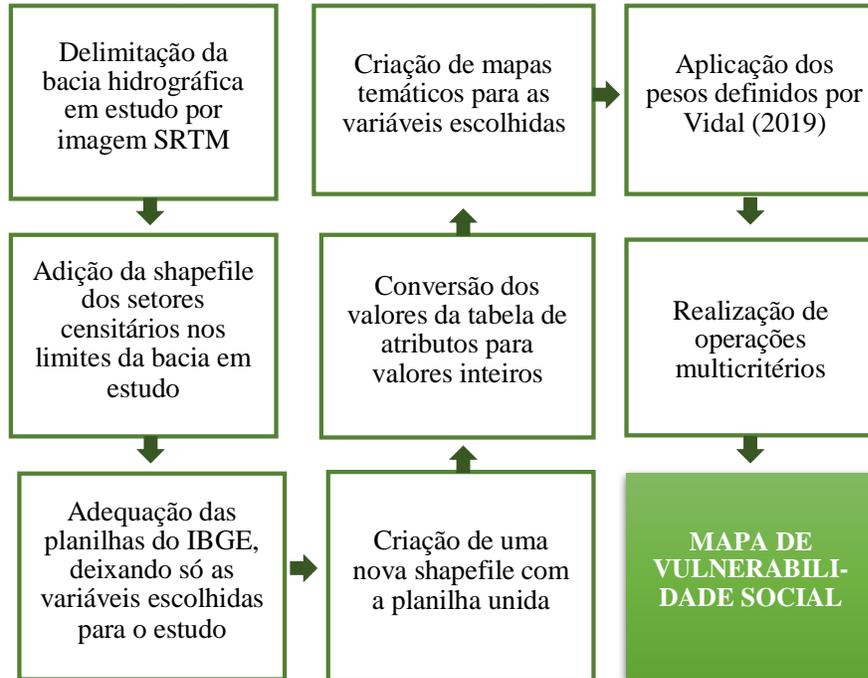
Figura 6 - Variáveis de vulnerabilidade social



Fonte: Autoria Própria (2020).

Para a construção do mapa de vulnerabilidade social, algumas das variáveis de serviços urbanos devem ser somadas, resultando em três faixas, conforme é apresentado pelo IBGE e exemplificado no Quadro 12, com exceção da limpeza urbana que contempla somente a coleta de serviços de limpeza e outras formas de destinação. Tal procedimento é realizado para manter a conformidade com os resultados apresentados pelo censo e para permitir a associação com os cenários construídos, pois estes, também são diferenciados a partir de três faixas distintas. Os procedimentos, pesos e notas necessários para a construção e ponderação do mapa de vulnerabilidade social são apresentados, respectivamente, na Figura 7 e no Quadro 12.

Figura 7 - Passos metodológicos para construção do mapa de vulnerabilidade social



Fonte: Autoria Própria (2020).

Quadro 12 - Pesos e notas para a construção do mapa de vulnerabilidade social

| SERVIÇOS URBANOS - PESO = 65 | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Abastecimento de Água Peso = 40 | Esgotamento Sanitário Peso = 30 | Limpeza Urbana Peso = 20 | Infra. associada à drenagem Peso = 10 | |
| Rede geral de distribuição Nota = 1,5 (I_{abr}) | Rede geral de esgoto Nota = 1 (I_{esr}) | Coleta por serviço de limpeza Nota = 1,5 (I_{lic}) | Pavimentação Nota = 1,5 ($I_{pav1} + I_{pav2} + I_{pav3}$) | |
| Poço ou nascente na propriedade Nota = 5 (I_{abp}) | Fossa séptica Nota = 5 (I_{esfs}) | Outras formas Nota = 10 ($I_{liq} + I_{lie} + I_{lit} + I_{lir} + I_{lio}$) | Meio fio/guia Nota = 3 ($I_{mfio1} + I_{mfio2} + I_{mfio3}$) | |
| Outras formas Nota = 9,5 ($I_{abc} + I_{abo}$) | Outras formas Nota = 10 ($I_{esfr} + I_{esvv} + I_{esrl} + I_{esou}$) | | Bueiro/boca de lobo Nota = 2 ($I_{bue1} + I_{bue2} + I_{bue3}$) | |
| CARACTERÍSTICA DOS MORADORES - PESO = 35 | | | | |
| Informações sobre renda - domicílios com/sem renda mensal per capita - Peso = 30 | | | | |
| Sem rendimento mensal Nota = 10 (I_{R10}) | Até um SM Nota = 8 ($I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} + I_{R4}$) | Mais de 1 à 3 SM Nota = 6 ($I_{R5} + I_{R6}$) | Mais de 3 à 5 SM Nota = 5 (I_{R7}) | Mais de 5 SM Nota = 1 ($I_{R8} + I_{R9}$) |
| Informações sobre alfabetização - Pessoas alfabetizadas - Peso = 70 (I_{alfa}) | | | | |

Fonte: Adaptado de Vidal (2019).

Nota: (1) SM - Salários Mínimos. (2) Os pesos e notas foram obtidos a partir da metodologia Delphi (consulta com especialista das áreas de interesse da pesquisa),

A metodologia de caracterização da vulnerabilidade social a partir de variáveis do censo do IBGE já é bem difundida e utilizada em trabalhos acadêmicos como o de Carvalho (2010); porém, para ser aplicada ao tema em estudo de forma mais representativa, foram incorporadas novas variáveis à metodologia já existente.

d) Mapa de risco e diagnóstico de qualidade de água de drenagem

Os mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social são utilizados no diagnóstico da área e na construção do mapa de risco. Os pontos de coleta de água de drenagem devem ser definidos baseados no mapa de risco, o que permite uma melhor representação das diversas realidades existentes na bacia hidrográfica a ser estudada.

Após estas definições, o diagnóstico da água deve ser realizado com base em indicadores físico-químicos e microbiológico (Quadro 13), considerando 30 campanhas de coletas para subsidiar as análises estatísticas.

Quadro 13 - Indicadores físico-químicos e microbiológico e respectivas metodologias

| INDICADOR FÍSICO-QUÍMICO | METODO ANALÍTICO |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Temperatura | Termômetro infravermelho |
| Potencial hidrogeniônico | Potenciométrico |
| Demanda bioquímica de oxigênio - DBO ₅ ²⁰ (mg/L) | Método padrão sem sementeira |
| Demanda química de oxigênio - DQO (mg/L) | Método da refluxação fechada do dicromato de potássio |
| Nitrogênio kjeldahl | Método titulométrico de kjeldahl |
| Nitrogênio amoniacal | Método da destilação em meio básico |
| Fósforo total | Método do ácido ascórbico |
| Turbidez | Método nefelométrico |
| Condutividade elétrica | Método da leitura direta com condutivímetro |
| INDICADOR MICROBIOLÓGICO | METODOLOGIA |
| Coliformes termotolerantes - (UFC/100mL) | Técnica da membrana filtrante |

Fonte: APHA (2012).

As análises físico-químicas e microbiológicas propostas por esta metodologia são utilizadas no diagnóstico das águas de drenagem e o monitoramento após a aplicação do plano de gerenciamento de águas pluviais.

e) Contexto atual da gestão de qualidade das águas urbanas

A análise do contexto atual da gestão das águas urbanas é feita a partir de pesquisa documental exploratória e visitas em campo, com a finalidade de coletar informações acerca da gestão das águas urbanas e dos serviços de saneamento existentes no município onde está inserida a bacia de drenagem em estudo. Devem ser pesquisados os principais problemas enfrentados pela população devido à falta de gestão das águas urbanas, através da aplicação de formulários em residências no entorno dos canais de macrodrenagem, Apêndice A.

A amostra escolhida para a aplicação dos formulários deve contemplar as diferentes realidades de vulnerabilidade da bacia, garantindo uma maior confiabilidade e representatividade da área em estudo. O cálculo da amostra considera a classificação da população, que pode ser finita ou infinita. Atenção especial deve ser dada para a determinação da população, pois nesta etapa não é considerada a população da cidade e sim, a da bacia em estudo. Assim, o tamanho da amostra é calculado utilizando uma das equações a seguir (RICHARDSON, 2015):

- Para amostras infinitas:

$$n = \frac{p \cdot q \cdot \left(\frac{Z_{\alpha}}{2}\right)^2}{E^2} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

n = tamanho da amostra;

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$ = Valor obtido da tabela de Gauss a partir da definição do grau de confiança;

E = Erro amostral permitido;

p = Proporção das características pesquisadas no universo, calculada em porcentagem;

q = Proporção do universo que não possui a característica pesquisada ($q = 1 - p$). Em porcentagem: $q = 100 - p$.

- Para amostras finitas:

$$n = \frac{N \cdot p \cdot q \cdot \left(\frac{Z_{\alpha}}{2}\right)^2}{p \cdot q \cdot \left(\frac{Z_{\alpha}}{2}\right)^2 + (N-1)E^2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

n = Tamanho da amostra;

N = População;

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$ = Valor obtido da tabela de Gauss a partir da definição do grau de confiança;

E = Erro amostral permitido;

p = Proporção das características pesquisadas no universo, calculada em porcentagem;

q = Proporção do universo que não possui a característica pesquisada ($q = 1 - p$). Em porcentagem: $q = 100 - p$.

As localizações das edificações utilizadas para a aplicação dos formulários devem ser georreferenciadas e espacializadas na bacia de drenagem em estudo, o que permite a elaboração de mapas de intensidade de problemas oriundos da falta de gestão das águas urbanas.

As aplicações dos formulários devem ser realizadas de forma aleatória em residências inseridas nas quadras lindeiras aos canais de drenagem da bacia em estudo, levando em consideração os pontos determinados para o diagnóstico da qualidade de água de drenagem.

É importante salientar que o raio de alcance para a construção dos mapas é determinado a partir da média aritmética dos comprimentos das ruas que interceptam os canais e delimitam as quadras lindeiras; para isso, e para o georreferenciamento dos pontos, é recomendado a utilização do software Google Earth.

A caracterização do contexto atual da gestão das águas pluviais é de grande relevância para compreender se o município possui a integração dos planos de serviços de saneamento, e quais os procedimentos realizados para a manutenção da qualidade das águas dos canais e dos corpos hídricos urbanos.

3.2.2 Definição dos cenários de gestão

Os cenários propostos foram construídos com base em indicadores que permitem observar a interferência das ações antrópicas não sustentáveis na qualidade das águas pluviais. Tais cenários refletem a realidade da gestão do sistema de drenagem da forma mais abrangente possível, levando em consideração aspectos de operação e manutenção do sistema, instrumentos legais e de indicadores físico-químicos e microbiológico, assim como a integração entre a drenagem e os serviços de esgotamento sanitário e limpeza urbana.

A classificação dos cenários em gestão eficiente, parcial e ineficiente foi resultante da delimitação de faixas quantitativas e qualitativas entre os grupos dos indicadores selecionados e obtidas por meio dos limites estabelecidos na literatura técnica.

Para a delimitação dos intervalos de transição dos indicadores entre os cenários propostos, foi realizada uma vasta pesquisa acerca da gestão da qualidade de águas urbanas, gestão de recursos hídricos, qualidade de água de reservatórios para consumo humano, planos de saneamento e dispositivos legais (leis, decretos, resoluções, portarias e normas). A partir disso, foram observadas as frequências de execução de serviços urbanos, os documentos necessários para a manutenção da qualidade das águas urbanas e os níveis de qualidade de água que não são prejudiciais à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos. Após esse levantamento foi possível realizar a adaptação em questão.

Foi considerado como uma gestão ineficiente das águas pluviais a pior condição entre os cenários sugeridos. Neste caso, são observadas situações como a irregularidade da limpeza dos canais e vias do entorno, a falta de esgotamento sanitário, a inexistência de instrumentos legais como plano de saneamento, de drenagem e resíduos sólidos, entre outras que maximizam a possibilidade de diminuição da qualidade das águas pluviais urbanas.

Na gestão eficiente foram incluídas as ações que possibilitam a sustentabilidade dos sistemas de drenagem e a manutenção da qualidade das águas transportadas pelo sistema, como a regularidade de coleta de resíduos sólidos, varrição diária em vias de grande fluxo, instrumentos legais que visem a integração dos serviços urbanos implementados, entre outras.

O terceiro cenário, gestão parcial, incluem as situações que não se encaixam nos outros cenários. Este contempla as faixas de transição entre a gestão ineficiente e a eficiente. Dentre os indicadores citados anteriormente ressalta-se, por exemplo, a existência de instrumentos legais, porém ainda não implantados, resultando em uma situação melhor do que na gestão ineficiente, mas que ainda necessita atingir o padrão ideal.

3.2.3 Classificação da qualidade da água nos cenários propostos

Para a classificação da bacia estudada em um dos cenários de gestão propostos (eficiente, parcial e ineficiente), é necessário calcular o índice de gestão da área em estudo, com base nos índices individuais de cada um dos grupos de indicadores avaliados.

Para isso, são utilizados pesos e notas adquiridos a partir de um painel de 30 especialistas, subdivididos nas áreas que possuem ligação direta com a referida pesquisa. Foram consultados profissionais com as seguintes formações e funções: engenheiros civis, engenheiros sanitaristas,

engenheiros ambientais, ecólogos, gestores ambientais e gestores de secretarias públicas. Além dos pesos e notas, os especialistas atribuíram as faixas de variação entre os cenários de gestão.

Os pesos e notas foram coletados a partir do formulário do Apêndice B. Para a atribuição dos valores, os especialistas realizaram análises de importância entre os indicadores de cada grupo e, posteriormente, entre os grupos de indicadores. Após a aplicação dos formulários, foram identificadas as modas de cada indicador, ou seja, as notas mais frequentes. A nota final resultante para cada indicador, foi o valor da moda ou da média aritmética entre a moda e o maior valor imediatamente antes ou depois desta, caso apresentassem quantidade igual ou superior à metade da moda identificada.

Após a caracterização da bacia em estudo, os índices devem ser calculados a partir das Equações 3, 4, 5 e 6 descritas a seguir. Com os resultados dos índices, verifica-se em qual faixa de gestão se encontra a bacia estudada.

Os somatórios das Equações 3, 4 e 5 referem-se às operações realizadas com indicadores de caracterização da gestão atual da bacia de drenagem, sendo desta forma excludentes, de modo que um mesmo indicador não pode ser considerado em mais de um cenário.

a) Índice de operação e manutenção

$$IOM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i \cdot C_1 + \sum_{i=1}^n O_i \cdot C_2 + \sum_{i=1}^n O_i \cdot C_3}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

IOM = Índice de operação e manutenção;
O_i = Pesos dos indicadores de operação e manutenção;
C1 = Peso relativo ao cenário ineficiente;
C2 = Peso relativo ao cenário parcial;
C3 = Peso relativo ao cenário eficiente.

b) Índice de instrumentos legais

$$IIL = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \cdot C_1 + \sum_{i=1}^n I_i \cdot C_2 + \sum_{i=1}^n I_i \cdot C_3}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

IIL = Índice de Instrumentos Legais;
I_i = Pesos dos indicadores de instrumentos legais.

c) Índice físico-químico e microbiológico

$$IFM = \frac{\sum_{i=1}^n F_i.C_1 + \sum_{i=1}^n F_i.C_2 + \sum_{i=1}^n F_i.C_3}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

IFM = Índice físico-químico e microbiológico;

F_i = Pesos dos indicadores físico-químicos e microbiológico.

d) Índice geral de gestão de águas pluviais

$$IG = (IOM \times G_1 + IIL \times G_2 + IFM \times G_3) / 100 \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

IG = Índice de geral de gestão de águas pluviais urbanas;

G₁ = Peso relativo ao grupo de indicadores de operação e manutenção;

G₂ = Peso relativo ao grupo de indicadores de instrumentos legais;

G₃ = Peso relativo ao grupo de indicadores físico-químicos e microbiológico.

3.2.4 Definição de ações a serem adotadas para mitigação de impactos em cada cenário

Para a elaboração dos planos de ação, foi realizado um levantamento teórico sobre os problemas relacionados à diminuição da qualidade das águas que são transportadas ao corpo receptor pelo sistema de macrodrenagem, devido à urbanização e outras ações antrópicas não sustentáveis.

Este levantamento foi realizado na literatura técnica e em trabalhos acadêmicos, a nível nacional e internacional. Com essas informações e com base nas características de cada cenário proposto, redigiu-se as medidas mitigadoras estruturais e não estruturais para a manutenção ou melhoria da qualidade de água de drenagem.

3.2.5 Sugestões de destino sustentável de efluentes para cada cenário

Em se tratando de fins sustentáveis, além do próprio direcionamento das águas para serem lançadas em corpos receptores naturais, foram sugeridos alguns destinos a partir do estudo de reuso dos efluentes urbanos.

O Artigo 3 da Resolução n° 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH (BRASIL, 2005a) sugere alguns tipos de reuso direto não potável da água, como os de fins urbanos

(irrigação, limpeza de áreas públicas, manutenção de tubulações, construções, entre outros usos urbanos), fins agrícolas e florestais (irrigação de cultivos agrícolas), fins ambientais (recuperação do meio ambiente degradado), industriais e na aquicultura (cultivo de fauna e flora aquáticas). As sugestões foram feitas para cada um dos cenários propostos de acordo com os níveis de qualidade requeridos os diferentes usos.

3.3 APLICAÇÃO DA PROPOSTA DO MODELO DE GERENCIAMENTO EM ÁREA PILOTO

3.3.1 Escolha da área piloto

Para escolha da bacia piloto, foram considerados alguns requisitos necessários à exequibilidade da pesquisa, nos âmbitos de segurança, financeiro e no aporte de dados sobre o saneamento. São eles:

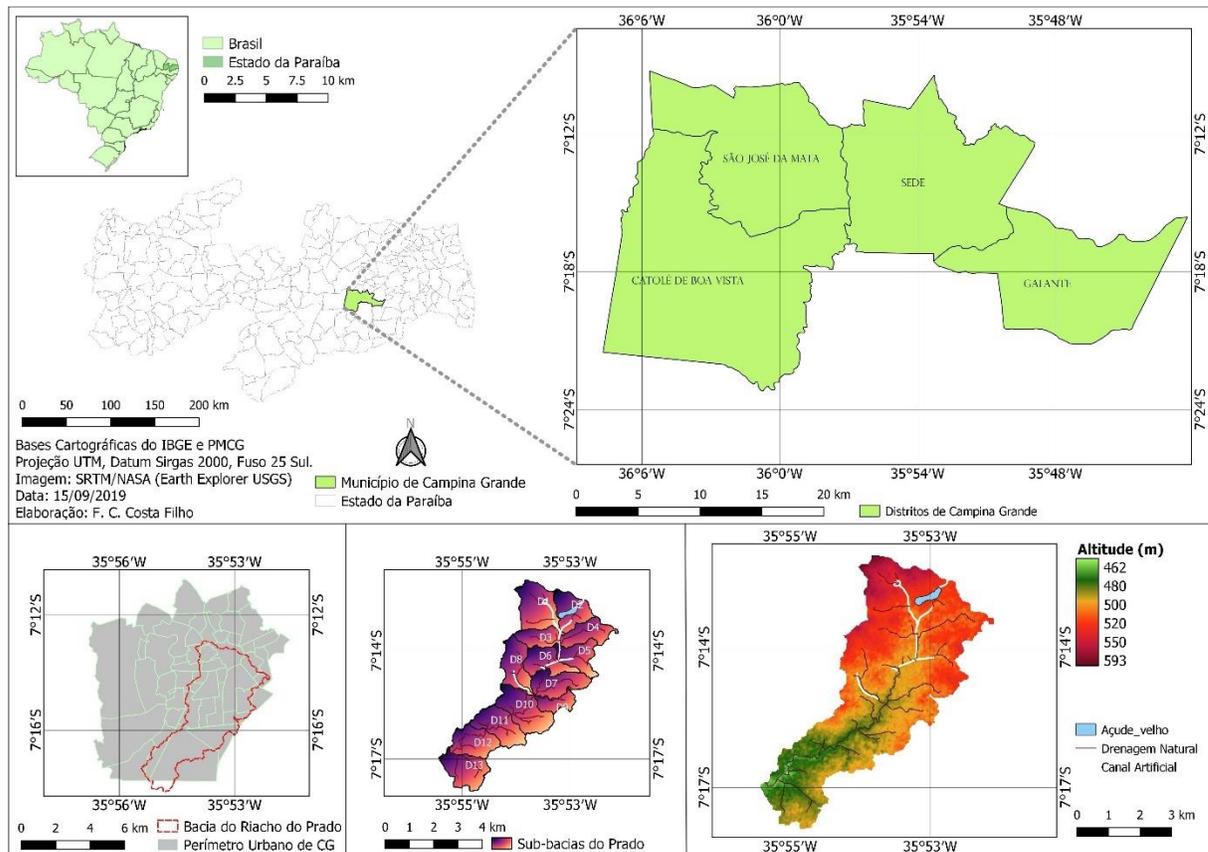
- A bacia deve estar inserida em área urbana de arranjo populacional médio;
- Deve conter estudos prévios sobre a qualidade de água de drenagem;
- Deve possuir informações sobre indicadores de saneamento em pesquisas nacionais;
- Deve apresentar condições mínimas de segurança e de viabilidade para a execução da pesquisa.

A bacia de drenagem selecionada para a aplicação do modelo de gestão proposto está situada no Município de Campina Grande, no Estado da Paraíba - PB (Figura 8). De acordo com IBGE Cidades (IBGE, 2010a), Campina Grande está localizada entre o sertão e a zona litorânea, distando 120 km da capital, João Pessoa (PMCG, 2015). Possui clima quente e úmido, temperatura do ar variando entre 19,6 e 29,7 °C e precipitação média de 820,16 mm, relativos aos anos de 1983 a 2012 (PMCG, 2015). Limita-se ao norte pelos municípios de Puxinanã, Pocinhos, Massaranduba e Lagoa Seca; ao Sul por Caturité, Fagundes e Queimadas; ao Leste por Riachão de Bacamarte e ao Oeste com Boa vista. No censo de 2010, Campina Grande possuía uma população de 385.213 habitantes (IBGE, 2010), e uma estimativa para 2019 de 409.731 habitantes (IBGE, 2019).

Com relação ao saneamento básico, Campina Grande contempla os serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, coleta e tratamento de resíduos sólidos e, drenagem de águas pluviais. No tocante à drenagem, a cidade possui três bacias denominadas B - Bacia do Riacho de Bodocongó, C - Bacia do Riacho das Piabas e D - Bacia do Riacho do Prado;

compreendendo, respectivamente, a zona Oeste, zonas Norte e Leste, e zona Sul. A bacia B subdivide-se em 16 sub-bacias, a C em 11 e a D, bacia em estudo, em 13. A macrodrenagem é composta por canais naturais e artificiais com seção trapezoidal e retangular, em sua maior parte abertos. A microdrenagem é composta por bocas de lobo, galerias, poços de visita, sarjetas e tubos de ligação.

Figura 8 - Localização do Município de Campina Grande e da Bacia do Riacho do Prado



Fonte: Autoria Própria (2020).

Campina Grande apresenta altitude média de 550 m acima do nível do mar, possui formação geológica por maciços e morros altos, relevo irregular, vales profundos e estreitos dessecados, inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, nas regiões do médio e baixo cursos. Apresenta rios perenes, baixo potencial de água subterrânea e dois açudes urbanos, Açude de Bodocongó e Açude Velho, este último localizado dentro da bacia em estudo (PMCG, 2015).

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2020), no Ranking do Saneamento de 2020, Campina Grande ocupa a 16ª colocação. É importante enfatizar que dos 20 melhores no ranking de

2020, apenas dois municípios se encontram no Nordeste brasileiro: Campina Grande na Paraíba e Vitória da Conquista na Bahia.

No referido Ranking, Campina Grande apresentou-se com 100% para os indicadores de atendimento de água total e urbano; 90,29% em atendimento total de esgoto sanitário, 94,71% no atendimento de esgoto urbano e 78,23% no indicador de esgoto tratado por água consumida.

A bacia do Riacho do Prado foi escolhida como bacia piloto por apresentar problemas na qualidade das águas de drenagem e por estar inserida em uma das 10 cidades com elevadas taxas de internação hospitalar por diarreia (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2013), além de apresentar registros de dengue, leptospirose, malária e esquistossomose nas unidades básicas de saúde do município (PMCG, 2015), o que contradiz fortemente os índices apresentados no Ranking do Saneamento de 2020 e enfatiza a falta ou ineficiência do sistema de saneamento básico do município.

No âmbito da drenagem urbana, autores como Vidal (2019), Camelo (2019), Freire *et al.* (2014), Henriques (2014) e Caminha (2014), observaram a contaminação das águas pluviais devido ao lançamento de efluentes domésticos na rede de drenagem, o que evidencia, mais ainda, a precariedade do esgotamento sanitário de Campina Grande.

3.3.2 Implementação do modelo na bacia em estudo

A implementação do modelo na bacia piloto foi realizada segundo todos os passos descritos na etapa 2 (item 3.2), com exceção da definição de cenários de gestão. No diagnóstico da área foram construídos os mapas de vulnerabilidade social, fragilidade ambiental e de risco ambiental. A partir do mapa de risco foi feita a escolha dos pontos de coleta de água pluvial no sistema de macrodrenagem para caracterização da qualidade com ensaios laboratoriais e análises estatísticas.

A água coletada foi enviada ao laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, para a realização das análises descritas no Quadro 13. As coletas foram realizadas às 8h, com frequência semanal, entre os meses de março e outubro de 2018. Os indicadores escolhidos foram analisados com as técnicas padrões do Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2012).

As amostras foram coletadas por um dispositivo constituído de um balde acoplado a uma corda. Estas, foram transferidas para os recipientes específicos das análises gerais, microbiológica

e para medição do oxigênio dissolvido. Paralelamente à coleta, foi verificada a temperatura do efluente e, posteriormente, os recipientes foram acondicionados em caixas térmicas para a manutenção da temperatura ambiente e resfriamento em torno de 4 °C.

Os dados obtidos foram normalizados e submetidos à análise de variância - ANOVA com fator único. É importante salientar que nos testes Anderson – Darling, Kolmogorov – Smirnov, Shapiro – Wilk e Ryan – Joiner o nível de significância adotado foi de 5% ($p\text{-valor} > 0,05$) e foi verificado que os dados de todos os indicadores seguiam uma distribuição de frequência que se aproximava a distribuição normal. Após isso, foi aplicado o teste de Tukey para a verificação de diferenças estatísticas significativas.

Também foram realizadas análises a respeito do contexto atual da gestão das águas pluviais urbanas a partir de pesquisa documental exploratória e levantamento de dados com aplicações de formulários (Apêndice A). Posteriormente, a bacia piloto foi classificada em um dos três cenários de gestão propostos (ineficiente, parcial e eficiente) a partir dos cálculos dos índices descritos no item 3.2.3.

Com a classificação e, de posse dos objetivos, princípios, diretrizes gerais e medidas mitigadoras do plano de gerenciamento proposto, foram estudadas as possíveis medidas mitigadoras específicas e programas de monitoramento que poderão ser aplicadas na bacia piloto.

3.3.3 Observação do comportamento do modelo a partir da sua aplicação

Após a aplicação do modelo na bacia piloto, foram realizadas observações acerca da eficácia da proposta metodológica de caracterização e classificação nos cenários descritos, bem como o comportamento em termos de facilidade/dificuldade na realização da seleção das medidas mitigadoras específicas e programas de monitoramento. Essas observações podem direcionar o gestor e nortear as ações a serem realizadas para solucionar ou mitigar os problemas existentes na bacia.

3.4 VERIFICAÇÃO E AÇÕES CORRETIVAS APÓS APLICAÇÃO DO MODELO

A etapa de verificação e ações corretivas contempla as sugestões para o monitoramento das atividades após a implementação do modelo de gestão e das operações que possam causar impactos ambientais, a fim de prevenir, mitigar e eliminar o reaparecimento de não conformidades.

As sugestões que foram elencadas para a verificação, monitoramento e prevenção/eliminação das não conformidades, tem como objetivo a manutenção ou melhoria da qualidade da água de drenagem para seu lançamento em corpos receptores, minimizando os impactos em ecossistemas naturais que venham a entrar em contato com os referidos efluentes urbanos.

Para isso, foram elencadas propostas de monitoramento e medidas de mitigação e/ou eliminação das não conformidades na própria origem, com o auxílio da educação ambiental na área de aplicação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS DA DEFINIÇÃO DA POLÍTICA AMBIENTAL PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM SISTEMAS DE MACRODRENAGEM

4.1.1 Princípios de gestão de qualidade de água pluvial urbana

Há na literatura técnica princípios sobre a gestão de recursos naturais, sustentabilidade, sistemas de saneamento, entre outros condicionantes que envolvem a gestão ambiental, apresentados, muitas vezes, de forma genérica, podendo ser aplicados em qualquer situação ou lugar. Estes princípios comumente norteiam a elaboração de políticas e planos de gestão, a fim de possibilitar a manutenção ou melhoria da qualidade ambiental.

Com a finalidade de embasar a política do plano de gerenciamento proposta por essa pesquisa, à luz da gestão ambiental e da sustentabilidade, foram sugeridos princípios de gestão de qualidade de água de drenagem urbana a partir de uma releitura de princípios genéricos dispostos em trabalhos acadêmicos e instrumentos legais (Quadro 14).

Quadro 14 - Princípios de gestão de qualidade de água de drenagem urbana

| PRINCÍPIOS DE GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUA DE DRENAGEM URBANA | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I - Princípio da gestão sistêmica de qualidade de água de drenagem: Os planos e leis de desenvolvimento urbano (planos diretores e de saneamento, leis de zoneamento e parcelamento do solo, planos de transportes, código de postura e de obras) devem conter diretrizes específicas à manutenção da qualidade das águas dos canais urbanos. | |
| Princípios Genéricos | <ul style="list-style-type: none"> – Princípio da gestão sistêmica de águas pluviais (SILVA, 2016, p. 122); – Articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante (BRASIL, 2007); – Integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos (BRASIL, 2007). |
| II - Princípio da gestão espacial da qualidade de águas de drenagem e da intransferência de impactos ambientais: Para a gestão da qualidade de águas pluviais urbanas deve-se considerar a bacia hidrográfica como área de estudo e aplicação de medidas de mitigação; sendo responsabilidade do órgão gestor a destinação sustentável do efluente gerado ou lançamento em corpo hídrico receptor a jusante, tendo em consideração a manutenção da qualidade da água do corpo receptor. | |
| Princípios Genéricos | <ul style="list-style-type: none"> – Princípio do planejamento espacial do manejo de águas pluviais (SILVA, 2016, p. 122); – Princípio do Limite de Ocupação Baseado em Bacias Hidrográficas (SILVA, 2016, p. 122); – A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH (BRASIL, 1997); – Recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 1981). |

| PRINCÍPIOS DE GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUA PLUVIAL URBANA | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| III - Princípio da gestão integrada de limpeza urbana e águas pluviais: Resíduos sólidos causam a depreciação da qualidade de águas pluviais urbanas e conseqüentemente de corpos hídricos receptores. É imprescindível que haja a integração entre os planos de resíduos sólidos, manejo de águas pluviais, serviços de limpeza de logradouros e dispositivos de drenagem, a fim de minimizar os impactos decorrentes do contato direto com os resíduos e/ou carreamento de partículas para o canal de drenagem. | |
| Princípio Genérico | – Princípio da gestão de resíduos sólidos ligada ao manejo de águas pluviais (SILVA, 2016, p. 122). |
| IV - Princípio da gestão descentralizada e da transparência: Os planos de gestão e desenvolvimento urbano devem ser elaborados com a participação da população, implementados e avaliados periodicamente, a fim de corrigir as distorções e ações de não-conformidade que venham surgir. | |
| Princípios Genéricos | <ul style="list-style-type: none"> – Princípio da avaliação constante do processo de manejo de águas pluviais (SILVA, 2016, p. 122-123). – Princípio da participação pública e da transparência na gestão das águas pluviais (SILVA, 2016, p. 122-123). – A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada (BRASIL, 1997); – Planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais descentralizados (BRASIL, 1981); – Transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados (BRASIL, 2007); – O direito da sociedade à informação e ao controle social (BRASIL, 2010). |
| V - Princípio da capacitação dos envolvidos na elaboração e execução dos planos urbanos: Todos os envolvidos na elaboração dos planos de gestão urbana devem participar de cursos de aperfeiçoamento visando a criação do pensamento crítico a respeito da sustentabilidade e da integração entre os planos urbanos, a fim da manutenção da qualidade das águas urbanas. Em relação a população, a sua conscientização será formada a partir dos programas de educação ambiental regidos pela lei federal nº 9.795, de 27 de abril de 1999. | |
| Princípios Genéricos | <ul style="list-style-type: none"> – Princípio da capacitação social na gestão das águas pluviais (SILVA, 2016, p. 123); – Princípio da capacitação técnica dos profissionais no gerenciamento de águas pluviais (SILVA, 2016, p. 123). – Educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente (BRASIL, 1981); – A educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profissionais; da população e de administradores públicos, é essencial para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente por todos (PMPA, 2005). |
| VI - Princípio da responsabilidade pelos impactos à qualidade de água de drenagem urbana: O gerador de impactos deve se responsabilizar financeiramente pelos custos de mitigação e melhoria da qualidade da água do corpo hídrico urbano que venha a ser poluído por suas atividades. | |
| Princípios Genéricos | <ul style="list-style-type: none"> – Princípio da responsabilização econômica pelos impactos associados ao manejo das águas pluviais (SILVA, 2016, p. 123); – Eficiência e sustentabilidade econômica (BRASIL, 2007); – O poluidor-pagador e o protetor-recebedor (BRASIL, 2007). |
| VII - Princípio da não interferência nos usos múltiplos: as águas de drenagem urbana não deverão comprometer a qualidade dos corpos hídricos receptores de tal forma que prejudique a prática dos usos pré-existentes. | |
| Princípios Genéricos | <ul style="list-style-type: none"> – A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas (BRASIL, 1997); – Manejo Sustentável (NEW ZEALAND, 1991). |

| PRINCÍPIOS DE GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUA PLUVIAL URBANA | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VIII – Princípio da prevenção e precaução de qualidade de água: as águas coletadas e direcionadas aos canais de macrodrenagem urbana devem possuir qualidade suficiente para serem lançadas em corpos hídricos, sendo responsabilidade do órgão gestor o monitoramento periódico da qualidade e a tomada de decisão para a melhoria ou manutenção da mesma. | |
| Princípios Genéricos | <ul style="list-style-type: none"> – Ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo (BRASIL, 1997); – Acompanhamento do estado da qualidade ambiental (BRASIL, 1981); – A água é um bem de domínio público (BRASIL, 1997); – A prevenção e a precaução (BRASIL, 2010); – O desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010); – Manutenção e melhoria da qualidade do ambiente (NEW ZEALAND, 1991); – A manutenção e o aprimoramento do acesso público às áreas marinhas costeiras, lagos e rios (NEW ZEALAND, 1991). |
| IX - Princípio da universalização e eficiência dos serviços de saneamento básico: os serviços de saneamento devem ser ofertados em toda área urbana e de forma adequada à saúde pública e à segurança da vida humana. | |
| Princípios Genéricos | <ul style="list-style-type: none"> – Integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados (BRASIL, 2007); – Abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente (BRASIL, 2007); – Disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes, adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado (BRASIL, 2007). |
| X - Princípio da interferência das multivariáveis: a qualidade da água de drenagem deve ser analisada de forma ampla, considerando as diversas variáveis que possam interferir na mesma, em especial atenção as condicionantes sociais e de infraestrutura urbana. | |
| Princípio Genérico | – A visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública (BRASIL, 2010) |

Fonte: Autoria Própria (2020).

4.1.2 Objetivos do plano de gerenciamento de qualidade de águas de drenagem urbana

Com base nos princípios estabelecidos e na vasta pesquisa bibliográfica exploratória, foram sugeridos objetivos, geral e específicos, para nortear o plano de gerenciamento de qualidade de águas drenagem urbana (Quadro 15).

Quadro 15 - Objetivos de gestão de qualidade de drenagem urbana

| OBJETIVOS DE GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUA DE DRENAGEM URBANA | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivo Geral | <ul style="list-style-type: none"> – Preservação da qualidade da água de drenagem e dos ecossistemas aquáticos urbanos, visando assegurar ao município a possibilidade de desenvolvimento socioeconômico sem comprometer a integridade dos ambientes, dignidade da vida humana e os usos múltiplos da água urbana pré-existentes. |
| OBJETIVOS DE GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUA DE DRENAGEM URBANA | |
| Objetivos Específicos | <ul style="list-style-type: none"> – Assegurar à atual e às gerações futuras a manutenção ou a melhoria da qualidade da água dos recursos hídricos urbanos, a partir da garantia ao acesso dos serviços de saneamento básico; – Preservar e defender os ecossistemas aquáticos urbanos, garantindo o monitoramento da qualidade da água, averiguação de irregularidades e a área mínima de planície de inundação; – Incentivar e promover a adoção de pavimentos permeáveis, criação de parques e de pequenas áreas verdes ao longo da bacia, para amortecimento e infiltração da água pluvial; – Incentivar e promover a sustentabilidade do sistema de drenagem urbana a partir da captação e uso da água pluvial em edificações residenciais, comerciais e públicas, além da manutenção periódica do sistema de drenagem e análise das interações entre as águas urbanas; – Promover a educação ambiental para população da bacia, em atenção especial aos residentes das áreas de elevado risco ambiental, com a finalidade de construir um pensamento crítico a respeito da inserção do ser humano no meio ambiente, suas ações perante a problemática ambiental e a manutenção da qualidade dos corpos hídricos urbanos. – Garantir à população, ecossistemas saudáveis, segurança pública, redução de gastos públicos com a recuperação ambiental e tratabilidade de água, além de melhoria estética na paisagem urbana. |

Fonte: Autoria Própria (2020).

4.1.3 Diretrizes Gerais

Com o propósito de direcionar os gestores a alcançar os objetivos sugeridos na seção 4.1.2, foi proposto um conjunto de instruções, as diretrizes, elaboradas com base nas variáveis socioambientais que poderão ser encontradas em uma bacia hidrográfica urbana, além das condicionantes que caracterizam a gestão da qualidade de água de drenagem urbana.

Compete ao município e/ou órgão em regime de concessão:

- i. Implementar programas de educação ambiental em todos os níveis de educação que estiverem sob sua responsabilidade, a fim de formar o pensamento crítico a respeito da problemática ambiental e sustentabilidade;
- ii. Implementar programas de educação ambiental em áreas de elevado risco, com a finalidade de intervir nas ações antrópicas perante a qualidade da água de drenagem e dos corpos hídricos urbanos;

- iii. Incentivar e promover cursos de capacitação aos profissionais do setor de saneamento, com conteúdos voltados para a sustentabilidade e gestão integrada dos serviços.
- iv. Incentivar e promover a captação de águas pluviais e o uso para fins menos nobres;
- v. Incentivar e promover meios para o amortecimento, infiltração, captação e direcionamento das águas pluviais urbanas;
- vi. Promover os serviços de esgotamento sanitário e o manejo de resíduos sólidos, sua operação, manutenção e ampliação quando necessário; além dos serviços de varrição e limpeza de terrenos baldios;
- vii. Integrar as águas urbanas aos seus devidos sistemas, minimizando a interferência na qualidade das águas de drenagem;
- viii. Realizar, a cada dois meses, o monitoramento físico-químico e microbiológico das águas de drenagem urbana e dos corpos hídricos receptores.
- ix. Garantir a transparência e divulgação dos resultados do monitoramento das águas interiores da bacia hidrográfica;
- x. Fiscalizar e punir, de acordo com a lei de crimes ambientais (Lei n°9.605/1998), atos que possam diminuir a qualidade da água de drenagem e dos corpos hídricos urbanos;
- xi. Implementar meios de comunicação entre a população e o órgão gestor, com a finalidade de gerar uma gestão participativa de qualidade de água de drenagem;
- xii. Garantir as áreas mínimas de planície de inundação e a revitalização de corpos hídricos atingidos por ações antrópicas;
- xiii. Desapropriar e realocar a população que reside em área de risco ambiental e na planície de inundação do corpo hídrico urbano;
- xiv. Identificar as áreas da bacia com elevadas vulnerabilidades sociais e criar políticas públicas para a manutenção da dignidade da vida humana;
- xv. Identificar as tendências de crescimento urbano e fornecer infraestrutura de saneamento básico;
- xvi. Criar incentivos para as empresas que aderirem à implementação de espaços verdes e pavimentos permeáveis em suas obras;
- xvii. Definir as medidas mitigadoras e compensatórias para as alterações ambientais que possam depreciar a qualidade da água de drenagem urbana.

Compete à população residente nas áreas de contribuição da bacia hidrográfica:

- i. Contribuir para a manutenção da qualidade da água de drenagem e dos corpos hídricos urbanos, lançando os efluentes domésticos em sistema público de coleta de esgoto ou individual;
- ii. Captar e dar usos, quando possível, às águas pluviais.
- iii. Informar ao órgão gestor sobre as possíveis obstruções de dispositivos, acúmulo de resíduos no canal de drenagem e presença de ligações clandestinas de esgoto;
- iv. Acondicionar os resíduos sólidos de forma correta e dispô-los para serviço de coleta somente no dia de recolhimento;
- v. Realizar regularmente a limpeza de calçadas e terrenos sem edificações;
- vi. Obedecer aos instrumentos legais de uso e ocupação de solo, parcelamento do solo, áreas de proteção ambiental, entre outros documentos normativos que visem a proteção do meio ambiente.
- vii. Promover a arborização em calçadas e realizar as devidas manutenções.

4.1.4 Medidas mitigadoras gerais

As medidas mitigadoras gerais são apresentadas para as variáveis que compõem os mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social. É importante salientar que em uma mesma bacia hidrográfica existem diversas realidades socioambientais, e para uma melhor eficiência de mitigação dos impactos, devem ser realizadas aplicações de medidas em conjunto.

Em relação aos impactos que podem surgir devido às características do meio, foram elencados alguns dos possíveis problemas ambientais e suas medidas mitigadoras (Quadro 16), com base em pesquisas bibliográficas. As classes de declividade, tipo de solo, uso e ocupação do solo, foram adaptadas do estudo de Schiavo *et al.* (2016).

Já para as condicionantes sociais (Quadro 17), as medidas foram elaboradas à luz do princípio da universalização dos serviços de saneamento básico proposto pela Lei nº 11.445/2007 e na melhoria das condições de vida da população.

É importante enfatizar que, em todas as situações de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social, a captação e uso das águas pluviais é incentivada como medida de precaução de cheias, sustentabilidade do sistema de drenagem e manutenção da qualidade dos corpos hídricos urbanos.

Quadro 16 - Medidas mitigadoras para problemas de origem ambiental

| Variável ambiental | Classes | Possíveis problemas | Medidas mitigadoras |
|--------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Declividade | Até 6% | <ul style="list-style-type: none"> – Possibilidade de alagamento em diferentes áreas da bacia hidrográfica. | <ul style="list-style-type: none"> – Utilização de áreas verdes e pavimentos que facilitem a infiltração da água; |
| | De 6% a 20% | <ul style="list-style-type: none"> – Diminuição da interceptação da água; – Aumento da velocidade de escoamento da água; – Carreamento de partículas para os canais de drenagem; – Diminuição do tempo de concentração. | <ul style="list-style-type: none"> – Aplicação de vegetação arbustiva e rasteiras (nativas) em locais públicos e canteiros centrais de vias; – Implementação de projetos que incentivem e promovam o plantio de vegetação em calçadas e áreas com solo exposto, a fim de aumentar a interceptação e amortecimento da água; – Fiscalização dos novos empreendimentos, comerciais e residenciais, pelos órgãos responsáveis, a fim de garantir a taxa mínima de permeabilidade exigida pelo código de obra do município; – Mapeamento das áreas com risco de inundações; – implementação de infraestrutura de captação e direcionamento de águas de drenagem; – Limpeza e manutenção periódica de vias urbanas, terrenos baldios e dispositivos de drenagem urbana. |
| | Acima de 20% | <ul style="list-style-type: none"> – Redução significativa da interceptação da água por pequenas depressões no solo; – Aumento da velocidade de escoamento da água; – Carreamento de partículas para os canais de drenagem – Diminuição significativa do tempo de concentração, aumentando a possibilidade de cheias no exutório da bacia e a diminuição do tempo de permanência da água no canal de drenagem, reduzindo o processo de autodepuração antes da entrada na bacia a jusante. | <ul style="list-style-type: none"> – Aplicação das medidas citadas às classes anteriores de declividade; – Preservação das planícies de inundações em toda a extensão dos corpos hídricos urbanos; – Criação de incentivos para a captação e uso das águas pluviais; – Criação de parques públicos com açudes artificiais, com a finalidade de amortecer as águas de drenagem, aumentar o tempo de detenção da água dentro da bacia, reduzir as ocorrências de cheias urbanas e para a contemplação paisagística. |

| Variável ambiental | Classes | Possíveis problemas | Medidas mitigadoras |
|---------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo e uso da terra | Florestas e matas naturais | - | - |
| | Formações arbustivas naturais e pastagens | - Contaminação da água de drenagem devido ao contato com fezes de animais. | - Incentivar a compostagem e a produção de adubo orgânico. |
| | Cultivos e Culturas | - Poluição da água de drenagem, superficial e subterrânea, devido à presença de agrotóxicos e fertilizantes no solo. | - Ao utilizar produtos químicos, respeitar a quantidade, forma de aplicação e descarte; - Dá preferências a produtos orgânicos. |
| | Áreas desmatadas, solos expostos e urbanizados | - Aumento do escoamento de partícula, poluição da água de drenagem e assoreamento de canais; - Impermeabilização do solo, diminuição da infiltração e aumento do volume de água a ser escoado; - Redução das áreas de vegetação e, conseqüentemente, das áreas de interceptação/amortecimento de águas pluviais - Aumento da probabilidade de ações não sustentáveis, como lançamento de resíduos nos canais e ligações clandestinas de esgoto sanitário. - Aumento da probabilidade de invasão de áreas de proteção ambiental e de elevado risco à aglomerados urbanos; | - Fiscalização dos novos empreendimentos, comercial e residencial, pelos órgãos responsáveis, a fim de garantir a taxa mínima de permeabilidade exigida pelo código de obra do município; - Mapeamento das áreas de risco a inundações; - implementação de infraestrutura de captação e direcionamento de águas de drenagem; - Limpeza e manutenção periódica de vias urbanas, terrenos baldios e dispositivos de drenagem urbana. - Utilização de áreas verdes e pavimentos que facilitem a infiltração da água; - Aplicação de vegetação arbustiva e rasteira (nativas) em locais públicos e canteiros centrais de vias; - Implementação de projetos que incentivem e promovam o plantio de vegetação em calçadas e áreas com solo exposto, a fim de aumentar a interceptação e amortecimento da água - Fiscalização e realocação de pessoas que residam em áreas de proteção ambiental - Implementação de programas de educação ambiental em escolas e áreas de elevado risco ambiental. |

| Variável ambiental | Classes | Possíveis problemas | Medidas mitigadoras |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de Solo | Solos de fragilidade muito baixa e baixa (Ex.: Latossolo roxo e Latossolo amarelo). | <ul style="list-style-type: none"> – Carreamento de partículas desagregadas devido à falta de vegetação | <ul style="list-style-type: none"> – Incentivar e promover o plantio de vegetação arbustiva e rasteira em áreas de solo exposto. |
| | Solos de fragilidade média (Ex.: Terra roxa e Terra Bruna). | <ul style="list-style-type: none"> – Diminuição da interceptação e infiltração da água; – Aumento do volume de água a ser escoado e do carreamento de partículas dispostas no meio; | <ul style="list-style-type: none"> – Mapeamento das áreas de risco a inundações; – implementação de infraestrutura de captação e direcionamento de águas de drenagem; – Limpeza e manutenção periódica de vias urbanas, terrenos baldios e dispositivos de drenagem urbana. |
| | Solos de fragilidade alta e muito alta (Ex.: Cambissolos e Litólicos). | <ul style="list-style-type: none"> – Diminuição significativa na infiltração da água – Aumento significativo do volume de água a ser escoado e, conseqüentemente, aumento do arraste de partícula para os canais de drenagem – Maior probabilidade de cheias | <ul style="list-style-type: none"> – Aplicação das medidas citadas às classes anteriores de declividade; – Caso a área de aplicação esteja em uma região de alta pluviosidade, se faz necessária a implementação de reservatório de amortecimento e regularização de vazões. |

Nota: Classes de solos e respectivas fragilidades estão dispostos no Quadro 11.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Quadro 17 - Medidas mitigadoras relacionadas à vulnerabilidade social

| Medidas relacionadas à fragilidade dos moradores | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variáveis | Problemas | Medidas mitigadoras |
| Renda e alfabetização | <ul style="list-style-type: none"> – Invasão e construção de moradias em áreas de risco ou proteção ambiental; – Habitações precárias e sem saneamento adequado – Inacessibilidade aos diferentes níveis de educação – Ações não sustentáveis perante o meio ambiente; – Contaminação do solo e da água pela disposição de resíduos sólidos e lançamento de esgoto doméstico. | <p>As condicionantes sociais, renda e alfabetização, possuem influências significativas na vulnerabilidade social, e esta, na qualidade das águas de drenagem urbana. A educação ambiental permite a criação de um pensamento crítico a respeito da questão ambiental e, o acesso à renda, à obtenção de melhores condições de vida, moradia e condições sanitárias adequadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Criar políticas públicas que visem a inserção da população mais vulnerável no mercado de trabalho; – Criar políticas públicas que auxiliem na inserção da população mais vulnerável nos diversos níveis de educação; – Promover campanhas de conscientização ambiental; – Realocar a população residente em áreas de elevado risco ambiental; |
| Medidas relacionadas à fragilidade dos serviços urbanos | | |
| Variáveis | Problemas | Medidas mitigadoras |
| Abastecimento de água, coleta de resíduos sólidos, esgotamento sanitário e infraestruturas associadas à drenagem | <ul style="list-style-type: none"> – Inexistência ou prestação precária de serviços urbanos; | <p>Os serviços urbanos são fundamentais para a minimização da vulnerabilidade social da população, entre estes, citam-se os serviços de saneamento, saúde, educação, mobilidade e comunicação social, meio ambiente, habitação e lazer.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Implementar as infraestruturas dos serviços de saneamento básico em toda a bacia em estudo. Realizar as operações e manutenções necessárias e ampliar de acordo com as tendências de crescimento da cidade. |

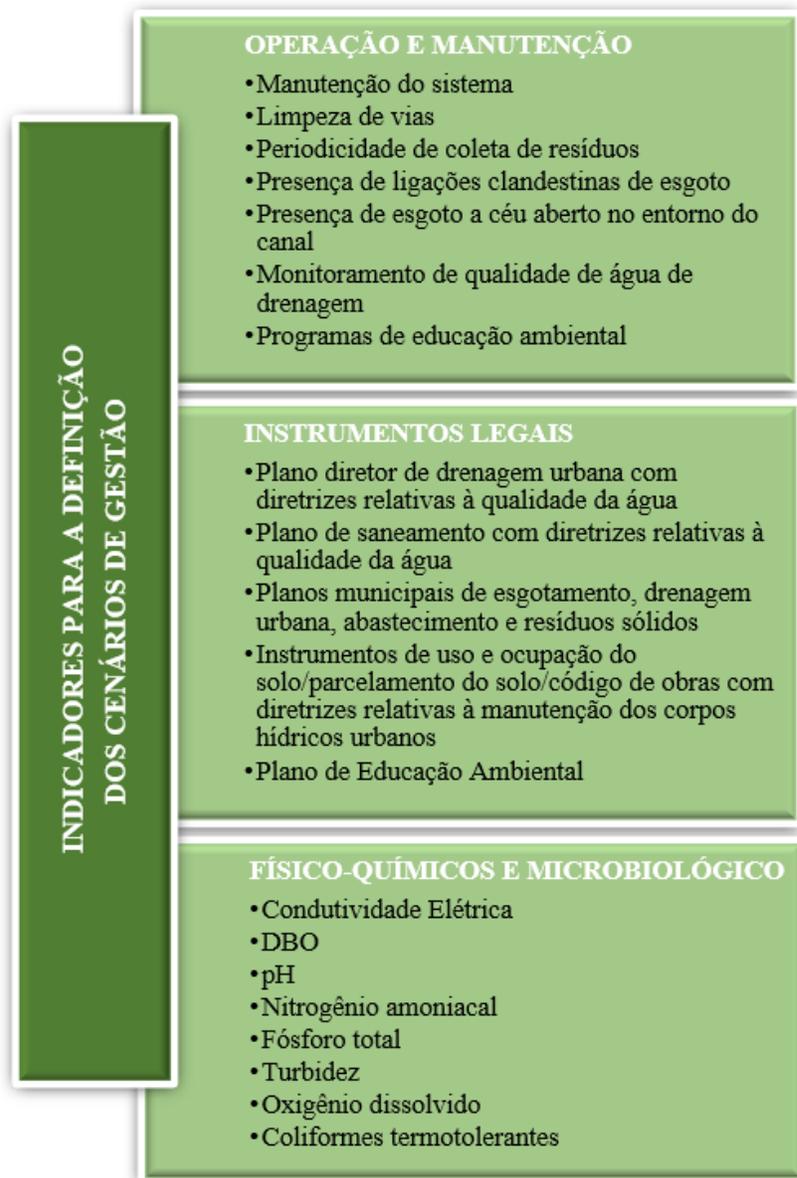
Fonte: Autoria Própria (2020).

4.2 RESULTADOS REFERENTES À PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

4.2.1 Definição dos grupos de indicadores e cenários de gestão

O conjunto de valores estabelecidos para compor os limites dos três cenários de gestão é uma sugestão desta pesquisa e é parte constituinte do modelo de gestão proposto. A Figura 9 apresenta os indicadores selecionados para a definição dos cenários de gestão.

Figura 9 - Indicadores para a definição dos cenários de gestão



Fonte: Autoria Própria (2020).

a) Indicadores de operação e manutenção (OM)

O grupo de operação e manutenção dos serviços associados à drenagem urbana envolve sete indicadores relativos à limpeza dos canais e de vias, desobstrução dos dispositivos de micro e macrodrenagem, coleta de resíduos e de esgotos sanitários, monitoramento da qualidade da água presente em canais artificiais e naturais e execução de programas de educação ambiental para a população.

Os limites estabelecidos para os indicadores deste grupo foram baseados em documentos legais, como planos de saneamento, planos de resíduos sólidos, planos diretores de drenagem urbana, planos de programas de educação ambiental de municípios brasileiros, além de consultas na literatura técnica e legislação federal. Além disso, foram tomados como base para a classificação do cenário de gestão eficiente os menores períodos de retorno de execução de operação/manutenção encontrados na literatura técnica.

Para o cenário parcial foram adotados valores/intervalos acima dos utilizados no cenário eficiente e que não alterassem de forma significativa a qualidade das águas transportadas por canais de macrodrenagem. Desta forma, os valores/intervalos do cenário ineficiente seriam superiores aos do cenário parcial, refletindo a pior situação.

Assim, foi verificada nos documentos citados anteriormente, a periodicidade dos serviços de manutenção e operação que são comumente oficializados e aplicados em municípios brasileiros. O Quadro 18 apresenta os indicadores referentes ao grupo de manutenção e operação dos serviços associados à drenagem urbana e os valores limites estabelecidos para os cenários propostos.

Em relação ao indicador de manutenção do sistema - OM_1 que inclui desobstrução de galerias e bocas de lobo, limpeza de sarjetas e de canais, considerou-se como uma gestão eficiente a execução diária destes serviços, com planejamento do órgão gestor ou com o auxílio da população. Campina Grande - PB e São Paulo - SP são municípios brasileiros que executam diariamente a limpeza de dispositivos de drenagem como sarjetas, conforme estabelecido nos respectivos planos municipais de saneamento básico. Na gestão parcial o intervalo adotado para a execução do serviço foi semanal ou, no máximo, a cada dois meses, e na gestão ineficiente acima de dois meses ou quando houver a ocorrência de alagamento. Tais intervalos foram adaptados do Plano Municipal de Saneamento Básico de Teresina - PI.

Quadro 18 - Indicadores de operação e manutenção

| Indicadores | Gestão Eficiente | Gestão Parcial | Gestão Ineficiente | Referências |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Manutenção do sistema - OM ₁ | Diariamente para vias de grandes fluxos de pessoas e próximos a áreas comerciais; Dias alternados para vias de baixo fluxo; Com gestão participativa da população. | Semanal ou no máximo a cada dois meses | Acima de dois meses ou quando houver ocorrência de alagamento | PMT (2018); PMCG (2015); PMSP (2010). |
| Limpeza das vias no entorno dos canais - OM ₂ | Diariamente para vias de grandes fluxos de pessoas e próximos a áreas comerciais; Dias alternados para vias de baixo fluxo. | 3 vezes por semana | ≤ 2 vezes por semana | Funasa (BRASIL, 2006) PMT (2018) PMSP (2010) |
| Frequência da coleta de resíduos sólidos - OM ₃ | Diariamente | Dias alternados | ≤ 3 vezes por semana | Funasa (BRASIL, 2006) |
| Presença de ligações clandestinas de esgoto nos canais de drenagem separadores absolutos - OM ₄ | Sem ligações clandestinas de esgoto detectadas | Com ligações pontuais de esgoto doméstico; porém, existe coleta de esgoto fornecido pela prefeitura, mesmo que parcialmente. | Com ligações clandestinas de residências e de tubulações públicas | Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007) Decreto nº 7.217/2010 (BRASIL, 2010) |
| Presença de esgoto a céu aberto no entorno do canal - OM ₅ | Sem esgoto a céu aberto no entorno do canal (100% do esgoto coletado) | Com obras em execução de infraestrutura de coleta de esgoto doméstico ou parte da rede de coleta concluída | Com esgoto a céu aberto e sem coleta de esgoto | |
| Monitoramento de qualidade de água de drenagem - OM ₆ | Indicadores físico-químicos e microbiológicos com frequência bimestral | Indicadores físico-químicos e microbiológicos com frequência entre dois meses e 1 ano | Indicadores físico-químicos e microbiológicos com frequência acima de um ano ou monitoramento inexistente | CETESB (2018) CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) |
| Programas de educação ambiental - OM ₇ | Aplicados na educação básica e superior | Em um dos níveis de educação | Sem programas de Educação Ambiental | Lei nº 9.795/99 (BRASIL, 1999) |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Com relação ao indicador de limpeza de vias no entorno dos canais de drenagem - OM₂, a Funasa (BRASIL, 2006) aponta como ideal para a manutenção da qualidade das águas pluviais a execução diária de limpeza, evitando assim o arraste de partículas para os dispositivos de drenagem em dias de precipitação. Porém, documentos como os planos de saneamento básico de Teresina e de São Paulo, e o próprio manual da Funasa, apresentam outros intervalos de execução de limpeza que são aceitáveis para municípios com limitação de recursos financeiros. A partir dos limites dispostos nesses documentos, foram adotados os limites para a gestão eficiente, parcial e ineficiente (Quadro 18).

Em relação à coleta e transporte de resíduos sólidos, a FUNASA relata que é importante para a eficiência da prestação do serviço a garantia da universalização e a regularidade da coleta (BRASIL, 2006). O indicador OM₃ (Quadro 18) descreve a frequência da coleta dos resíduos sólidos urbanos no município. Com base nas informações apresentadas pela FUNASA e na frequência adotada por alguns municípios brasileiros, foram delimitadas as frequências para os cenários propostos.

O indicador OM₄ refere-se à presença de ligações clandestinas de esgotos sanitários no sistema de drenagem. Os parágrafos 1 e 2 do art. 9º do Decreto de nº 7.217/2010 dispõem que poderão ser considerados esgotos sanitários os efluentes industriais que possuam características semelhantes ao esgoto doméstico, não relatando a inclusão das águas pluviais urbanas; e que as leis e normas poderão prever penalidades para os casos de lançamento de águas pluviais ou de esgotos com características não compatíveis com a rede de esgotamento sanitário, deixando exposta a recomendação da execução de sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto (BRASIL, 2010). Desta forma, a delimitação do indicador OM₄ foi realizada com base na existência de ligações clandestinas de esgoto, residenciais ou públicas, na rede de drenagem urbana.

O indicador OM₅ está relacionado com a presença de esgoto a céu aberto no entorno dos canais de macrodrenagem. A inclusão deste indicador na caracterização da bacia de estudo foi devida à sua relação direta com a qualidade da água que escoar ou infiltra para o sistema de drenagem. Desta forma, as delimitações dos cenários de gestão foram realizadas com base na presença ou ausência desse esgoto a céu aberto. É importante enfatizar que a avaliação dos indicadores OM₄ e OM₅ é feita por análise visual e consulta a população (formulários – Apêndice A).

O indicador OM₆ refere-se ao monitoramento da qualidade da água de drenagem a partir de indicadores de qualidade e frequência de monitoramento. Os limites dos cenários de gestão foram elaborados com base na Resolução do CONAMA nº 357/2005 e no relatório de qualidade

das águas interiores do Estado de São Paulo do ano de 2017. Os indicadores utilizados para o monitoramento da qualidade da água serão dos tipos físico-químicos e microbiológicos para os três cenários de gestão, diferenciando apenas a frequência das análises.

O indicador OM₇ refere-se à existência de programas de educação ambiental nos diversos níveis de educação. O artigo 10 da Lei nº 9.795/99 diz que a educação ambiental é constituída por processos formadores de valores sociais, habilidades, conhecimentos, atitudes e competências voltadas para manutenção e conservação do meio ambiente (BRASIL, 1999). Desta forma, a delimitação dos cenários foi realizada com base na existência de programas de educação ambiental em diferentes níveis de ensino.

b) Indicadores de instrumentos legais (IL)

Os indicadores de instrumentos legais (Quadro 19) referem-se aos documentos relacionados à gestão do saneamento básico e às atividades que influenciam na qualidade das águas pluviais. Desta forma, os indicadores em questão, estão diretamente relacionados à problemática da qualidade das águas pluviais urbanas captadas e encaminhadas para os canais de macrodrenagem.

Citam-se como indicadores do grupo de instrumentos legais o plano diretor de drenagem urbana; plano de saneamento; planos municipais de esgotamento, abastecimento e resíduos sólidos; instrumento de uso e ocupação do solo e plano de educação ambiental.

Para a definição dos limites de transição entre os cenários de gestão, foi considerado que os instrumentos legais são indicadores não mensuráveis, e, devido a este fato, optou-se em analisá-los a partir da sua implementação. Desta forma, os cenários de gestão eficiente, parcial e ineficiente, terão as seguintes situações, respectivamente: possui o documento em questão e este foi implantado; possui, mas não está implantado; não possui o referido documento.

O indicador IL₁, existência dos planos municipais referentes aos serviços do saneamento básico, que são: esgotamento sanitário, drenagem urbana, abastecimento de água e resíduos sólidos.

Os indicadores IL₂, IL₃ e IL₄ estão relacionados à existência dos seguintes documentos: plano diretor de drenagem urbana, plano de saneamento e instrumentos de uso e ocupação do solo/parcelamento do solo/código de obras. Porém, para a adaptação destes instrumentos ao tema da pesquisa, enfatizou-se a existência de diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem e à manutenção dos corpos hídricos urbanos. Desta forma, para que estes indicadores

se enquadrarem como gestão eficiente, os mesmos devem apresentar de forma explícita a preocupação com a problemática ambiental das águas urbanas.

Seguindo o mesmo princípio, o indicador IL₅ refere-se à existência de Plano de Educação Ambiental e se este, está ou não implementado.

Quadro 19 - Indicadores de instrumentos legais

| Indicadores | Gestão Eficiente | Gestão Parcial | Gestão Ineficiente |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Planos municipais de Esgotamento, Drenagem Urbana, Abastecimento e Resíduos Sólidos - IL ₁ | Possui e está implementado | Possui, mas não está implementado | Não possui plano |
| Plano diretor de drenagem urbana com diretrizes relativas à qualidade da água - IL ₂ | Possui e está implementado | Possui, mas não está implementado | Não possui plano |
| Plano de saneamento com diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem - IL ₃ | Possui e está implementado | Possui, mas não está implementado | Não possui plano |
| Instrumentos de uso e ocupação do solo/parcelamento do solo/código de obras com diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem e à manutenção dos corpos hídricos urbanos - IL ₄ | Possui e está implementado | Possui, mas não está implementado | Não possui plano |
| Plano de Educação Ambiental - IL ₅ | Possui e está implementado | Possui, mas não está implementado | Não possui plano |

Fonte: Autoria Própria (2020).

c) Indicadores físico-químicos e microbiológico (FM)

Devido à não existência de dados relacionados às águas de drenagem urbana e os cenários de gestão se tratarem de uma proposta desta pesquisa, ou seja, não delimitados por outros autores anteriormente, a escolha dos indicadores e das transições destes nos cenários de gestão, foram baseados em diversas referências que estudaram as características de águas pluviais, de reservatórios superficiais urbanos e de abastecimento.

Para cada cenário de gestão, eficiente, parcial e ineficiente (Quadro 20), foram estabelecidos os limites para indicadores em consonância com normas ambientais e autores de referência. Além disso, vale salientar que o escoamento de um rio é compreendido pela somatória dos escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo; sendo o escoamento superficial gerado durante ou imediatamente após ocorrência de precipitação (FERNANDES, NOLASCO E MORTATTI, 2010). Portanto, a contribuição de águas pluviais pode influenciar diretamente a qualidade da água do corpo receptor.

Para a gestão eficiente, foram adotados os limites presentes na classe 3 das águas doces naturais da Resolução CONAMA nº 357/2005, com exceção do indicador FM₁ (condutividade elétrica), pois este não é contemplado na referida resolução.

A escolha desta classe de água para a caracterização da gestão eficiente foi devida as águas de drenagem urbana, após o recolhimento e transporte, serem lançadas em um corpo hídrico receptor, comumente rios urbanos com qualidade igual ou inferior as águas transportadas. Além disso, a classe 3 das águas doces naturais ainda apresentar qualidade mínima para ser tratada e destinada ao abastecimento público. Para os cenários parcial e ineficiente, o ideal seria manter a mesma linha de raciocínio, ou seja, adotar os limites referentes à classe 4 das águas doces naturais. Porém, nem todos os indicadores físico-químicos e microbiológico selecionados para a definição dos cenários são contemplados na classe 4 na referida resolução; adotando assim, valores encontrados em pesquisas acadêmicas e de diagnósticos dos autores de referência.

Na gestão eficiente o valor de referência utilizado para o indicador FM₁, Condutividade Elétrica - Ce, foi o de Lee *et al.* (2010), $Ce < 340 \mu\text{S}/\text{cm}$, obtido em análise de água de chuva coletada em béquer de vidro. Para o cenário de gestão parcial, o limite superior utilizado foi o valor médio de 461 pontos de coleta distribuídos em águas interiores do estado de São Paulo, avaliados em 2017 (CETESB, 2018). Esta escolha foi embasada no fato destas águas, em sua maioria, estarem eutrofizadas devido às altas cargas de esgotos domésticos recebidas e, assim, bem representarem a realidade de diversos rios urbanos brasileiros. Além disso, o valor médio resultante, $Ce = 841,85 \mu\text{S}/\text{cm}$, corrobora com o valor encontrado no reservatório de abastecimento da pesquisa de Lee *et al.* (2010), $Ce = 840 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Quadro 20 - Indicadores físico-químicos e microbiológico

| Indicador | Gestão Eficiente | Gestão Parcial | Gestão Ineficiente | Referência |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - FM ₁ | $Ce < 340$ | $340 < Ce \leq 840$ | $Ce > 840$ | Lee <i>et al.</i> (2010) CETESB (2018) |
| pH - FM ₂ | $6 \leq \text{pH} \leq 9$ | $5,0 \leq \text{pH} < 6,0$ ou $9,0 < \text{pH} \leq 9,5$ | $\text{pH} < 5,0$ $\text{pH} > 9,5$ | Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) CETESB (2018a) |

| Indicador | Gestão Eficiente | Gestão Parcial | Gestão Ineficiente | Referência |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) - FM ₃ | 13,3 mg/L N _{amom} para pH ≤ 7,5 5,6 mg/L N _{amom} , para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2 mg/L N _{amom} , para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0 mg/L N _{amom} , para pH > 8,5 | 13,50 < N _{amom} ≤ 17 | N _{amom} > 17 | Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) CETESB (2018) Metcalf & Eddy (2016) |
| DBO ₅ ²⁰ (mg/L) - FM ₄ | DBO ≤ 10 | 10 < DBO ≤ 30 | DBO > 30 | Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005); Diagnóstico de qualidade de água: reservatórios superficiais do Estado do Ceará (PORTAL DE QUALIDADE DAS ÁGUAS; ANA, 2017) |
| Fósforo total (mg/L) - FM ₅ | P ≤ 0,15 | 0,15 < P ≤ 0,94 | P > 0,94 | |
| Turbidez (UNT) - FM ₆ | T ≤ 100 | 100 < T ≤ 150 | > 150 | |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) - FM ₇ | O ₂ ≥ 4 | 2 < O ₂ ≤ 4 | O ₂ ≤ 2 | Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) |
| Coliformes termotolerantes - FM ₈ | CTT ≤ 4000 por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral | 4000 < CTT ≤ 5600 por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral | CTT > 5600 por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral | Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) CETESB (2012) |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Com relação ao indicador FM₂, potencial hidrogeniônico - pH da água, a Resolução nº 357/2005 do CONAMA diz que a faixa indicada para a manutenção da vida aquática em corpos d'água é $6 \leq \text{pH} \leq 9$. No entanto, a CETESB (2018a) em sua metodologia para o cálculo do índice de qualidade das águas para proteção da vida e de comunidades aquáticas considera o recomendado pelo CONAMA e acrescenta três níveis de qualidade de água, que são:

- Nível A: águas com características desejáveis para manter a sobrevivência e a reprodução dos organismos aquáticos ($6 \leq \text{pH} \leq 9$);

- Nível B: Águas com características desejáveis para a sobrevivência dos organismos aquáticos, porém a reprodução pode ser afetada a longo prazo ($5,0 \leq \text{pH} < 6,0$ ou $9,0 < \text{pH} \leq 9,5$);
- Nível C: Águas com características que podem comprometer a sobrevivência dos organismos aquáticos ($\text{pH} < 5,0$ ou $\text{pH} > 9,5$).

Assim, foram definidos para a gestão eficiente, parcial e ineficiente, as faixas de pH dos níveis A, B e C, respectivamente.

O terceiro indicador - FM₃ refere-se ao nitrogênio amoniacal. A escolha foi devida à sua origem estar diretamente relacionada ao lançamento de esgotos e fertilizantes na água, devido à atividade antropogênica.

A partir da Resolução nº 357/2005 do CONAMA foram delimitados para a gestão eficiente os valores de nitrogênio amoniacal apresentados para as águas doces naturais da classe 3. Para os cenários seguintes (parcial e ineficiente) o recomendado seria uma subdivisão da classe 4, porém, a Resolução nº 357/2005 do CONAMA não apresenta os dados necessários a essa subdivisão. Desta forma, para o preenchimento desta lacuna foi realizado estudo de outros autores de referência.

Metcalf & Eddy (2016) apresenta os valores típicos de indicadores de qualidade a partir da classificação do esgoto como fraco, médio e forte. Para amônia no seu estado livre, tais valores são, respectivamente, 14, 20 e 41 mg/L. Levando em consideração que a maior quantidade de nitrogênio amoniacal aceitável na gestão eficiente é de 13,3 mg N_{amom}/L para $\text{pH} \leq 7,5$, e que para Metcalf & Eddy este valor já está tendendo a um esgoto fraco, considerou-se o limite máximo para a gestão parcial como a média entre os valores característicos da classe de esgoto fraco e médio, resultando em 17 mg/L e, acima desse valor, como gestão ineficiente, pois, assim, delimita-se uma faixa não muito distante da gestão eficiente e que estaria incluída na classe 4 das águas naturais.

Em relação à definição dos limites dos cenários, parcial e ineficiente, referentes aos indicadores FM₄, FM₅, FM₆ e FM₇, foram levadas em consideração as características de reservatórios eutrofizados por, teoricamente, receberem contribuições de matéria orgânica, podendo esta ser de origem natural ou antrópica (lançamento de efluentes). Para isso, foram selecionados como referência 32 reservatórios classificados como eutróficos pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH do estado do Ceará. A escolha por essa base de dados foi em função da companhia classificar os reservatórios de acordo com seu nível trófico

e pela disponibilidade de dados referentes a estes reservatórios no portal de qualidade das águas da Agência Nacional de Águas - ANA.

O indicador FM₄ refere-se à quantificação da matéria orgânica biodegradável, demanda bioquímica de oxigênio - DBO₅²⁰. Para a gestão eficiente, considerou-se a DBO ≤ 10, limite atribuído à classe 3 das águas doces naturais apresentadas na Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

O limite de transição entre a gestão parcial e a ineficiente foi considerado como 30 mg/L, adaptado a partir do maior valor (28,99 mg/L) observado nos reservatórios analisados. Este foi atribuído por estar contido na classe 4 das águas naturais e ser inferior a valores encontrados para reservatórios urbanos que recebem contribuição de esgotos domésticos como, por exemplo, o Açude Velho em Campina Grande, cujo valor máximo observado por Torquato (2017) foi de 41 mg/L.

Em se tratando do indicador FM₅, fósforo, que reflete o estado trófico de uma água, para gestão eficiente foi adotado o valor máximo (0,15 mgP/L) permitido nas águas naturais de classe 3 da Resolução nº 357/2005 do CONAMA, para ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários. O limite de transição entre a gestão parcial e ineficiente foi obtido a partir do valor máximo do monitoramento dos 32 reservatórios eutrofizados, 0,94 mgP/L (ANA, 2017).

O indicador FM₆, turbidez, foi escolhido por expressar o carreamento de material particulado, como os decorrentes do lançamento de esgotos e de partículas do solo pelo escoamento superficial. Para o cenário de gestão eficiente foi atribuída turbidez máxima 100 UNT, também da classe 3 das águas naturais. Para o cenário parcial, entre 100 < T ≤ 150 UNT e o ineficiente acima de 150 UNT. Como realizado nos indicadores FM₄ e FM₅, o valor de transição foi adaptado a partir do valor máximo (148 UNT) observado nos 32 reservatórios eutrofizados monitorados pela ANA (2017).

O indicador FM₇ refere-se ao oxigênio dissolvido presente na água. O O₂ é essencial para a vida aquática e para as atividades metabólicas dos microrganismos aeróbios responsáveis por estabilizar a matéria orgânica. A redução do O₂ nas águas naturais pode provocar malefícios como a morte de organismos aquáticos e a redução da estabilização da matéria orgânica por via aeróbia e, conseqüentemente, o aumento da estabilização por via anaeróbia com a produção de gases malcheirosos.

Assim como nos indicadores anteriores, foram atribuídos para a gestão eficiente os dados referentes à classe 3 das águas doces naturais, e para o valor limite entre a gestão parcial e ineficiente foi adotado o valor de O₂ da classe 4 da Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

Neste caso, para gestão eficiente, os limites de oxigênio dissolvido devem resultar em valores ≥ 4 mg/L. Na gestão parcial atribuiu-se o intervalo $2 < O_2 \leq 4$ mg/L e na ineficiente $O_2 \leq 2$ mg/L.

Os coliformes termotolerantes, indicador FM₈, são microrganismos predominantemente oriundos do trato intestinal de seres humanos e animais de sangue quente. Sua presença em águas de drenagem é indício de contaminação fecal. Para a determinação dos valores representativos para cada cenário de gestão, foram utilizados a resolução do CONAMA de nº 357/2005 e dados do monitoramento de 50 pontos de coleta das águas superficiais no estado de São Paulo, em 2011 (CETESB, 2012).

Para o cenário de gestão eficiente foi considerado o valor apresentado pela classe 3 das águas doces naturais, $CTT \leq 4000$ por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. Para o limite de transição entre a gestão parcial e a ineficiente, foi estimada a média dos menores valores alcançados acima dos 4000 nos 50 pontos de coleta do relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo. Este procedimento foi realizado para garantir que o valor adotado estivesse dentro da classe 4 das águas doces naturais e não muito distante do valor da classe 3, ou seja, garantido que o limite de transição não representasse águas muito poluídas.

Desta forma, a gestão parcial e a ineficiente foram caracterizadas, respectivamente, da seguinte forma: $4000 < CTT \leq 5600$ por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral; $CTT > 5600$ por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral.

4.2.2 Classificação da qualidade da água nos cenários propostos

A classificação da área em estudo deverá ser realizada a partir dos procedimentos metodológicos apresentados no item 3.2.3. Entre as atividades necessárias, citam-se o diagnóstico da área e o cálculo do índice geral, este último, com base nos índices individuais de cada grupo de indicadores. O Quadro 21 apresenta as notas e pesos necessários para os cálculos dos índices e as variações dos cenários obtidos a partir das consultas com os especialistas das áreas descritas no item 3.2.3.

Quadro 21 - Pesos e notas para indicadores e cenários de gestão

| INDICADORES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO | | NOTAS |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|
| Manutenção do sistema - OM ₁ | | 10,0 |
| Limpeza das vias no entorno dos canais - OM ₂ | | 6,5 |
| Frequência na coleta de resíduos sólidos - OM ₃ | | 8,0 |
| Presença de ligações clandestinas de esgoto nos canais de drenagem separadores absolutos - OM ₄ | | 10,0 |
| Presença de esgoto a céu aberto no entorno do canal - OM ₅ | | 9,0 |
| Monitoramento de qualidade de água de drenagem - OM ₆ | | 4,5 |
| Programas de educação ambiental - OM ₇ | | 7,0 |
| INDICADORES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO | | NOTAS |
| Manutenção do sistema - OM ₁ | | 10,0 |
| Limpeza das vias no entorno dos canais - OM ₂ | | 6,5 |
| Frequência na coleta de resíduos sólidos - OM ₃ | | 8,0 |
| Presença de ligações clandestinas de esgoto nos canais de drenagem separadores absolutos - OM ₄ | | 10,0 |
| Presença de esgoto a céu aberto no entorno do canal - OM ₅ | | 9,0 |
| Monitoramento de qualidade de água de drenagem - OM ₆ | | 4,5 |
| Programas de educação ambiental - OM ₇ | | 7,0 |
| INDICADORES DE INSTRUMENTOS LEGAIS | | NOTAS |
| Planos municipais de Esgotamento, Drenagem Urbana, Abastecimento e Resíduos Sólidos - IL ₁ | | 10,0 |
| Plano diretor de drenagem urbana com diretrizes relativas à qualidade da água - IL ₂ | | 9,5 |
| Plano de saneamento com diretrizes relativas à qualidade da água - IL ₃ | | 8,5 |
| Instrumentos de uso e ocupação do solo/parcelamento do solo/código de obras com diretrizes relativas à manutenção da qualidade da água dos corpos hídricos urbanos - IL ₄ | | 6,5 |
| Plano de Educação Ambiental - IL ₅ | | 6,5 |
| INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICO | | NOTAS |
| Condutividade Elétrica (μS/cm) - FM ₁ | | 3,5 |
| pH - FM ₂ | | 5,5 |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - FM ₃ | | 7,5 |
| DBO ₅ ²⁰ (mg/L) - FM ₄ | | 10 |
| Fósforo total (mg/L) - FM ₅ | | 5,5 |
| Turbidez (UNT) - FM ₆ | | 3,0 |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L) - FM ₇ | | 9,0 |
| Coliformes Termotolerantes - FM ₈ | | 9,5 |
| GRUPOS DE INDICADORES | | PESOS |
| Operação e Manutenção | | 34,2 |
| Instrumentos Legais | | 41,6 |
| Físico-químicos e Microbiológicos | | 24,2 |
| VARIAÇÃO DOS CENÁRIOS | | |
| Gestão Ineficiente | Gestão Parcial | Gestão Eficiente |
| 0,0 < GI ≤ 0,3 | 0,3 < GP ≤ 0,7 | 0,7 < GE ≤ 1,0 |

Fonte: Autoria Própria (2020).

4.2.3 Definição de ações a serem adotadas para mitigação de impactos em cada cenário

As medidas mitigadoras específicas foram elencadas para todos os cenários de forma a manter ou melhorar a qualidade das águas de drenagem urbana. As medidas propostas neste item são complementares às do item 4.1.4, pois aquelas, estão diretamente relacionadas ao risco devido às condicionantes ambientais e antrópicas; e estas, Quadros 22 a 24, à situação atual da gestão de qualidade das águas de drenagem.

É importante mencionar que as medidas propostas são de ordens estruturais e não estruturais, pois ainda se observa um grande déficit de infraestrutura de saneamento nas cidades brasileiras. Estas, deverão ser aplicadas em acordo com o plano de saneamento do município e, caso não exista, deverá ser organizada uma comissão com especialistas para a elaboração do plano e definição dos prazos de aplicação.

As medidas foram denominadas essenciais, secundárias e opcional. As essenciais buscam a melhoria a curto prazo, sem elas, não há como aprimorar o sistema; por exemplo, o cenário ineficiente possui um déficit na estruturação dos sistemas de saneamento, logo, se fazem necessárias as construções/ampliações e implementações destes para que haja uma melhora na eficiência da gestão. Já no cenário eficiente, todas as medidas são ditas essenciais, pois o sistema já se encontra estruturado e qualquer ação tomada será para a melhoria contínua da gestão. As medidas secundárias auxiliam o sistema a médio e longo prazo e a opcional, como uma alternativa não comumente aplicada no Brasil, mas que poderia ser utilizada, caso houvesse a necessidade.

Para Porto *et al.* (2015) as medidas estruturais são necessárias, mas são onerosas e não são eficazes e sustentáveis para problemas mais complexos, necessitando de uma ação integrada entre o ambiente urbano e os sistemas que o compõem, e de ações que envolvam aspectos legais, tecnológicos, institucionais e sociológicos; atribuindo um aspecto gerencial com componentes políticos e sociológicos para a problemática da drenagem urbana.

Para o cenário eficiente, foram elencadas medidas mitigadoras que auxiliassem na manutenção da situação atual de gestão e que permitissem a melhoria contínua proposta pela NBR ISO 14001 (2015). Desta forma, por exemplo, no Quadro 22, notam-se medidas que visam a melhoria, como a observação contínua da eficiência da execução da limpeza de vias e da manutenção do sistema, fiscalização periódica dos canais, observação periódica dos níveis de qualidade com o monitoramento, atualização dos instrumentos legais e a conscientização da população a partir de programas de educação ambiental.

Quadro 22 - Medidas mitigadoras para o cenário gestão eficiente

| Indicadores de operação e manutenção | Cenário eficiente | Gestão eficiente - Medidas mitigadoras essenciais |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Manutenção do sistema - OM ₁ | Diariamente para vias de grandes fluxos de pessoas e próximos a áreas comerciais; Dias alternados para vias de baixo fluxo; Com gestão participativa da população. | <ul style="list-style-type: none"> - Continuar com os intervalos diários para manutenções nos sistemas de drenagem contidos em vias de grandes fluxos e próximos a áreas comerciais; - Observar a eficiência da manutenção que ocorre em dias alternados e caso seja necessário, alterar a periodicidade para diária; - Incentivar a população a exercer a gestão participativa; |
| Limpeza das vias no entorno dos canais - OM ₂ | Diariamente para vias de grandes fluxos de pessoas e próximos a áreas comerciais; Dias alternados para vias de baixo fluxo. | <ul style="list-style-type: none"> - Continuar com a execução diária; - Observar a eficiência da limpeza das vias que ocorrem em dias alternados, e caso seja necessário, alterar a periodicidade para diária; |
| Frequência na coleta de resíduos sólidos - OM ₃ | Diariamente | <ul style="list-style-type: none"> - Manter a coleta diária. |
| Presença de ligações clandestinas de esgoto nos canais de drenagem separadores absolutos - OM ₄ | Sem ligações clandestinas de esgoto detectadas | <ul style="list-style-type: none"> - Realizar a fiscalização periódica dos canais de drenagem; - Analisar periodicamente as tendências de crescimento da cidade para o planejamento da ampliação da rede de coleta de esgoto sanitário. |
| Presença de esgoto a céu aberto no entorno do canal - OM ₅ | Sem esgoto a céu aberto no entorno do canal (100% do esgoto coletado) | |
| Monitoramento de qualidade de água de drenagem - OM ₆ | Indicadores físico-químicos e microbiológicos com frequência bimestral | <ul style="list-style-type: none"> - Manter o intervalo bimestral para o monitoramento das águas de drenagem e aumentar os pontos de coleta quando ocorrer a construção de novos canais artificiais. Caso ocorra a contaminação das águas de drenagem, observar os parâmetros afetados, as faixas pertencentes a cada um deles e tomar as devidas providencias para reverter as não conformidades. |
| Programas de educação ambiental - OM ₇ | Aplicados na educação básica e superior | <ul style="list-style-type: none"> - Manter os programas de educação ambiental e promover ações de extensão entre a academia e a população residente no município. |

| Indicadores de instrumentos legais | | Medidas mitigadoras essenciais |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Planos municipais de Esgotamento, Drenagem Urbana, Abastecimento e Resíduos Sólidos - IL ₁ | | – Realizar a atualização periódica dos instrumentos legais e implantar as modificações propostas. |
| Plano diretor de drenagem urbana com diretrizes relativas à qualidade da água - IL ₂ | | |
| Plano de saneamento com diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem - IL ₃ | | |
| Instrumentos de uso e ocupação do solo/parcelamento do solo/código de obras com diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem e à manutenção dos corpos hídricos urbanos - IL ₄ | | |
| Plano de Educação Ambiental - IL ₅ | | |
| Indicadores físico-químicos e microbiológico | Cenário eficiente | Medidas mitigadoras essenciais |
| Condutividade elétrica (μS/cm) - FM ₁ | Ce < 340 | – Para a manutenção da qualidade da água de drenagem urbana, se faz necessário a eficiência na gestão sistêmica dos serviços de saneamento e a implementação dos instrumentos legais respeitando seus valores máximos e mínimos estabelecidos. |
| pH - FM ₂ | 6 ≤ pH ≤ 9 | |
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) - FM ₃ | 13,3 mg/L N _{amom} para pH ≤ 7,5 5,6 mg/L N _{amom} , para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2 mg/L N _{amom} , para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0 mg/L N _{amom} , para pH > 8,5 | |
| DBO ₅ ²⁰ (mg/L) - FM ₄ | DBO ≤ 10 | |
| Fósforo total (mg/L) - FM ₅ | P ≤ 0,15 | |
| Turbidez (UNT) - FM ₆ | T ≤ 100 | |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) - FM ₇ | O ₂ ≥ 4 | |
| Coliformes termotolerantes - FM ₈ | CTT ≤ 4000 por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral | |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Quadro 23 - Medidas mitigadoras para o cenário gestão parcial

| Indicadores de operação e manutenção | Gestão parcial | Medidas mitigadoras |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Manutenção do sistema - OM ₁ | Semanal ou no máximo a cada dois meses | <p>Medida essencial:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investir na execução da manutenção do sistema de drenagem com a finalidade de atingir os intervalos expostos no cenário de gestão eficiente. <p>Medidas secundárias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implementar meios de comunicação entre o órgão gestor e a população, para auxiliar na gestão participativa, pois é fundamental para a eficiência na manutenção dos dispositivos de drenagem, uma vez que a população está diariamente em contato com os dispositivos, e poderá informar ao órgão gestor qualquer inconformidade observada no sistema. - Incentivar e implementar meios que auxiliem na redução das vazões recebidas pelo sistema de drenagem, como a captação e o uso das águas pluviais em fins menos nobres, utilização de pavimentos permeáveis e criação de áreas verdes para amortecimento da água pluvial; - Promover a limpeza adequada de vias no entorno dos canais, de terrenos baldios e coletar periodicamente os resíduos sólidos urbanos |
| Limpeza das vias no entorno dos canais - OM ₂ | 3 vezes por semana | <p>Medida essencial:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investir em serviços de limpeza urbana, com a finalidade de atingir os intervalos expostos no cenário de gestão eficiente. <p>Medida secundária:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Promover programas de educação ambiental com a finalidade de conscientizar a população acerca da problemática ambiental e limpeza urbana. |
| Frequência na coleta de resíduos sólidos - OM ₃ | Dias alternados | <p>Medida essencial:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investir em serviço de coleta de resíduo sólido urbano, com a finalidade de atingir os intervalos expostos no cenário de gestão eficiente. <p>Medida secundária:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incentivar e promover a coleta seletiva e a compostagem dos resíduos orgânicos. |

| Indicadores de operação e manutenção | Gestão parcial | Medidas mitigadoras |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Presença de ligações clandestinas de esgoto nos canais de drenagem separadores absolutos - OM ₄ | Com ligações pontuais de esgoto doméstico; porém, existe coleta de esgoto fornecido pela prefeitura, mesmo que parcialmente. | Medida essencial: <ul style="list-style-type: none"> – Investir em fiscalização e obras de redirecionamento das ligações de águas residuárias clandestinas à rede de esgoto, com a finalidade atender as recomendações dos órgãos ambientais quanto a utilização do sistema separador absoluto; Medida secundária: <ul style="list-style-type: none"> – Promover programas de educação ambiental com a finalidade de conscientizar a população acerca da problemática ambiental e qualidade de águas de drenagem. |
| Presença de esgoto a céu aberto no entorno do canal - OM ₅ | Com obras em execução de infraestrutura de coleta de esgoto doméstico ou parte da rede de coleta concluída | Medida essencial: <ul style="list-style-type: none"> – Concluir as obras de infraestrutura de coleta de esgoto ou investir na ampliação da mesma, com a finalidade de atingir a universalização do serviço no entorno dos canais de drenagem. Medida secundária: <ul style="list-style-type: none"> – Incentivar a utilização de sistemas individuais de esgotamento sanitário durante a implementação do sistema público de esgotamento sanitário. |
| Monitoramento de qualidade de água de drenagem - OM ₆ | Indicadores físico-químicos e microbiológicos com frequência entre dois meses e 1 ano | Medida essencial: <ul style="list-style-type: none"> – Investir no monitoramento de qualidade de água de drenagem, com a finalidade de atingir a frequência de monitoramento do cenário de gestão eficiente. |
| Programas de educação ambiental - OM ₇ | Em um dos níveis de educação | Medida essencial: <ul style="list-style-type: none"> – Ampliar a aplicação dos programas de educação ambiental, com o objetivo de atingir todos os níveis de ensino |
| Indicadores de instrumentos legais | | Medidas mitigadoras |
| Planos municipais de Esgotamento, Drenagem Urbana, Abastecimento e Resíduos Sólidos - IL ₁ | | <ul style="list-style-type: none"> – Implementar os instrumentos legais e realizar as devidas atualizações. |
| Plano diretor de drenagem urbana com diretrizes relativas à qualidade da água - IL ₂ | | |
| Plano de saneamento com diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem - IL ₃ | | |
| Instrumentos de uso e ocupação do solo/parcelamento do solo/código de obras com diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem e à manutenção dos corpos hídricos urbanos - IL ₄ | | |
| Plano de Educação Ambiental - IL ₅ | | |

| Indicadores físico-químicos e microbiológico | Gestão parcial | Medidas mitigadoras |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$) - FM ₁ | $340 < C_e \leq 840$ | <p>O lançamento de resíduos sólidos em canais e ruas lindeiras, ligações clandestinas de esgotos domésticos e industriais em dispositivos de drenagem, escoamento de efluentes agrícolas, além dos constituintes do solo e rocha, são os principais fatores que modificam a qualidade da água de drenagem. Desta forma, as medidas mitigadoras propostas partiram da necessidade de solucionar a existência de tais problemas. É importante salientar que as medidas influenciarão na modificação dos indicadores de qualidade em conjunto, devido a interrelação entre estes e os agentes de poluição.</p> <p>Medidas essenciais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investir na estruturação das redes de coleta de esgoto; - Redirecionar as ligações clandestinas de esgoto às respectivas redes de coleta; - Investir em limpeza urbana e coleta de resíduos; - Realizar a manutenção periódica do sistema de drenagem; - Realizar programas de educação ambiental em áreas de risco ambiental médio e alto. <p>Medidas secundárias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incentivar o uso de fertilizantes orgânicos e o uso consciente de agrotóxicos. - Utilizar temporariamente a ETE, caso exista, para o tratamento das águas de drenagem, enquanto são realizadas obras de estruturação/organização dos sistemas de drenagem e coleta de esgoto sanitário; <p>Medida opcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Construir uma estação de tratamento auxiliar para tratar exclusivamente a água de drenagem urbana antes do seu lançamento em um corpo receptor. |
| pH - FM ₂ | $5,0 \leq \text{pH} < 6,0$ ou $9,0 < \text{pH} \leq 9,5$ | |
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) - FM ₃ | $13,50 < N_{\text{amom}} \leq 17$ | |
| DBO ₅ ²⁰ (mg/L) - FM ₄ | $10 < \text{DBO} \leq 30$ | |
| Fósforo total (mg/L) - FM ₅ | $0,15 < P \leq 0,94$ | |
| Turbidez (UNT) - FM ₆ | $100 < T \leq 150$ | |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) - FM ₇ | $2 < O_2 \leq 4$ | |
| Coliformes termotolerantes - FM ₈ | $4000 < \text{CTT} \leq 5600$ por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral | |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Quadro 24 - Medidas mitigadoras para o cenário gestão ineficiente

| Indicadores de operação e manutenção | Gestão Ineficiente | Medidas mitigadoras essenciais |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Manutenção do sistema - OM ₁ | Acima de dois meses ou quando houver ocorrência de alagamento | <p>As medidas mitigadoras elencadas para o cenário ineficiente partiram do pressuposto que os órgãos gestores do município não exercem uma gestão sustentável. Logo, as ações que devem ser tomadas para as resoluções dos problemas partiram da necessidade de implementação de uma gestão sistêmica, integrada à problemática ambiental e direcionada para a estruturação dos sistemas de saneamento, a fim de melhorar a classificação da gestão de qualidade das águas de drenagem.</p> <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recomendar aperfeiçoamento sobre gestão e qualidade ambiental como requisito para assumir cargos de direção no município, com o objetivo de criar um pensamento crítico a respeito da problemática ambiental e o entendimento sobre as interrelações entre os sistemas urbanos e a qualidade da água de drenagem. - Investir e criar metas para a redução de intervalos de manutenção do sistema de drenagem, limpeza de vias e coleta de resíduos sólidos urbanos; - Conscientizar os gestores a atuar de forma preventiva e não corretiva; - Implementar ou aumentar a frequência do monitoramento de qualidade de água de drenagem; - Conscientizar os gestores e a população sobre a importância da gestão participativa e promover meios para a implementação; - Implementar programas de educação ambiental em todos os níveis de educação e áreas de risco na bacia de drenagem; - Investir na estruturação dos sistemas de saneamento básico. |
| Limpeza das vias no entorno dos canais - OM ₂ | ≤ 2 vezes por semana | |
| Frequência na coleta de resíduos sólidos - OM ₃ | ≤ 3 vezes por semana | |
| Presença de ligações clandestinas de esgoto nos canais de drenagem separadores absolutos - OM ₄ | Com ligações clandestinas de residências e de tubulações públicas | |
| Presença de esgoto a céu aberto no entorno do canal - OM ₅ | Com esgoto a céu aberto e sem coleta de esgoto | |
| Monitoramento de qualidade de água de drenagem - OM ₆ | Indicadores físico-químicos e microbiológicos com frequência acima de um ano ou monitoramento inexistente | |
| Programas de educação ambiental - OM ₇ | Sem programas de Educação Ambiental | |

| Indicadores de instrumentos legais | | Medidas mitigadoras essenciais |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Planos municipais de Esgotamento, Drenagem Urbana, Abastecimento e Resíduos Sólidos - IL ₁ | | – Elaborar, implementar e atualizar os instrumentos legais. |
| Plano diretor de drenagem urbana com diretrizes relativas à qualidade da água - IL ₂ | | |
| Plano de saneamento com diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem - IL ₃ | | |
| Instrumentos de uso e ocupação do solo/parcelamento do solo/código de obras com diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem e à manutenção dos corpos hídricos urbanos - IL ₄ | | |
| Plano de Educação Ambiental - IL ₅ | | |
| Indicadores físico-químicos e microbiológico | Gestão Ineficiente | Medidas mitigadoras essenciais |
| Condutividade elétrica (µS/cm) - FM ₁ | Ce > 840 | <p>Neste cenário, as faixas de qualidade correspondem a pior situação devido à falta de estrutura de saneamento básico, de implementação dos instrumentos legais e de execução de uma gestão urbana deficiente. Desta forma, a melhoria nos indicadores de qualidade só será possível com uma reestruturação na forma de gerir a cidade.</p> <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Implementar a gestão sistêmica dos serviços de saneamento, visando minimizar as interferências negativas entre os sistemas; – Implementar os programas de educação ambiental; – Estruturar os sistemas de saneamento urbano; – Implementar os instrumentos legais; – Identificar as fontes de poluição e priorizar as medidas não estruturais para as resoluções das não conformidades. |
| pH - FM ₂ | pH < 5,0 pH > 9,5 | |
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) - FM ₃ | N _{amom} > 17 | |
| DBO ₅ ²⁰ (mg/L) - FM ₄ | DBO > 30 | |
| Fósforo total (mg/L) - FM ₅ | P > 0,94 | |
| Turbidez (UNT) - FM ₆ | > 150 | |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) - FM ₇ | O ₂ ≤ 2 | |
| Coliformes termotolerantes - FM ₈ | CTT > 5600 por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral | |

Fonte: Autoria Própria (2020).

No âmbito de impactos ambientais sobre os recursos hídricos, é notável a importância da eficiência da gestão da qualidade das águas de drenagem urbana para as bacias jusantes. De acordo com Reis e Brandão (2019) os sedimentos carregados por corpos hídricos e os processos de dragagem podem ocasionar diversos problemas ambientais, inclusive a liberação de substâncias tóxicas agrícolas no meio aquático. Além disso, processos como desmatamento, cultivos agrícolas, entre outros, podem alterar significativamente o equilíbrio geomorfológico.

Ainda no princípio de melhoria contínua, foram elencadas medidas essenciais, secundárias e opcional para o cenário de gestão parcial. O objetivo em questão é o alcance dos intervalos apresentados pelo cenário eficiente. Entre as medidas propostas, é importante ressaltar as que envolvem a participação da população no âmbito da gestão ambiental, pois de acordo com Agra Filho (2019) a gestão ambiental não deve ser realizada somente por ações governamentais, deve ser conduzida como um desafio para diversos agentes e atores sociais, exigindo uma responsabilidade coletiva.

Diante disso, é imprescindível a implementação de meios de comunicação entre a população e o órgão gestor, como por exemplo, linhas telefônicas diretas, sites e aplicativos de smartphones que promovam a interação entre as partes. Um exemplo da atuação da população na gestão do sistema de drenagem e a utilização de meios de comunicação para a interação com o órgão gestor, é observado no Município de Curitiba - PR. De acordo com a Prefeitura, a manutenção de dispositivos do sistema de drenagem, como galerias e caixas de captação, é realizada diariamente e pode ser solicitada por telefone, chat online pela central 156 e pessoalmente (PMC, 2017). Em 2018, os atendimentos on-line para serviços diversos aumentaram 211% em relação ao ano anterior, consolidando a central 156 como principal canal de atendimento ao cidadão e fortalecendo a implementação dos serviços por meio de aplicativo de smartphone (PMC, 2019).

No cenário ineficiente, em termos ambientais, a situação é emergencial e necessita de melhoria efetiva na estruturação dos serviços de saneamento e na forma de gerir a cidade. Berté (2012) retrata a necessidade de aprimoramento educacional direcionada aos gestores ambientais devido à complexidade da problemática ambiental. As atividades de educação ambiental devem ser fonte de instrumentos de caracterização e possibilitar a participação de outros indivíduos nas discussões dos problemas em análise. Desta forma, todas as medidas propostas para o cenário de gestão ineficiente passam a ser vistas como essenciais para o desenvolvimento e implementação de uma gestão eficiente de qualidade de água de drenagem.

4.2.4 Sugestão de destino sustentável de efluentes para cada cenário

A Política Nacional dos Recursos Hídricos se fundamenta em alguns princípios, como por exemplo, o uso prioritário para o consumo humano e a dessedentação de animais e, a garantia do provimento dos usos múltiplos das águas (BRASIL, 1997). Uma gestão sustentável dos recursos hídricos urbanos deve considerar a possibilidade do uso direto das águas naturais e o reuso dos efluentes urbanos.

Devido às águas de drenagem se incorporarem aos recursos hídricos urbanos por meio do escoamento superficial ou subterrâneo e pelo direcionamento das águas por sistemas urbanos, além da possibilidade de existência de atividade de diluição de águas residuárias em canais de drenagem e corpos hídricos, optou-se em utilizar os instrumentos legais voltados ao reuso direto não potável de água.

No art. 3 da Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH constam as seguintes modalidades de reuso direto não potável de água:

- Fins urbanos: para irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio;
- Fins agrícolas e florestais: para produção agrícola e cultivo de florestas (Regulamentado pela Resolução nº 121 de 2010);
- Fins ambientais: em projetos de recuperação do meio ambiente;
- Fins industriais: em processos produtivos industriais;
- Reuso na aquicultura: para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

É importante salientar que tais modalidades não são excludentes e que os planos de recursos hídricos brasileiros deverão contemplar o reuso de águas.

A Resolução nº 121 de 2010 do CNRH (BRASIL, 2010a), acrescenta que o reuso em fins agrícolas e florestais não deve ser um fator contribuinte para impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente, e que os métodos de análises de qualidade de água e solo devem atender às legislações nacionais. Desta forma, neste trabalho, estendem-se esses critérios às outras modalidades de reuso, a fim de manter o equilíbrio ecológico e a sadia qualidade de vida, como recomenda o art. nº 225 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

Ainda em relação aos usos, a Resolução CONAMA nº 357/2005 classifica as águas nacionais segundo a qualidade requerida para os usos preponderantes, possibilitando a utilização para usos menos exigentes, desde que não causem a depreciação da qualidade da água.

No Quadro 25 apresentam-se as sugestões de destinos sustentáveis para as águas de drenagem dos cenários de gestão propostos. Os níveis limítrofes de qualidade do cenário de gestão eficiente correspondem, em quase sua totalidade, à classe 3 das águas doces naturais regulamentados pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Desta forma, de acordo com o referido documento, as águas de classe 3 poderão ser destinadas para: a) o abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais.

Porém, por se tratar de água de drenagem urbana e estas podem conter níveis significativos de coliformes termotolerantes e contaminantes emergentes, foram sugeridos usos menos exigentes em termos de qualidade, como irrigação restrita e pesca amadora. Além desses usos, ainda de acordo com a referida resolução, pode-se utilizar as águas para a harmonia paisagística e navegação, considerando este último para os casos em que as águas de drenagem são incorporadas a um corpo hídrico receptor.

É importante salientar que na modalidade de harmonia paisagística podem ocorrer problemas como odores nas áreas lindeiras à paisagem construída, devido à baixa qualidade apresentada pela água. Também é importante que, para o uso agrícola, devem ser aplicadas técnicas de irrigação que minimizem a contaminação dos cultivos pela água de reuso.

A NBR 13.969 (1997) que dispõe sobre os destinos finais de efluentes de tanques sépticos, informa que efluentes com menos de 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L podem ser utilizados em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, com a ressalva de que as aplicações devem ser interrompidas antes da colheita, em pelo menos 10 dias de antecedência.

Em se tratando de água pluvial e seu aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis, a ABNT dispõe da norma NBR 15527/2007. Entre as exigências de qualidade para o uso citam-se a ausência de coliformes termotolerantes em 100 mL, turbidez < 2 UNT para usos restritos e < 5 UNT para usos menos restritos, além da necessidade de cloração das águas coletadas. Estes requisitos inviabilizam a adaptação desse dispositivo e suas normatizações para os cenários em questão.

Em relação à literatura internacional sobre reuso de água, não foram encontradas referências que se adequassem nos níveis de qualidade propostos para os cenários de gestão. A Environmental Protection Agency (EPA, 2012), agência ambiental dos EUA, classifica o reuso como potável e não potável (restrito e irrestrito). Os usos propostos pela EPA necessitam de

tratamento prévio e a presença de cloro residual. Entre os usos citados pela EPA, listam-se o urbano, agrícola, ambiental, represamento e recarga de aquífero.

A Agência de Proteção Ambiental Americana, EPA, e o Department of Health of Western Austrália (DHWA, 2011) recomendam o tratamento prévio das águas de reuso para garantir os níveis de qualidade exigidos, pois as mesmas podem ser fontes de produtos químicos e patógenos. O tratamento aplicado dependerá da qualidade inicial do efluente, podendo ser utilizado o tratamento biológico, a filtração, dosagem de cloro ou osmose reversa. O DHWA divide as águas de reuso em quatro níveis de risco à saúde, são eles: extra baixo, baixo, médio e alto. Devido à incompatibilidade de indicadores de qualidade e da utilização de tratamento, os destinos expostos pela DHWA não foram recomendados para este trabalho.

Ainda no âmbito internacional, a World Health Organization - WHO (1973) relata que a presença de determinadas substâncias pode inviabilizar o reuso da água, como por exemplo, sais dissolvidos, cloretos, fosfatos e amônia no uso industrial; sais dissolvidos, boro e produtos químicos tóxicos na agricultura; amônia e nitratos em água de reuso para recreação; e, sais dissolvidos, amônia, nitratos, nitritos, cloretos, sulfatos, metais tóxicos, matéria orgânica e substâncias que conferem cor, odor e sabor, para usos potáveis.

Quadro 25 - Destinos sustentáveis para os cenários propostos

| Cenário eficiente | Cenários parcial e ineficiente |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> – Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; – Pesca amadora; – Navegação; – Harmonia paisagística; – Reuso nos pomares, cereais, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual; – Lançamento em um corpo receptor que contenha os mesmos níveis de qualidade. | <ul style="list-style-type: none"> – Navegação; – Harmonia paisagística; – Lançamento em um corpo receptor que contenha os mesmos níveis de qualidade. |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Com o Quadro 25 é possível perceber que, mesmo a água de drenagem apresentando qualidade que a enquadre no cenário ineficiente, ainda há fins sustentáveis para sua aplicação.

Porém, é de suma importância que os gestores busquem melhorar a qualidade ambiental com a implementação de infraestruturas de saneamento e gestão urbana.

4.3 RESULTADO DA APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO EM ÁREA PILOTO

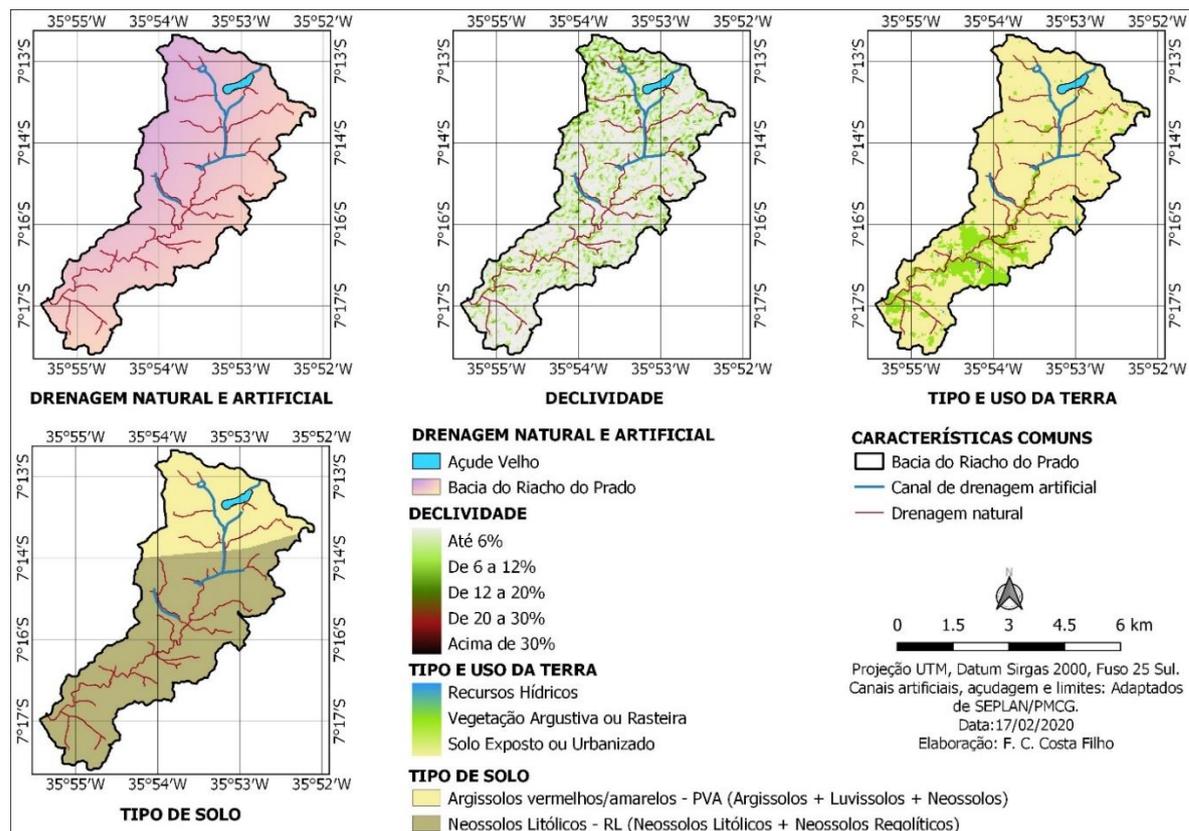
4.3.1 Implementação do modelo na bacia estudada

a) Caracterização física da bacia

A bacia do Riacho do Prado possui área de 24,66 km², perímetro de 48,86 km, altitudes variando entre 462 e 593 m, predomínio de declividades de até 6%, e áreas pontuais entre 6 e 20%; uso e ocupação da terra com predominância de solo exposto e urbanizado, apresentando vegetação arbustiva e rasteira a partir da transição entre o canal artificial de drenagem para o natural; argissolos ao norte e neossolos ao sul da bacia (Figura 10).

Ao analisar as declividades de bacias hidrográficas de Campina Grande, Tsuyuguchi (2015) observou que a bacia do Riacho do Prado, em toda sua extensão, apresenta declividades abaixo de 30%, concordando como o exposto nesta pesquisa.

Figura 10 - Características físicas da bacia do Riacho do Prado



Fonte: Autoria Própria (2020).

No âmbito da qualidade das águas de drenagem urbana, altas declividades aumentam a velocidade de escoamento da água, reduzem a interceptação e infiltração, facilitando o carreamento de partículas para o interior dos canais de drenagem. Esta situação também pode ser maximizada dependendo do tipo de solo da região, devido à sua porosidade, comunicação entre os poros e materiais constituintes.

Considerando os solos predominantes na bacia do Riacho do Prado, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2006) relata que os neossolos incluem os regossolos, solos litólicos, litossolos, solos aluviais e areias quartzosas. Devido a esta característica, grande parte da bacia do Riacho do Prado classifica-se em muito frágil em relação ao tipo de solo; pois, o grupo neossolo é constituído por solos pouco evoluídos, de material mineral (fragmentos de rochas) ou orgânico e com pequena profundidade, o que dificulta a penetração de raízes e a exploração de nutrientes e água (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

Valle, Francelino e Pinheiro (2016) também observaram neossolos litólicos em seu estudo no Rio de Janeiro. Comentaram que solos pouco desenvolvidos como estes, possuem alta vulnerabilidade ambiental; diferentemente dos latossolos, que se apresentam com baixa vulnerabilidade perante os agentes erosivos.

b) Definição de variáveis socioambientais

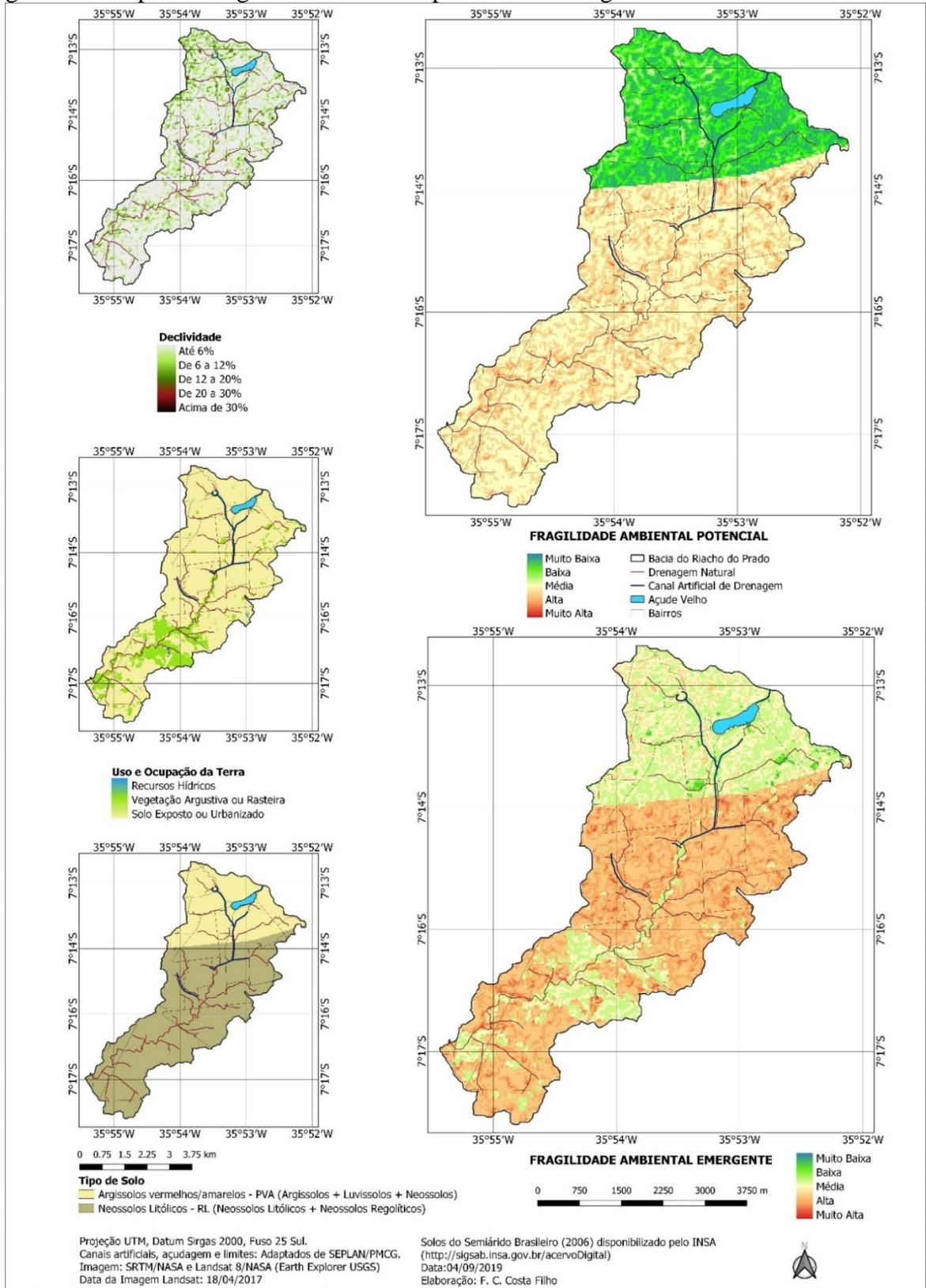
As variáveis socioambientais foram definidas no item 3.2.1b (Quadros 9 e 10).

c) Mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social

No estudo da fragilidade ambiental, costuma-se subdividir a fragilidade em Potencial e Emergente, as quais se diferenciam a partir da inserção humana nas análises. A fragilidade potencial da bacia do Riacho do Prado foi elaborada pela sobreposição da declividade com o tipo de solo; e a emergente, com as variáveis anteriormente citadas e com o uso e ocupação da terra.

Com relação à fragilidade ambiental potencial (Figura 11), observou-se que a composição do solo foi determinante para a diferenciação entre as faixas, uma vez que, a bacia se apresenta relativamente com baixas declividades. É importante enfatizar que a transição entre os argissolos e neossolos não ocorre de forma abrupta como observada na Figura 11. Porém, a simplificação na representação se faz necessária para a espacialização dos dados, sendo as áreas subdivididas a partir do constituinte mais representativo.

Figura 11 - Mapas de fragilidade ambiental potencial e emergente



Fonte: Autoria Própria (2020).

As áreas ao norte da bacia, próximas ao centro da cidade, cerca de 7,68 km², apresentaram fragilidade potencial variando entre muito baixa e baixa, com áreas pontuais de

fragilidade média, devido às poucas variações de declividade. Em contrapartida, em torno de 16,98 km² da bacia se apresentou com fragilidade potencial média a alta.

Tendo em consideração a ação antrópica no meio natural, foi observado, com o mapa de fragilidade ambiental emergente, um aumento da fragilidade para as faixas mais elevadas, praticamente em toda a área de estudo, com exceção das áreas próximas ao canal natural de drenagem, devido à presença de vegetação arbustiva e rasteira, uma vez que a modificação do meio natural para antropizado (solo exposto e urbanizado), o torna mais susceptível a problemas ambientais.

Além disso, com o mapa de tipo uso e ocupação da terra é possível observar que há pouquíssimas áreas verdes na bacia do Riacho do Prado, o que maximiza a problemática ambiental da drenagem e a fragilidade ambiental emergente, pois esta característica aliada as altas densidades construtivas, solo exposto e impermeabilizado, contribuem para a redução do amortecimento de água, da infiltração, aumento da velocidade de escoamento e do carreamento de sólidos e, conseqüentemente, diminuição da qualidade da água de drenagem e aumento nas possibilidades de inundações urbanas.

Em análises de fragilidade ambiental em uma bacia urbana de Santa Maria - RS, Schiavo *et al.* (2016) classificaram as fragilidades potencial e emergente, respectivamente, como: fraca em 52,9% e forte em 37,7% da área total. Os autores atribuíram os resultados à baixa declividade, ao tipo de solo da região, às ocupações irregulares e ao uso não sustentável dos recursos naturais. Tais fatos também foram observados na bacia do Riacho do Prado, porém o tipo de solo maximizou a fragilidade em grande parte da bacia.

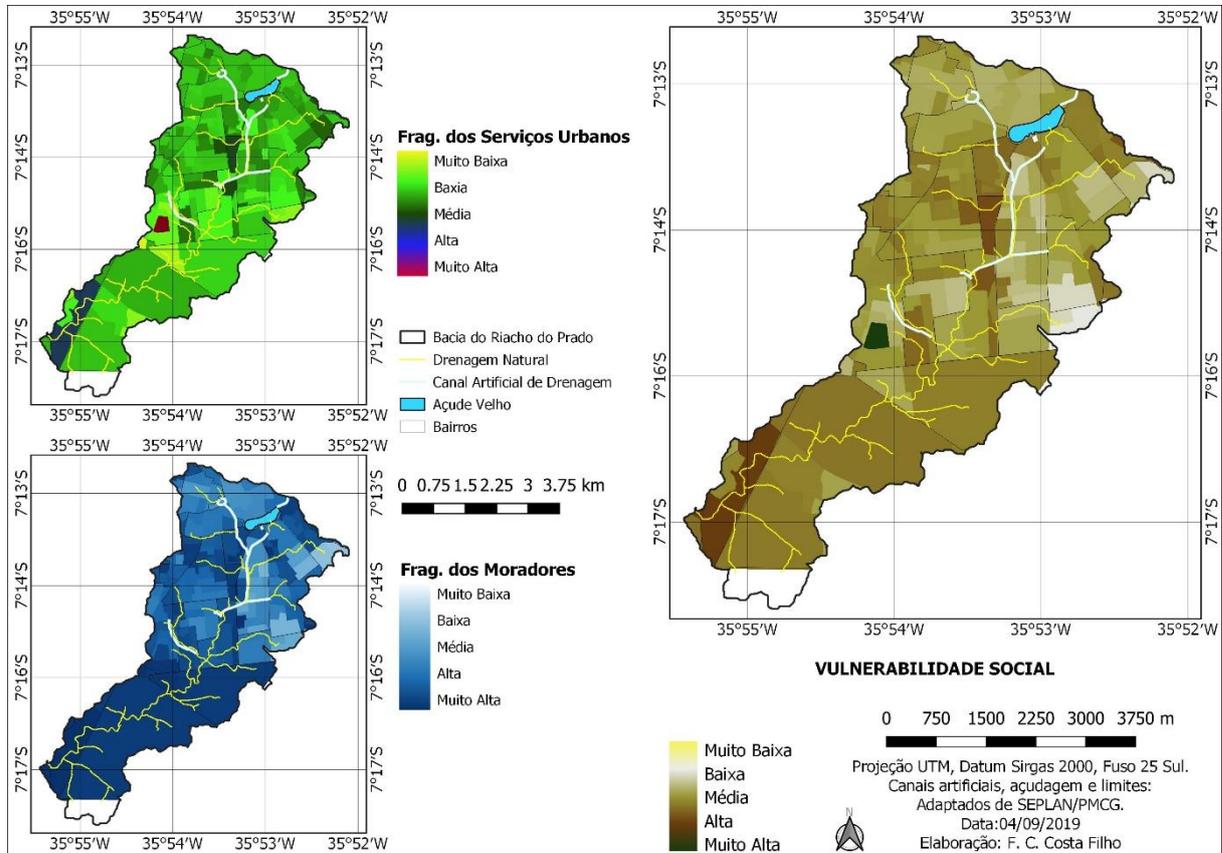
Valle, Francelino e Pinheiro (2016) realizaram o mapeamento das fragilidades ambientais, potencial e emergente, na bacia do Rio Aldeia Velha - RJ e observaram que em mais de 70% da bacia as fragilidades se apresentavam altas ou muito altas.

Em relação aos mapas sociais e à vulnerabilidade social da bacia do Riacho do Prado, (Figura 12), é perceptível que as áreas ao sul da bacia e mais próximas aos limites do perímetro urbano de Campina Grande, apresentam-se com grandes faixas de vulnerabilidade social média, tendendo a alta, geradas pela precariedade dos serviços urbanos e pela altíssima fragilidade dos moradores nos âmbitos da educação e renda.

Situações contrárias podem ser observadas nas áreas ao norte e leste da bacia (próximas ao centro da cidade), e áreas pontuais a oeste; provavelmente devido a um maior investimento na infraestrutura urbana e ocupação dessas áreas por pessoas com um maior poder aquisitivo. Estas hipóteses concordam com os mapas de fragilidade dos serviços urbanos e dos moradores.

É importante salientar que, para os condicionantes sociais, a porção final ao sul da bacia do Riacho do Prado, apresenta-se sem dados devido à falta de habitação e, conseqüentemente, de setores censitários.

Figura 12 - Mapas sociais da bacia do Riacho do Prado



Fonte: Autoria Própria (2020).

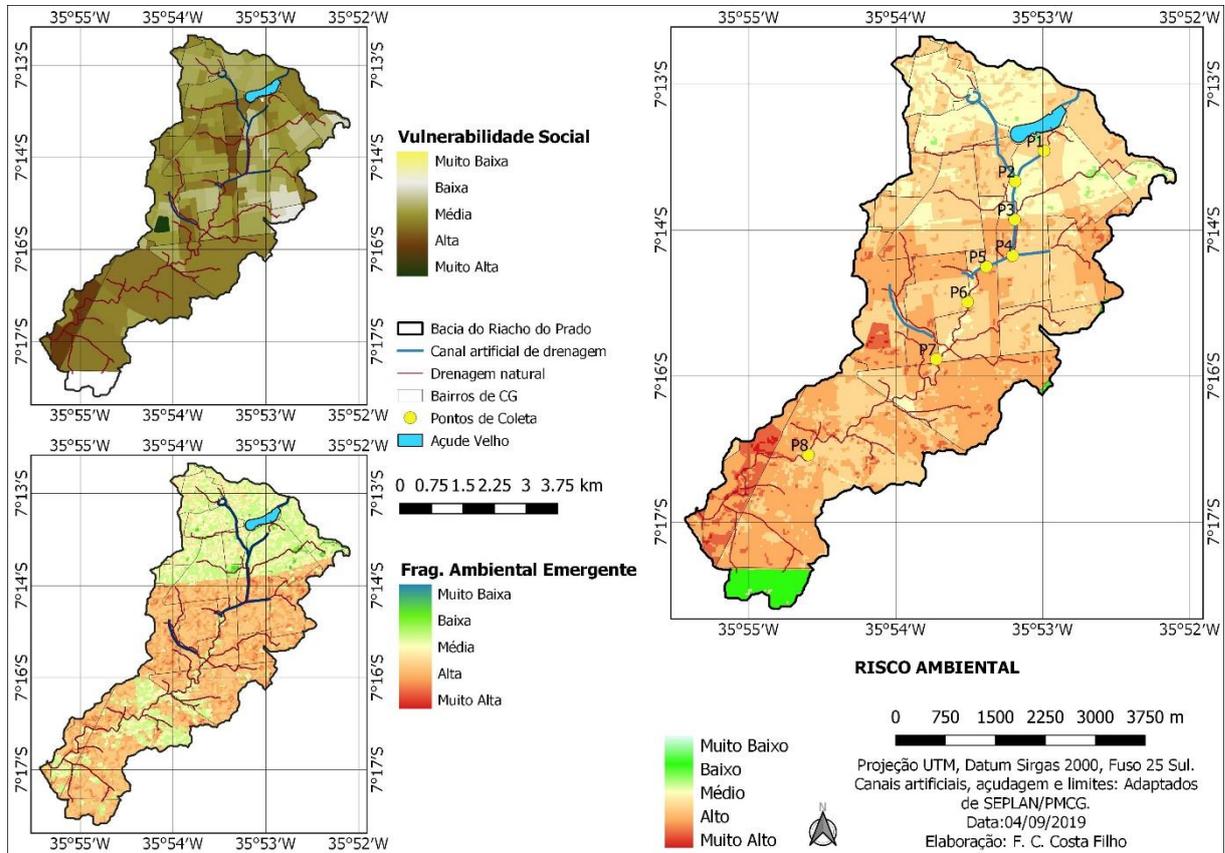
Dintwa, Letamo e Navaneetham (2019) consideram importante a avaliação da vulnerabilidade a partir de indicadores, pois auxiliam na identificação de pessoas e lugares vulneráveis. Apotsos (2019) analisou a vulnerabilidade social de seis municípios predominantemente urbanos da África do Sul, a partir de dados dos censos sul-africanos; verificou que a vulnerabilidade se diferencia espacialmente devido a variantes de renda, riqueza, emprego, educação, acesso aos serviços públicos, raça, idioma e idade.

d) Mapa de risco e diagnóstico de qualidade de água de drenagem

Com a finalidade de verificar os locais propícios a efeitos danosos à qualidade da água de drenagem da bacia do Riacho do Prado e as possíveis relações com as condicionantes sociais

e ambientais, foram determinados os pontos de coleta de água a partir dos mapas de risco ambiental, de sub-bacias e fatores como acessibilidade e segurança (Figura 13).

Figura 13 - Mapa de risco da bacia do Riacho do Prado



Fonte: Autoria Própria (2020).

Com o mapa de risco, observou-se que, praticamente em sua totalidade, a bacia do Riacho do Prado encontra-se em risco médio a muito alto, com exceção da porção final da bacia, uma vez que o risco inerente a esta área, é resultante da fragilidade ambiental emergente; e esta, não contempla os condicionantes sociais.

Santos (2015) em seu estudo sobre a susceptibilidade ao risco na cidade de Fortaleza – CE, observou diferentes realidades sociais distribuídas no território urbano do município e que a distribuição destas, tem uma certa ligação com o valor do solo e a infraestrutura ofertada. Com relação à fragilidade ambiental, foram identificadas 32 unidades de fragilidade, sendo 14 potenciais (mais estáveis) e 18 emergentes (mais instáveis), que, respectivamente, ocupavam cerca de 73% e 27% do território do município. As avaliações dos riscos foram feitas com base na sobreposição dos mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social, o que permitiu a identificação de 40 tipos diferentes de combinações de riscos.

Os pontos de coleta para o diagnóstico da qualidade da água de drenagem foram alocados em áreas estratégicas no canal principal, com exceção dos pontos P₂ e P₄, localizados em importantes tributários da rede de drenagem. A localização e descrição dos pontos de coleta encontram-se, respectivamente, na Figura 14 e Quadro 26.

Figura 14 - Pontos de coleta escolhidos com base no mapa de risco ambiental



Fonte: Autoria Própria (2020).

Quadro 26 - Descrição dos pontos de amostragem

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | P₁ : Situado a montante de todas as contribuições diretas do canal do Prado, representativo das águas excedentes do Açude Velho e localizado em área de baixa vulnerabilidade social, fragilidade ambiental baixa tendendo a média e, conseqüentemente, <i>risco ambiental médio</i> . Área de drenagem: sub-bacia D2. |
|  | P₂ : Localizado no principal tributário do canal do Prado. Inicia sua área de drenagem (sub-bacia D1) no bairro da Bela Vista, passando pela Prata, São José e Estação Velha, até desaguar no canal em estudo. Recebe contribuições de áreas com vulnerabilidades sociais distintas, fragilidade ambiental baixa tendendo a média e de <i>risco ambiental variando entre médio e alto</i> . |
|  | P₃ : Representativo da drenagem correspondente em sua maioria do bairro Catolé, localizado em área de vulnerabilidade social relativamente baixa, fragilidade ambiental baixa tendendo a média e de <i>risco ambiental relativamente médio</i> . Área de drenagem: sub-bacias D1, D2, D3 e D4. |
|  | P₄ : Representativo da drenagem dos bairros Sandra Cavalcante e parte do Catolé (sub-bacia D5), que recebem contribuições de áreas com vulnerabilidades sociais distintas, fragilidade ambiental alta e, conseqüentemente, <i>risco ambiental alto</i> . |
|  | P₅ : Ponto amostral que recebe contribuição considerável, por meio de duas tubulações subterrâneas, dos bairros Tambor e Liberdade. A área de drenagem (sub-bacias D1, D2, D3, D4, D5 e parte da D6) é caracterizada por apresentar vulnerabilidade social variando de média a alta, fragilidade ambiental alta e <i>risco ambiental alto, tendendo a muito alto</i> . |
|  | P₆ : Situado onde o canal deixa de ser artificial e segue como natural. Recebe contribuições de parte do Jardim Paulistano e do Tambor, tais áreas de drenagem (sub-bacias D1, D2, D3, D4, D5 e partes do D6 e D7) caracterizam-se por apresentar vulnerabilidades sociais distintas (baixa, média e alta), alta fragilidade ambiental e <i>alto risco ambiental</i> . |
|  | P₇ : Representativo da drenagem dos bairros Cruzeiro, Itararé, parte da Liberdade, do Tambor e do Jardim Paulistano (sub-bacias D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 e D9). Recebe contribuições de áreas com vulnerabilidades sociais distintas, alta fragilidade ambiental e <i>risco ambiental variando entre alto a muito alto</i> . |
|  | P₈ : Ponto amostral que recebe contribuições dos bairros Distrito Industrial e Velame (sub-bacias D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10 e D11), ambos localizados em áreas de alta vulnerabilidade social, distintas fragilidades ambientais e <i>risco ambiental variando entre alto a muito alto</i> |

Fonte: Aatoria Própria (2020).

A Tabela 3 apresenta os agrupamentos do teste de Tukey para os seguintes indicadores físico-químicos e microbiológico: demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, nitrogênio total kjeldahl, nitrogênio amoniacal, fósforo total e coliformes termotolerantes.

Tabela 3 - Agrupamentos do teste de Tukey

| DBO₅²⁰ (mg/L) | | | | | | | |
|--------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Pontos | Médias | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 | Grupo 5 | - |
| P ₁ | 56 | - | - | - | - | **** | - |
| P ₂ | 315 | - | **** | - | - | - | - |
| P ₃ | 227 | - | - | **** | - | - | - |
| P ₄ | 405 | **** | - | - | - | - | - |
| P ₅ | 126 | - | - | - | **** | - | - |
| P ₆ | 87 | - | - | - | **** | **** | - |
| P ₇ | 102 | - | - | - | **** | **** | - |
| P ₈ | 116 | - | - | - | **** | - | - |
| DQO (mg/L) | | | | | | | |
| Pontos | Médias | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 | - | - |
| P ₁ | 145 | - | - | - | **** | - | - |
| P ₂ | 546 | - | **** | - | - | - | - |
| P ₃ | 470 | - | **** | - | - | - | - |
| P ₄ | 693 | **** | - | - | - | - | - |
| P ₅ | 325 | - | - | **** | - | - | - |
| P ₆ | 220 | - | - | - | **** | - | - |
| P ₇ | 261 | - | - | **** | **** | - | - |
| P ₈ | 274 | - | - | **** | **** | - | - |
| NTK (mg/L) | | | | | | | |
| Pontos | Médias | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 | Grupo 5 | - |
| P ₁ | 36 | - | - | - | - | **** | - |
| P ₂ | 86 | - | **** | - | - | - | - |
| P ₃ | 77 | - | **** | - | - | - | - |
| P ₄ | 107 | **** | - | - | - | - | - |
| P ₅ | 60 | - | - | **** | - | - | - |
| P ₆ | 46 | - | - | - | **** | **** | - |
| P ₇ | 50 | - | - | **** | **** | **** | - |
| P ₈ | 57 | - | - | **** | **** | - | - |
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) | | | | | | | |
| Pontos | Médias | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 | Grupo 5 | Grupo 6 |
| P ₁ | 20,2 | - | - | - | - | - | **** |
| P ₂ | 56,3 | - | **** | - | - | - | - |
| P ₃ | 47,1 | - | - | **** | - | - | - |
| P ₄ | 71,5 | **** | - | - | - | - | - |
| P ₅ | 34,2 | - | - | - | **** | **** | - |
| P ₆ | 30,1 | - | - | - | - | **** | - |
| P ₇ | 33,9 | - | - | - | **** | **** | - |
| P ₈ | 41,4 | - | - | **** | **** | - | - |
| Fósforo total (mg/L) | | | | | | | |
| Pontos | Médias | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 | Grupo 5 | - |
| P ₁ | 2,3 | - | - | - | - | **** | - |
| P ₂ | 8,8 | - | **** | - | - | - | - |
| P ₃ | 7,2 | - | - | **** | - | - | - |
| P ₄ | 10,4 | **** | - | - | - | - | - |
| P ₅ | 4,9 | - | - | - | **** | - | - |
| P ₆ | 3,7 | - | - | - | **** | - | - |
| P ₇ | 4,9 | - | - | - | **** | - | - |
| P ₈ | 4,8 | - | - | - | **** | - | - |
| CTT (UFC/100mL) | | | | | | | |
| Pontos | Médias | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 | - | - |
| P ₁ | 2,3E+06 | - | - | - | **** | - | - |
| P ₂ | 5,0E+06 | **** | **** | - | - | - | - |
| P ₃ | 4,6E+06 | **** | **** | **** | - | - | - |
| P ₄ | 5,6E+06 | **** | - | - | - | - | - |
| P ₅ | 3,9E+06 | - | **** | **** | - | - | - |
| P ₆ | 3,6E+06 | - | **** | - | - | - | - |
| P ₇ | 3,3E+06 | - | - | **** | **** | - | - |
| P ₈ | 4,1E+06 | **** | **** | **** | - | - | - |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Para a DBO_5^{20} foram observados cinco grupos de médias estatisticamente diferentes. Os pontos P₅, P₆, P₇ e P₈ não apresentaram diferenças significativas entre as médias (87 a 126 mg/L). Entre os fatores que podem ter contribuído para essa semelhança cita-se a disposição desses pontos em áreas com fragilidades nos serviços urbanos, predominantemente de média a alta e a localização em áreas de mesmo risco ambiental (alto risco)

Em se tratando de risco à qualidade das águas, é importante enfatizar que foram observadas concentrações típicas de esgoto sanitário em toda a bacia de estudo, sendo o P₄, o ponto que atingiu a maior média de DBO_5^{20} , 405 mg/L, característica de esgoto sanitário forte segundo classificação apresentada por Metcalf & Eddy (2016). Além disso, as áreas de contribuições encontram-se totalmente em solo exposto ou urbanizado, o que auxilia no aumento da velocidade de escoamento da água e possíveis carreamentos de partículas.

Ainda sobre as áreas de contribuições do ponto P₄, esse está inserido em áreas com fragilidades de moradores entre média e alta, resultando numa vulnerabilidade social relativamente alta. Desta forma, a ação humana de lançamento de efluentes domésticos torna-se decisiva para variação da qualidade de água de drenagem.

Comportamento semelhante à DBO_5^{20} , foi observado pelo indicador de qualidade fósforo total. Os pontos P₅, P₆, P₇ e P₈ foram agrupados conjuntamente e o P₄ disposto no grupo com a maior média. Provalmente, tais fatos sejam explicados pelos mesmos pressupostos mencionados para a DBO_5^{20} .

Em relação à DQO, foram observados quatro grupos de médias estatisticamente diferentes. Os pontos P₁, P₆, P₇ e P₈ apresentaram médias semelhantes, com variação de 145 a 274 mg/L. O indicador NTK teve comportamento similar ao da DQO, com exceção do ponto P₁, ou seja, P₆, P₇ e P₈ apresentam médias semelhantes.

A semelhança entre estes pontos para o indicador NTK, provavelmente pode ser explicada pela condição do efluente. O ponto P₁ recebe o efluente do extravasar do Açude Velho, o que possibilita melhores níveis de qualidade devido ao processo de diluição. Já os pontos P₆, P₇ e P₈ encontram-se no canal natural, a jusante da área mais urbanizada da bacia e, conseqüentemente, das maiores contribuições de matéria orgânica. Além disso, os efluentes dos pontos P₆, P₇ e P₈ já passaram por processo de autodepuração dentro dos canais de drenagem, o que justifica as menores concentrações para os indicadores analisados.

Diferentemente dos outros indicadores mencionados, o nitrogênio amoniacal se apresentou com seis grupos de médias estatisticamente diferentes, porém, assim como para o indicador NTK, observou-se a maior média de nitrogênio amoniacal para o ponto P₄, isto devido à decomposição de material orgânico do esgoto.

Henriques (2014) analisando as águas de drenagem do canal do Riacho do Prado com sete pontos de coleta, encontrou variações de médias para os indicadores de DBO_5^{20} e DQO, respectivamente de 29 a 296 mg/L e 115 a 776 mg/L. Outro aspecto importante do trabalho de Henriques foi que a localização dos pontos de coleta 3, 5 e 6 de sua pesquisa, foi a mesma dos P2, P4 e P6 desta pesquisa. O autor observou que para os referidos pontos as médias de DBO_5^{20} e DQO, respectivamente, foram de 185 e 564 mg/L, 259 e 626 mg/L, 163 e 476 mg/L. Desta forma, também fica perceptível a poluição das águas de drenagem a partir dos resultados apresentados pelo autor.

Outra observação importante a respeito da qualidade da água de drenagem da bacia do Riacho do Prado, é que em todas as análises os pontos P₂ e P₄ se apresentaram com as maiores médias. Ambos os pontos recebem contribuições de áreas vulneráveis socialmente e de riscos ambientais consideráveis, enfatizando a necessidade de intervenções no âmbito social e de infraestrutura urbana.

Em relação aos agrupamentos dos CTT, foram observados quatro grupos estatisticamente diferentes; contudo com margens bem próximas, pois, foi observado pontos alocados em até três grupos de médias distintas. Tal fato, reafirma a contaminação das águas de drenagem por efluentes domésticos em toda a extensão da bacia do Riacho do Prado.

Freire *et al.* (2014) analisaram águas de drenagem da bacia do Riacho das Piabas em Campina Grande - PB. Observaram para os cinco pontos estudados, a contaminação das águas por efluentes domésticos, resultando em variações de médias de CTT na ordem de 10^5 a 10^6 UFC/100ml. Tais resultados, juntamente com os da presente pesquisa, enfatizam a situação precária dos serviços de saneamento da cidade de Campina Grande e demonstram a necessidade de uma intervenção urgente neste setor.

Ainda em relação ao diagnóstico da qualidade da água de drenagem dos canais da bacia do Riacho do Prado, a Tabela 4 apresenta, de forma sucinta, parâmetros estatísticos dos indicadores utilizados para a classificação da gestão de qualidade de água de drenagem nos cenários propostos por esta pesquisa.

Tabela 4 - Parâmetros descritivos dos indicadores físico-químicos e microbiológico

| | P ₁ | P ₂ | P ₃ | P ₄ | P ₅ | P ₆ | P ₇ | P ₈ |
|--------|-------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$) | | | | | | | |
| Mínimo | 643,00 | 498,00 | 650,00 | 549,00 | 669,00 | 712,00 | 992,00 | 1403,00 |
| Média | 1416,93 | 1351,63 | 1291,67 | 1580,10 | 1198,60 | 1144,40 | 1176,77 | 1658,92 |
| Máximo | 1810,00 | 1591,00 | 1574,00 | 1947,00 | 1565,00 | 1490,00 | 1360,00 | 1970,00 |
| N | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 13 | 13 |
| DP | 286,35 | 221,49 | 199,68 | 268,35 | 194,20 | 178,86 | 116,48 | 150,92 |

| | P ₁ | P ₂ | P ₃ | P ₄ | P ₅ | P ₆ | P ₇ | P ₈ |
|-------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Turbidez (UNT) | | | | | | | | |
| Mínimo | 21,00 | 43,00 | 34,00 | 56,00 | 26,00 | 24,00 | 40,00 | 67,40 |
| Média | 40,76 | 293,48 | 241,81 | 350,26 | 151,91 | 102,00 | 125,28 | 86,03 |
| Máximo | 108,00 | 1098,00 | 982,00 | 992,00 | 1270,00 | 976,00 | 456,00 | 106,00 |
| N | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 13 | 13 |
| DP | 18,75 | 184,15 | 183,66 | 181,44 | 233,35 | 176,75 | 104,98 | 11,46 |
| Temperatura (°C) | | | | | | | | |
| Mínimo | 23,00 | 24,50 | 23,50 | 23,50 | 23,50 | 23,50 | 24,00 | 24,00 |
| Média | 24,91 | 26,35 | 26,49 | 26,18 | 26,07 | 26,06 | 25,16 | 25,69 |
| Máximo | 27,00 | 29,00 | 30,00 | 28,00 | 29,00 | 29,00 | 26,50 | 27,00 |
| N | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 13 | 13 |
| DP | 1,00 | 1,01 | 1,53 | 1,03 | 1,48 | 1,37 | 0,81 | 0,93 |
| pH | | | | | | | | |
| Mínimo | 7,14 | 7,14 | 7,08 | 7,42 | 7,28 | 7,22 | 7,20 | 7,41 |
| Média | 7,56 | 7,54 | 7,60 | 7,67 | 7,73 | 7,60 | 7,46 | 7,56 |
| Máximo | 8,02 | 7,87 | 7,99 | 7,94 | 8,15 | 8,02 | 7,78 | 7,72 |
| N | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 13 | 13 |
| DP | 0,22 | 0,17 | 0,18 | 0,12 | 0,17 | 0,17 | 0,14 | 0,10 |
| DBO₅²⁰ (mg/L) | | | | | | | | |
| Mínimo | 12 | 197 | 41 | 239 | 29 | 18 | 72 | 86 |
| Média | 56 | 315 | 227 | 405 | 125 | 87 | 102 | 116 |
| Máximo | 93 | 417 | 429 | 576 | 260 | 137 | 141 | 168 |
| N | 29 | 26 | 28 | 27 | 28 | 28 | 12 | 13 |
| DP | 22 | 53 | 86 | 83 | 50 | 29 | 20 | 28 |
| DQO (mg/L) | | | | | | | | |
| Mínimo | 28 | 107 | 47 | 184 | 55 | 55 | 132 | 183 |
| Média | 145 | 546 | 470 | 693 | 325 | 220 | 261 | 274 |
| Máximo | 319 | 867 | 792 | 968 | 591 | 379 | 335 | 367 |
| N | 30 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 12 | 13 |
| DP | 68 | 160 | 170 | 169 | 127 | 92 | 70 | 54 |
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) | | | | | | | | |
| Mínimo | 3,12 | 44,22 | 31,73 | 41,62 | 7,80 | 9,88 | 27,57 | 34,34 |
| Média | 20,24 | 56,33 | 47,05 | 71,50 | 34,21 | 30,12 | 33,94 | 41,38 |
| Máximo | 31,73 | 65,55 | 61,91 | 96,76 | 57,23 | 45,78 | 42,14 | 49,42 |
| N | 30 | 27 | 27 | 27 | 30 | 30 | 13 | 13 |
| DP | 7,67 | 6,00 | 8,22 | 13,36 | 10,08 | 7,14 | 5,27 | 4,96 |
| NTK (mg/L) | | | | | | | | |
| Mínimo | 8 | 52 | 47 | 68 | 26 | 23 | 40 | 48 |
| Média | 36 | 86 | 77 | 107 | 60 | 46 | 50 | 57 |
| Máximo | 68 | 109 | 101 | 138 | 121 | 66 | 60 | 68 |
| N | 30 | 28 | 28 | 27 | 30 | 29 | 13 | 13 |
| DP | 14 | 13 | 13 | 16 | 22 | 11 | 6 | 6 |
| Fósforo total (mg/L) | | | | | | | | |
| Mínimo | 0,18 | 3,79 | 1,16 | 6,92 | 1,12 | 0,62 | 3,70 | 3,53 |
| Média | 2,32 | 8,84 | 7,21 | 10,44 | 4,87 | 3,75 | 4,93 | 4,80 |
| Máximo | 4,43 | 12,72 | 12,29 | 13,74 | 8,36 | 5,90 | 5,85 | 6,35 |
| N | 30 | 28 | 30 | 27 | 29 | 29 | 12 | 12 |
| DP | 1,18 | 1,94 | 2,43 | 1,73 | 1,85 | 1,22 | 0,65 | 0,87 |
| Oxigênio dissolvido (mg O₂/L) | | | | | | | | |
| Mínimo | 1,65 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Média | 2,49 | 0,00 | 0,41 | 0,04 | 1,82 | 0,42 | 0,00 | 0,00 |
| Máximo | 3,65 | 0,00 | 0,75 | 0,20 | 3,10 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| N | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| DP | 0,82 | 0,00 | 0,38 | 0,09 | 1,11 | 0,37 | 0,00 | 0,00 |

| CTT (UFC/100 mL) | | | | | | | | |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Mínimo | 1,4E+05 | 7,5E+05 | 5,0E+05 | 1,1E+06 | 4,0E+05 | 4,9E+05 | 2,2E+06 | 1,8E+06 |
| Média | 2,3E+06 | 5,8E+06 | 4,7E+06 | 7,2E+06 | 3,9E+06 | 3,6E+06 | 3,3E+06 | 4,1E+06 |
| Máximo | 4,9E+06 | 2,0E+07 | 9,8E+06 | 2,6E+07 | 7,3E+06 | 6,6E+06 | 5,3E+06 | 6,2E+06 |
| N | 29 | 27 | 26 | 26 | 29 | 29 | 11 | 11 |
| DP | 1,3E+06 | 1,8E+06 | 1,2E+06 | 1,9E+06 | 1,7E+06 | 1,5E+06 | 9,2E+05 | 1,6E+06 |

Nota: N - Tamanho da Amostra; DP - Desvio Padrão Amostral.

Fonte: Autoria Própria (2020).

e) Contexto atual da gestão das águas urbanas

As análises aqui realizadas buscaram observar o comportamento da gestão municipal perante a implementação de políticas públicas e o reflexo destas na vida da população. A abordagem foi feita com base em pesquisa documental exploratória e visitas *in loco*, com aplicação de formulários apresentados no Apêndice A. O Quadro 27 foi elaborado com instrumentos legais que envolvem a gestão do município de Campina Grande, proteção do meio ambiente, saneamento básico e educação ambiental.

Quadro 27 - Instrumentos legais de Campina Grande

| GESTÃO MUNICIPAL | |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Lei Orgânica do Município de Campina Grande</i> | Assegura à sua população o pleno exercício dos direitos e garantias fundamentais; |
| <i>Lei nº 3.827, de 27 de junho de 2000</i> | Estabelece condições para o licenciamento de novos loteamentos e dá outras providências. |
| <i>Lei nº 4.129/03 - Código de Posturas</i> | Código de posturas dispõe sobre as regras disciplinares das posturas do município em relação ao poder de polícia, de higiene pública, de costumes locais e de funcionamento dos estabelecimentos de natureza industrial, comercial e prestadoras de serviços |
| <i>Lei Complementar nº 003, de 09 de outubro de 2006</i> | Promove a revisão do Plano Diretor do Município de Campina Grande. |
| <i>Lei nº. 4.806 de 23 de setembro de 2009</i> | Regulamenta as zonas especiais de interesse social de Campina Grande e dá outras providências. |
| <i>Lei nº 5.410, de 23 de dezembro de 2013</i> | Código de obras - dispõe sobre o disciplinamento geral e específico dos projetos e execuções de obras e instalações de natureza técnica, estrutural e funcional do município de Campina Grande, alterando a lei de nº 4.130/03, e dá outras providências. |
| DEFESA DO MEIO AMBIENTE | |
| <i>Lei Complementar nº 042, de 24 de setembro de 2009</i> | Institui o código de defesa do meio ambiente do município de Campina Grande e dá outras providências. |
| <i>Decreto nº 3.551, de 11 de junho de 2012</i> | Regulamenta a tipologia e a classificação do potencial poluidor dos empreendimentos ou atividades sujeitos ao licenciamento ambiental no município de Campina Grande, regulamenta o art. 31 da lei complementar municipal nº. 042, de 24 de setembro de 2009 e dá outras providências. |

| SANEAMENTO BÁSICO | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <i>Plano Municipal de Saneamento Básico de Campina Grande - PB</i> | |
| Contempla os seguintes produtos: Diagnóstico dos serviços de saneamento básico de Campina Grande; Prognósticos e alternativas para a universalização dos serviços de saneamento básico; Programas, projetos e ações para universalização dos serviços de saneamento básico de Campina Grande; mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência, efetividade e eficácia das ações do PMSB. | |
| <i>Lei nº 7.199, de 04 de junho de 2019</i> | |
| Dispõe sobre a política municipal de saneamento básico, aprova o plano municipal de saneamento básico, cria a comissão municipal de saneamento e o fundo municipal de saneamento, e dá outras providências. | |
| Esgotamento Sanitário | |
| <i>Lei nº 5.245 de 2012</i> | |
| Autoriza a prefeitura a promover programas e projetos para aproveitamento de águas residuais e dá outras providências. | |
| Limpeza Urbana e Resíduos Sólidos | |
| <i>Lei nº 2.879, de 26 de abril de 1994</i> | |
| Dispõe sobre o mutirão da limpeza pública instituído pela SETRABES e dá outras providências. | |
| <i>Lei nº 3.752, de 26 de outubro de 1999</i> | |
| Institui o sistema seletivo de coleta de lixo, disciplinando ainda o permanente uso de coletores de lixo nas paradas de ônibus, no centro da cidade e dá outras providências. | |
| <i>Lei nº 4.849/2009</i> | |
| Institui a Política Municipal de combate ao acúmulo de lixo no município de Campina Grande e dá outras providências. | |
| <i>Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Campina Grande 2013/2014</i> | |
| Diagnóstico da situação atual do município; Elaboração de prognósticos e Elaboração do plano municipal de gestão integrada de resíduos (versão preliminar e final) | |
| <i>Lei nº 5.839, de 12 de janeiro de 2015</i> | |
| Torna obrigatória a instalação de cestos coletores de resíduos sólidos nos transportes públicos coletivos. | |
| <i>Lei nº 7.253, de 08 de junho de 2019</i> | |
| Institui a semana municipal do lixo zero, no âmbito do município de campina grande, e dá outras providências. | |
| Abastecimento de Água | |
| <i>LEI nº 4.720, de 22 dezembro de 2008</i> | |
| Define e penaliza o desperdício de água e dá outras providências. | |
| <i>Lei nº 5.579, de 14 de abril de 2014</i> | |
| Dispõe sobre as penalidades para coibir a demora dos serviços para o conserto de vazamentos na rede de abastecimento de água, os quais estejam danificando a pavimentação de vias públicas, e dá outras providências. | |
| <i>Lei nº 5.572, de 14 de abril de 2014</i> | |
| Institui o plano municipal de prevenção ao colapso do abastecimento de água e dá outras providências. | |
| Manejo das Águas pluviais e Drenagem Urbana | |
| <i>Lei nº 5.575, de 14 de abril de 2014</i> | |
| Estabelece o plano de captação, uso das águas pluviais e o reuso da água, nas edificações de iniciativa privada e instalações públicas no município de Campina Grande, e dá outras providências. | |
| <i>Lei nº 5.708, 11 de agosto de 2014</i> | |
| Dispõe sobre o reaproveitamento de água pluvial nas escolas públicas municipais, e dá outras providências. | |

| EDUCAÇÃO AMBIENTAL | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Lei nº 1.949, de 12 de setembro de 1989</i> | |
| | Dispõe sobre a obrigatoriedade da inclusão da disciplina " educação ambiental" nos currículos do 1º grau nas escolas da rede municipal de ensino. |
| <i>Lei nº 2.774, 25 de novembro de 1993</i> | |
| | Institui a I Semana de Educação na Limpeza Urbana e da outras providencias. |
| <i>Lei nº 2.972, de 30 de setembro de 1994</i> | |
| | Cria o programa de educação ambiental nas escolas públicas municipais de nossa cidade e da outras providencias. |
| <i>Lei nº 3.336, de 22 de outubro de 1996</i> | |
| | Autoriza o Poder Público Municipal a implantar na rede pública municipal a matéria de Educação Ambiental e dá outras providências. |
| <i>Lei nº 4.610, de 14 de fevereiro de 2008</i> | |
| | Autoriza o poder executivo a implantar o programa de educação ambiental nas escolas da rede municipal de ensino e dá outras providências. |
| <i>Lei nº 5.724, de 22 de setembro de 2014</i> | |
| | Dispõe sobre a inclusão de conteúdos educacionais e informações sobre a reutilização, preservação uso racional de água, na rede de ensino municipal e dá outras providências. |
| <i>Lei nº 7.253, 08 de julho de 2019</i> | |
| | Institui a semana municipal do lixo zero, no âmbito do município de Campina Grande, e dá outras providências. |

Fonte: Autoria Própria (2020).

A política municipal de saneamento básico, Lei nº 7.199 de 04 de junho de 2019, visa a universalização do saneamento básico no município em todas as suas vertentes. Esta, será aplicada pela execução das ações previstas no plano municipal de saneamento, que contempla diversos instrumentos de gestão e financeiros. Sendo assim, para que a universalização dos serviços seja alcançada, poderão ser utilizadas taxas de regulação, tarifas, subsídios, incentivos fiscais e o fundo municipal de saneamento.

A drenagem urbana é um dos serviços oferecidos pela prefeitura do município, estando assim, responsável pela elaboração do Plano Setorial de Macrodrenagem, que deve considerar as bacias hidrográficas de Campina Grande e as dos municípios vizinhos. A ocupação urbana com empreendimento em área superior a 5.000 m² e impermeabilização do lote acima de 50%, deverão possuir projeto de absorção de águas pluviais e sistema que garanta a drenagem de 30 l/m² por hora de área impermeabilizada, respectivamente (PMCG, 2006).

O Plano Diretor de Campina Grande traz as seguintes medidas prioritárias para o manejo das águas pluviais:

- A definição dos mecanismos de fomento para usos do solo compatíveis com as áreas de interesse para drenagem, como parques lineares, área de recreação e lazer, hortas comunitárias e manutenção da vegetação nativa;
- A implantação de medidas de prevenção de inundações, incluindo controle de erosão, especialmente em movimentos de terra, controle de transporte e deposição de entulho e lixo, combate ao desmatamento, assentamentos clandestinos e outros tipos de ocupações nas áreas com interesse para drenagem;
- O investimento na renaturalização e melhorias das calhas fluviais e na recuperação dos sistemas de macro e microdrenagem (PMCG, 2006).

Com as medidas prioritárias, mesmo que indiretamente, é perceptível uma preocupação com a qualidade das águas de drenagem. Medidas como a criação de áreas para absorção, de interesse paisagístico, de manutenção da vegetação ripária, aproveitamento da água em hortas comunitárias e controle de acúmulo de lixo em áreas de bota-fora, auxiliam na manutenção da qualidade da água, mesmo este não sendo o objetivo primário.

Nesta mesma linha, observam-se as leis municipais nº 5.575 e nº 5.708 de 2014, que relatam o aproveitamento das águas pluviais em edificações públicas e privadas, e em todas as escolas municipais do município, respectivamente. A utilização das águas pluviais tornou-se obrigatória para novos empreendimentos com área impermeabilizada acima de 3.000 m², ficando sujeito à não retirada de licença para a construção sem a apresentação do plano de aproveitamento de águas de chuva. Além disso, a lei nº 5.575 também prevê o tratamento e reuso das águas cinzas para empreendimentos específicos listados na lei.

Outras ações importantes regulamentadas por leis municipais são: mutirão de limpeza pública (Lei nº 2.879/1994), implementação do sistema seletivo de coleta de lixo e uso de coletores em paradas de ônibus (Lei nº 3.752/1999), obrigatoriedade de instalação de cestos de lixo em transportes públicos coletivos (Lei nº 5.839/2015) e implementação da semana de lixo zero (Lei nº 7.253/2019). Todas essas medidas contribuem de forma significativa para a limpeza urbana e a diminuição do arraste de resíduos para os dispositivos de drenagem pelo escoamento superficial.

Já no âmbito da conscientização ambiental, a prefeitura de Campina Grande tem se demonstrado atuante desde 1989. A Lei nº 1.949/1989 dispõe sobre a obrigatoriedade da inclusão da educação ambiental nos currículos do 1º grau nas escolas da rede municipal de ensino e, em 1994, a Lei nº 2.972/1994 criou o programa de educação ambiental. Os outros níveis de ensino são contemplados pela Lei Federal nº 9.795/99 nas instituições federais do município. Ações mais recentes incluem conteúdos educacionais voltados ao uso racional da água (Lei nº 5.724/2014) e a implementação da semana municipal do lixo zero (Lei nº 7.253/2019).

Em relação à pesquisa *in loco* com aplicações de formulários (Apêndice A), calculou-se a população amostral conforme a Equação 1. Os parâmetros necessários para o cálculo e a população amostral resultante são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados necessários para o cálculo da população amostral e população resultante

| | |
|-----------------------------------------------------|--------------------|
| População da bacia piloto (TSUYUGUCHI, 2015) | 111.111 habitantes |
| Grau de confiança de 95% ($Z_{\frac{\alpha}{2}}$) | 1,960 |
| Margem de erro (E) | 5% |
| p | 0,5 |
| q | 0,5 |
| População amostral (n) | 385 |

Fonte: Autoria Própria (2020).

O raio de expansão necessário para a construção dos mapas de intensidade foi obtido a partir da média aritmética dos comprimentos das ruas apresentadas na Figura 15, resultando em $r = 200$ m.

É importante enfatizar que não foram aplicados formulários nas proximidades do ponto P₈, pois não havia edificações na área em estudo. As tipologias das edificações consultadas incluíram residências e pequenos empreendimentos comerciais, tendo em vista a diversidade de tipologias presentes nas ruas lindeiras aos canais de drenagem. Ao todo, foram consultadas 385 edificações dispostas no entorno dos canais de drenagem, Figura 16. A aplicação dos formulários permitiu a construção de 20 mapas de densidade, Figuras 17, 18, 20, 21 e 23, listadas no Quadro 28.

Figura 15 - Pontos de coleta e ruas utilizadas para o cálculo do raio dos mapas de intensidade



Fonte: Adaptado do Google Earth (2019).

Figura 16 - Pontos de coleta e edificações consultadas



Fonte: Adaptado do Google Earth (2019).

Quadro 28 - Variáveis analisadas em campo

| Variáveis de Percepção de Problemas Ambientais | | |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Figura 17 | V ₁ | Existência de lixo nas calçadas ou nas ruas das edificações consultadas; |
| | V ₂ | Existência de lixo em terrenos baldios próximos às edificações consultadas; |
| | V ₃ | Existência de lixo dentro dos canais de drenagem próximos às edificações consultadas; |
| | V ₄ | Existência de esgoto a céu aberto nas ruas das edificações consultadas; |
| Figura 18 | V ₅ | Existência de ligações de esgoto em canais de drenagem próximos às edificações consultadas; |
| | V ₆ | Existência de maus odores oriundos dos canais de drenagem próximos às edificações consultadas; |
| | V ₇ | Existência de água de coloração escura nos canais de drenagem; |
| | V ₈ | Existência de roedores nas ruas ou nas edificações consultadas; |
| Figura 19 | V ₉ | Existência de insetos ou mosquitos nas ruas ou nas edificações consultadas; |
| | V ₁₀ | Existência de mosquito <i>Aedes aegypti</i> nas ruas ou nas edificações consultadas; |
| | V ₁₁ | Existência de fezes de animais nas ruas das edificações consultadas; |
| | V ₁₂ | Existência de alagamento nas ruas das edificações consultadas; |
| Figura 20 | V ₁₃ | Existência de retorno de esgoto do sistema para dentro das edificações consultadas; |
| | Variáveis de Manutenção e Conscientização Ambiental | |
| | V ₁₄ | Existência de serviços de limpeza dentro dos canais de drenagem; |
| | V ₁₅ | Existência de serviços de manutenção nos canais de drenagem próximos as edificações consultadas, tais como revitalização de revestimento das paredes e fundos, retirada de sedimentos do leito e das canalizações do sistema, entre outros; |
| V ₁₆ | Existência de serviço de remoção de vegetação das margens do canal ou das entradas das bocas de lobo; | |

| Variáveis de Manutenção e Conscientização Ambiental | | |
|-----------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Figura 21 | V ₁₇ | Existência de serviços de varrição e limpeza de sarjetas nas ruas das edificações consultadas; |
| | V ₁₈ | Existência de eventos de educação ambiental nas ruas ou bairros das edificações consultadas; |
| | V ₁₉ | Existência de divulgação de informação sobre a importância de manter os canais de drenagem sempre limpos; |
| | V ₂₀ | Existência de divulgação de informação sobre a importância de manter a qualidade das águas presentes nos canais de drenagem. |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Em relação à limpeza urbana, calçadas e vias (V₁), terrenos baldios (V₂) e canais de drenagem (V₃), Figura 17, foi observado um pequeno aumento de densidade de problemas a partir do distanciamento da população em relação ao serviço realizado, ou seja, o serviço de limpeza de canais, que é realizado por órgão público ou concessionado, apresenta-se menos eficiente em relação ao serviço de limpeza de calçadas. Tal fato, seja por problemas de fiscalização ou de periodicidade, contribui para as altas médias dos indicadores físico-químicos e microbiológico.

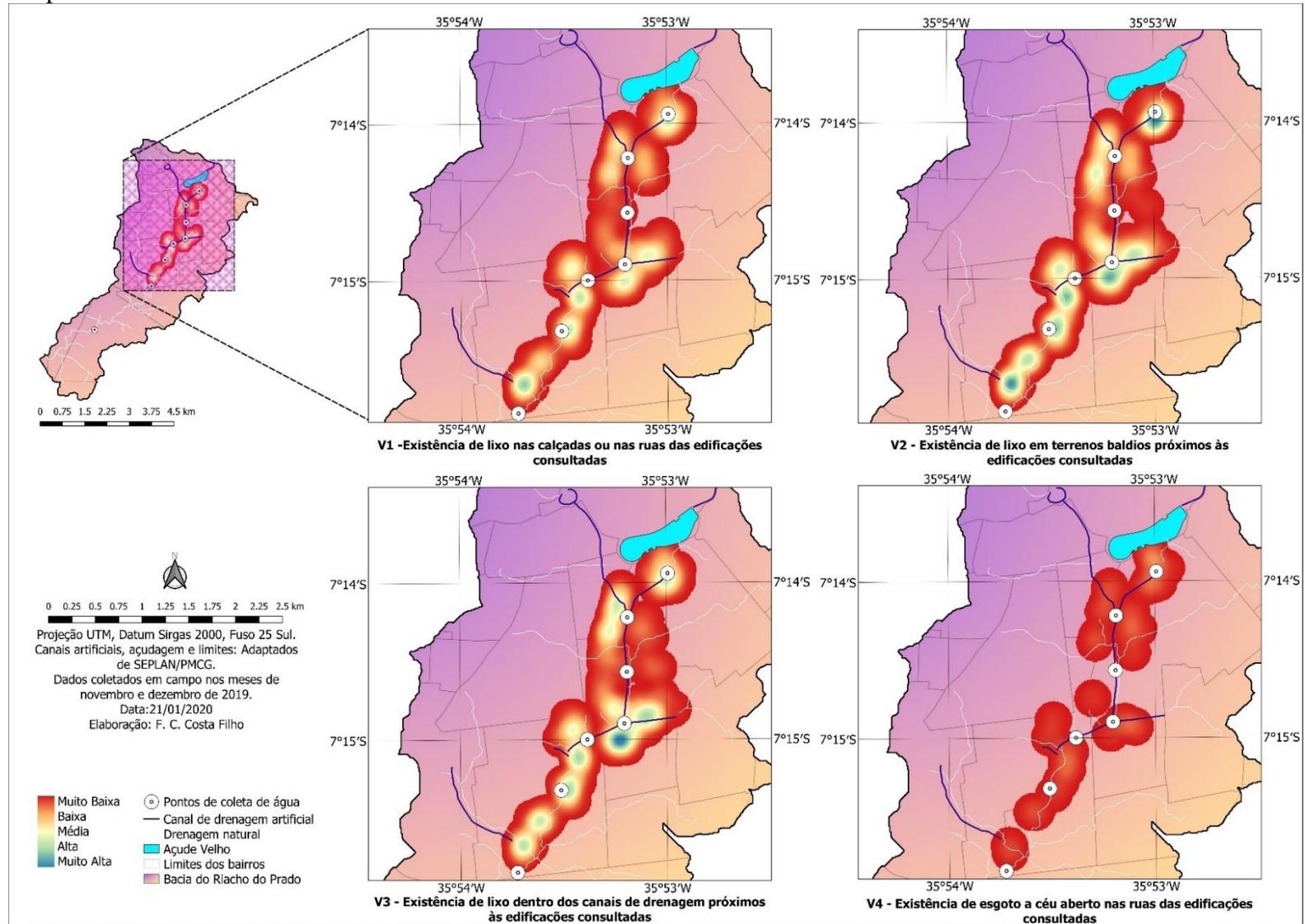
Especificamente para a presença de lixo em canais de drenagem, observou-se maior densidade nas proximidades do ponto P₄, refletindo nas maiores médias dos indicadores, turbidez e condutividade elétrica, relacionados à presença de materiais carreados ou depositados nos canais.

É importante enfatizar que nos mapas V₁, V₂ e V₃, houve um aumento significativo de densidade no sentido do distanciamento do centro da cidade e aproximação do curso natural do canal, provavelmente devido à menor periodicidade de realização de serviços urbanos nessas áreas ou de ações não sustentáveis por parte da população, tendo em vista uma maior disponibilidade de áreas convidativas para deposição de lixo.

Situação semelhante a esta, foi observada no Canal das Piabas, em Campina Grande, por Alcântara *et al.* (2014). Os autores observaram a presença de resíduos de fontes comerciais, domésticas, de construção, de criação de animais, além de resíduos de oficinas mecânicas localizadas no entorno do canal.

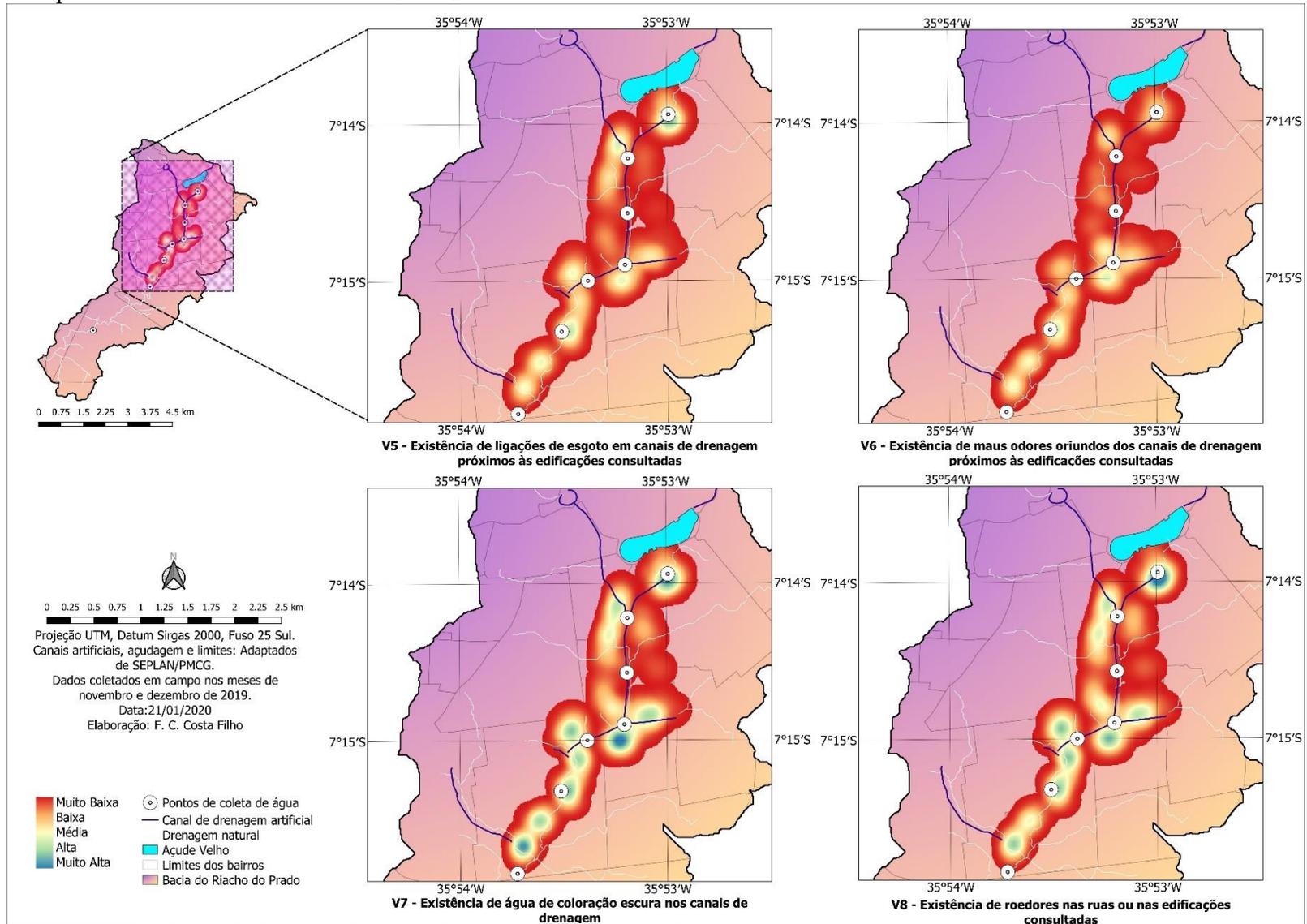
As variáveis V₄ e V₅, existência de esgoto a céu aberto e de ligações clandestinas de esgoto em canais de drenagem (Figuras 17 e 18) mostram que, mesmo a bacia estando em uma área urbanizada e o município possuir representatividade nacional no setor de saneamento, ainda existe um déficit em infraestrutura de esgotamento sanitário, no que diz respeito ao lançamento de esgoto a céu aberto e ligações clandestinas de esgoto, contradizendo os dados apresentados pelo Instituto Trata Brasil e concordando com as pesquisas de Vidal (2019), Camelo (2019), Freire *et al.* (2014), Henriques (2014) e Caminha (2014).

Figura 17 - Mapas de densidade das variáveis V_1 a V_4



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 18 - Mapas de densidade das variáveis V₅ a V₈



Fonte: Autoria Própria (2020).

Os resultados apresentados nos mapas das variáveis de V_4 e V_5 concordam com os níveis de qualidade de água diagnosticados e com os resultados dos mapas de fragilidade de infraestrutura urbana e de moradores, demonstrando a interligação entre as condicionantes ambientais com o impacto de vizinhança.

Lopes *et al.* (2016) analisaram o serviço de esgotamento sanitário de Campina Grande a partir de indicadores operacionais e de qualidade. Nesse estudo, o serviço foi classificado como regular, devido aos problemas relacionados à manutenção e operação do sistema. Além disso, os autores observaram que apenas 5% da vazão de esgoto coletado chegava às estações de tratamento de esgoto.

Em relação aos odores emanados pelos canais de drenagem, devido à presença de matéria orgânica em processo de digestão anaeróbia, V_6 , foi observada uma maior densidade após o ponto P_3 , o que, possivelmente, pode ser explicado pela localização das edificações consultadas, direção dos ventos e lançamento contínuo de esgoto nos canais.

Quando se analisam os mapas das variáveis V_7 , V_8 e V_9 (Figuras 18 e 20), a problemática ambiental é agravada, reforçando os argumentos já citados. Observa-se que a jusante do ponto P_3 há uma piora na situação sanitária e ambiental das áreas em estudo, pois há um aumento semelhante de densidade nos mapas referentes à existência de águas com coloração escura nos canais de drenagem (Figura 19), de roedores, insetos ou mosquitos. Além desses vetores de doenças mencionados, a população das áreas afetadas, bem como as das outras áreas consultadas, observou a presença de mosquito *Aedes aegypti*, V_{10} , que associada ao descaso no saneamento básico, maximiza a vulnerabilidade da população a contrair doenças que poderiam ser evitadas com saneamento básico de qualidade.

Vidal *et al.* (2020) analisaram os riscos ambientais na bacia do Riacho do Prado pela metodologia FMEA. Entre os possíveis riscos elencados pelos autores, destacam-se a contaminação das águas de drenagem por efluentes domésticos e a proliferação de artrópodes e roedores, podendo ocasionar, respectivamente, gases malcheirosos e a diminuição da qualidade de vida da população, devido ao aumento de agentes transmissores de doenças infecciosas. Tais fatos, reforçam a necessidade de melhoria nos serviços urbanos de Campina Grande.

Ainda sobre limpeza urbana e ações não sustentáveis, observou-se nas áreas consultadas a presença de fezes de animais em calçadas e ruas, V_{11} , tanto de animais domésticos, quanto de animais que auxiliam na tração de veículo de transporte e de pecuária, como podem ser observados no Ponto 6 (Figura 14). Esse problema apresentou-se também com maior densidade

nas áreas após o ponto P₃, o que aumenta o risco de contaminação das águas de drenagem por carreamento, pois, de acordo com o mapa V₁₂, estas áreas e as proximidades do ponto P₂ foram as que mais se apresentaram susceptíveis a alagamentos.

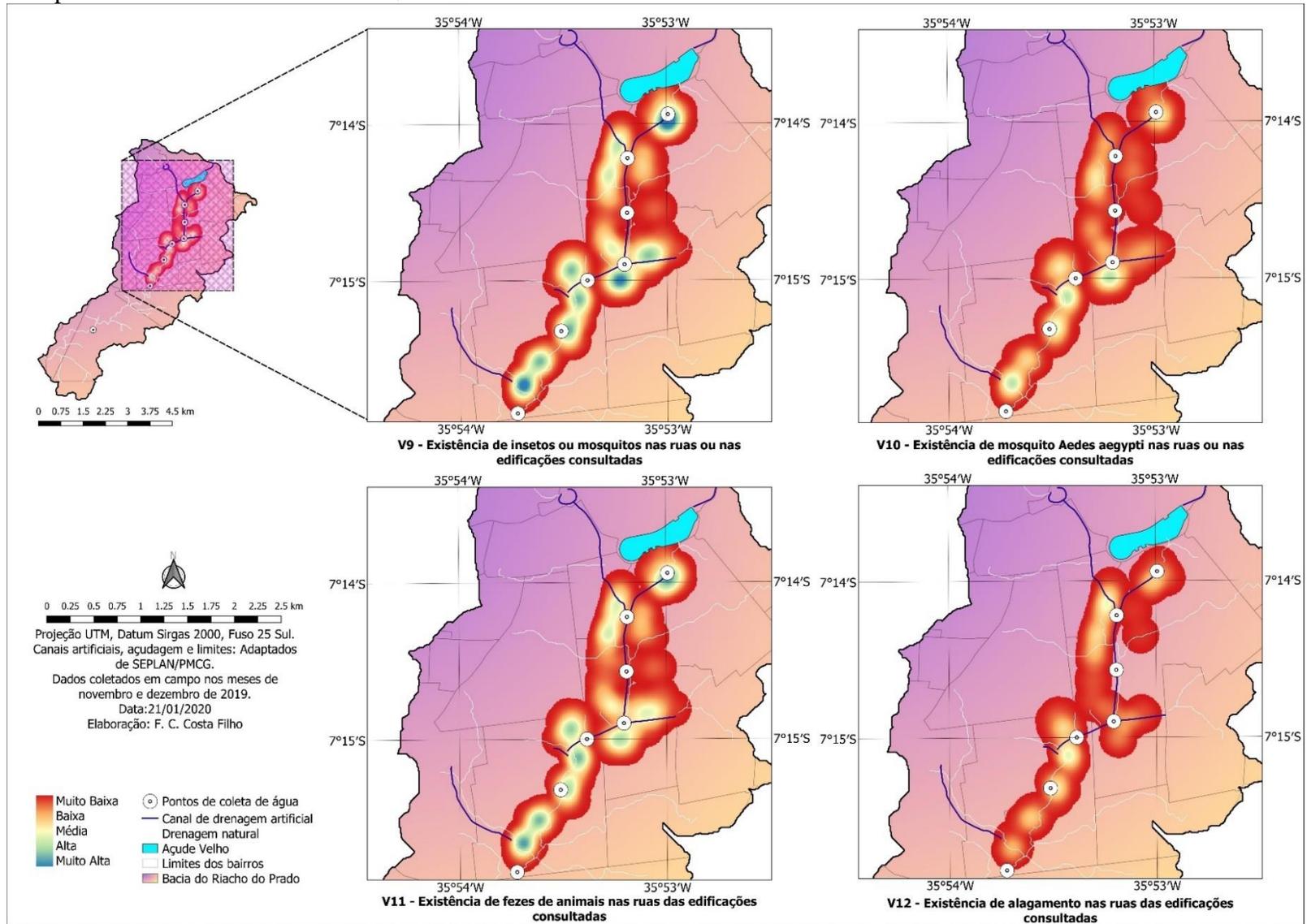
Figura 19 - Canais do Riacho do Prado



Fonte: Autoria Própria (2020)

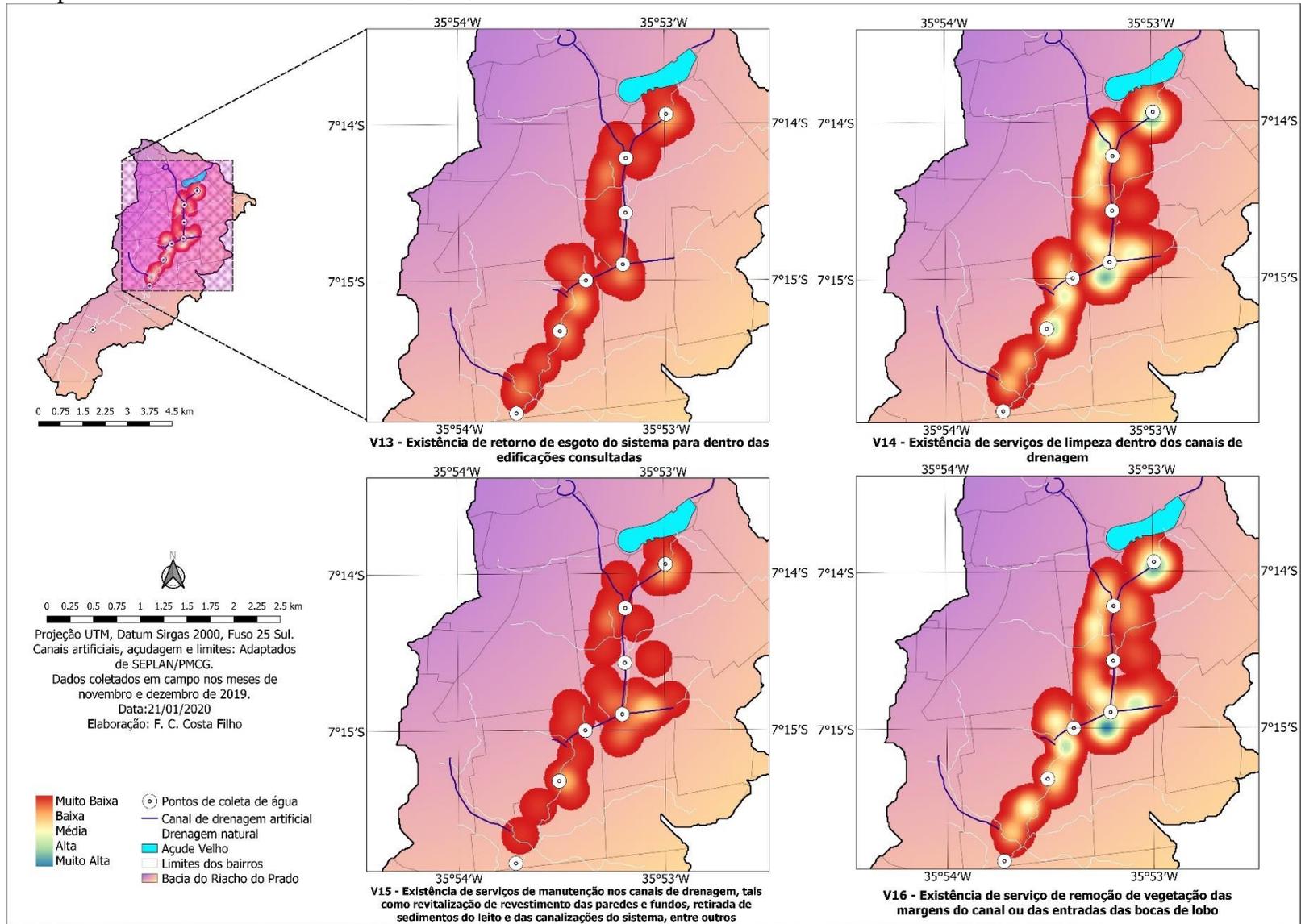
A utilização de canais revestidos ocasiona a diminuição da infiltração da água, aumenta as possibilidades de eventos de cheias urbanas e alteram as funções naturais do corpo hídrico. No Recife - PE, muitos canais foram revestidos com a finalidade de acelerar o escoamento das águas e evitar doenças por veiculação hídrica. Porém, como consequência direta, ocorre o carreamento de resíduos e poluentes dos canais para os rios urbanos (GOUVEIA E SELVA, 2018).

Figura 20 - Mapas de densidade das variáveis V₉ a V₁₂



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 21 - Mapas de densidade das variáveis V₁₃ a V₁₆



Fonte: Autoria Própria (2020).

Apesar da precariedade no sistema de esgotamento sanitário e da contaminação nas águas de drenagem, foi observado que a infraestrutura de esgoto e drenagem exercem a função de afastar as águas residuárias das edificações, pois, de acordo com o mapa da variável V_{13} (Figura 21), há poucas ocorrências de retorno de esgoto na área em estudo. Desta forma, erroneamente, o sistema de drenagem auxilia na função da rede de esgoto, mas contraria o objetivo primário do sistema separador absoluto.

Em relação à manutenção do sistema, V_{14} e V_{15} , a ação de limpeza realizada por órgão público ou concessionado foi observada em todas as áreas consultadas, porém, como verificado no mapa da variável V_3 , a ação não sustentável por parte da população prejudica a eficiência das atividades de higienização, deixando o ambiente mais insalubre, aumentando os riscos ambientais e a possibilidade de transferência de impactos para bacias subsequentes.

Quanto às ações de revitalização de revestimento das paredes e fundo, retirada de sedimentos do leito e das canalizações do sistema, entre outros, mapa da variável V_{15} , foi constatada uma baixíssima densidade de execução desses serviços em toda a área de aplicação, sendo comumente observada a pintura das bordas superiores dos canais artificiais. É importante enfatizar que os mapas refletem a percepção da população, podendo a mesma não estar presente no momento da execução dos outros serviços.

Também foi observada a remoção de vegetação das margens do canal, V_{16} , tanto na porção artificial, quanto na natural (Figura 22). A remoção da vegetação pode gerar impactos positivos em termos da manutenção da vida útil da estrutura da porção artificial. Porém, quando se analisa a questão da qualidade de água, a remoção pode ocasionar um aumento da turbidez, da condutividade, da carga de contaminantes e de outros indicadores, em decorrência do carreamento de partículas das ruas e calçadas. É preciso observar o tipo de vegetação presente próximos às bordas dos canais e verificar se estão prejudicando a estrutura do canal, caso contrário, recomenda-se apenas uma poda para manter a harmonia paisagística.

Problemas relativos à manutenção do sistema de drenagem não são observados somente no nordeste brasileiro. Daltoé *et al.* (2016) realizaram uma análise qualitativa dos resíduos sólidos dispostos no sistema de drenagem da cidade de Pelotas - RS. Os autores observaram a presença de diversos tipos de resíduos e enfatizaram a predominância de plásticos, madeira e matéria orgânica em todos os pontos analisados, associando a existência desses resíduos a ações não sustentáveis da

população. Além disso, foi reforçado que a manutenção do sistema, como a limpeza dos canais, auxilia na redução de alagamentos e nos problemas relativos ao tráfego e a transmissão de doenças.

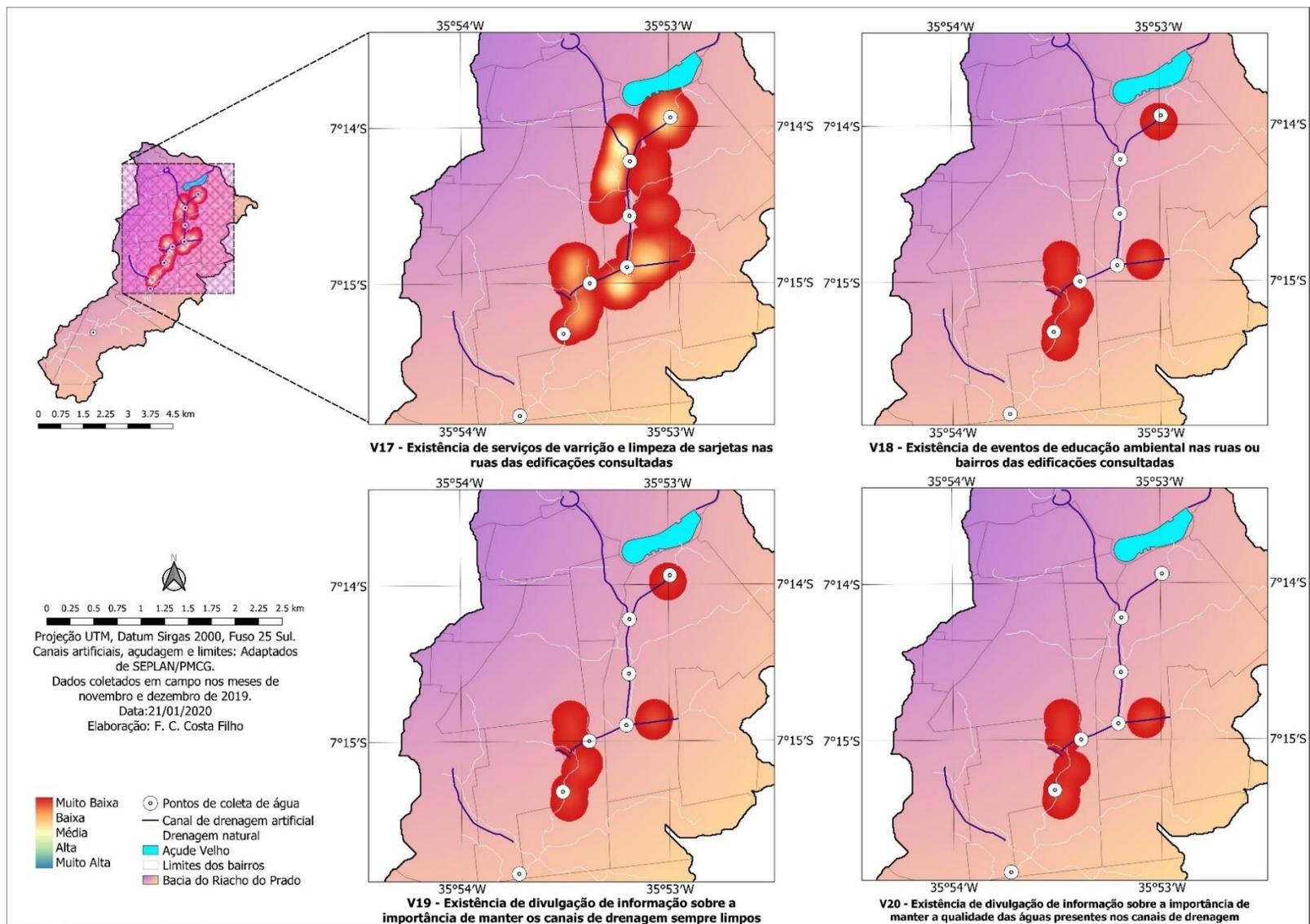
Figura 22 - Remoção da vegetação próxima aos canais de drenagem.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Uma forma de minimizar essas consequências seria a execução de varrição de ruas e limpeza de sarjetas, V_{17} (Figura 23); porém, tais serviços só foram observados em densidades médias nas avenidas de grande fluxo. Diferentemente das variáveis anteriormente analisadas, a V_{17} reduziu-se até as proximidades do ponto P_6 , justamente onde há transição entre a porção artificial para a natural.

Figura 23 - Mapas de densidade das variáveis V₁₇ a V₂₀



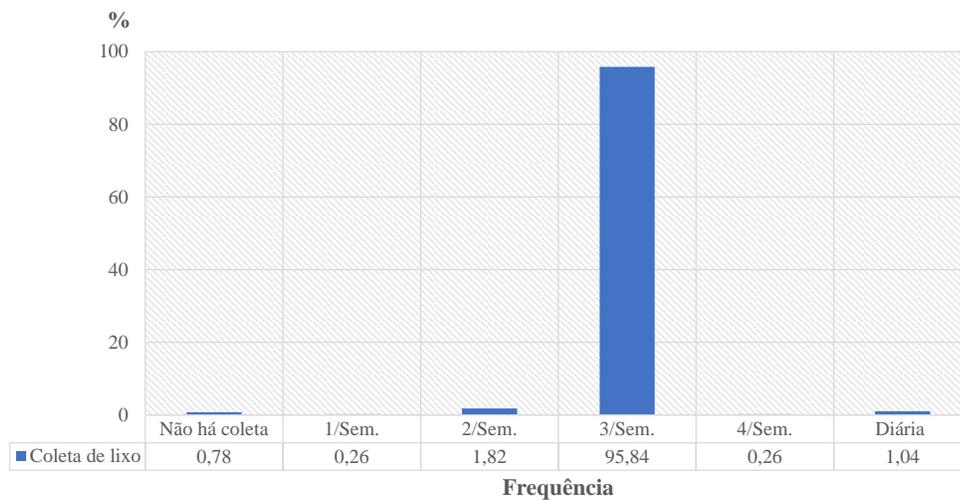
Fonte: Autoria Própria (2020).

Conclusão semelhante a esta foi relatada por Gouveia e Selva (2018) em Recife. Os autores observaram moradores lançando esgoto e resíduos nos canais de drenagem, diminuindo assim a eficiência dos serviços de limpeza urbana realizados no município. Somente a educação ambiental da população possibilitará uma gestão sustentável e a criação da consciência de responsabilidade com os recursos hídricos urbanos.

Em se tratando da promoção de atividades relacionadas à educação ambiental e à divulgação de informações inerentes à qualidade da água de drenagem, V₁₈, V₁₉ e V₂₀, observou-se que, praticamente, não existem programas de conscientização ambiental na bacia do Riacho do Prado, com exceção das atividades realizadas nas escolas do município.

Em relação às frequências dos serviços de coleta de lixo (Figura 24), varrição de ruas e sarjetas (Figura 25) e limpeza dos canais de drenagem (Figura 26), 95,84% dos entrevistados afirmaram que a coleta de lixo ocorre 3 vezes por semana, e apenas 1,04% possuem coleta diária; 83,64% disseram que não observaram serviços de varrição de ruas e limpeza de sarjetas, e 3,12% afirmaram que esses serviços são feitos regularmente todos os dias.

Figura 24 - Frequência de coleta de lixo

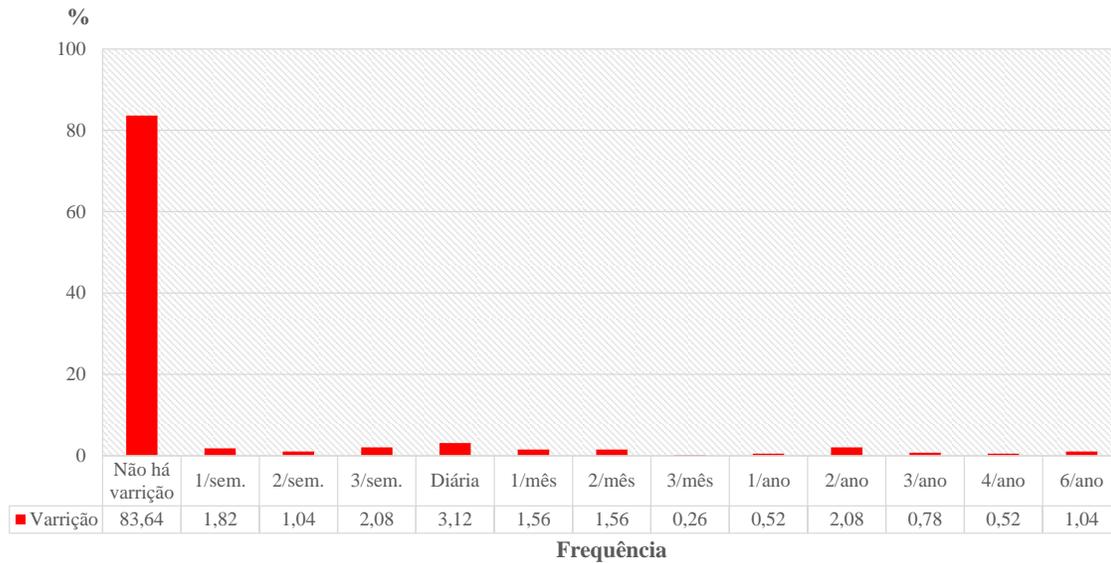


Fonte: Autoria Própria (2020).

Com relação à limpeza dos canais, os resultados apontam uma imprecisão maior no consenso das respostas, provavelmente por este serviço não depender, necessariamente, do contato com a população para ocorrer. Desta forma, 1,56%, 4,68% e 75,06% afirmaram que a limpeza é

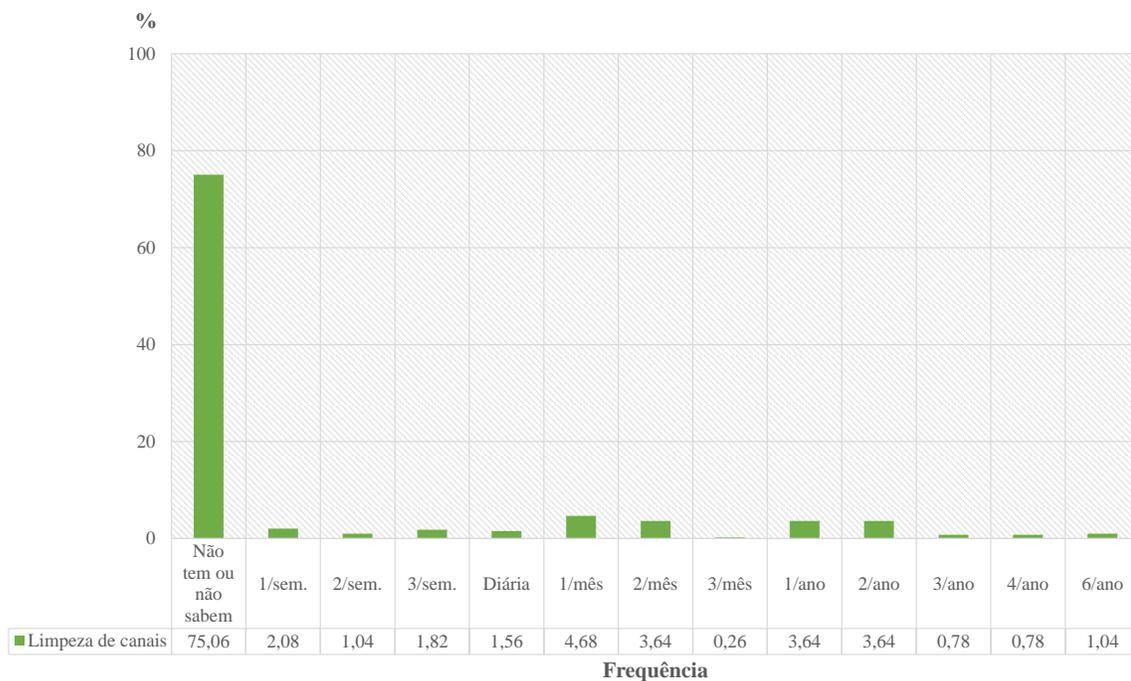
realizada diariamente, uma vez ao mês e, que não sabiam ou que não há serviço de limpeza dos canais, respectivamente.

Figura 25 - Frequência de varrição e sarjetas



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 26 - Frequência de limpeza dos canais



Fonte: Autoria Própria (2020).

Além das observações realizadas a partir das respostas aos questionamentos dos formulários (Apêndice A), a população residente nas edificações mais próximas dos canais relatou que o serviço de limpeza é realizado, mesmo que em baixa frequência, porém, os canais recebem resíduos e esgotos a montante, resultando na contaminação das águas de drenagem, (Figura 27).

Figura 27 - Não conformidades observadas nos canais da bacia do Riacho do Prado



Fonte: Autoria Própria (2020).

- Classificação da bacia piloto

Com base nos dados expostos no diagnóstico da bacia do Riacho do Prado, calcularam-se os índices dos grupos de indicadores e índice geral com as Equações 3, 4, 5 e 6 (Quadro 29), enquadrando a gestão da qualidade de água de drenagem da respectiva bacia, no cenário de gestão parcial.

Quadro 29 - Cálculo dos índices e classificação da bacia piloto

| Grupo e Peso | INDICADORES | Notas | Cenários | | |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------|---------|-------------|
| | | | Eficiente | Parcial | ineficiente |
| Operação e manutenção 34,2 | Manutenção do sistema - OM1 | 10,0 | | | x |
| | Limpeza das vias no entorno dos canais - OM2 | 6,5 | | | x |
| | Frequência na coleta de resíduos sólidos - OM3 | 8,0 | | | x |
| | Presença de ligações clandestinas de esgoto nos canais de drenagem separadores absolutos - OM4 | 10,0 | | | x |
| | Presença de esgoto a céu aberto no entorno do canal - OM5 | 9,0 | | x | |
| | Monitoramento de qualidade de água de drenagem - OM6 | 4,5 | | | x |
| | Programas de educação ambiental - OM7 | 7,0 | x | | |
| ÍNDICE DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO = 0,45 | | | | | |
| Instrumentos legais 41,6 | Planos municipais de Esgotamento, Drenagem Urbana, Abastecimento e Resíduos Sólidos - IL1 | 10,0 | | | x |
| | Plano diretor de drenagem urbana com diretrizes relativas à qualidade da água - IL2 | 9,5 | | | x |
| | Plano de saneamento com diretrizes relativas à qualidade de água de drenagem - IL3 | 8,5 | | x | |
| | Instrumentos de uso e ocupação do solo/parcelamento do solo/código de obras com diretrizes relativas à manutenção da qualidade da água dos corpos hídricos urbanos - IL4 | 6,5 | | | x |
| | Plano de Educação Ambiental - IL5 | 6,5 | | | x |
| ÍNDICE DE INSTRUMENTOS LEGAIS = 0,38 | | | | | |
| Físico-químicos e microbiológicos 24,2 | Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - FM1 | 3,5 | | | x |
| | pH - FM2 | 5,5 | x | | |
| | Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - FM3 | 7,5 | | | x |
| | DBO _{5,20} (mg/L) - FM4 | 10 | | | x |
| | Fósforo total (mg/L) - FM5 | 5,5 | | | x |
| | Turbidez (UNT) - FM6 | 3,0 | | | x |
| | Oxigênio Dissolvido (mg/L) - FM7 | 9,0 | | | x |
| | Coliformes Termotolerantes - FM8 | 9,5 | | | x |
| ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO E MICROBIOLÓGICO = 0,37 | | | | | |
| Variação dos Cenários | | | Classificação da gestão atual da bacia do Riacho do Prado | | |
| Gestão Ineficiente | Gestão Parcial | Gestão Eficiente | | | |
| $0,0 < GI \leq 0,3$ | $0,3 < GP \leq 0,7$ | $0,7 < GE \leq 1,0$ | ÍNDICE GERAL = 0,4 (Gestão Parcial) | | |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Os indicadores M_1 , M_2 , M_3 e M_4 foram considerados típicos de uma gestão ineficiente. Além de apresentar uma baixa execução diária de serviços de manutenção do sistema, limpeza e coleta de lixo. Os moradores foram enfáticos ao falar da falta de respostas às solicitações à prefeitura do município, tanto em relação à manutenção quanto à fiscalização do sistema. Além disso, foi observada em vários pontos dos canais, a presença de ligação de esgoto, tanto saindo diretamente das casas, como ligações em tubulações de diâmetros maiores, típicas de infraestruturas públicas (Figura 27).

De acordo com informações obtidas com a SESUMA para a construção do diagnóstico do Plano Municipal de Saneamento, a varrição das ruas é realizada diariamente no centro e nos bairros adjacentes, coleta de resíduos diária no centro da cidade e três vezes por semana nos outros bairros, com uma porcentagem de atendimento de 95%. Já a limpeza de canais, galerias, bueiros e outros, seguem uma programação aleatória acessível à população (PMCG, 2015). Porém, os dados fornecidos no site da secretaria encontram-se desatualizados.

Em relação ao monitoramento da qualidade da água de drenagem, não foram encontradas informações inerentes à execução deste serviço por órgão público ou concessionado. Os diagnósticos existentes são objetos de pesquisas científicas executadas por programas de graduação e pós-graduação das universidades presentes em Campina Grande, como os de Vidal (2019), Camelo (2019), Torquato (2017) e Henriques (2014).

Em se tratando do arcabouço legal, o município apresentou-se deficitário no que se refere aos dispositivos legais voltados à gestão de qualidade de água de drenagem. A Política Municipal de Saneamento Básico foi publicada em 2019, deixando explícito seu instrumento de implementação, o plano de saneamento básico do município, estando este aprovado, porém ainda não foi implementado. Em relação aos planos individuais dos serviços de saneamento, Campina Grande ainda não possui nenhum plano implementado e somente o de resíduos sólidos está em desenvolvimento, enquadrando os indicadores IL_1 e IL_2 no cenário ineficiente.

No tocante à manutenção da qualidade da água de drenagem, o plano municipal de saneamento básico dispõe de diversas medidas para melhoria do sistema de drenagem, como o controle de vazão, melhoria e manutenção permanente das margens dos canais, manutenção do sistema de drenagem, de controle e fiscalização do uso do solo, e conscientização ambiental. Tais medidas auxiliam, de forma direta, na qualidade da água de drenagem, mesmo que o objetivo primário seja o controle de vazões e a manutenção da vida útil do sistema. Porém, nos instrumentos

de avaliação, o plano de saneamento contempla um índice de qualidade da água no sistema de drenagem como indicador avaliativo. Desta forma, o indicador IL₃ enquadra-se no cenário parcial de gestão de qualidade de água de drenagem.

Semelhante à situação do indicador IL₁, o IL₄ apresenta-se com problemas relativos à inexistência de instrumentos voltados ao controle do uso do solo. Estes, previstos pelo Plano Diretor de Campina Grande de 2006, porém, ainda não houve as elaborações das leis de parcelamento de solo e uso e ocupação do solo. Da mesma forma, apesar do município possuir diversas leis relativas à Educação Ambiental (Quadro 26), não foi encontrado plano de educação ambiental. Sendo assim, os indicadores IL₄ e IL₅ se enquadram em um cenário de gestão ineficiente.

No tocante à qualidade das águas de drenagem, a classificação foi realizada com base nas médias apresentadas pelos indicadores físico-químicos e microbiológico (Tabela 4). Com exceção do potencial hidrogeniônico, que se enquadrou no cenário eficiente, todos os demais se apresentaram com valores típicos de uma gestão ineficiente.

Desta forma, o índice geral de gestão de qualidade de água da bacia do Riacho do Prado resultou no valor igual a 0,4, se enquadrando em uma gestão parcial de qualidade de água de drenagem urbana.

4.3.2 Observação do comportamento do modelo e de melhoria contínua

No que se refere ao comportamento da metodologia de caracterização, foram observadas dificuldades relativas à produção de mapas com o software Quantum Gis. O software possui muitos recursos que auxiliam no tratamento e espacialização dos dados, porém, apresenta atualizações contínuas devido possuir código aberto. Por essa razão, recomenda-se a utilização de uma versão mais estável, pois minimiza as possibilidades de erros no processamento dos dados.

Outro ponto importante a ser mencionado sobre a metodologia de aplicação é a escolha das imagens de satélites para a determinação do uso e ocupação da terra. Para uma melhor coleta de amostras e classificação supervisionada das imagens, é necessário que a área bacia em estudo esteja representada em uma imagem sem a interferência de nuvens, pois, as mesmas dificultam o processo de classificação. Porém, isso nem sempre é possível, sendo, muitas vezes, necessária a utilização de imagens mais antigas, o que afetará na representatividade da situação atual do uso e ocupação

da terra. Uma forma alternativa de contornar esse problema é a utilização de comandos de mascaramento de nuvens, porém os produtos finais apresentam prejuízos estéticos.

Em relação à melhoria contínua da metodologia, poderiam ser realizados os seguintes ajustes:

- Alteração no grupo dos indicadores de instrumentos legais para que os planos individuais dos serviços de saneamento e as leis que regulam o uso e ocupação do solo sejam avaliados isoladamente, pois a inexistência de um dos documentos enquadra, automaticamente, o indicador no cenário ineficiente.
- Caso seja feita alguma alteração nos grupos de indicadores como sugerido anteriormente, deverá ser realizado um novo painel de especialistas para alterar as notas do referido grupo de indicadores. Nesta situação, recomenda-se uma reunião com a presença de todos os especialistas para debater as possibilidades e interrelações entre os indicadores.
- As medidas mitigadoras apresentadas nos Quadros 16, 17, 22, 23 e 24 estão sem horizonte de aplicação, pois estes serão sugeridos a partir dos prazos contidos no plano de saneamento do arranjo populacional médio. Caso este instrumento não esteja implementado, recomenda-se a elaboração de uma reunião com especialistas locais que possuam conhecimento da área de aplicação, para a determinação dos horizontes que serão empregados. Caso esta reunião seja inviável, uma alternativa razoável seria a utilização dos horizontes comumente adotados em planos de saneamento, curto, médio e longo prazos, respectivamente de 1 a 4 anos, 4 a 8 anos e 8 a 20 anos.
- Dependendo das condições de saneamento básico do arranjo populacional médio, recomenda-se acrescentar ao formulário do Apêndice A questionamentos sobre doenças associadas ao saneamento, para posterior espacialização e análise da localização destas na bacia em estudo.
- Estudos relativos a microdrenagem, como a caracterização, elaboração de medidas mitigadoras e programas de monitoramento, pois tais dispositivos afetam a eficiência do sistema de drenagem.

É importante enfatizar que mesmo sem a caracterização específica da microdrenagem, o presente trabalho incluiu tais dispositivos na análise da vulnerabilidade social (Quadro 9). No entanto, ressalta-se a dificuldade para encontrar dados relativos a microdrenagem.

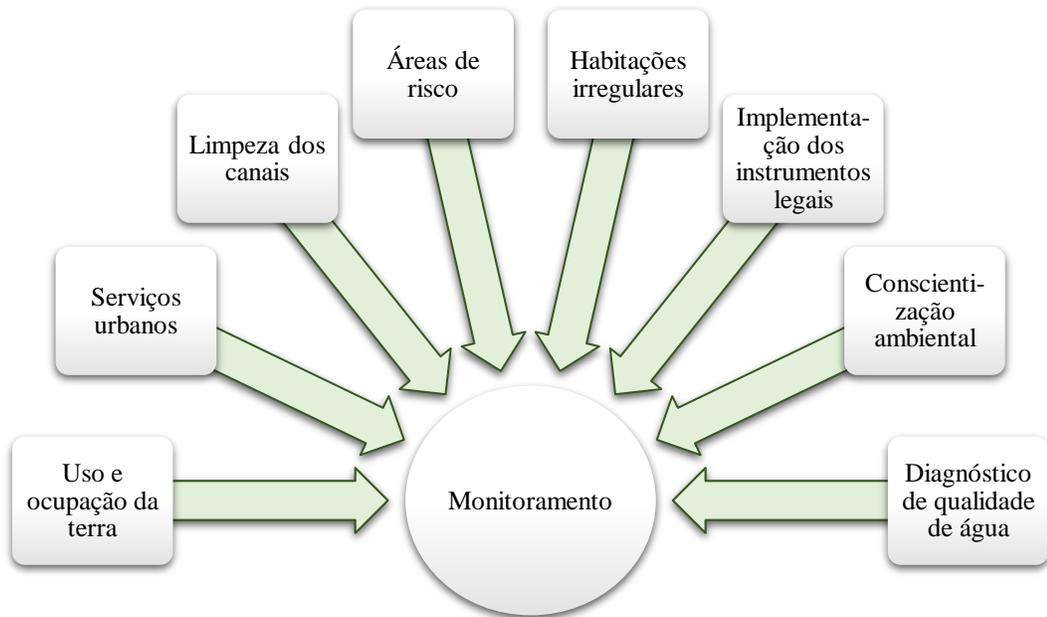
4.4 RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO E AÇÕES CORRETIVAS APÓS APLICAÇÃO DO MODELO

4.4.1 Sugestões para o monitoramento das atividades e operações que possam causar impactos ambientais

No tocante à melhoria contínua da gestão da qualidade de água de drenagem, o monitoramento das diversas atividades realizadas na bacia do Riacho do Prado é de suma importância para a manutenção ou melhoria da qualidade da água.

Como as bacias urbanas apresentam uso e ocupação da terra diversificado, é imprescindível que o monitoramento inclua análises contínuas de indicadores físico-químicos e microbiológico, pois, os níveis de qualidade de água de drenagem urbana são os principais indicadores que expressam a existência de não conformidades. A Figura 28 apresenta a setorização do monitoramento sugerido.

Figura 28 - Setores de monitoramento



Fonte: Autoria Própria (2020).

As análises físico-químicas e microbiológica que devem ser realizadas estão descritas no Quadro 13 do item 3.2d. Como a bacia do Riacho do Prado foi classificada em um cenário parcial de gestão de qualidade de águas de drenagem, o recomendado para a realização das análises é uma

frequência bimestral, conforme sugerido no cenário eficiente, pois, almeja-se a melhoria da classificação da gestão atual da bacia.

O uso e ocupação da terra deve ser monitorado a partir das licenças ambientais e fiscalizações. É importante verificar a localização do empreendimento ou da atividade potencialmente poluidora, áreas permeáveis, impactos que serão gerados e se todas as recomendações feitas pelo órgão ambiental responsável foram acatadas.

Os serviços urbanos devem ser ofertados para toda a área urbana. Caso os serviços não sejam universalizados, devem ser feitos investimentos na estruturação do sistema. Os serviços de coleta de resíduos sólidos, limpeza urbana e esgotamento sanitário devem ser melhorados com o objetivo de atingir os limites do cenário eficiente. A gestão participativa da população, por meio dos canais de comunicação que serão implementados, é a principal agente do monitoramento. Além disso, podem ser aplicados processos de fiscalização e autorias periódicas.

As áreas de alto risco ambiental devem ser monitoradas periodicamente para verificação da existência de habitações irregulares. Caso exista, a população deve ser informada dos riscos e realocada para áreas menos vulneráveis.

Em se tratando de instrumentos legais, os planos e leis precisam ser atualizados periodicamente e implementados. É importante enfatizar que a existência não significa necessariamente a sua execução. Desta forma, o órgão gestor deve se certificar que os instrumentos legais estão sendo implementados.

Uma forma de prever os resultados das aplicações das medidas mitigadoras e atividades específicas dos programas de monitoramento é a construção de cenários futuros a partir de modelagem matemática. Existem na literatura técnica diversos programas que auxiliam na gestão a partir de modelos teóricos. Entre os modelos e trabalhos existentes, citam-se, por exemplo:

- QUAL-UFMG no monitoramento e modelagem da qualidade de água em uma bacia hidrográfica semiárida de Lima, Mamede e Neto (2018);
- Sistema de Apoio à Decisão/Instituto de Pesquisas Hidráulicas - SAD-IPH na Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG) de Silva, Faria e Moura (2017);
- QUAL2Kw na Modelagem da qualidade da água em um trecho do Rio dos Bois, Goiás, de Soares (2018);

- *Streeter-Phelps* na Modelagem da qualidade da água na bacia do Rio Lambari - Poços de Caldas de Tonon (2014); e,
- *Storm Water Management Model (SWMM)* na Modelagem da poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas de Camelo (2019).

Caso seja de interesse dos órgãos gestores, os modelos podem ser aplicados para verificar a eficiência da metodologia proposta, a partir da construção de cenários futuros.

Fazendo uma correlação com as características socioambientais apresentadas na bacia do Riacho do Prado, é perceptível que todos os setores de monitoramento elencados estão interligados com a qualidade ambiental e com a dignidade da vida humana preconizada pela Constituição Federal. Os requisitos para obter cidades sócio e ambientalmente equilibradas, partem do diagnóstico socioeconômico da população residente e da elaboração de políticas públicas que minimizem as diferenças sociais e garantam o acesso as infraestruturas urbanas.

Arranjos populacionais médios, como Campina Grande, necessitam de ações efetivas no âmbito social. Os governantes precisam agir de forma concreta na geração de emprego, saúde, lazer, educação, transporte de qualidade e saneamento básico e, não somente, em políticas públicas de acesso à moradia. Como relatado por Raquel Rolnik (2012), as cidades precisam ser geridas com modelos sustentáveis, precisam de mudanças estruturais em horizonte praticáveis, de 15 a 20 anos, como realizadas em diversas cidades pelo mundo, e não mudanças visíveis em períodos eleitorais.

O modelo de desenvolvimento não sustentável e seus consequentes problemas estruturais, acompanham não só os arranjos populacionais médios, mas as grandes metrópoles. Maricato (2011) relata que o número de favelas tem aumentado com a urbanização, concentrando pessoas vulneráveis em grandes comunidades sem nenhuma infraestrutura de saneamento básico, tornando-se verdadeiras bombas socioecológicas. Devido a isto, em um planejamento a longo prazo, os arranjos populacionais médios devem estudar as tendências de crescimento, ampliar as infraestruturas e monitorar as áreas de risco ambiental da cidade.

Ainda no âmbito dos impactos socioecológico em áreas urbanas, Schneider *et al.* (2011) observaram que a diminuição da qualidade da água de canais urbanos está diretamente relacionada as atividades antrópicas, sendo o uso e a ocupação da terra agentes condicionantes que alteram os processos naturais (MENEZES *et al.*, 2016), ressaltando a necessidade de medidas que regulem e monitorem as alterações no meio urbano.

4.4.2 Sugestões de procedimentos para prevenir e eliminar o reaparecimento de não conformidades

A gestão atual da bacia do Riacho do Prado se apresentou mais próxima de uma gestão ineficiente do que eficiente, logo, se fazem necessárias aplicações de diversas medidas mitigadoras para a melhoria do índice geral e da qualidade da água dos canais de macrodrenagem urbana. Os Quadros 30 e 31 apresentam as medidas mitigadoras sugeridas para a bacia do Riacho do Prado.

Quadro 30 - Medidas mitigadoras relacionadas a fragilidade ambiental e vulnerabilidade social

| Medidas mitigadoras relacionadas a fragilidade ambiental | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Aplicação de vegetação arbustiva e rasteiras (nativas) em locais públicos e canteiros centrais de vias; | De curto prazo |
| Implementação de projetos que incentivem e promovam o plantio de vegetação em calçadas e áreas com solo exposto, a fim de aumentar a interceptação e amortecimento da água; | De curto prazo |
| Fiscalização dos novos empreendimentos, comerciais e residenciais, pelos órgãos responsáveis, a fim de garantir a taxa mínima de permeabilidade exigida pelo código de obra do município; | Emergencial |
| implementação de infraestrutura de captação e direcionamento de águas de drenagem; | De médio prazo |
| Limpeza e manutenção periódica de vias urbanas, terrenos baldios e dispositivos de drenagem urbana. | De curto prazo |
| Incentivar a compostagem e a produção de adubo orgânico. | Emergencial |
| Fiscalização dos novos empreendimentos, comercial e residencial, pelos órgãos responsáveis, a fim de garantir a taxa mínima de permeabilidade exigida pelo código de obra do município; | Emergencial |
| Mapeamento das áreas de risco a inundações; | Emergencial |
| Utilização de áreas verdes e pavimentos que facilitem a infiltração da água; | De médio prazo |
| Fiscalização e realocação de pessoas que residam em áreas de proteção ambiental | Emergencial |
| Implementação de programas de educação ambiental em escolas e áreas de elevado risco ambiental. | Emergencial |
| Incentivar e promover o plantio de vegetação arbustiva e rasteira em áreas de solo exposto. | De curto prazo |
| Medidas mitigadoras relacionadas a vulnerabilidade social | |
| Criar políticas públicas que visem a inserção da população mais vulnerável no mercado de trabalho; | De curto prazo |
| Criar políticas públicas que auxiliem na inserção da população mais vulnerável nos diversos níveis de educação; | De curto prazo |
| Promover campanhas de conscientização ambiental; | Emergencial |
| Implementar as infraestruturas dos serviços de saneamento básico em toda a bacia em estudo. Realizar as operações e manutenções necessárias e ampliar de acordo com as tendências de crescimento da cidade. | De longo prazo |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Quadro 31 - Medidas mitigadoras relacionadas a gestão atual da qualidade de água de drenagem

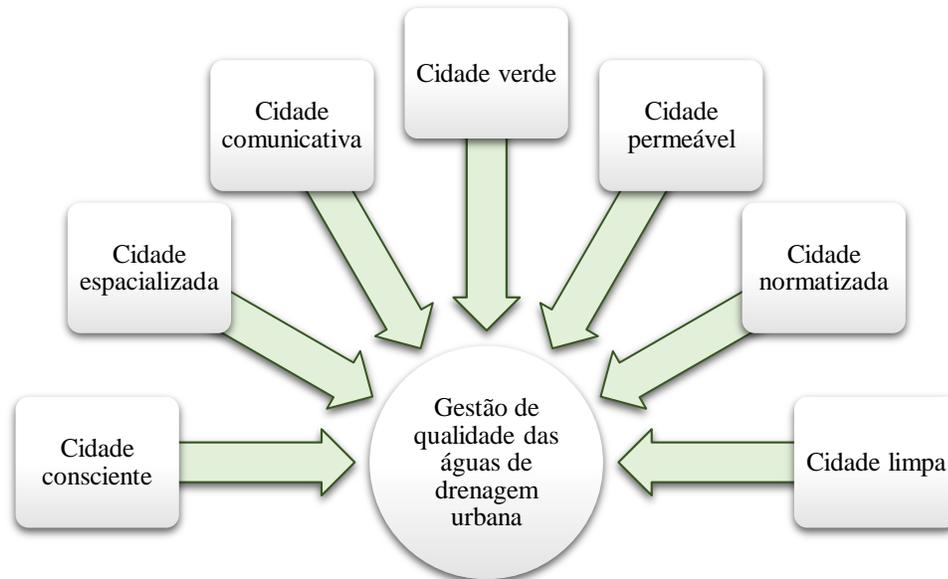
| Medidas mitigadoras | Essencial | Secundária |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|
| Promover aperfeiçoamento sobre gestão e qualidade ambiental para cargos de direção no município, com o objetivo de criar um pensamento crítico a respeito da problemática ambiental e o entendimento sobre as interrelações entre os sistemas urbanos e a qualidade da água de drenagem. | Emergencial | |
| Investir e criar metas para a redução de intervalos de manutenção do sistema de drenagem, limpeza de vias e coleta de resíduos sólidos urbanos; | De curto prazo | |
| Conscientizar os gestores a atuar de forma preventiva e não corretiva; | Emergencial | |
| Implementar ou aumentar a frequência do monitoramento de qualidade de água de drenagem; | De curto prazo | |
| Conscientizar os gestores e a população sobre a importância da gestão participativa e promover meios para a implementação; | Emergencial | |
| Implementar programas de educação ambiental em todos os níveis de educação e áreas de risco na bacia de drenagem; | De curto prazo | |
| Investir na estruturação dos sistemas de saneamento básico. | De longo prazo | |
| Concluir as obras de infraestrutura de coleta de esgoto ou investir na ampliação da mesma, com a finalidade de atingir a universalização do serviço no entorno dos canais de drenagem. | De longo prazo | |
| Incentivar a utilização de sistemas individuais de esgotamento sanitário durante a implementação do sistema público de esgotamento sanitário. | | Emergencial |
| Manter os programas de educação ambiental e promover ações de extensão entre a academia e a população residente no município. | Emergencial | |
| Implementar os instrumentos legais e realizar as devidas atualizações. | De curto prazo | |
| Elaborar, implementar e atualizar os instrumentos legais. | De curto prazo | |
| Implementar a gestão sistêmica dos serviços de saneamento, visando minimizar as interferências negativas entre os sistemas; | De curto prazo | |
| Implementar os programas de educação ambiental; | Emergencial | |
| Identificar as fontes de poluição e priorizar as medidas não estruturais para as resoluções das não conformidades. | De curto prazo | |

Fonte: Autoria Própria (2020).

As medidas elencadas para a bacia do Riacho do Prado foram baseadas nas características encontradas na bacia e na sua classificação. Para a determinação dos horizontes de aplicação foi consultado o Plano Municipal de Saneamento de Campina Grande.

As medidas mitigadoras são aplicadas a partir da execução dos programas de ação sugeridos (Figura 29). Estes, foram baseados na necessidade de conscientização ambiental, de gestão participativa da população e de cidades sensíveis à água.

Figura 29 - Programas de ação para gestão de qualidade de água de drenagem



Fonte: Autoria Própria (2020).

As atividades específicas de cada programa de ação serão executadas pelos agentes urbanos (civis, órgãos governamentais e pessoas jurídicas) e estão descritas no Quadro 32.

Quadro 32 - Programas de ação para gestão de qualidade de água de drenagem

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Cidade consciente</p> <p>O programa cidade consciente objetiva a geração de pensamento crítico sobre a problemática ambiental, qualidade de água de drenagem e sustentabilidade urbana. Além disso, o cidade consciente contribuirá para a construção de uma gestão sistêmica.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - Elaborar e implementar projetos de educação ambiental nas escolas existentes na cidade; - Elaborar e implementar projetos de educação ambiental nas áreas de elevado risco ambiental; - Elaborar e implementar cursos de aperfeiçoamento ambiental para funcionários públicos ou empregados de empresas concessionadas, que tenham relação direta com os serviços de saneamento básico; - Elaborar e implementar cursos de atualização periódica; - Divulgar informações a respeito da qualidade das águas de drenagem urbana e sobre a importância de manter os canais e ruas sempre limpos. |
| <p>Cidade espacializada</p> <p>O programa cidade espacializada tem como objetivo a criação de um banco de dados de dispositivos de drenagem urbana, visando facilitar a gestão sistêmica.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - Criar base de dados do sistema de drenagem atual; - Georreferenciar e especializar os dispositivos de microdrenagem; - Atualizar arquivos gis dos dispositivos de macrodrenagem; - Realizar levantamento e especializar áreas susceptíveis a alagamentos. |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Cidade comunicativa</p> <p>O programa cidade comunicativa tem como objetivo facilitar a gestão participativa e a gestão sistêmica dos serviços urbanos.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Criar e implementar sistema de comunicação entre a população e órgãos responsáveis pelos serviços de saneamento (e-mails, aplicativos de mensagem instantânea e linhas telefônicas gratuitas); – Criar um portal online para divulgação de informações a respeito do saneamento básico de campina grande, com diretório específico para a qualidade da água de drenagem. |
| <p>Cidade verde</p> <p>O programa cidade verde objetiva a promoção de cidades mais arborizadas, promovendo o amortecimento das águas pluviais e, conseqüentemente, a diminuição de inundações e arraste de sólidos para os canais de drenagem.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Incentivar e promover a plantio de árvores em calçadas, canteiros centrais, parques públicos, áreas privadas e condomínios residenciais; – Criar parques públicos em áreas a montante dos pontos com risco de inundações para o amortecimento das águas pluviais; – Criar incentivos fiscais para novos empreendimentos com áreas verdes. |
| <p>Cidade permeável</p> <p>O programa cidade permeável objetiva incentivar a utilização de pavimentos mais permeáveis, facilitando a infiltração da água no solo.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Incentivar as empresas privadas e população residente da bacia do riacho do prado, a utilização de pavimentos permeáveis em suas áreas privadas; – Promover a utilização de pavimentos permeáveis em áreas abertas de órgão públicos; – Criar mais áreas verdes e incentivar projetos de jardins; – Criar incentivos fiscais para novos empreendimentos com pavimentos permeáveis. |
| <p>Cidade normatizada</p> <p>O programa cidade normatizada busca incorporar a dimensão da qualidade das águas urbanas nos instrumentos que regem a cidade, além de incentivar a elaboração e atualização dos instrumentos legais inexistentes e existentes, respectivamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Realizar levantamento das leis, resoluções, normas e planos que permeiam o saneamento básico e qualidade das águas de drenagem urbana; – Elaborar, atualizar, incluir diretrizes relativas à qualidade das águas urbana e, implementar leis, resoluções, normas e planos de serviços urbanos; – Criar políticas públicas para promover a moradia digna a população das áreas de elevado risco ambiental. |
| <p>Cidade limpa</p> <p>O programa cidade limpa objetiva a universalização dos serviços urbanos e a melhoria na qualidade de vida da população.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Realizar campanhas de limpeza urbana; – Incentivar e promover a coleta seletiva; – Estruturar os sistemas de saneamento básico; – Implementar os serviços urbanos; – Incentivar e promover o reuso de água; – Incentivar e promover o uso da água de chuva. |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Os programas de ação elaborados permeiam em todos os setores sugeridos para o monitoramento, reforçando a integração e a relevância das interferências entre os sistemas.

Gusmão (2016) comenta que as cidades são ambientes altamente complexos e acumuladores de problemas devido a gestão individualizada dos serviços urbanos, uma vez que

não são consideradas as inter-relações envolvidas, distorcendo o que realmente ocorre na prática. A gestão sistêmica é de suma importância para os espaços urbanos, pois grande parte da população mundial reside nessas áreas e nelas são aplicadas políticas de desenvolvimento que, conseqüentemente, influenciam não só no local de aplicação, mas possivelmente na região e no país.

Sebben Oneda (2018) considera que no Brasil o sistema de drenagem urbana ainda não possui uma gestão eficiente, o que transparece na falta de planejamento neste setor. Tais considerações corroboram com o observado na bacia do Riacho do Prado. Ainda é observado pouco empenho dos órgãos gestores no âmbito da qualidade da água de drenagem. Neste sentido, os programas de ação sugeridos auxiliam na implementação de uma gestão sistêmica e consciente com a problemática ambiental vivenciada em Campina Grande - PB.

Contudo, são observados esforços para a remoção de resíduos sólidos dos canais em diversas cidades brasileira, mas a falta de universalização dos serviços e a baixa promoção de conscientização ambiental provocam o descaso observado com a qualidade das águas da macrodrenagem e dos corpos hídricos urbanos. Desta forma, uma “ *a gestão integrada, entendida como interdisciplinar e intersetorial dos componentes das águas urbanas, é uma condição necessária para que os resultados atendam as condições do desenvolvimento sustentável urbano*” (TUCCI, 2005, p. 138).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos objetivos propostos nessa pesquisa que buscavam estudar caminhos para a sustentabilidade de sistemas de drenagem urbana, foi desenvolvida uma metodologia de apoio a gestão de qualidade de águas pluviais da macrodrenagem, em arranjos populacionais médios, tendo como base o uso de indicadores de operação, manutenção, instrumentos legais, físico-químicos e microbiológicos. Observou-se que essa metodologia pode possibilitar uma visão mais ampla dos problemas associados às bacias de drenagem, norteando o gestor quanto a priorização das decisões a serem tomadas no tocante a sustentabilidade ambiental e a saúde da população.

Concluiu-se que todos os indicadores expressaram de forma direta a relação entre as atividades antrópicas e a qualidade das águas urbanas. Com base na literatura técnica foi possível delimitar intervalos de variações dos indicadores entre três classificações - eficiente, parcial e ineficiente - e criar um sistema de classificação de gestão de qualidade das águas da macrodrenagem urbana.

Pautando-se na literatura técnica e jurídica, foi sugerido um modelo de gestão baseado em princípios, objetivos, diretrizes competentes ao órgão gestor e à população e medidas mitigadoras que expressam a sustentabilidade urbana, a qualidade da água de drenagem e a dignidade da vida humana.

A metodologia criada foi aplicada na bacia do Riacho do Prado e mostrou-se eficiente. Concluiu-se que a bacia possui diversas faixas de vulnerabilidade social em toda a sua extensão, com predominância de vulnerabilidade social média, tendendo a alta, fragilidade ambiental emergente variando de baixa a média, ao norte, e ao sul, de alta a muito alta. Foi observado também que, praticamente em sua totalidade, a bacia do Riacho do Prado encontra-se em risco médio a muito alto.

Com relação à qualidade da água de drenagem da bacia do Riacho do Prado, foi observada contaminação das águas por efluentes domésticos e resíduos sólidos, uma vez que o efluente coletado se apresentou com altas médias de DBO, nutrientes e coliformes termotolerantes, sendo os pontos P₄ e P₂ os mais afetados, o que possivelmente tenha relação direta com o risco ambiental das áreas de contribuição. Estes resultados corroboram com as análises da gestão atual da bacia do Riacho do Prado, pois foi constatada a ineficiência dos serviços urbanos de limpeza e esgotamento sanitário em toda a área de estudo.

A gestão atual de qualidade de água de drenagem urbana da bacia do Riacho do Prado foi classificada como parcial, sendo necessárias diversas adequações, aplicações de medidas mitigadoras, programas de ação e monitoramento, para alcançar os intervalos propostos no cenário eficiente. Também é importante mencionar que apesar do cenário parcial apresentar características melhores do que o cenário ineficiente, é preciso realizar investimentos em diversos âmbitos para garantir uma melhoria na qualidade da água de drenagem e na vida para a população.

Nenhuma das classificações propostas por esta pesquisa permitem que o órgão gestor fique indiferente em relação à situação atual dos canais, rios urbanos, serviços ofertados, vulnerabilidade da população e à qualidade ambiental. A infraestrutura e a atuação do órgão gestor na conservação da qualidade das águas urbanas são fundamentais para a qualidade ambiental, entretanto, a melhoria socioeconômica da população também é um fator relevante para a eficiência da gestão, pois uma população com mais acesso à educação, saúde, moradia digna, lazer e cultura é menos propensa a realização de ações não sustentáveis.

Pelo exposto, recomenda-se uma mudança na atuação dos governantes no sentido priorizar modelos de gestão mais sustentáveis, que considerem as inter-relações entre as variantes sociais e ambientais, caso contrário, a melhoria ou manutenção da qualidade das águas de drenagem urbana tornar-se-á ainda mais difícil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. *Portal da qualidade das águas: estações de monitoramento*. 2017.

AGOSTINHO, Mariele de Souza Parra; POLETO, Cristiano. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. *HOLOS Environment*, v. 12, n. 2, 121-131, 2012.

AGRA FILHO, Severino Soares. Política ambiental e gestão ambiental. In: ASHBY, M. F. *Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

AGRA FILHO, Severino Soares. Política e gestão ambiental. In: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. *Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologias e gestão*. 2 ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

ALCÂNTARA, Evandro Sousa de; PINHEIRO, Maria do Socorro; PESSOA, Antônio Soares; LIMA, Suzana Marinho Souto. Impactos causados pela ação antrópica no Canal das Piabas, Campina Grande - PB. *Revista Acadêmico-científica*, vol. 06, n. 02, out. 2014.

ALI, Elham M.; KHAIRY, Hanan M. Environmental assessment of drainage water impacts on water quality and eutrophication level of lake Idku, Egypt. *Environmental Pollution*, 216, 437-449, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.064>

ANDRADE, Francisco Alcicley Vasconcelos. Sustentabilidade urbana e impactos socioambientais: uma abordagem acerca da ocupação humana desordenada no espaço urbano. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*. Junio, 2013.

ANGRILL, Sara; PETIT-BOX, Anna; MORALES-PINZÓN, Tito; JOSA, Alejantro; RIERADEVALL, Joan; CABARRELL, Xavier. Urban Rainwater runoff quantity and quality: a potential endogenous resource in cities? *Journal of Environmental Management*, 189, 14-21, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.027>

ANIM, Desmond O.; FLETCHER, Tim D.; PASTERNAK, Gregory B.; VIETZ, Geoff J.; DUNCAN, Hugh P.; BURNS, Matthew J. Can catchment-scale urban stormwater management measures benefit the stream hydraulic environment? *Journal of Environmental Management*. 223, 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.023>.

APHA-AWWA-WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22 th edition. Washington D. C.: American Public Health Association. 2012.

APOTSOS, Alex. Mapping relative social vulnerability in six mostly urban municipalities in South Africa. *Applied Geography*, 105, 86-101, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *ABNT NBR 13969: Tanques sépticos unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, 1997.

_____. *ABNT NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *ABNT NBR ISSO 14001: Sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientação para uso*. Rio de Janeiro, 2015.

VAN BELLEN, Hans Michael. Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. *Cadernos EMBAPE.BR*, v. 2, n. 1, mar. 2004.

BERROUET, Lina. VILLEGAS-PALACIO, Clara. BOTERO, Verónica. A social vulnerability index to changes in ecosystem services provision at local scale: a methodological approach. *Environmental Science and Policy*. 93, 158-171, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.011>.

BERTÉ, Rodrigo. *Gestão socioambiental no Brasil*. 2 ed. – Curitiba: IBPEX, 2012.

BRASIL. CÂMARA DOS DEPUTADOS. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Promulgada em 05 de outubro de 1988. Brasília/DF, 1988.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005.

BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. *Manual de saneamento*. 3 ed. rev. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. GABINETE DO MINISTRO. *Portaria de Consolidação n° 5, de 28 de setembro de 2017*. Consolida as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema único de Saúde. 2017.

_____. *Portaria de Consolidação n° 5, de 28 de setembro de 2017: Anexo XX: Do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade*. 2017a.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. *Resolução n° 54, de 28 de novembro de 2005*: estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água e dá outras providências. 2005a.

_____. *Resolução n° 121, de 16 de dezembro de 2010*: estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH n° 54, de 28 de novembro de 2005. 2010a.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL – SNSA. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo das águas pluviais urbanas* – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 220 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011*: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília/DF, 2011.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. CASA CIVIL. *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília/DF, 1981.

_____. *Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001. Brasília/DF, 1997.

_____. *Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999*. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília/DF, 1999.

_____. *Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007*: Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico. Brasília/DF, 2007.

_____. *Lei nº 12.305, de 2 agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília/DF, 2010.

_____. *Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010*. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Brasília/DF, 2010.

_____. *Medida Provisória nº 870, de 1ª de janeiro de 2019*. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios. Brasília/DF, 2019.

CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. *Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologias e gestão*. 2 ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

CAMELO, Sinara Martins. *Modelagem da poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Campina Grande - PB, 2019.

CAMINHA, Maria Jôsiane. *Degradação da qualidade da água do sistema de drenagem de sub-bacias urbanas de Campina Grande - Paraíba*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Campina Grande/PB, 2014.

CAVALHO, Grazielle Anjos. *Análise espacial urbano – sócio – ambiental como subsídio ao planejamento territorial do município sabará*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte/MG. 2010

CARVALHO, J. R. M.; CARVALHO, E. K. M. A.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; CÂNDIDO, G. A. Metodologia para avaliar a saúde ambiental: uma aplicação em municípios empregando a análise multicriterial. *Saúde Soc.* São Paulo, v. 23, n. 1, p. 204-215, 2014. DOI 10.1590/S0104-12902014000100016.

COBBINAH, Patrick Brandful. POKU-BOANSI, Michael. PEPRAH, Charles. Urban environmental in Ghana. *Environmental Development..* 23 (2017) 33-46.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2017.05.001>.

COELHO, Fábio Reis; SANTOS, Aldo Ramos; CORTEZ, Fernando Sanzi; PUSCEDDU, Fábio Hermes; TOMA, Walber; GUIMARÃES, Luciana Lopes. Caracterização microbiológica das águas dos canais de drenagem urbana de santos (São Paulo, Brasil), em períodos de alta e baixa pluviosidade. *UNISANTA BioScience*, v. 3, n. 1, 21-26, 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. *Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo 2011*. São Paulo: CETESB, 2012.

_____. *Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo 2017*. São Paulo: CETESB, 2018.

_____. *Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo 2017: Anexo D*. São Paulo: CETESB, 2018a.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS – COGERH. *Qualidade das águas dos açudes monitorados pela COGERH: campanha de maio/2018*. 2018.

CORRÊA, Roberto Lobato. *O espaço urbano*. São Paulo: Ática S.A, 1989.

CUNHA, Bruna dos Santos; SCHULZ, Luiz Gustavo; BITTENCOURT, Paulo Rodrigo Stival; RECH, Ângela Laufer. Avaliação da qualidade da água pluvial do município de Medianeira – Paraná, por meio de análises de parâmetros físico-químicos. *Revista Científica Inovação e Tecnologia*, v. 01, n. 03, 2011.

CUTTER, Susan L. BORUFF, Bryan J. SHIRLEY, W. Lynn. Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*. Vol 84, n. 2, june. 2003.

DALTOÉ, Maurício Francisco; CASTRO, Andréa Souza; CORRÊA, Luciara Bilhalva; LEANDRO, Diuliana; BARCELOS, Amauri Antunes. Resíduos sólidos na rede de microdrenagem: uma análise qualitativa na cidade de Pelotas/RS. *Revista Monografias Ambientais – REMOA*, vol. 15, n. 1, jan./abr. 175-188, 2016.

DEPARTMENT OF HEALTH OF WESTERN AUSTRALIA. *Guidelines for the Non-potable Uses of Recycled Water in Western Australia*. Perth, 2011.

DINTWA, Kakanyo Fani; LETAMO, Gobopamang; NAVANEETHAM, Kannan. Quantifying social vulnerability to natural hazards in Botswana: an application of cutter model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37, 101189, 2019.

DOWNING, John A. Limnology and oceanography: two estranged twins reuniting by global chance. *Inland Waters*. 4 (2014) 215-232. DOI: 10.5268/IW-4.2.753.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2 ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. *Guidelines for water reuse*. Washington: EPA; USAID, 2012.

FATEMI, Farin. ARDALAN, Ali. AGUIRRE, Benigno. MANSOURI, Nabiollah. MOHAMMADFAM, Iraj. Social vulnerability indicators in disasters: findings from a systematic review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 22, 219-227, 2017.

FERNANDES, Alexandre Martins; NOLASCO, Murilo Basso; MORTATTI, Jefferson. Estimativa do escoamento superficial rápido e sua carga em suspensão com a aplicação do modelo de separação de hidrogramas com filtros numéricos: bacia do Rio Sorocaba - SP. *Geociências*, São Paulo, vol. 29, n. 1, 49-57, 2010.

FERREIRA, Filipa. MATOS, José S. Qualidade de águas pluviais na zona baixa de Alcântara, em Lisboa. *Revista Recursos Hídricos*, vol. 33, n. 2, 59-72. 2012.

FREIRE, Josefa Rafaela Pessoa; FEITOSA, Patrícia Hermínio Cunha; COURA, Mônica de Amorim; CAMINHA, Maria Jôsiane. Análise do sistema separador absoluto no âmbito da drenagem pluvial da cidade de Campina Grande: estudo de caso do Canal das Piabas. *Revista Monografias Ambientais - REMOA*, v. 13, n. 5, dez. 4034-4043, 2014.
DOI:10.5902/22361308115178

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - FEEMA. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. *Vocabulário Básico de Meio Ambiente*. Rio de Janeiro/RJ, 1997.

GEHL, Jan. *Cidades para pessoas*. Tradução Anita Di Marco. 2 ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

GOUVEIA, Renata Laranjeiras; SELVA, Vanice Santiago Fragoso. Riachos urbanos do Recife: educação ambiental como ferramenta para a revitalização. *Revista Educação Ambiental em ação*, vol. 65, n. 65, set./nov. 2018.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Solos do Estado de São Paulo: Neossolos*. 2014. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/solossp/>>. Último Acesso: 30 jul. 2020.

GUSMÃO, Mariana Buarque Ribeiro de. *Diretrizes para uma abordagem sistêmica de gestão das águas pluviais urbanas*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pernambuco. Recife/PE, 2016.

HAGEMANN, Sabrina Elicker; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria – RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH*, Porto Alegre, v. 21, n. 3, jul./set. 525-536, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615010>

HENRIQUES, Juscelino Alves. *Distribuição da contaminação fecal em águas de drenagem afluentes do canal do Prado, Campina Grande - PB*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Censo demográfico de 2010*. 2010.

_____. *Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil*. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

_____. *IBGE Cidades: Campina Grande - História & Fotos*. 2010a. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/historico>>. Último acesso em: 30 jan. 2019.

_____. *IBGE Cidades: Campina Grande - projeção da população para 2019. 2020*. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>>. Último acesso em: 31 mai. 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Análise dos impactos na saúde e no Sistema Único de Saúde decorrentes de agravos relacionados a um esgotamento sanitário inadequado dos 100 maiores municípios brasileiros no período de 2008-2011: Relatório Final*. 2013. Disponível em: < <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/drsai/Relatorio-Final-Trata-Brasil-Denise-Versao-FINAL.pdf>>. Último acesso: 18 abr. 2019.

_____. *Ranking do Saneamento 2020 (SNIS 2018)*. São Paulo, 2020.

JATOBÁ, Sérgio Ulisses Silva. Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. *Boletim regional, urbano e ambiental*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (5), jun. 2011.

KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*. 159 (2011)1965-1973. doi:10.1016/j.envpol.2010.10.022

KIRSHEN, Paul; AYTUR, Semra; HECHT, Jory; WALKER, Andrew; BURDICK, David; JONES, Stephen; FENNESSEY, Neil; BOURDEAU, Renee; MATHER, Lorilee. Integrated urban water management applied to adaptation to climate change. *Urban Climate*. 24 (2018) 247-263. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.03.005>.

LEE, Ju, Young; BAK, Gippeum; HAN, Mooyoung. Quality of roof-harvested Rainwater: comparison of diferente roofing materials. *Environmental Pollution*. 162, 422-429, 2012. doi:10.1016/j.envpol. 2011.12.005

LEE, Ju, Young; YANG, Jung-SeoK; HAN, Mooyoung; CHOI, Jaeyoung. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested Rainwater and reservoir water as alternative water resources. *Science of the Total Environment*. 408, 896-905, 2010. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.11.001

LEE, Yung-Jaan. Social vulnerability indicators as a sustainable planning tool. *Environmental Impact Assessment Review*. 44, 31-42, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2013.08.002>.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua. PRADO, Eliana Leão do. OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Revista de Administração Pública – RAP*. Rio de Janeiro, 45 (2): 331-48, mar./abril., 2011.

LIMA, Berthyer Peixoto; MAMEDE, George Leite; NETO, Iran Eduardo Lima. Monitoramento e modelagem da qualidade de água em uma bacia hidrográfica semiárida. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 1, 125-135, jan./fev. 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018167115

LOPES, Wilza da Silva; RODRIGUES, Andrea Carla Lima; FEITOSA, Patrícia Hermínio Cunha; COURA, Mônica de Amorim; OLIVEIRA, Rui de; BARBOSA, Dayse Luna. Determinação de um índice de desempenho do serviço de esgotamento sanitário. Estudo de caso: cidade de Campina Grande, Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, v. 21, n. 1: 01-10, jan./mar, 2016. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p1-10>

MARANDOLA JR., Eduardo. HOGAN, Daniel Joseph. Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. *Revista Brasileira de Estudos de População*. São Paulo, v. 22, n. 1, 29-53, jan./jun. 2005.

MANNINA, Giorgio; BUTLER, David; BENEDETTI, Lorenzo; DELETIC, Ana. FOWDAR, Harsha; FU, Guangtao; KLEIDORFER, Manfred; MCCARTHY, David; MIKKELSEN, Peter Steen; RAUCH, Wolfgang; SWEETAPPLE, Chris; VEZZARO, Luca; YUAN, Zhiguo; WILLEMS, Patrick. Greenhouse gas emissions from integrated urban drainage systems: where do we stand? *Journal of Hydrology*. 559, 307-314, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.058>

MARANHÃO, Ney. *Sistema de indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro, 2007.

MARICATO, Ermínia. Urbanismo na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras. *São Paulo em Perspectiva*, 14 (4), 2000.

_____. Metrôpoles desgovernadas. *Estudos Avançados*, 25 (71), 2011.

MASCARELLI, Fernanda; KLEIMAN, Mauro. Os desafios do planejamento e gestão urbana integrada no Brasil: análise da experiência do Ministério das Cidades. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 9, (2), mai./ago., 157-171, 2017.

MCLELLAN, Sandra L. ROGUET, Andélaide. The unexpected habitat in sewer pipes for the propagation of microbial communities and their imprint on urban waters. *Current Opinion in Biotechnology*. 57, 34-41, 2019.

MENEZES, João Paulo Cunha. BITTENCOURT, Ricardo Parreira; FARIAS, Matheus de Sá; BELLO, Italoema Pinheiro; FIA, Ronaldo; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 3, jul./set. 519-534, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016145405

METCALF & EDDY. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. Tradução: HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MILLER, James D.; HUTCHINS, Michael. The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: a review of the evidence concerning the United Kingdom. *Journal of Hydrology. Regional Studies* 12, 345-362, 2017.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.06.006>

NASCIMENTO. Elimar Pinheiro do. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. *Estudos Avançados*, 26 (74), 2012.

NASCIMENTO, Valéria Ribas do; MENDONÇA, Fernanda Graebin. Injustiças ambientais do mundo (pós) modern: a regulamentação jurídica internacional sobre o descarte de resíduos eletrônicos do norte para o sul. *Revista Acadêmica da Faculdade de Direito do Recife*, v. 87, n. 2, jul./dez. 75-96, 2015.

NEW ZEALAND. MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT. *Resource Management*. Ato Público 1991 n° 69, Data de aprovação, 22 de julho de 1991.

PORTO, Rubens; ZAHED F., Kamel; TUCCI, Carlos E. M.; BIDONE, Francisco. Drenagem Urbana. TUCCI, Carlos E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4 ed. - Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA - PMC. *Limpezas diárias de galerias e caixas de captação evitam alagamentos*. Curitiba – PR, 2017. Disponível em: <
<https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/limpezas-diarias-de-galerias-e-caixas-de-captacao-evitam-alagamentos/43728>>. Último acesso: 30 jul. 2020.

_____. *35 anos do 156: atendimento on-line pela Central 156 cresce 211% em um ano.* Curitiba – PR, 2019. Disponível em: < <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/atendimento-on-line-pela-central-156-cresce-211-em-um-ano/49105>>. Último acesso: 30 jul. 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINA GRANDE - PMCG. *Lei n° 1.949, de 12 de setembro de 1989:* dispõe sobre a obrigatoriedade da inclusão da disciplina educação ambiental nos currículos do 1º grau nas escolas da rede municipal de ensino. 1989.

_____. *Lei n° 2.972, de 30 de setembro de 1994:* cria o programa de educação ambiental nas escolas públicas municipais de Campina Grande e dá outras providências. 1994.

_____. *Lei n° 2.879, de 26 de abril de 1994:* dispõe sobre o mutirão da limpeza pública instituído pela setrabes e dá outras providências. 1994.

_____. *Lei n° 3.752, de 26 de outubro de 1999:* institui o sistema seletivo de coleta de lixo, disciplinando ainda o permanente uso de coletores de lixo nas paradas de ônibus, no centro da cidade e dá outras providências. 1999.

_____. *Lei complementar n° 003, de 09 de outubro de 2006:* promove a revisão do Plano Diretor do município de Campina Grande. 2006.

_____. *Lei n° 5.708, de 11 de agosto de 2014:* dispõe sobre o reaproveitamento de água pluvial nas escolas públicas municipais, e dá outras providências. 2014.

_____. *Lei n° 5.575, de 14 de abril de 2014:* estabelece o plano de captação, uso das águas pluviais e o reuso da água, nas edificações de iniciativa privada e instalações pública no município de Campina Grande, e dá outras providências.

_____. *Lei n° 5.724, de 22 de setembro de 2014:* dispõe sobre a inclusão de conteúdos educacionais e informações sobre a reutilização, preservação, uso racional de água, na rede de ensino municipal e dá outras providências. 2014.

_____. *Lei n° 5.839, de 12 de janeiro de 2015:* torna obrigatória a instalação de cestos coletores de resíduos sólidos nos transportes públicos coletivos. 2015.

_____. *Lei n° 7.253, de 08 de julho de 2019:* institui a semana municipal do lixo zero, no âmbito do município de Campina Grande, e dá outras providências. 2019.

_____. *Lei n° 7.199, de 04 de junho de 2019:* dispõe sobre a política municipal de saneamento básico, aprova o plano municipal de saneamento básico, cria a comissão municipal de saneamento e o fundo municipal de saneamento, e dá outras providências. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINA GRANDE - PMCG. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO. *Plano municipal de saneamento básico de Campina Grande: diagnóstico da situação dos serviços de saneamento básico.* 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - PMPA. DEPARTAMENTO DE ESGOTO PLUVIAL. *Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana*. Porto Alegre/RS, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO - PMSP. *Plano municipal de saneamento básico de São Paulo*. 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA - PMT. *Plano municipal de saneamento básico de Teresina - PI: produto final*. 2018.

REIS, Luisa Fernandes Ribeiro; BRANDÃO, João Luiz Boccia. Impactos ambientais sobre rios e reservatórios. In: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. *Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologias e gestão*. 2 ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

RESTREPO, J. D. C.; MORALES-PINZÓN, T. Urban metabolism and sustainability: precedents, genesis and research perspectives. *Resources, Conservation & Recycling*. 131 (2018) 216-224. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.023>

RICHARDSON, Roberto Jarry. *Pesquisa social: métodos e técnicas*. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2015.

RIGHETTO, Antonio Marozzi; GOMES, Kaline Muriel; FREITAS, Francisco Rafael Sousa. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 6, nov./dez. 1109-1120, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017162357

ROLNIK, Raquel. *Nosso déficit não é de casas, é de cidade*. 2012. Disponível em <<https://raquelrolnik.wordpress.com/2012/11/06/nosso-deficit-nao-e-de-casas-e-de-cidade/>>. Último acesso: 14 set. 2020.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. ANÁLISE E SÍNTESE NA ABORDAGEM GEOGRÁFICA DA PESQUISA PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL. *Revista do departamento de geografia*, 9 (2011) 65-75. <https://doi.org/10.7154/RDG.1995.0009.0006>

SALLES, Maria José. *Política nacional de saneamento: percorrendo caminhos em busca da universalização*. Tese (Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Rio de Janeiro, 2008.

SÁNCHEZ, A. S.; COHIM, E.; KALID, R. A. A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested Rainwater in urban areas. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, 119-137, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.04.002>

SANTOS, Daniel Costa dos. *Saneamento para a gestão integrada das águas pluviais*. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SANTOS, Jader de Oliveira. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, mai./ago. 2015.

SANTOS, Jader de Oliveira; SOUZA, Marcos José Nogueira de. Abordagem geoambiental aplicada à análise da vulnerabilidade e dos riscos em ambientes urbanos. *Boletim Goiano de Geografia*. Goiânia, v 34, n2, p. 215-232, maio/ago. 2014.

SANTOS JÚNIOR, Valdevino José dos; SANTOS, Carolina Oliveira. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. *Estação Científica (UNIFAP)*, v. 3, n. 1, 19-30, jan./jun. 2013

SCHELLIN, Lucy Marta. LEINIG, Adriana Karin Goelzer. Contribuições à legislação para sistemas de controle de vazão em coberturas. *Brazilian Journal of Development*, v. 4, n. 1, 31-53, jan./mar. 2018.

SCHIAVO, Bruna Nascimento de Vasconcellos; HENTZ, Ângela Klein; CORTE, Ana Paula Dalla; SANQUETTA, Carlos Roberto. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria - RS. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET/UFMS*, v. 20, n. 1, jan-abr. 2016, p. 464-474.

SCHNEIDER, Roselene Maria; FREIRE, Rosane; COSSICH, Eneida Sala; SOARES, Paulo Fernando; FREITAS, Fabrício Hernandez; TAVARES, Celia Regina Granhen. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da bacia do rio Pirapó. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 33, n. 3, 295-303, 2011. DOI: 10.4025/actascitechnol.v33i3.8385

SEBBEN ONEDA, Tânia Mara. *Planos diretores de drenagem urbana: uma análise comparativa entre planos de países desenvolvidos e em desenvolvimento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Joinville - SC, 2018.

SILVA, Maytê Maria Abreu Pires de Melo; FARIA, Sérgio Donizete; MOURA, Priscilla Macedo. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 1, 133-143, jan./fev. 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017134420

SILVA, Sidnei Pereira da. *Ferramenta de apoio ao manejo de águas pluviais urbanas com base em indicadores de sustentabilidade*. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, São Carlos/SP, 2016.

SOARES, Samara Silva. *Modelagem da qualidade da água em um trecho do Rio dos Bois, Goiás*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2018.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais – GESTA*. Vol. 1, n. 1, 057-072, 2013.

SOTTO, Debora; RIBEIRO, Djonathan Gomes. ABIKO, Alex Kenya; SAMPAIO, Carlos Alberto Cioce; NAVAS, Carlos Arturo; MARINS, Karin Regina de Castro. SOBRAL, Maria do

Carmo Martins; PHILIPPI JR., Arlindo; BUCKERIDGE, Marcos Silveira. Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. *Estudos Avançados*, 33 (97), 61-80, 2019. DOI: 10.1590/s0103-4014.2019.3397.004

SPÖRL, Christiane. ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP Espaço e Tempo*, São Paulo, nº 15, 39-49, 2004.

TEODORO, Pacelli Henrique Martins. *Sustentabilidade e cidade: a complexidade na teoria e prática*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.

TEURLINCX, Sven; KUIPER, Jan J. HOEVENAAR, Ellen CM; LURLING, Miquel; BREDERVELD, Robert J; VERAART, Annelies J; JANSSEN, Annette BG; MOOIJ, Wolf M; DOMIS, Lisette N de Senerpont. Towards restoring urban waters: understanding the main pressures. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 36, 49-58, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.011>.

TONON, Kesse. *Modelagem da qualidade da água utilizando os modelos Streeter-Phelps e QUAL-UFMG na bacia do Rio Lambari - Poços de Caldas (MG)*. Dissertação (Mestrado em Ciência de Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas - MG, 2014.

TORQUATO, Amanda Laurentino. *Estimativa do assoreamento e avaliação da qualidade das águas do açude velho na cidade de Campina Grande/PB*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande - PB, 2017.

TSUYUGUCHI, B. B. *Macro drenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: caracterização, simulação e análises sistêmicas*. 102p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, 2015.

TUCCI, Carlos E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*. Vol. 7 n.1 jan/mar, 5-27, 2002.

_____. *Gestão de águas pluviais urbanas*. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank - Unesco 2005.

_____. Águas Urbanas. *Estudos Avançados*. 22 (63), 2008.

_____. *Gestão da drenagem urbana*. Brasília/DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012.

UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, (ST/ESA/SER.A/366). New York, NY: 2015. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/cd-rom/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

_____. *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP/248. 2017.

<<http://www.un.org/en/development/desa/population/theme/trends/index.shtml>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

VALLE, Ivana Cola. FRANCELINO, Márcio Rocha. PINHEIRO, Helena Saraiva Koenow. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. *Floreta e Ambiente*. 23 (2) 295-308. 2016.

VEIGA, José Eli da. Indicadores de sustentabilidade. *Estudos Avançados*, 24 (68), 2010.

VIDAL, Iana Chaiene de Araujo. *Avaliação da poluição difusa no sistema de macrodrenagem de Campina Grande - PB*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande - PB, 2019.

VIDAL, Iana Chaiene de Araujo; OLIVEIRA, Rui de; COURA, Mônica de Amorim; RODRIGUES, Andréa Carla Lima; COSTA FILHO, Francisco das Chagas da; CAMELO, Sinara Martins. Degradation of the macro-drainage water quality of na urban basin in Northeastern Brazil. *Environment, Development and Sustainability*. Published online. 01 jun. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00830-x>

VIEIRA FILHO, Diógenes de Souza; SILVA, Fabíola Barreto da; VERAS, Rafael Lincoln Océa de Menezes; NÓBREGA, Fábio Augusto Rodrigues da. Infraestrutura urbana: infraestrutura e o crescimento populacional no Brasil. *Revista Eletrônica da FANESE*. Vol. 4, n.1, set. 2015.

VON SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Reuse of effluents: Methods of wastewater treatment and health safeguards*. 517. In: REPORT OF A WHO MEETING OF EXPERTS.

Geneva: World Health Organization, 1973. Disponível em:

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41032/WHO_TRS_517.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em: 17 mar. 2020.



APÊNDICE A

PERCEPÇÃO DA POPULAÇÃO ACERCA DA GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE DRENAGEM URBANA

Formulário 1 - Problemas analisados

| Qnt. | Perguntas | Sim | Não |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 1 | Já observou lixo espalhado pelas calçadas ou na rua que você mora? | | |
| 2 | Já observou lixo em terrenos baldios próximos a sua residência? | | |
| 3 | Já observou lixo dentro dos canais de drenagem próximos a sua residência? | | |
| 4 | Já observou esgoto a céu aberto em sua rua? | | |
| 5 | Já observou ligações de esgoto em canais de drenagem próximos a sua residência? | | |
| 6 | Já sentiu maus odores oriundos do canal de drenagem mais próximo a sua residência? | | |
| 7 | Já observou águas de colorações escuras nos canais de drenagem? | | |
| 8 | Já observou a presença de roedores em sua rua ou residência? | | |
| 9 | Já observou a presença de insetos ou mosquitos em sua rua ou residência? | | |
| 10 | Já observou a presença específica do mosquito <i>Aedes aegypti</i> em sua rua ou residência? | | |
| 11 | Já observou fezes de animais em sua rua? | | |
| 12 | Em períodos chuvosos, já houve ou há alagamentos em sua rua? | | |
| 13 | Em período chuvoso, já ocorreu ou ocorre retorno de esgoto do sistema para dentro de sua residência? | | |

Formulário 2 - Perguntas sobre a gestão da qualidade da água e serviços de saneamento

| Qnt. | Perguntas | Sim | Não |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 1 | Já observou serviços de limpeza dentro dos canais de drenagem? | | |
| | Se sim, qual a frequência de limpeza? | | |
| 2 | Já observou serviços de manutenção nos canais de drenagem próximos a sua residência, tais como revitalização de revestimento das paredes e fundos, retirada de sedimentos do leito e das canalizações do sistema, ou outros? | | |
| 3 | Já observou remoção de vegetação das margens do canal e das entradas das bocas de lobo? | | |
| 4 | Qual a frequência do serviço de coleta de resíduos sólidos em sua rua? | | |
| 5 | Já observou serviços de varrição e limpeza de sarjetas em sua rua? | | |
| | Se sim, qual a frequência de varrição e limpeza? | | |
| 6 | Já houve ou há regularmente algum evento de educação ambiental em sua rua ou bairro? | | |
| 7 | Você já foi informado sobre a importância de manter os canais de drenagem sempre limpos? | | |
| 8 | Você já foi informado sobre a importância de manter a qualidade das águas presentes nos canais de drenagem? | | |



APÊNDICE B

CONSULTA À ESPECIALISTAS

ATRIBUIÇÕES DE PESOS E NOTAS PARA CONSTRUÇÕES DE CENÁRIOS DE GESTÃO DE QUALIDADE DE ÁGUA DE DRENAGEM URBANA

I. DADOS DO RESPONDENTE:

Nome:

Formação Acadêmica:

Profissão:

RG:

A respectiva consulta com especialistas apresenta-se como parte integrante dos instrumentos de coleta de dados para o desenvolvimento de uma tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCEG.

Tem como objetivo principal realizar um levantamento de opiniões de especialistas, afim de desenvolver cenários de gestão de qualidade de água de drenagem a partir de indicadores de operação e manutenção, instrumentos legais, físico-químicos e microbiológico.

O Quadro 1 apresenta as variáveis propostas para a caracterização da gestão atual. Para tanto, se faz necessário atribuir notas que variem de 1 a 10 para a ponderação dos itens dos grupos.

QUANTO MAIS PRÓXIMA DE 10, MAIS relevante será o indicador para **a gestão da qualidade da água de drenagem** e **QUANTO MAIS PRÓXIMA DE 1 MENOS** relevante será o indicador.

Antes de indicar as notas, leia os questionamentos e analise qual seria a ordem de significância dos indicadores para cada caso.



Quadro 1 - Indicadores de Ambientais

| INDICADORES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (Qual indicador irá influenciar mais na eficiência do sistema de drenagem? Atribua as notas por ordem de significância) | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Manutenção do sistema | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Limpeza das vias no entorno dos canais | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Frequência na coleta de resíduos sólidos | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Presença de ligações clandestinas de esgoto nos canais de drenagem separadores absolutos | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Presença de esgoto a céu aberto no entorno do canal | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Monitoramento de qualidade de água de drenagem | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Programas de educação ambiental | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| INDICADORES DE INSTRUMENTOS LEGAIS (Qual indicador irá influenciar mais na gestão da qualidade da água de drenagem? Atribua as notas por ordem de significância) | |
| Planos municipais de Esgotamento, Drenagem Urbana, Abastecimento e Resíduos Sólidos | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Plano diretor de drenagem urbana com diretrizes relativas à qualidade da água | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Plano de saneamento com diretrizes relativas à qualidade da água | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Instrumentos de uso e ocupação do solo/parcelamento do solo/código de obras com diretrizes relativas à manutenção da qualidade da água dos corpos hídricos urbanos | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Plano de Educação Ambiental | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICO (Qual indicador irá influenciar mais na qualidade da água? Atribua as notas por ordem de significância) | |
| Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| pH | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| DBO _{5,20} (mg/L) | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Fósforo total (mg/L) | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Turbidez (UNT) | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L) | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| Coliformes Termotolerantes | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |



Com base nas análises dos indicadores realizadas anteriormente, atribua pesos para os grupos de indicadores. **O somatório dos pesos deverá totalizar 100, tendo como peso mínimo 10.** Nesta etapa, é importante analisar qual grupo de indicadores influenciará mais na gestão da qualidade das águas de drenagem urbana.

Quadro 2 - Grupos de indicadores

| GRUPOS DE INDICADORES (Qual dos grupos influencia mais na gestão da qualidade da água de drenagem?) | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Operação e Manutenção | |
| Instrumentos Legais | |
| Físico-químicos e Microbiológico | |
| TOTAL | 100 |

Na sua opinião de especialista, em uma escala de 0 a 1, sendo 0 a pior situação e 1 a melhor situação, quais os intervalos que os cenários de gestão ineficiente, parcial e eficiente deverão possuir?

Quadro 3 - Grupos e subgrupos de variáveis

| VARIAÇÃO DOS CENÁRIOS DE GESTÃO (Qual deve ser a variação entre os cenários ineficiente, parcial e eficiente?) | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Gestão Ineficiente | Gestão Parcial | Gestão Eficiente |
| $0,0 < GI \leq \underline{\quad}$ | $0, \underline{\quad} < GP \leq -0, \underline{\quad}$ | $(0, \underline{\quad} < GE \leq 1,0)$ |
| | | |

Agradeço a sua participação.

Francisco das Chagas da Costa Filho
Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental – UFPA