UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL:

Análise da manutenção na microrregião de Catolé do Rocha-PB e avaliação dos impactos ambientais

RHADJA VITÓRIA ARAÚJO DA NÓBREGA

POMBAL-PB
2024

RHADJA VITÓRIA ARAÚJO DA NÓBREGA

REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL:
Análise da manutenção na microrregião de Catolé do Rocha-PB e avaliação dos impactos ambientais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador(a): Profa. Dra. Naiara Angelo Gomes

POMBAL-PB

2024

N754r Nóbrega, Rhadja Vitória Araújo da.

Redes de distribuição de água potável : análise da manutenção na microrregião de Catolé do Rocha-PB e avaliação dos impactos ambientais / Rhadja Vitória Araújo da Nóbrega. – Pombal, 2024.

56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2024.

"Orientação: Profa. Dra. Naiara Angelo Gomes".

Referências.

1. Abastecimento de água. 2. Manutenção de redes. 3. Impactos ambientais. I. Gomes, Naiara Angelo. II. Titulo.

CDU 628.14(043)

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Auxiliadora Costa (CRB 15/716)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

RHADJA VITÓRIA ARAÚJO DA NÓBREGA

REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL:
Análise da manutenção na microrregião de Catolé do Rocha-PB e avaliação dos impactos ambientais

Trabalho de Conclusão de Curso da discente RHADJA VITÓRIA ARAÚJO DA NÓBREGA aprovado em 01 de novembro de 2024 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados, como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande.

Registre-se e publique-se.

Documento assinado digitalmente
gov.br NAIARA ANGELO GOMES
Data: 10/11/2024 19:58:48-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Naiara Angelo Gomes
(Orientadora – UFCG)

Documento assinado digitalmente
gov.br THAMARA MARTINS ISMAEL DE SOUSA
Data: 11/11/2024 12:40:38-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Thâmara Martins Ismael de Sousa
(Membro Interno – UFCG)

Documento assinado digitalmente
gov.br ELISANGELA MARIA DA SILVA
Data: 11/11/2024 18:19:29-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Elisângela Maria da Silva
(Membro Externo – UFSB)

Dedico este trabalho à minha amada tia, Tânia Maria (in memoriam), que, apesar de ter partido na metade do processo, foi o meu maior incentivo para chegar até o fim.

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos à minha orientadora, Naiara Angelo, por ter aceitado este desafio em um momento em que parecia impossível. Sua paciência, empatia e conhecimento foram fundamentais para que eu pudesse concluir esse projeto de forma tão satisfatória, fazendo-me reencontrar na engenharia.

Agradeço ao engenheiro civil Paulo Sérgio e à PSS Engenharia, por todo o incentivo e acolhimento, e por possibilitarem o desenvolvimento desta pesquisa com todo o recurso que puderam me oferecer. Ainda, deixo um agradecimento especial à Dos Anjos, que me forneceu o suporte que precisei para conciliar estudo e trabalho.

Agradeço imensamente ao meu companheiro, Lenilson Nóbrega, que foi meu maior exemplo de amor e companheirismo nesta vida, sempre me incentivando a prosseguir com meus objetivos, independentemente dos desafios que surgiam. Seu dom de tornar as coisas menos difíceis do que realmente são me dá forças para seguir em frente.

Sou grata aos meus amigos e irmãos, Isabele Santana e Gerferson Almeida, que se mostraram presentes nos bons e maus momentos, em diversas etapas e fases da minha vida, e nunca me deixaram desacreditar na minha capacidade. Obrigada por sempre me mostrarem o lado cômico dos problemas, me ajudando a enfrentá-los.

Ao irmão que conquistei na graduação, Ryan Teixeira, que segura minha mão desde o primeiro dia de aulas, permitindo-me a imensa satisfação de concluir esta etapa junto a ti. Sua presença nessa fase final foi essencial. Agradeço por todo o incentivo e paciência, e por me fazer enxergar o lado leve da vida.

Á minha grande amiga, Micaele Pereira, que me acompanhou em tantas fases e agora me ajuda a concluir mais uma. Te agradeço por estar tão presente nos últimos tempos, me mantendo focada sempre que a ansiedade tomou conta de tudo.

Á minha amiga, que também foi um presente da graduação, Ana Carolinne Almeida, por me proporcionar tanto alívio em momentos tensos, fazendo com que as noites árduas de estudos parecessem encontros casuais. Obrigada por me fazer enxergar minha própria força, e por sempre me incentivar a ser uma pessoa melhor.

Aos bons professores, em especial ao meu professor e amigo José Roberto, por sua grande influência na minha formação pessoal e profissional. E, por fim, agradeço àqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização do que antes parecia ser apenas um sonho distante.

RESUMO

Considerando a importância de manter um acesso contínuo à água como um direito básico à vida, o presente estudo teve como objetivo analisar os serviços de manutenção em redes de distribuição de água na microrregião de Catolé do Rocha, na Paraíba, bem como fazer um levantamento dos impactos ambientais ocasionados pelas irregularidades estudadas, no período compreendido de julho/2023 a junho/2024. Foram definidos quatro critérios de análise para guiar a pesquisa. O primeiro critério avaliou as cidades da microrregião que apresentaram o maior número de vazamentos ao longo do período analisado, assim como as que menos apresentaram. O segundo critério investigou se as manutenções ocorreram mais frequentemente em tubulações profundas ou superficiais, sendo estas quantificadas simultaneamente e separadas por município. O terceiro critério buscou compreender se as manutenções, tanto em redes quanto em ramais, possuíram alguma relação com a pavimentação das vias. O quarto e último critério buscou compreender a distribuição das manutenções ao longo dos meses, relacionando a ocorrência de vazamentos com a variação pluviométrica típica da região semiárida. Para quantificar as perdas de água físicas, levou-se em consideração o índice de perdas de água na distribuição, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Além disso, foi realizada uma análise simplificada dos impactos ambientais que ocorreram durante os serviços de manutenção das redes. Os resultados preliminares apontaram uma maior quantidade de vazamentos nos municípios mais populosos da microrregião de estudo, como foi o caso de Catolé do Rocha-PB e São Bento-PB. Ainda, a incidência de vazamentos foi associada principalmente às instalações de tubulações superficiais, às instalações em vias sem pavimento e ao período considerado chuvoso na região. Foi observado, também, que os dados de perdas de água na distribuição não possuem uma relação direta com os dados coletados no aplicativo CT-Manutenção. E, com base na avaliação de impactos ambientais simplificada, foi apontando que as medidas do tipo preventivas possuem uma influência significativa na mitigação dos principais impactos identificados. Portanto, estudos futuros podem estudar a viabilidade de rebaixar as tubulações que estão a uma profundidade acima de 1.30 metros, conforme as especificações da CAGEPA, assim como providenciar proteções mecânicas para as redes expostas em vias sem pavimento, minimizando o risco de danos externos.

Palavras-chave: Manutenção de redes. Abastecimento de Água. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

Considering the importance of maintaining continuous access to water as a basic right to life, this study aimed to analyze maintenance services in water distribution networks in the *Catolé do Rocha* microregion, in *Paraíba*, as well as to survey the environmental impacts caused by the irregularities studied, in the period from July/2023 to June/2024. Four analysis criteria were defined to guide the research. The first criterion evaluated the cities in the microregion that presented the highest number of leaks throughout the analyzed period, as well as those that presented the least. The second criterion investigated whether maintenance occurred more frequently in deep or surface pipelines, quantified simultaneously and separated by the municipality. The third criterion sought to understand whether maintenance, both in networks and branches, had any relationship with the paving of roads. The fourth and final criterion sought to understand the distribution of maintenance throughout the months, relating the occurrence of leaks to the rainfall variation typical of the semiarid region. To quantify physical water losses, the water loss index in distribution, from the National Sanitation Information System (SNIS), was considered. In addition, a simplified analysis of the environmental impacts during network maintenance services was carried out. Preliminary results indicated a greater number of leaks in the most populous municipalities of the microregion under study, as was the case of *Catolé do Rocha-PB* and *São Bento-PB*. Furthermore, the incidence of leaks was mainly associated with surface piping installations, installations on unpaved roads, and the rainy season in the region. It was also observed that the data on water losses in distribution do not have a direct relationship with the data collected in the *CT-Manutenção* application. And, based on the simplified environmental impact assessment, it was indicated that preventive measures have a significant influence on mitigating the main impacts identified. Therefore, future studies may examine the feasibility of lowering pipes that are at a depth above 1.30 meters, by CAGEPA specifications, as well as providing mechanical protection for exposed networks on unpaved roads, minimizing the risk of external damage.

Keywords: Network maintenance. Water supply. Environmental impacts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de Abastecimento de Água..... 17
Figura 2 - Tipos de vazamentos em redes de distribuição de água.....21
Figura 3 - Mapa de localização da microrregião de Catolé do Rocha - PB.....25
Figura 4 - Etapas para realização da pesquisa.....26
Figura 5 - Filtros de pesquisa no aplicativo CT-Manutenção.....27
Figura 6 - Etapas para a identificação dos impactos ambientais.....34
Figura 7 - Ocorrências de vazamento nas cidades da microrregião de Catolé do Rocha-PB.. 36
Figura 8 - Relação entre manutenção de tubulação superficial e tubulação profunda.....37
Figura 9 - Relação entre quantidade de ocorrências e tipo de pavimento.....39
Figura 10 - Relação entre quantidade de ocorrências e mês do ano..... 40
Figura 11 - Serviço de manutenção em tubulação na cidade de São Bento-PB..... 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações gerais da microrregião de Catolé do Rocha-PB.....26
Tabela 2 - Relação entre manutenções de tubulação por município..... 39
Tabela 3 - Índice de perdas de água na distribuição por município.....44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Filtros utilizados no Critério 1 de pesquisa..... 30
Quadro 2 - Filtros utilizados no Critério 2 de pesquisa.....30
Quadro 3 - Filtros utilizados no Critério 3 de pesquisa.....31
Quadro 4 - Filtros utilizados no Critério 4 de pesquisa.....32
Quadro 5 – Critérios para a classificação dos impactos ambientais..... 34
Quadro 6 - Matriz de atividades impactantes decorrentes de vazamentos de redes..... 44
Quadro 7 - Matriz de classificação dos impactos na etapa “Durante a ocorrência”..... 45
Quadro 8 - Matriz de classificação dos impactos na etapa “Durante a retirada de vazamento”45
Quadro 9 - Matriz de classificação dos impactos na etapa “Após a retirada de vazamento”.. 46
Quadro 10 - Impactos ambientais negativos..... 48
Quadro 11 - Medidas corretivas..... 48
Quadro 12 - Medidas preventivas..... 48

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PVC	Policloreto de Vinilo
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFSB	Universidade Federal do Sul da Bahia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....13
2. OBJETIVOS.....15
2.1. Geral.....15
2.2. Específicos.....15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....16
3.1. Sistemas de Abastecimento de Água (SAA).....16
3.2. Redes de distribuição.....18
3.2.1. Componentes de uma rede de distribuição.....19
3.3. Perdas de água em tubulações.....19
3.3.1. Perdas de água aparentes ou comerciais.....20
3.3.2. Perdas de água reais ou físicas.....20
3.4. Avaliação de Impactos Ambientais.....22
3.4.1. Classificação dos impactos ambientais.....23
3.4.2. Medidas de controle ambiental.....23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....25
4.1. Caracterização da área de estudo.....25
4.2. Etapas metodológicas da pesquisa.....26
4.2.1. Utilização dos filtros no aplicativo.....27
4.2.2. Identificação dos tipos de manutenção.....28
4.2.3. Contagem das ocorrências.....29
4.2.4. Elaboração de gráficos e análise dos resultados.....32
4.2.5. Coleta de dados de perdas de água.....33
4.2.6. Avaliação de impactos ambientais simplificada.....33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....36
5.1. Manutenções em redes de distribuição na microrregião de Catolé do Rocha-PB.....36
5.2. Perdas de água nos municípios da microrregião de Catolé do Rocha - PB.....42
5.3. Avaliação de impactos ambientais.....44
5.3.1. Identificação das atividades impactantes.....44
5.3.2. Identificação e classificação simplificada dos impactos ambientais.....45
5.3.3. Medidas de controle ambiental.....47
6. CONCLUSÕES.....50
REFERÊNCIAS.....51

1. INTRODUÇÃO

A importância da água para a vida é um fato inegável. Assim, visando garantir um consumo adequado, o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecido na Lei n° 9.433, de 1997, também conhecida como Lei das Águas, tem como um de seus objetivos a disposição de água potável e de qualidade compatível com sua utilização. Para isso, é necessário que haja a captação no corpo hídrico, o tratamento e a distribuição do recurso à população.

Gomes (2009) destaca a importância de um sistema de abastecimento de água para atender, em quantidade e qualidade, às necessidades domésticas, industriais e públicas. Porém, de acordo com Portela *et al.* (2023), o Brasil é um dos países que mais sofre com perdas de água em seus sistemas de distribuição. Dentre os tipos de perdas de água que podem ocorrer, destaca-se a perda física, relacionada a possíveis irregularidades que podem acontecer com as tubulações e instalações, como é o caso do surgimento de vazamentos.

Os vazamentos em redes de distribuição ocasionam uma série de impactos, sejam eles sociais, ambientais ou econômicos. Como consequência, as interrupções nos sistemas de abastecimento são uma resposta às falhas estruturais, resultando em um grande desperdício de água potável (Rodrigues; Szlafstein, 2021). Desse modo, o acesso contínuo à água de qualidade ou potável não é, de fato, uma realidade para toda a população, que se torna dependente das companhias de água responsáveis por reduzir os impactos dessa problemática.

As perdas de água ocasionadas por vazamentos estão associadas, principalmente, a ausência de manutenção nas redes de distribuição existentes (Portela *et al*, 2023). Fica evidente, portanto, que a não prevenção também acarreta impactos financeiros às empresas reguladoras, que precisam providenciar manutenções corretivas sempre que ocorrem essas anormalidades. E, o problema, além de ser uma questão técnica, também envolve aspectos financeiros e a satisfação do cliente, aumentando o compromisso da empresa (Souza Júnior; Vatavuk, 2023).

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) é responsável por manter o funcionamento das redes de abastecimento nas cidades paraibanas, possuindo a função, inclusive, de identificar as ocorrências de vazamento e providenciar a manutenção das redes e ramais que apresentam rompimentos. É importante ressaltar que essaas correções devem ocorrer no período de 24 horas desde a identificação do vazamento. Dessa forma, evitando,

sempre que possível, que haja a interrupção do abastecimento de uma determinada região por um longo período de tempo.

Para Bezerra *et al*. (2018), fatores sociais e ambientais geram uma reflexão sobre a segurança hídrica, uma vez que a água é reconhecida pela sociedade como um recurso essencial que é limitado, escasso e vulnerável. A CAGEPA, por sua vez, é encarregada de registrar as ocorrências de vazamento e realizar os serviços de manutenção preventivos e corretivos que forem necessários, evitando o agravamento da problemática.

Uma vez que fica claro a importância de manter um acesso contínuo e seguro à água portável como direito fundamental à vida, torna-se importante, também, garantir a eficiência das redes de distribuição. Dessa forma, este estudo justifica-se pela necessidade de entender as principais causas dessas irregularidades e a frequência dessas ocorrências na atualidade, assim como identificar os impactos ambientais associados, possibilitando ações para otimizar os processos de manutenção e reduzir os custos operacionais, além das perdas de água consideráveis que ocorrem diariamente.

Portanto, a presente pesquisa contribui significativamente para o entendimento das ocorrências de vazamento em uma região semiárida, e, especificamente, com as características de um sistema de distribuição como o que foi observado na microrregião de Catolé do Rocha-PB, no sertão paraibano. As investigações permitem avaliar as principais causas para o rompimento das tubulações ao definir critérios comparativos quanto ao tipo de instalação, questões climáticas e demais fatores externos que podem acontecer ao longo do ano. Além disso, o estudo permite uma análise dos tipos de impactos ambientais que podem estar relacionados desde o surgimento de vazamentos até os serviços de manutenção realizados.

Nesse contexto, os resultados obtidos podem fornecer uma base sólida às empresas reguladoras, influenciando a utilização de manutenções preventivas para evitar os impactos relacionados às manutenções corretivas. Assim, possibilitando estratégias mais eficazes não apenas para reduzir as ocorrências de vazamento, como também para garantir uma gestão eficiente dos recursos hídricos, tornando os objetivos propostos pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos uma realidade alcançável, e garantindo atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável de números 3 (Saúde e bem-estar), 6 (Saneamento e água potável) e 11 (Cidades e comunidades sustentáveis).

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

- Analisar qualiquantitativamente os serviços de manutenção em redes de abastecimento de água na microrregião de Catolé do Rocha, no sertão paraibano, fazendo um levantamento dos impactos ambientais ocasionados pelas irregularidades estudadas.

2.2. Específicos

- Quantificar as ocorrências de vazamento analisando os tipos de tubulação, a profundidade do tubo, o pavimento da via e a época da ocorrência.
- Avaliar as perdas de água na distribuição em cada cidade da microrregião de Catolé do Rocha-PB.
- Identificar os impactos ambientais associados aos serviços de retirada de vazamento, realizando a sua classificação e indicação de medidas de controle ambiental.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)

Faccioli (2021) destaca a importância da água para o consumo, realização de tarefas e no desenvolvimento de atividades econômicas diversas. Em suma, o crescimento populacional alinhado ao desenvolvimento urbano possui uma forte influência na demanda por água (Oliveira, 2023). Nesse contexto, os sistemas de abastecimento, sejam coletivos ou individuais, são fundamentais quando se trata de garantir o acesso adequado à água potável, como previsto na Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021, à população.

O sistema de abastecimento de água é caracterizado como a instalação por um conjunto de equipamentos e serviços, da captação às ligações prediais, destinados à produção e fornecimento de água portável para diversas finalidades, por meio da distribuição (Brasil, 2021). Essa água fornecida pelo sistema deverá ter, além da vazão e pressão suficientes, uma boa qualidade do ponto de vista físico, químico e bacteriológico (Azevedo Netto *et al.*, 1998).

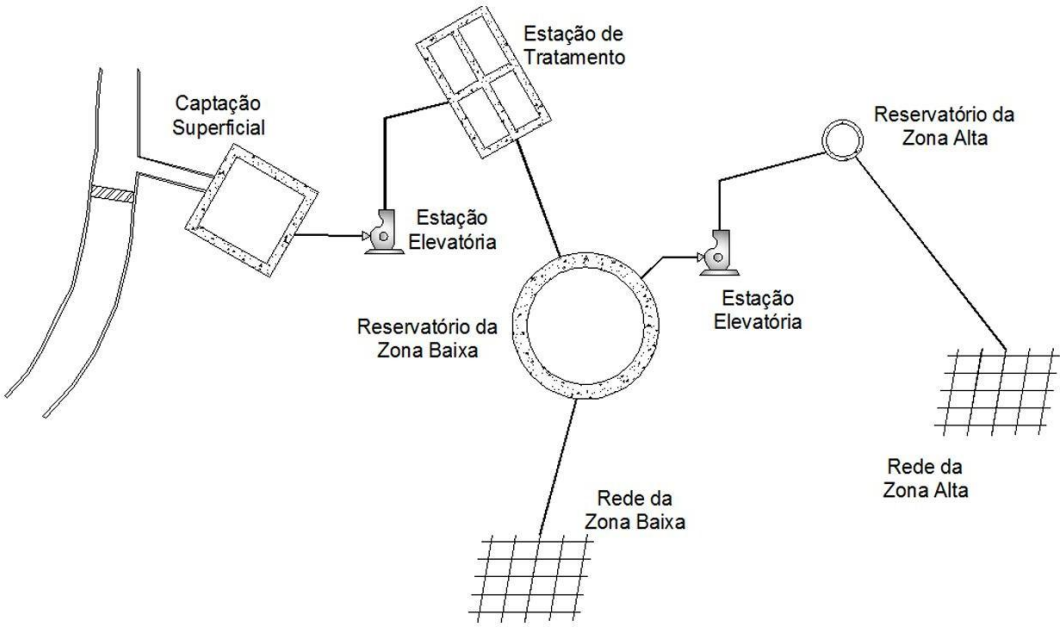
É válido ressaltar que os projetos que antecedem essas obras de abastecimento devem considerar uma série de fatores antes da sua aplicação, permitindo, assim, uma gestão eficiente da água. Logo, para que tenha um funcionamento adequado, Santana Junior e Pedreiro (2023) pontuam que o projeto de abastecimento precisa estar apto às variadas condições para o seu dimensionamento e funcionamento, considerando a qualidade da água, quantia de reservação e distribuição, e características variadas de consumo. A NBR 12216 (ABNT, 1992), elaborada para estações de tratamento de água para abastecimento público, estabelece os seguintes elementos necessários para a elaboração de um projeto:

a) Capacidade nominal;
b) Definição das etapas de construção;
c) Localização e definição da área necessária para sua implantação;
d) Levantamento planialtimétrico e cadastral da área de implantação;
e) Execução de sondagens de reconhecimento do subsolo da área de implantação;
f) Manancial abastecedor e características da água;
g) Sistemas de captação e adução, desde o manancial até a Estação de Tratamento de Água (ETA);
h) Sistema de adução de água tratada;
i) Cotas impostas pelo sistema de abastecimento de água;

j) Corpos receptores para descarga da Estação de Tratamento de Água (ETA).

Um sistema tradicional de abastecimento de água segue diversas etapas até atingir o ponto de distribuição, e cada etapa desde a captação até o consumo é denominada de unidade (Garcia; Teixeira, 2023). Em vista disso, as unidades básicas de um sistema de abastecimento público são, basicamente, segundo a NBR 12211 (ABNT, 1992): manancial, captação, estação elevatória, adução, tratamento, reservação distribuição e ramal domiciliar. Na Figura 1, encontra-se um esquema que exemplifica o funcionamento de um sistema de abastecimento de água, considerando uma captação superficial.

Figura 1 - Sistema de Abastecimento de Água



Fonte: Lima (2013)

Todo sistema de abastecimento público necessita de mananciais naturais para fins de aproveitamento de água e, como destacado por Bezerra e Cheung (2013), este pode ser subterrâneo ou superficial. O manancial subterrâneo é aquele cuja água, como o próprio nome indica, se infiltra e se movimenta abaixo da superfície do solo (Brasil, 2020), enquanto o manancial superficial possui os corpos de água escoando sobre a superfície terrestre (Faccioli, 2021). A etapa de captação considera o tipo de manancial na implantação do sistema de abastecimento de água e, como explicado pela *NewWater* (2022), a captação de água superficial ocorre através de rios e lagos, enquanto a captação de água subterrânea provém de lençóis e aquíferos subterrâneos.

As estações elevatórias em um SAA são os sistemas de bombeamento que permitem que a água seja levada até pontos mais elevados ou afastados, apresentando uma solução além do escoamento por gravidade (Brasil, 2020). Além disso, as adutoras são uma unidade essencial para o funcionamento do sistema de distribuição, uma vez que essas canalizações interligam a captação e tomada de água à estação de tratamento de água, e depois aos reservatórios (Azevedo Netto *et al.,* 1998).

O tratamento mínimo necessário da água é definido conforme a NBR 12216 (ABNT, 1992), tendo em vista as características dos mananciais, sendo necessário que a água passe por processos de tratamento nas chamadas estações de tratamento. E, por fim, os reservatórios de distribuição são as unidades destinadas a atender a variação de consumo e manter a pressão constante na rede na rede (Brasil, 2020).

3.2. Redes de distribuição

A distribuição é a unidade do sistema de abastecimento público responsável por conduzir a água tratada para os pontos de consumo, como os usos doméstico e industrial. Essa unidade constitui-se por um conjunto de condutos, conexões e peças especiais assentadas em pontos estratégicos que se conectam aos ramais domiciliares (Bezerra e Cheung, 2013; Azevedo Netto *et al.*, 1998). É importante destacar, ainda, que o dimensionamento da rede de distribuição deve ser feito conforme a demanda dos consumidores, permitindo um abastecimento contínuo.

> [...] De modo geral, qualquer que seja o desenho da rede, esta é constituída por condutos que são classificados como: *condutos principais* ou *condutos troncos* e *condutos secundários*. Os condutos principais são aqueles de maior diâmetro que têm por finalidade abastecer os condutos secundários, enquanto estes, de menor diâmetro, têm a função de abastecer diretamente os pontos de consumo do sistema (Porto, 2006, p. 169).

Uma vez que fica definido a disposição dessas tubulações e condutos, essas redes podem ser classificadas como rede ramificada ou rede malhada. O primeiro caso admite um único sentido de circulação da água, enquanto o segundo baseia-se no sentido de circulação de cada trecho dependente da diferença de pressões em seus nós extremos (Azevedo Netto *et al.*, 1998).

3.2.1. Componentes de uma rede de distribuição

Uma rede de distribuição de água é composta por diversos componentes essenciais que garantem o abastecimento eficiente e seguro para os consumidores. Entre esses componentes, destacam-se as tubulações, que são responsáveis por conduzir a água do ponto de origem até o ponto de consumo (Conegundes, 2023). Além das tubulações, a rede envolve também válvulas, conexões e dispositivos de medição.

As tubulações são o elemento principal de uma rede de distribuição, e suas especificações variam conforme a demanda de água e as características da área atendida. Elas podem ser fabricadas em diferentes materiais, sendo os mais comuns o Policloreto de Vilina (PVC), polietileno, ferro fundido, e aço (Santana Júnior; Pedreiro, 2023).

O diâmetro das tubulações varia conforme a vazão e a pressão de serviço da rede de distribuição. Tubulações com maior diâmetro são utilizadas nas principais adutoras e ramais principais, enquanto tubulações de menor diâmetro abastecem as ligações domiciliares. A correta escolha do diâmetro impacta diretamente na eficiência do sistema e na perda de carga ao longo do percurso. Além disso, as conexões utilizadas nas redes de distribuição têm como função unir diferentes trechos de tubulação, realizar mudanças de direção, ramificações e adaptações de diâmetros (Testezlaf; Matsura, 2015).

3.3. Perdas de água em tubulações

De acordo com Oliveira *et al.* (2018), no processo de distribuição de água, diversas causas podem resultar em perdas, como vazamentos, erros na medição e consumos não autorizados. Portanto, essas perdas geram impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para a receita e os custos operacionais das empresas, onerando todo o sistema e, consequentemente, afetando os consumidores.

Graff (2019) destaca que, uma vez que é impossível atingir um nível de perda de água que seja igual a zero, torna-se importante aplicar as melhorias de redução de perdas ou investir no tratamento da água. Permitindo, dessa forma, a economia do recurso, diante do possível.

O uso racional da água torna-se um desafio quando se considera o desperdício ocasionado por falhas estruturas ou, até mesmo, com o consumo excessivo devido a ideia de inesgotabilidade do recurso. Portanto, conforme explicado por Felinto Filho (2023), fica

evidente que o impacto está muitas vezes associado à ausência de uma gestão que vise o fornecimento adequado da água, considerando fatores econômicos e ambientais.

A adoção de ações para combater o desperdício nos sistemas de abastecimento de água resulta em uma série de benefícios para a sociedade e para o meio ambiente. Medidas de combate ao desperdício da água, além de reduzir a contaminação de corpos hídricos, contribuem significativamente para a preservação de um recurso limitado e cuja distribuição é desigual em todo o mundo (Oliveira, 2023).

Brito (2023) evidencia as implicações econômicas e ambientais devido o desperdício dos recursos hídricos. Podendo tornar-se responsável, assim, por gerar custos significativos às empresas de água e possuindo um potencial de agravar problemas de saúde pública devido a contaminação da água.

É válido salientar, outrossim, a necessidade de entender as causas desses desperdícios, e isso é possível através da observação nos padrões das ocorrências. As perdas de água, conforme descrito por Azevedo Netto *et al.*, (1998), tratam-se da diferença de água produzido nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e o total de volume medido nos hidrômetros.

De modo a facilitar a escolha de medidas para reparar problemas voltados às perdas de água, essas foram classificadas em duas categorias: perdas aparentes (comerciais) ou perdas reais (físicas).

3.3.1. Perdas de água aparentes ou comerciais

As perdas de água aparentes correspondem ao volume de água que foi consumido, mas não foi faturado ou autorizado previamente (Dysart; Goetten, 2023). Essas perdas do tipo comerciais são motivadas por ligações clandestinas, fraudes, ou erros de medição dos hidrômetros (Baen et al., 2018). Essas perdas não representam, necessariamente, o vazamento ou o desperdício físico da água, mas sim uma falha no processo de controle, o que leva a prejuízos financeiros para as companhias de abastecimento.

Carvalho (2023) ressalta que essas perdas aparentes representam a água que é efetivamente consumida, mas não faturada. Ocasionando, dessa forma, prejuízos financeiros significativos às companhias de água responsáveis.

3.3.2. Perdas de água reais ou físicas

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2020) descreve as perdas de água físicas como toda água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores. Esse tipo de perda está relacionado principalmente aos vazamentos que ocorrem nas canalizações ou conexões da rede de distribuição, prejudicando seu funcionamento. Pereira e Tinôco (2021) ainda afirmam que esses vazamentos são causados frequentemente em tubulações que possuem uma instalação inadequada, ausência de manutenção e variação de pressão na rede de distribuição.

Os vazamentos nas canalizações podem acontecer nos ramais prediais ou nas redes de maiores diâmetros, sejam essas as redes de distribuição ou as próprias adutoras. Ademais, esses vazamentos além de causar danos financeiros, também acarretam dificuldade para operação dos sistemas de abastecimento (Khanlawia *et al.*, 2022).

As perdas físicas são aquelas que envolvem o desperdício real de água ao longo do sistema de distribuição, mas que nem sempre estão visíveis, conforme destacado por Fritz *et al.*, (2020), que enfatizam a dificuldade de detecção de vazamentos tubulações cujo diâmetro é menor que 150mm. Essas perdas resultam na dispersão de água tratada antes de chegar ao consumidor final, o que compromete a eficiência do sistema e aumenta o custo operacional, além de representar um uso ineficiente de recursos hídricos. A Figura 2 representa o modo como esses vazamentos podem ocorrer nas redes de distribuição de água, facilitando ou não sua detecção.

Figura 2 - Tipos de vazamentos em redes de distribuição de água

Fonte: Boletim do Saneamento (2020)

Os vazamentos inerentes correspondem a 25% dos vazamentos, enquanto os vazamentos não visíveis representam cerca de 30% dos vazamentos e os vazamentos visíveis estão relacionados a 45% dos vazamentos (Graff, 2019).

No Brasil, o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) possui indicadores capazes de quantificar os índices de perdas de água, permitindo avaliar a eficiência das redes de distribuição de água existentes. Para o caso de perdas aparentes, o indicador IN049 indica o índice de perdas de água na distribuição de um sistema, medido em percentual. A Equação (1) é utilizada para quantificar esse índice de perda.

$$\frac{G006 + G018 - G010 - G024}{G006 + G018 - G024} 100 \quad (1)$$

Cada campo vinculado condiz com um volume produzido. O AG006 representa o volume de água produzido, o AG010 está relacionado ao volume de água consumido, o AG018 é o volume de água tratada importado e o AG024 é o volume de serviço (SNIS, 2022).

3.4. Avaliação de Impactos Ambientais

Impacto ambiental é qualquer mudança nas características físicas, químicas e biológicas do ambiente, resultante de atividades humanas, que pode afetar a saúde, segurança e bem-estar da população, assim como a fauna, as atividades sociais e econômicas, a qualidade dos recursos ambientais e as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente (CONAMA, 1986).

Os primeiros métodos de avaliação de impactos ambientais consistiam em aproximações sistemáticas voltadas para a identificação dos impactos, com o uso de ferramentas como checklists, métodos ad-hoc, redes, diagramas, sobreposição de cartas e matrizes de interação (Fogliatti *et al.*, 2004). As matrizes de interação ou correlação são tabelas bidimensionais que possibilitam a associação entre fatores ambientais e as interações do projeto, organizadas em linhas e colunas para facilitar sua avaliação (Barbosa, 2014).

O Artigo 6º da Resolução 001/86, de 23 de janeiro de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece que:

> I - Diagnóstico ambiental terá que ter a completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, considerando:
>
> a) o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;

b) o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;

c) o meio socioeconômico - o uso e ocupação solo, os usos da água e a socioeconomia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

3.4.1. Classificação dos impactos ambientais

A avaliação de impactos ambientais é vista como uma espécie de triagem, conforme descrito por Garcia (2014), na qual apenas os impactos considerados significativos são avaliados, uma vez que possuem o potencial de alterar características importantes do local afetado.

Os impactos ambientais podem ser classificados de diversas formas. Quanto ao tipo, eles podem ser diretos, quando resultam diretamente da atividade em questão, ou indiretos, quando surgem de uma cadeia de eventos desencadeada por essa atividade. Em relação à natureza, podem ser positivos, gerando benefícios ao meio ambiente, ou negativos, causando prejuízos. A duração dos impactos também varia, podendo ser temporários, ocorrendo apenas durante a execução da atividade; permanentes, persistindo após seu término; ou cíclicos, ocorrendo em intervalos regulares (Franco, 2024).

3.4.2. Medidas de controle ambiental

De acordo com Sánchez (2020), medidas mitigadoras são ações realizadas para reduzir impactos ambientais adversos, como o tratamento de efluentes, instalação de barreiras antirruído ou até mesmo utilização de filtros para abatimento de emissões atmosféricas. Podem ser simples, como bacias de decantação para evitar contaminação de águas durante construções, ou avançadas, envolvendo modificações em projetos, como enterrar linhas de transmissão para proteger aves migratórias ou elevar torres em áreas florestadas para minimizar o desmatamento (Sánchez, 2020).

Barbosa (2014) aponta que o conceito de "medidas mitigadoras" inclui diversas expressões variáveis, cada uma com objetivos específicos. As medidas mitigadoras preventivas têm como meta minimizar ou eliminar eventos negativos nos meios físico, biótico e antrópico antes de sua ocorrência. Por outro lado, as medidas corretivas visam restaurar a situação anterior a um impacto adverso, por meio de ações de controle ou eliminação do fator

causador do problema. As medidas compensatórias buscam repor bens socioambientais que foram perdidos devido a ações diretas ou indiretas do empreendimento. Por fim, as medidas potencializadoras são voltadas para otimizar os efeitos positivos decorrentes da implementação do empreendimento.

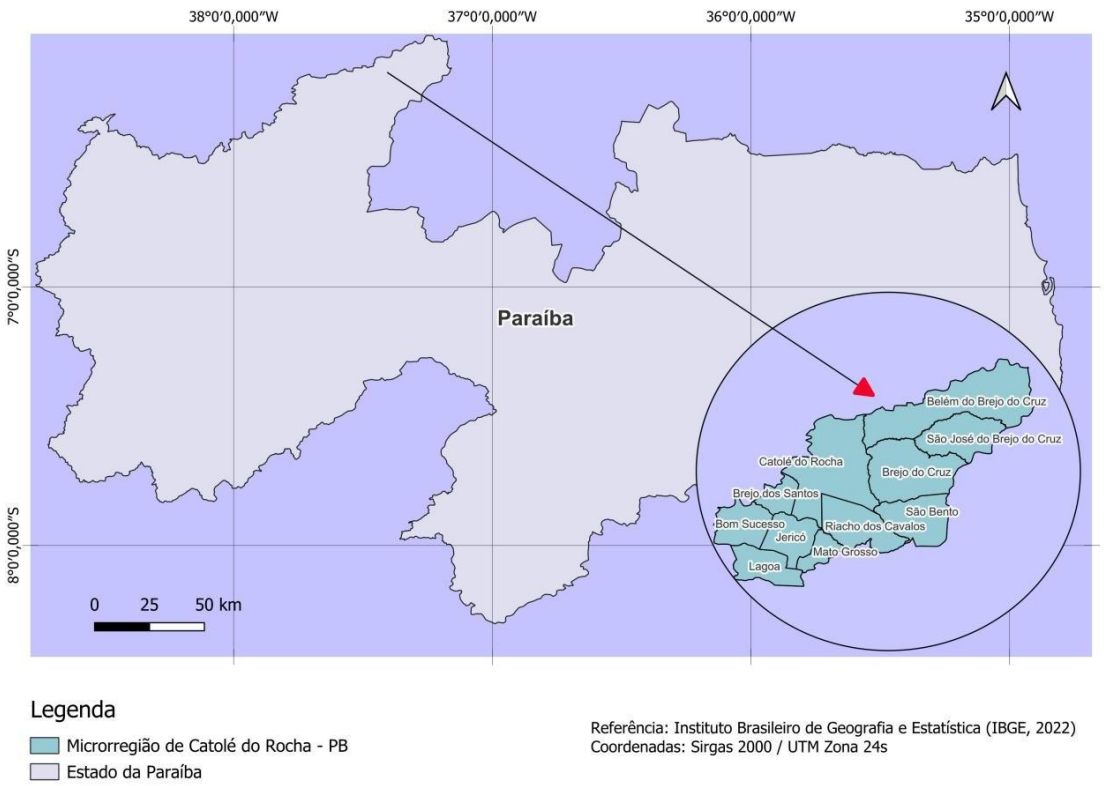
Quando os impactos ambientais não podem ser evitados ou mitigados de forma eficaz, são necessárias medidas compensatórias para lidar com os danos remanescentes. A perda de vegetação nativa, comum em projetos como rodovias, barragens e minas, é um exemplo típico. Assim, alternativas como desviar estradas, construir túneis, reduzir a altura de barragens ou preservar parte de jazidas para manter áreas de vegetação devem ser consideradas no planejamento para minimizar a perda de hábitats (Sánchez, 2020).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

A área de abrangência deste estudo compreende à microrregião geográfica de Catolé do Rocha, segundo a divisão geográfica estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990), que encontra-se localizada no sertão da Paraíba, sendo composta por onze municípios: Belém do Brejo do Cruz, Bom Sucesso, Brejo do Cruz, Brejo dos Santos, Catolé do Rocha, Jericó, Lagoa, Mato Grosso, Riacho dos Cavalos, São Bento e São José do Brejo do Cruz. A Figura 3 ilustra a localização da região diante do limite do estado paraibano.

Figura 3 - Mapa de localização da microrregião de Catolé do Rocha - PB



Fonte: Autor (2024)

A microrregião de Catolé do Rocha - PB faz parte do semiárido brasileiro, que, conforme destaca o Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2024), caracteriza-se pela irregularidade das chuvas e altas taxas de evapotranspiração, ocasionando escassez hídrica em determinados períodos do ano. Melo e Lima (2021) apontam os meses de agosto a novembro como o período seco na região. A Tabela 1 apresenta informações acerca de cada município,

de acordo a base de dados do SNIS e do IBGE, referentes ao ano de 2022. Foram coletadas informações relacionadas à população, extensão territorial, população atendida com sistema de abastecimento de água (SAA) e extensão de rede por ligação. Apenas o município de Riacho dos Cavalos-PB não apresentou informações para o critério de população atendida com SAA.

Tabela 1 - Informações gerais da microrregião de Catolé do Rocha-PB

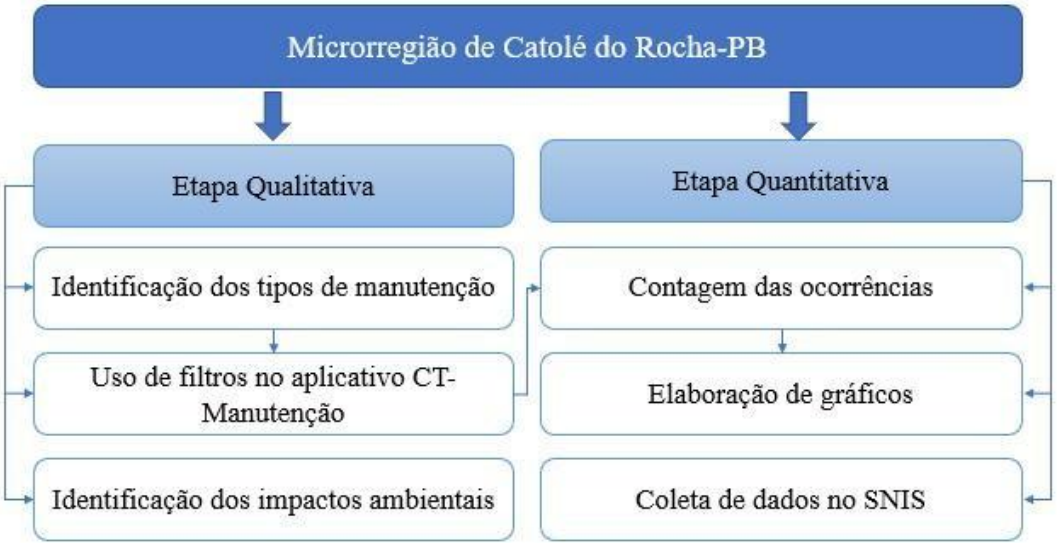
Município	População (habitantes)	Extensão territorial (km²)	População atendida com SAA (%)	Extensão de rede por ligação (m/lig)
Belém do Brejo do Cruz	6.268	601,55	48,34	10,37
Bom Sucesso	4.661	186,06	44,99	12,26
Brejo do Cruz	13.613	401,32	75,46	9,38
Brejo dos Santos	5.742	93,86	89,34	15,92
Catolé do Rocha	30.661	551,77	80,03	8,06
Jericó	7.516	177,36	60,13	13,13
Lagoa	4.415	176,65	59,91	13,39
Mato Grosso	2.543	85,28	50,85	24,91
Riacho dos Cavalos	8.493	262,53	-	21,44
São Bento	32.235	245,84	92,45	7,32
São José do Brejo do Cruz	1.699	253,79	100	18,13

Fonte: SNIS; IBGE (2022)

4.2. Etapas metodológicas da pesquisa

O estudo em questão adotou uma abordagem mista, possibilitando a combinação entre métodos quantitativos e qualitativos para obter resultados mais detalhados e precisos, conforme o objetivo da pesquisa. Com isso, cada etapa do estudo foi dividida segundo o fluxograma apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Etapas para realização da pesquisa



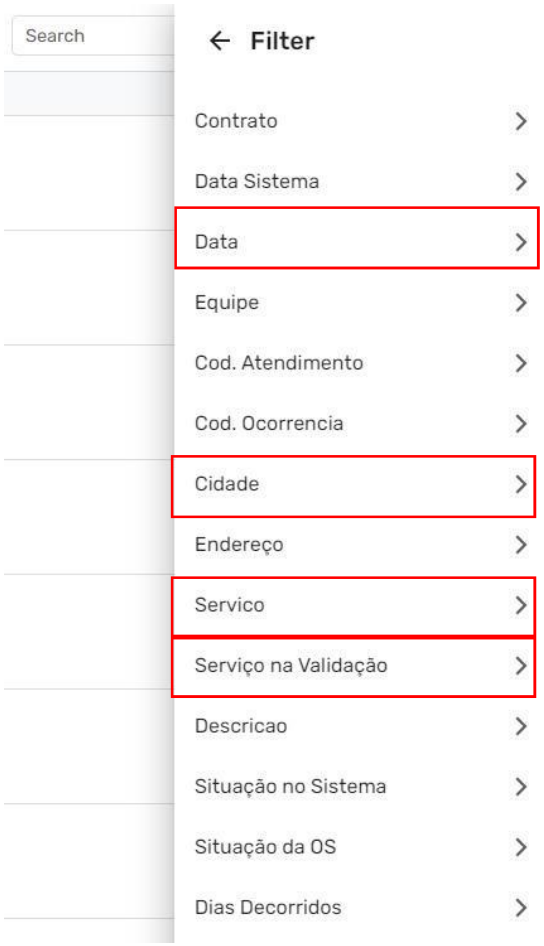
Fonte: Autor (2024)

4.2.1. Utilização dos filtros no aplicativo

O aplicativo CT-Manutenção, desenvolvido por Almeida (2023), e utilizado na empresa Paulo Sérgio Silva Engenharia e Projetos (PSS Engenharia), possui filtros de pesquisa que possibilitam selecionar o tipo de serviço desejado para a consulta com base em características específicas. Esses serviços compreendem àqueles já executados e armazenados na base de dados da empresa, e agrupa informações como local da execução, nome da equipe, data e horário do serviço, tipo de manutenção e materiais utilizados.

Para a pesquisa, foram escolhidos quatro filtros para obter informações sobre a quantidade de manutenções no período de estudo, a especificação da tubulação quanto ao diâmetro e profundidade, e o tipo de pavimento da instalação, conforme indicado na Figura 5.

Figura 5 - Filtros de pesquisa no aplicativo CT-Manutenção



Fonte: Almeida (2023)

O filtro de data serviu para definir os meses de estudo, que corresponderam ao período de 1 de julho de 2023 a 30 de junho de 2024. O filtro de cidade possibilitou selecionar as cidades da microrregião de Catolé do Rocha - PB entre as demais cidades do contrato da empresa. O filtro de serviço foi utilizado para selecionar apenas os serviços de retirada de vazamento. E, por fim, o filtro de serviço na validação permitiu selecionar aqueles serviços já executados e cujas informações já foram enviadas à CAGEPA, permitindo especificar as características da manutenção.

4.2.2. Identificação dos tipos de manutenção

Os serviços de retirada de vazamento podem ser divididos como “Manutenção de ramal” e “Manutenção de tubulação”, sendo essa divisão baseada no diâmetro do tubo. Essas informações foram obtidas nas especificações dos serviços entre a CAGEPA e a empresa PSS Engenharia, que reconhecem as as “Manutenções de ramal” como aquelas cujos diâmetros

nos tubos são de 20mm até 40mm e “Manutenções de tubulação” para os tubos são de 50mm a 300mm. Contudo, também são realizadas manutenções em ramais com diâmetro inferior a 20mm e em redes com diâmetro superior a 300mm. Porém, apesar de não haver especificações nos filtros do aplicativo CT-Manutenção para os ramais abaixo de 20mm e as tubulações acima de 300mm, esses serviços estão inseridos nos filtros para ramal e tubulação existentes.

Além disso, as canalizações também são classificadas conforme as vias em que estão inseridas, podendo ser em calçadas, vias pavimentadas com paralelepípedo e asfalto e vias sem pavimento.

4.2.3. Contagem das ocorrências

Após a aplicação dos filtros de interesse, o aplicativo apresentou um resultado numérico com a quantidade de serviços realizados conforme as características da pesquisa. Esses componentes possibilitaram mensurar a frequência dessas ocorrências de retirada de vazamento por cidade, época do ano, tipo de rede e tipo de pavimento. Foram definidos, assim, quatro critérios de análise para geração de gráficos com os resultados:

1. Quantidade de manutenção (em tubulações e ramais) no período de julho/2023 a junho/2024, em cada cidade estudada;
2. Relação de manutenção em tubulações profundas e tubulações superficiais, em todas as cidades;
3. Quantidade de manutenção por tipo de pavimento, em todas as cidades;
4. Quantidade de manutenção (em tubulações e ramais) em cada mês, em todas as cidades.

Para cada critério de pesquisa, foi necessário moldar os filtros para obter resultados mais específicos. No critério 1, os filtros do tipo de serviço, data de registro e serviços na validação ficaram fixos, e a única alteração feita foi no filtro de cidades. Isso implica dizer que os filtros fixos se mantiveram constantes e o resultado numérico foi alterando conforme mudou a cidade, possibilitando uma quantidade de vazamento no período indicado para cada uma delas. O Quadro 1 especifica os filtros utilizados para o critério 1.

Quadro 1 - Filtros utilizados no Critério 1 de pesquisa

Tipo de serviço	Retirada de vazamento
Data de registro	1 de julho de 2023 a 30 de junho de 2024
Cidade	Municípios da microrregião de Catolé do Rocha - PB, separadamente
Serviço na validação	1. Manutenção de ramal em via pavimentada; 2. Manutenção de ramal em calçada; 3. Manutenção de ramal em via sem pavimento; 4. Manutenção de tubulação em via pavimentada (DN50 a DN300); 5. Manutenção de tubulação em via sem pavimento (DN50 a DN300); 6. Manutenção de tubulação profunda em via pavimentada (DN50 a DN300); 7. Manutenção de tubulação profunda em via sem pavimento (DN50 a DN300)

Fonte: Autor (2024)

Legenda:

- DN50: Diâmetro de 50mm;
- DN300: Diâmetro de 300mm.

Para o critério 2 de pesquisa, os filtros fixos foram o tipo de serviço, a data de registro e as cidades da microrregião de Catolé do Rocha-PB, que dessa vez foram filtradas simultaneamente. Para esse critério, porém, foram escolhidos apenas os serviços de manutenção de tubulação, passando por duas etapas. Na primeira, foram filtrados todos os serviços de manutenção em tubulação superficial, e na segunda foram todos os serviços de manutenção em tubulação profunda. No Quadro 2, encontra-se especificado os filtros utilizados para o critério 2 de pesquisa.

Quadro 2 - Filtros utilizados no Critério 2 de pesquisa (continua)

Tipo de serviço	Retirada de vazamento
Data de registro	1 de julho de 2023 a 30 de junho de 2024
Cidade	Municípios da microrregião de Catolé do Rocha-PB, simultaneamente

Fonte: Autor (2024)

Quadro 2 - Filtros utilizados no Critério 2 de pesquisa (conclusão)

Serviço na validação	Etapa 1: 1. Manutenção de tubulação em via sem pavimento (DN50 a DN300); 2. Manutenção de tubulação em via pavimentada (DN50 a DN300). Etapa 2: 1. Manutenção de tubulação profunda em via sem pavimento (DN50 a DN300); 2. Manutenção de tubulação profunda em via pavimentada (DN50 a DN300).

Fonte: Autor (2024)

O Critério 3 de pesquisa foi semelhante ao Critério 2, com a diferença de que dessa vez foram considerados também as manutenções de ramal. Portanto, os filtros fixos foram os mesmos, de retirada de vazamento, data de registro e as cidades filtradas simultaneamente. Os serviços na validação foram filtrados em duas etapas, sendo a primeira para as manutenções de ramal e tubulação em calçadas e vias pavimentadas, e a segunda para serviços de ramal e tubulação em via sem pavimento. No Quadro 3, estão descritos os filtros utilizados para o critério 3 de pesquisa.

Quadro 3 - Filtros utilizados no Critério 3 de pesquisa

Tipo de serviço	Retirada de vazamento
Data de registro	1 de julho de 2023 a 30 de junho de 2024
Cidade	Municípios da microrregião de Catolé do Rocha-PB, simultaneamente
Serviço na validação	Etapa 1: 1. Manutenção de ramal em via pavimentada; 2. Manutenção de ramal em calçada; 3. Manutenção de tubulação em via pavimentada (DN50 a DN300); 4. Manutenção de tubulação profunda em via pavimentada (DN50 a DN300); Etapa 2: 1. Manutenção de ramal em via sem pavimento; 2. Manutenção de tubulação em via sem pavimento (DN50 a DN300); 3. Manutenção de tubulação profunda em via sem pavimento (DN50 a

	DN300).

Fonte: Autor (2024)

O Critério 4 de pesquisa manteve o tipo de serviço, os serviços na validação e os municípios da microrregião de Catolé do Rocha - PB como filtros fixos, sendo os municípios filtrados simultaneamente e a validação considerando manutenção em tubulação e ramal. O critério propôs uma análise separada dos meses no período estimado, gerando um resultado numérico para cada mês estudado. No Quadro 4, estão presentes os filtros utilizados para o critério 4 de pesquisa.

Quadro 4 - Filtros utilizados no Critério 4 de pesquisa

Tipo de serviço	Retirada de vazamento
Data de registro	1 de julho de 2023 a 30 de junho de 2024, separadamente
Cidade	Municípios da microrregião de Catolé do Rocha-PB, simultaneamente
Serviço na validação	1. Manutenção de ramal em via pavimentada; 2. Manutenção de ramal em calçada; 3. Manutenção de ramal em via sem pavimento; 4. Manutenção de tubulação em via pavimentada (DN50 a DN300); 5. Manutenção de tubulação em via sem pavimento (DN50 a DN300); 6. Manutenção de tubulação profunda em via pavimentada (DN50 a DN300); 7. Manutenção de tubulação profunda em via sem pavimento (DN50 a DN300).

Fonte: Autor (2024)

4.2.4. Elaboração de gráficos e análise dos resultados

Com os dados quantitativos obtidos no aplicativo CT-Manutenção, foi possível gerar gráficos para fazer uma avaliação separada em categorias. Dessa forma, com o agrupamento desses dados em forma de gráficos, tornou-se possível fazer uma correlação dos resultados, buscando identificar, de forma respectiva aos quatro critérios de pesquisa mencionados na etapa de contagem das ocorrências.

1. Cidades que apresentaram mais ocorrências de retirada de vazamento;
2. Influência da profundidade das redes no surgimento de vazamentos;
3. Influência da presença ou ausência de vias pavimentadas na proteção das redes;
4. Influência de fatores externos, como períodos chuvosos na região, na quantidade de ocorrências de retirada de vazamento.

4.2.5. Coleta de dados de perdas de água

O painel de indicadores do SNIS, cujos dados mais recentes encontrados foram do ano de 2022, possibilitou coletar informações a respeito das perdas de água na distribuição em cada cidade da microrregião de Catolé do Rocha-PB. Os dados são de domínio público e encontram-se no seguinte site eletrônico: *http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/agua_esgoto/mapa-agua*.

O indicador utilizado para análise foi o IN049, que possibilitou verificar a perda de água no sistema de distribuição decorrente de vazamentos em tubulações, além de problemas de operação de manutenção (Portela *et al.*, 2023). Dessa forma, o painel de indicadores possibilitou, inicialmente, consultar o índice de perdas de água na distribuição da Paraíba e do Brasil. Com isso, o mesmo índice de perdas foi avaliado para cada uma das cidades da microrregião de Catolé do Rocha-PB, de modo a entender se a cidade em questão está abaixo ou acima da média estadual e nacional, compreendendo a eficiência do seu sistema de abastecimento.

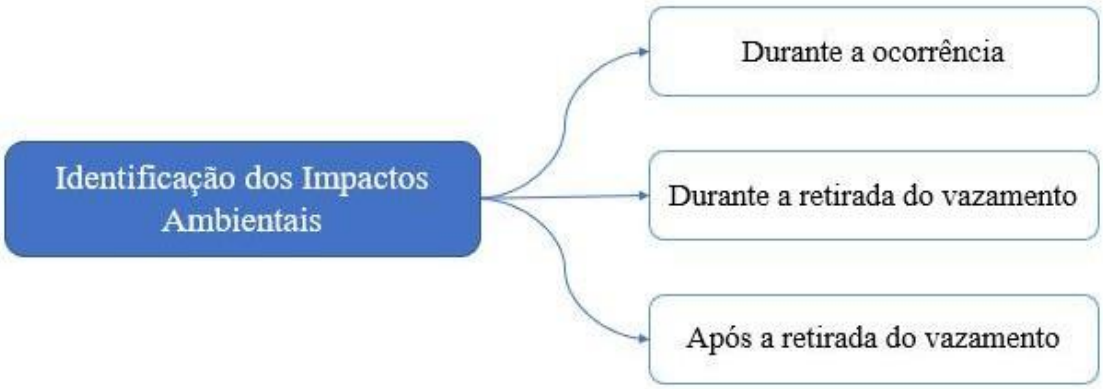
4.2.6. Avaliação de impactos ambientais simplificada

Para a avaliação de impactos ambientais simplificada, a metodologia adotada levou em consideração os seguintes processos: (i) Identificação das principais atividades impactantes; (ii) Levantamento dos impactos ambientais; (iii) Classificação dos impactos identificados; e (iv) Proposição de medidas de controle ambiental. Cabe destacar que os principais fatores ambientais afetados pelos serviços de manutenção são os recursos hídricos, o solo e a paisagem, além do meio antrópico.

A análise dos impactos ambientais foi dividida em três etapas distintas. Primeiramente, foram identificados os impactos que acontecem durante a ocorrência do vazamento. Em seguida, foram considerados os possíveis impactos gerados durante a retirada dos vazamentos.

Por fim, foram analisados os impactos que podem surgir após a conclusão da retirada dos vazamentos. A Figura 6 ilustra as três categorias definidas para análise das atividades e impactos ambientais associados aos serviços de manutenção em redes de distribuição.

Figura 6 - Etapas para a identificação dos impactos ambientais



Fonte: Autor (2024)

As etapas de manutenção de redes de distribuição, representadas na Figura 6, seguem a ordem de identificação do vazamento até o fechamento da vala após execução do serviço. A etapa "Durante a ocorrência" compreende desde o momento em que o vazamento é identificado até a chegada da equipe ao local. Além disso, a etapa "Durante a retirada do vazamento" inclui o início do serviço, com a escavação da vala e especificação do tipo de vazamento, até a troca da tubulação ou peça corrompida. E, por último, a etapa "Após a retirada do vazamento" envolve o momento do aterramento da vala, sinalização e reposição do pavimento, se necessário.

Com a definição das fases do surgimento e retirada de vazamentos, foi possível identificar esses impactos ambientais, e, de maneira análoga, classificá-los e propor medidas de controle ambiental.

Os impactos ambientais definidos foram classificados conforme proposto por Sánchez (2020) e Garcia (2014), de maneira simplificada, considerando três critérios de classificação, descritos no Quadro 5.

Quadro 5 – Critérios para a classificação dos impactos ambientais (continua)

Critério	Classificação	Sigla	Bibliografia consultada
Valor	Positivo	P	Garcia (2014)

Fonte: Adaptado de Sánchez (2020) e Garcia (2014)

Quadro 5 – Critérios para a classificação dos impactos ambientais (conclusão)

Critério	Classificação	Sigla	Bibliografia consultada
Valor	Negativo	N	Garcia (2014)
Reversibilidade	Reversível	RE	Garcia (2014)
	Irreversível	IR	
Potencial de mitigação	Mitigável	M	Sánchez (2020)
	Não mitigável	NM	

Fonte: Adaptado de Sánchez (2020) e Garcia (2014)

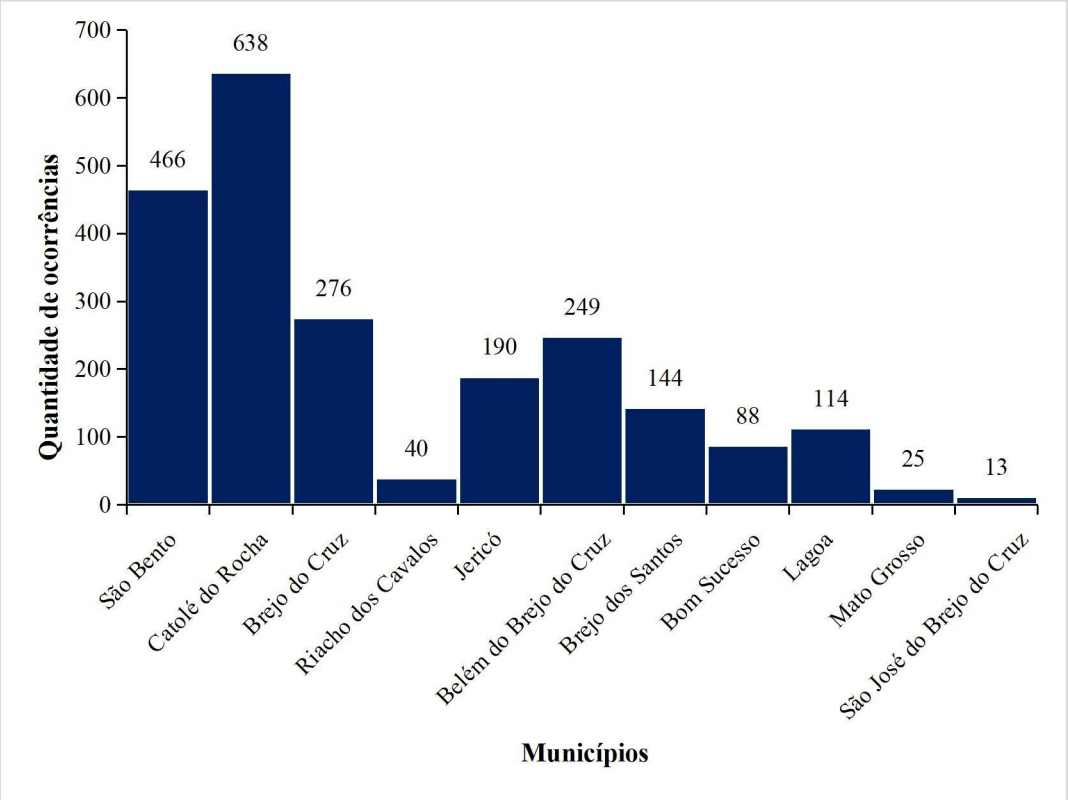
Paralelo à classificação de impactos ambientais, foram propostas, com base nas literaturas consultadas (Sánchez, 2020; Garcia 2014; Caldas, 2019) e em estudos ambientais técnicos, como Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA), medidas de controle ambiental para cada uma das atividades de risco. Para esta pesquisa, tais medidas foram classificadas em preventivas e corretivas (Caldas, 2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Manutenções em redes de distribuição na microrregião de Catolé do Rocha-PB

Baseando-se no primeiro critério de análise, cujo objetivo foi compreender as cidades que mais apresentavam a necessidade de manutenção em suas redes de abastecimento, a Figura 7 ilustra a quantidade de ocorrências de vazamento por município da microrregião de Catolé do Rocha-PB, no período de julho/2023 a junho/2024. Para esse resultado, o filtro considerou todas as ocorrências em períodos diversos do ano, situações externas adversas e todos os tipos de canalizações que foram consertadas, independentemente de diâmetro e pavimentação. Dessa forma, na Figura 7, observa-se unicamente a quantificação das cidades que mais necessitaram dos serviços de retirada de vazamento, assim como as que menos necessitaram.

Figura 7 - Ocorrências de vazamento nas cidades da microrregião de Catolé do Rocha-PB



Fonte: Autor (2024)

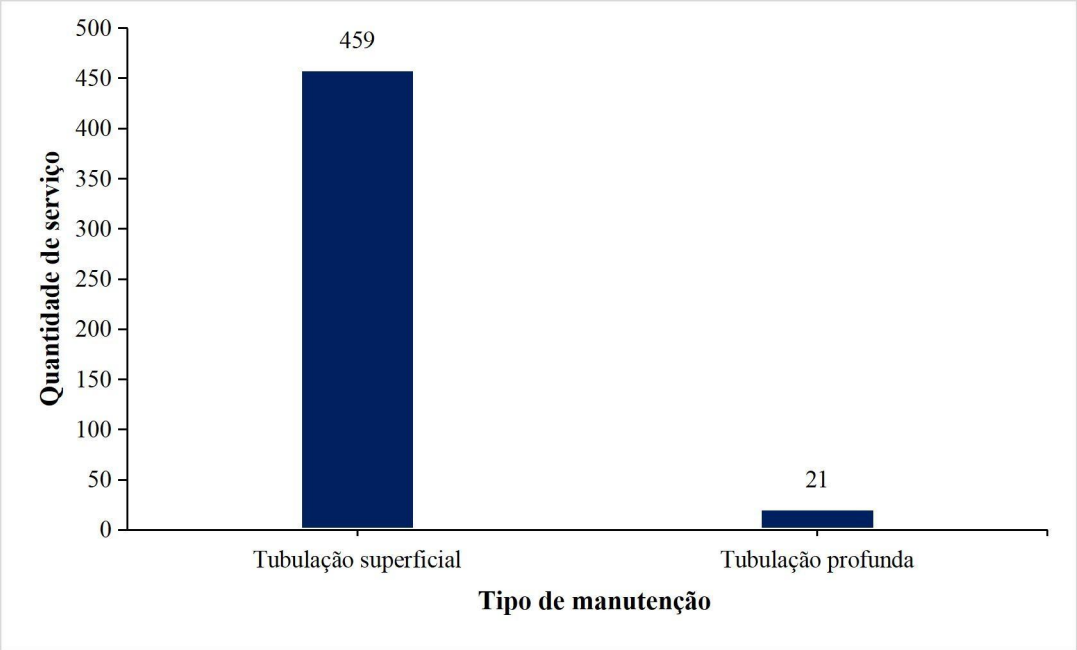
Analisando a Figura 7, é possível notar que os municípios de Catolé do Rocha-PB e São Bento-PB apresentaram uma quantidade considerável de serviços de retirada de

vazamento em comparação às demais cidades, sendo 638 e 466 serviços de manutenção realizados, em tubulações ou ramais, respectivamente. Por outro lado, os municípios de São José do Brejo do Cruz-PB e Mato Grosso-PB foram os que indicaram menos ocorrências de vazamento, com 13 e 25 ocorrências no período estimado, de modo respectivo.

Os municípios de São Bento-PB e Catolé do Rocha - PB, por serem os mais populosos da microrregião, necessitam de uma rede de distribuição mais extensa, e, consequentemente, ficam mais suscetíveis a necessidade de manutenção em suas tubulações em períodos chuvosos, e devido a obras diversas decorrentes do desenvolvimento urbano dessas cidades.

O segundo critério de pesquisa considerou todos os tipos de manutenção em tubulação, sejam elas em vias com ou sem pavimento, e considerou os serviços realizados simultaneamente em todas as cidades da microrregião de Catolé do Rocha-PB, no decorrer de julho/2023 a junho/2024. O critério buscou comparar a quantidade de serviços em tubulações superficiais e tubulações profundas, e ficou evidente que as redes superficiais, ou seja, aquelas que possuem uma profundidade inferior a 1,30 metros, conforme as especificações da CAGEPA, ficam mais suscetíveis a ruptura dos tubos. Na Figura 8 apresenta-se a relação entre a quantidade de serviços e o tipo de tubulação.

Figura 8 - Relação entre manutenção de tubulação superficial e tubulação profunda



Fonte: Autor (2024)

Devido a utilização dos filtros ter generalizado as ocorrências de vazamentos no período estimado, percebe-se que pode haver uma série de fatores capazes de ocasionar esses vazamentos em tubulações, mas também ficou evidente que os mesmos ocorrem com mais frequência em tubulações superficiais. Isso implica dizer que, quanto mais superficial for a tubulação, maiores as chances da sua ruptura ocorrer devido a movimentação no solo por veículos, animais e pessoas, ou até mesmo sua completa exposição devido a erosão do solo em épocas de chuva. Portanto, a profundidade da instalação possui uma relação direta com a proteção da rede, não a deixando exposta a fatores externos que podem ocasionar sua quebra.

De maneira análoga ao critério dois de pesquisa, essas ocorrências de manutenção em tubulações também foram observadas por cidade. A Tabela 2 apresenta a quantidade de ocorrências em tubulações superficiais e tubulações profundas, por cidade, no período de um ano (julho/2023 a junho/2024)

Tabela 2 - Relação entre manutenções de tubulação por cidade

Município	Tubulação superficial	Tubulação profunda
Belém do Brejo do Cruz	39	6
Bom Sucesso	28	0
Brejo do Cruz	72	2
Brejo dos Santos	19	0
Catolé do Rocha	160	7
Jericó	30	1
Lagoa	20	1
Mato Grosso	6	0
Riacho dos Cavalos	7	0
São Bento	74	4
São José do Brejo do Cruz	4	0

Fonte: Autor (2024)

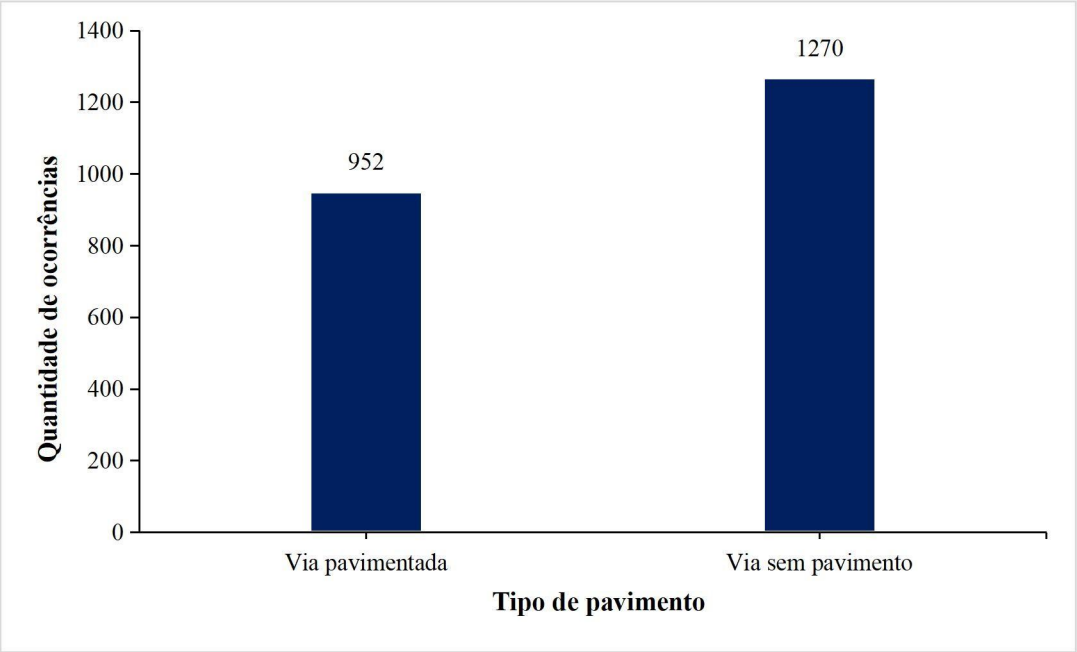
Observando a Tabela 2, verifica-se que os municípios de Catolé do Rocha-PB, São Bento-PB e Brejo do Cruz-PB apresentaram uma maior quantidade de ocorrências em comparação às demais cidades, sendo 160, 74 e 72 serviços de retirada de vazamento em tubulações profundas, respectivamente. Por outro lado, Riacho dos Cavalos-PB, Mato Grosso-PB e São José do Brejo do Cruz-PB foram os municípios com menos serviços de manutenção em tubulações superficiais realizados, com 7, 6 e 4 ocorrências, respectivamente.

Além disso, observa-se que as ocorrências de manutenção em tubulações profundas ocorreram apenas nos municípios de Catolé do Rocha-PB, Belém do Brejo do Cruz-PB, São Bento-PB, Brejo do Cruz-PB, Jericó-PB e Lagoa-PB, evidenciando, assim, uma redução considerável de ocorrências em relação às manutenções em tubulações superficiais.

As tubulações são as canalizações cujo diâmetro é igual ou superior a 50mm, e, quando há uma ocorrência de vazamento nesses tubos ou conexões, há a necessidade da interrupção do abastecimento de um determinado setor ou de todo o abastecimento da cidade até que o problema seja resolvido, para evitar maiores desperdícios da água. Logo, as tubulações superficiais acabam se tornando responsáveis pela maior parte de falta de água devido aos serviços de retirada de vazamento. Khanlawia *et al* (2022) evidenciam que o rompimento das tubulações ocorre principalmente pelo fato dessas redes estarem a uma profundidade inferior ao recomendado. E, de maneira análoga, Rodrigues e Szlafsztein (2021) apontaram que, entre as causas mais comuns para interrupções no abastecimento de água, encontram-se os vazamentos e manutenções no sistema de abastecimento.

O terceiro critério de pesquisa avaliado considerou tanto as ocorrências em ramais quanto em tubulações, também, no período de junho/2023 a junho/2024, e considerou todas as cidades simultaneamente nos filtros de pesquisa. Para esse critério, foi possível observar se as ocorrências de retirada de vazamento decorrem mais em vias pavimentadas ou em vias sem pavimento. A Figura 9 apresenta a relação entre quantidade de ocorrências e tipo de pavimento.

Figura 9 - Relação entre quantidade de ocorrências e tipo de pavimento

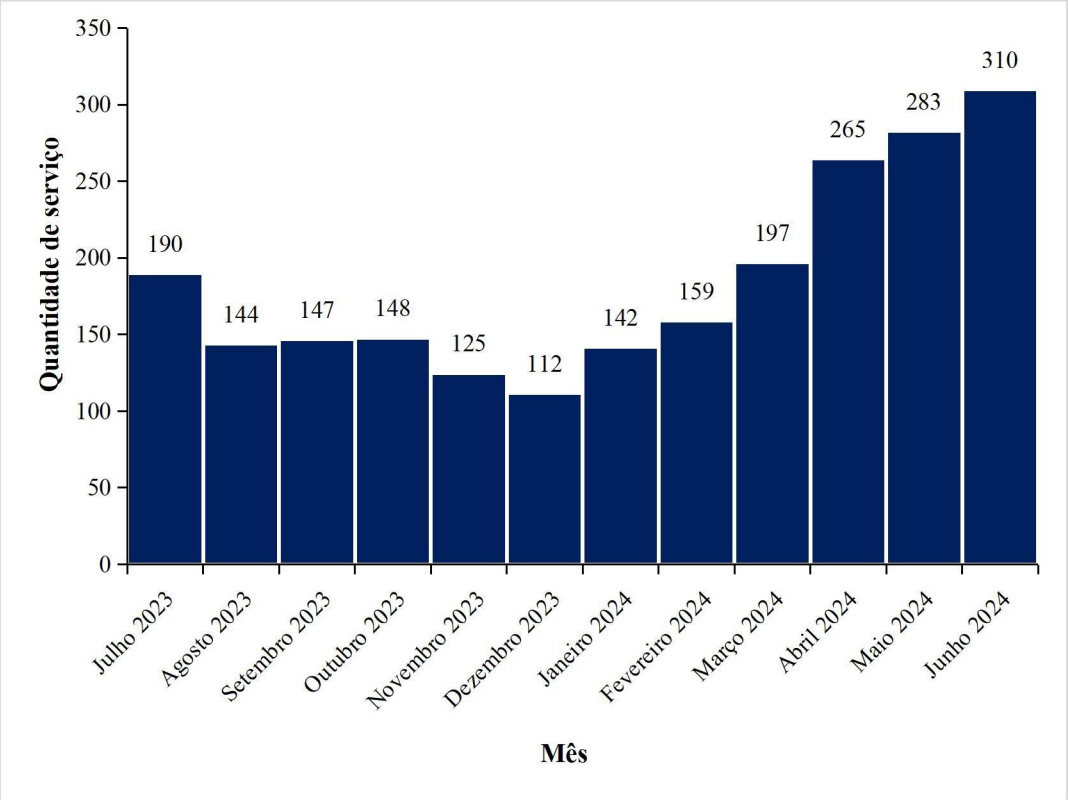


Fonte: Autor (2024)

Observando a diferença na quantidade de ocorrências, ficou claro que os vazamentos acontecem mais em canalizações instaladas em vias sem pavimento. A ausência de pavimentação, se considerar tubulações mais superficiais, pode possuir uma influência na proteção dessas redes, podendo ocasionar sua completa exposição e ruptura do tubo quando há movimentação no solo.

Por fim, a análise do último critério permitiu avaliar a quantidade de ocorrências de vazamento em cada mês, nos meses de julho/2023 a 30 de junho/2024. Destaca-se que possíveis fatores externos que podem ocasionar a necessidade dessas manutenções, como a quebra dos tubos devido ao período chuvosos na região. Ou seja, quando chove, tubos rasos podem ficar expostos e frágeis, facilitando sua quebra conforme a movimentação de veículos, animais e pessoas nesses locais. A Figura 10 ilustra a relação entre a quantidade de ocorrências e mês do ano.

Figura 10- Relação entre quantidade de ocorrências e mês do ano



Fonte: Autor (2024)

A Figura 10 mostra que, no tempo analisado, houve uma redução nos vazamentos no período de julho a dezembro de 2023. E, da mesma forma, houve um aumento gradativo na quantidade de manutenções realizadas a partir de janeiro de 2024. Os resultados obtidos são condizentes com os relatados por Melo e Lima (2021), que caracterizaram a chuva na microrregião de Catolé do Rocha-PB e observaram os meses de fevereiro a maio com os maiores registros de chuvas, assim como os meses de agosto a novembro compondo o período de estiagem do ano.

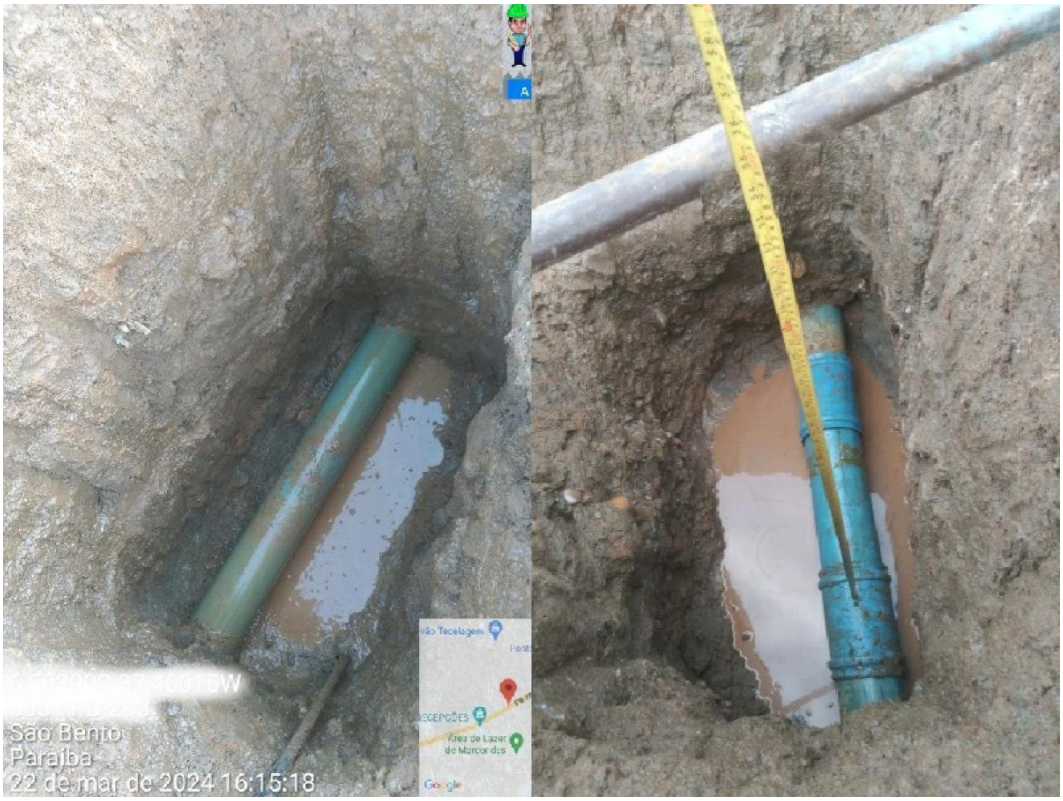
Ficou evidente uma relação entre o período de chuvas na região semiárida e a quantidade de manutenção de tubulações realizadas, mesmo que haja outros fatores capazes de ocasionar vazamentos nas redes. Ainda, houve uma redução nas ocorrências de retirada de vazamento no período de estiagem na região.

Além disso, considerando que as chuvas irregulares na região possuem uma tendência a desproteger as tubulações superficiais e instaladas em vias sem pavimentos, como foi observado nos critérios 2 e 3 da pesquisa, o período de chuvas na microrregião de Catolé do Rocha-PB possui uma influência no aumento de ocorrências de falta de água para a população, gerando um desperdício de água em função dos vazamentos e potencial risco de acidentes antes e depois dos serviços de manutenção.

A base de dados do aplicativo CT-Manutenção possibilitou uma compreensão clara dos serviços de retirada de vazamento que ocorrem na microrregião de Catolé do Rocha-PB. Além disso, sua base de dados possibilitou consultas de imagens das execuções dos serviços de retirada de vazamento, facilitando a identificação da ocorrência. A Figura 11 refere-se a uma manutenção em uma tubulação profunda realizada no município de São Bento-PB, para retirada de vazamento.

A utilização de dados, como os do aplicativo da PSS Engenharia, pode ser um aliado à elaboração de medidas para reduzir a incidências de vazamentos nas redes, bem como ser útil para alcançar uma distribuição eficiente da água disponibilizada para o abastecimento da população.

Figura 11- Serviço de manutenção em tubulação na cidade de São Bento-PB



Fonte: Arquivo da PSS Engenharia (2024)

5.2. Perdas de água nos municípios da microrregião de Catolé do Rocha - PB

Na Tabela 3, estão apresentadas as perdas de água na etapa de distribuição para as cidades estudadas. Ressalta-se que o indicador utilizando foi o IN049, do SNIS (2022).

Portela *et al* (2023) recomendam a utilização de tal indicador IN049 em razão da sua relevância para a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Com base nos dados do SNIS (2022), a média de perdas de água no estado da Paraíba é de 37,01%, e no Brasil de 37,78%. Diante disso, constatou-se que sete municípios da microrregião estudada apresentaram perdas de água na distribuição acima da média estadual e nacional, incluindo Catolé do Rocha-PB, que também foi uma das cidades que mais exibiram vazamentos em seus sistemas de distribuição. Além disso, os municípios de Belém do Brejo do Cruz-PB, Brejo do Cruz-PB, Jericó-PB, Lagoa-PB, Mato Grosso-PB e São José do Brejo do Cruz-PB revelaram índices de perdas de água acima da média.

Tabela 3 - Índice de perdas de água na distribuição, por município

Município	Perdas na Distribuição - IN049 (%)
Belém do Brejo do Cruz	43,24
Bom Sucesso	27,63
Brejo do Cruz	53,27
Brejo dos Santos	35,70
Catolé do Rocha	54,58
Jericó	51,87
Lagoa	43,44
Mato Grosso	40,28
Riacho dos Cavalos	-
São Bento	35,52
São José do Brejo do Cruz	44,26

Fonte: SNIS (2022)

Foi observado, comparando a Tabela 3 com a Figura 7, que nem todos os municípios apresentaram índices de perdas de água na distribuição condizentes com os resultados obtidos por meio do aplicativo CT- Manutenção no que se refere aos serviços de vazamentos. São Bento-PB, por exemplo, apresentou um índice de perdas de 35,53%, inferior aos dos municípios de Mato Grosso-PB e São José do Brejo do Cruz-PB, que apresentaram os índices de 40,28% e 44,26%, respectivamente. Uma possível explicação para isso é que os dados de retirada de vazamento coletados são referentes unicamente aos serviços prestados pela

empresa PSS Engenharia à CAGEPA, desconsiderando outros serviços de retirada de vazamento que podem ocorrer ao longo do ano.

5.3. Avaliação de impactos ambientais

5.3.1. Identificação das atividades impactantes

A identificação das atividades impactantes associados aos vazamentos em redes de abastecimento de água reforça a importância de uma avaliação dos impactos ambientais. Logo, esses impactos podem se manifestar desde o momento da ocorrência do vazamento até as etapas subsequentes, incluindo a retirada e as ações pós-vazamento. Para uma melhor compreensão desses efeitos, foi elaborada a matriz de atividades relacionando os fatores ambientais atingidos, conforme pode ser visto no Quadro 6.

Quadro 6 - Matriz de atividades impactantes decorrentes de vazamentos de redes

Etapas	**Atividades impactantes**	**Meio físico**			**Meio biótico**		**Meio antrópico**		
		Ar	**Solo**	**Água**	**Fauna**	**Flora**	**Qualidade de vida**	**Saúde**	**Economia**
Durante a ocorrência	Ruptura do tubo		X	X			X	X	
Durante a retirada do vazamento	Emprego de mão-de-obra						X		X
	Escavação da vala		X		X			X	
	Conserto do tubo			X			X	X	
Após a retirada de vazamento	Sinalização da vala		X					X	
	Reposição de pavimento		X				X		

Fonte: Autor (2024)

No Quadro 6, fica evidente a quantidade de atividades identificadas para os meios físico, biótico e antrópico. Nota-se que o meio antrópico foi o mais afetado com os serviços de manutenção em redes de distribuição. No meio físico, as alterações identificadas são igualmente distribuídas no solo e na água. No meio biótico, foram destacadas alterações

unicamente na fauna. E, no meio antrópico, existem alterações tanto na qualidade de vida quanto na saúde da população.

5.3.2. Identificação e classificação simplificada dos impactos ambientais

Nos Quadros 7, 8 e 9, encontram-se a identificação e a classificação dos impactos ambientais resultantes das atividades impactantes elencadas no Quadro 6.

Quadro 7 - Matriz de classificação dos impactos na etapa "Durante a ocorrência"

Atividades	**Impactos ambientais**	**Critérios de classificação**		
		Valor	**Reversibilidade**	**Potencial de Mitigação**
Ruptura do tubo	Desperdício da água	N	IR	M
	Redução da pressão da água nos ramais domiciliares	N	RE	M
	Contaminação da água através da ruptura do tubo	N	IR	NM
	Alagamento de áreas próximas ao vazamento ou de ruas	N	IR	M

Fonte: Autor (2024)

Quadro 8 - Matriz de classificação dos impactos na etapa "Durante a retirada de vazamento"

Atividades	**Impactos ambientais**	**Critérios de classificação**		
		Valor	**Reversibilidade**	**Potencial de**
Emprego de mão-de-obra	Geração de emprego e renda	P	-	-
Escavação da vala	Perturbação da fauna	N	RE	M
	Risco de acidentes	N	RE	M
Conserto do tubo	Interrupção do abastecimento de água	N	IR	M
	Troca do material danificado	P	-	-

Fonte: Autor (2024)

Quadro 9 - Matriz de classificação dos impactos na etapa “Após a retirada de vazamento”

Atividades	Impactos ambientais	Critérios de classificação		
		Valor	Reversibilidade	Potencial de Mitigação
Sinalização da vala	Obstrução do tráfego	N	RE	M
	Risco de acidente	N	RE	M
	Impacto visual	N	RE	M
Reposição de pavimento	Liberação da via sinalizada	P	-	-
	Risco de contaminação do solo com restos de materiais da vala	N	IR	M

Fonte: Autor (2024)

Analisando o Quadro 7, no qual é relatado os impactos ambientais decorrentes de vazamentos em redes de abastecimento, percebe-se que, durante a etapa de ocorrência, a redução da pressão nas redes tem um impacto direto na qualidade de vida da população. Outro fator preocupante observado é o potencial de contaminação da água, que pode ocorrer durante o processo de conserto, uma vez que no tubo rompido pode adentrar materiais adversos do ambiente externo, representando um risco significativo para a saúde pública. Conforme apontado por Vieira e Morais (2005), a contaminação da água pode ser consequência de diversas falhas operacionais, como transientes hidráulicos, operações inadequadas de reparo, manutenção e limpeza de reservatórios, além de pressões inadequadas e infiltrações na rede de distribuição.

O desperdício da água também afeta a economia, pois a empresa responsável pelo abastecimento precisará tratar novamente a água perdida, elevando os custos operacionais. Nesse sentido, Carneiro *et al*. (2018) reforçam a importância de se reduzir as perdas de água, já que esse fator está associado ao desperdício tanto de recursos hídricos quanto financeiros, resultando em prejuízos socioambientais e econômicos significativos.

Durante a etapa de retirada do vazamento, observados no Quadro 8, novos impactos ambientais se manifestam, sendo a interrupção do abastecimento de água um dos mais preocupantes. Conforme observado por Francalanza e Freire (2015), esse problema é ainda mais acentuado em áreas periféricas, onde o abastecimento já é limitado. Além disso, o

desperdício de água pode agravar essa situação, uma vez que a quantidade de água tratada se torna insuficiente para atender às demandas.

Apesar da maioria dos impactos identificados serem negativos, também, foram observados impactos positivos. Na etapa “Durante a retirada do vazamento”, há a geração de emprego com as equipes de manutenção contratadas na empresa terceirizada. E, com a operação de retirada do vazamento, o material danificado, que por vezes trata-se de um material antigo e desgastado, é substituído por peças novas e mais resistentes, e que teoricamente evitarão a incidência de novos vazamentos.

Outrossim, ainda no Quadro 8, destaca-se a obstrução do tráfego devido às obras, que afeta diretamente a mobilidade urbana, impactando negativamente a qualidade de vida e causando prejuízos econômicos, especialmente para comerciantes e trabalhadores da região.

Mesmo após a retirada do vazamento, os problemas podem continuar, como apontados o Quadro 9. Logo, a remoção do solo para realizar a manutenção pode resultar em poluição devido a sinalização das valas, afetando a qualidade do solo e trazendo riscos ambientais adicionais causados tanto pelo próprio vazamento quanto pelas obras de reparo que continuam a representar um risco potencial.

Adicionalmente, há o risco de acidentes após o processo de conserto caso a vala não possua uma sinalização eficaz, ocasionando também a obstrução do tráfego. Essas situações geram custos operacionais elevados e causam transtornos para a população, reforçando a importância de um planejamento preventivo eficaz que minimize a recorrência desses impactos e melhore a segurança e eficiência das operações.

Na etapa “Após a retirada do vazamento” (Quadro 9), há a liberação da via sinalizada como impacto positivo. Uma vez que a empresa possui um prazo para repor o pavimento, quando necessário, o processo de espera, com a vala sinalizada, pode ocasionar uma dificuldade do tráfego de veículos e, consequentemente, risco de acidentes. Entretanto, uma vez que esses pavimentos são repostos, a movimentação na via e o impacto visual passa a ser normalizado.

5.3.3. Medidas de controle ambiental

De modo a facilitar a proposição de medidas de controle ambiental foram enumerados todos os impactos ambientais negativos identificados, assim como suas atividades

equivalentes. Observa-se, no Quadro 10, os dez impactos ambientais classificados como "negativos" resultantes dos Quadros 7, 8 e 9.

Quadro 10 - Impactos ambientais negativos

N°	Impacto ambiental	Atividade equivalente
1	Desperdício da água	Ruptura do tubo
2	Redução da pressão da água nos ramais domiciliares	
3	Contaminação da água através da ruptura do tubo	
4	Alagamento de áreas próximas ao vazamento ou de ruas	
5	Perturbação da fauna	Escavação da vala
6	Interrupção do abastecimento de água	Conserto do tubo
7	Obstrução do tráfego	Sinalização da vala
8	Risco de acidente	
9	Impacto visual	
10	Risco de contaminação do solo com restos de materiais na vala	Reposição de pavimento

Fonte: Autor (2024)

Identificados os impactos negativos, as medidas de controle ambiental foram propostas para contribuir para a redução de vazamentos em redes de distribuição e os principais impactos associados.

As medidas corretivas estão presentes no Quadro 11, cuja numeração dos impactos correspondem à numeração estabelecida no Quadro 10. De maneira análoga, as medidas preventivas estão presentes no Quadro 12.

Quadro 11 - Medidas corretivas

Medidas de correção	Impactos corrigidos
Monitoramento do registro do setor do vazamento	1, 3 e 4
Retirada do vazamento	1, 2, 3, 4 e 5
Reposição do pavimento em prazos reduzidos	4, 6, 7 e 8
Limpeza completa da vala antes do aterro	8 e 9
Padronização da sinalização da vala	6, 7 e 8

Fonte: Autor (2024)

Quadro 12 - Medidas preventivas (continua)

Medidas de prevenção	Impactos prevenidos
Instalação da tubulação em profundidade e pavimentação adequadas	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10

Fonte: Autor (2024)

Quadro 12 - Medidas preventivas (conclusão)

Medidas de prevenção	Impactos prevenidos
Estudo das instalações antes de obras de pavimentação	1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 e 10
Substituição da rede de distribuição por materiais novos e mais resistentes	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10
Elaboração de proteção mecânica em redes superficiais instaladas em vias sem pavimentação	1, 2, 3, 4, 5 e 6

Fonte: Autor (2024)

Como observado no Quadro 11, os próprios serviços de retirada de vazamento podem ser identificados como medidas corretivas, uma vez que garantem o controle do desperdício de água decorrente da ruptura das tubulações. Entretanto, se a instalação continuar em um ambiente que provoque essas ocorrências, como o que foi observado nos critérios de pesquisa 2 e 3, a problemática será recorrente, ocasionando todos os demais impactos associados.

Além disso, foi observado, no Quadro 11, que as medidas corretivas possuem uma influência no risco de acidentes e impactos visuais devido a sinalização da vala até a reposição do pavimento. Portanto, além dessas reposições precisarem ocorrer em um curto período de tempo após a retirada do vazamento, também é necessário o monitoramento para que a vala seja completamente limpa e não restem materiais que possam comprometer a qualidade do solo.

De acordo com o Quadro 12, as medidas preventivas possuem uma grande influência em todos os impactos ambientais que ocorrem devido o surgimento de vazamentos e reparo das redes de distribuição. Portanto, uma vez que a rede de distribuição passa por manutenções para intensificar sua proteção, antes do surgimento de vazamentos, todos os demais impactos também são evitados.

6. CONCLUSÕES

Este estudo evidenciou que os vazamentos em tubulações de abastecimento de água são causados principalmente por instalações inadequada das redes, especialmente em áreas onde estas são superficiais e estão localizados em vias sem pavimentação. Além disso, outro fator relevante é o fato de que as chuvas irregulares e intensas típicas das regiões semiáridas provocam erosões que deslocam e danificam as canalizações, agravando o problema.

De modo a mitigar essas ocorrências, a CAGEPA pode adotar medidas preventivas em regiões que apresentam uma quantidade considerável de ocorrências de vazamento seguindo os mesmos padrões de possíveis causas. Portanto, projetos futuros podem estudar a viabilidade de rebaixar as tubulações que não estão a uma profundidade adequada, conforme as espeficações da CAGEPA, assim como providenciar proteções mecânicas para as redes expostas em vias sem pavimento, minimizando o risco de danos externos.

Além disso, a coordenação entre as obras de pavimentação e as redes de abastecimento também é necessária para evitar que novas intervenções, indispensáveis para o desenvolvimento socioeconômico dos municípios, comprometam as tubulações existentes. Esse tipo de medida preventiva evitará que redes e ramais sejam quebrados em alta escala.

Uma vez que as medidas preventivas são adotadas, ao reduzir o índice de vazamentos na microrregião de Catolé do Rocha-PB, consequentemente, o índice de acidentes, interrupção no abastecimento de água e custos operacionais com manutenções corretivas serão reduzidos significativamente. Ademais, torna-se possível prolongar a vida útil das infraestruturas e garantir uma melhor eficiência na distribuição de água, especialmente em regiões de clima semiárido, como visto na microrregião de Catolé do Rocha-PB, onde a escassez hídrica exige uma gestão cuidadosa dos recurso.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – SEÇÃO ESPÍRITO SANTO (ABES-ES). Perdas de água em sistemas de abastecimento: índices e nova tecnologia. Disponível em: <https://abes-es.org.br/perdas-de-agua-em-sistemas-de-abastecimento-indices-e-nova-tecnologia/>. Acesso em: 20 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. NBR 12216, 1992. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. NBR 12211, 1992. 14 p.

AZEVEDO NETTO, José; FERNÁNDEZ, Miguel. Manual de Hidráulica. São Paulo: Editora Edgard Bluchder LTDA, 1998.

BAEN, Luan *et al*. Sistema público de água potável: Partes constituintes e suas deficiências. In: III COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR E I CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR. Mineiros, 2018. Disponível em: <https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/coloquio/article/view/408>. Acesso em: 10 out. 2024.

BARBOSA, R. P. Avaliação de Risco e Impacto Ambiental. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2014.

BEZERRA, Saulo; CHEUNG, Peter. PERDAS DE ÁGUA - Tecnologias de Controle. 1° Edição. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.

BEZERRA, Saulo; PERTEL, Monica; MACÊDO, José. Avaliação de desempenho dos sistemas de abastecimento de água no Agreste brasileiro. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 249-258, jul./set. 2019. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/ac/a/cbQSDcPdLYSzvqGBrPXtPCD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 set. 2024.

BOLETIM DO SANEAMENTO. Gestão de perdas. Disponível em: <https://boletimdosaneamento.com.br/gestao-de-perdas/>. Acesso em: 20 out. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Publicada no Diário Oficial da União [DOU], Brasília, DF, 17 de fevereiro de 1986.

BRASIL. 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 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Do SNIS ao SINISA: Informações para planejar o abastecimento de água. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/cadernos-tematicos/DO_SNIS_AO_SINISA_AGUA_SNIS_2019_REPUBLICACAO_compressed.pdf>. Acesso em: 21 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Mapa de Abastecimento de Água. Disponível em: <http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/agua_esgoto/mapa-agua?codigo=2504306>. Acesso em: 20 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano. Módulo II: abastecimento de água. Aula 2: etapas do abastecimento de água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basiso_vigiliancia_qualidade_agua_modulo_II_aula_2.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS N° 888, de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2021.

BRITO, Ary. Reduzindo perdas em sistemas em sistemas de abastecimento com tecnologia avançada. 2023. Disponível em: <https://www.nivetec.com.br/reduzindo-perdas-de-agua/?utm_source=googleads&utm_medium=search&utm_campaign=dsa&utm_term=&gad_source=1>. Acesso em: 24 set. 2023.

CALDAS, Ricardo Melito (org.). Gerenciamento dos aspectos e impactos ambientais. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2019. *E-book*. Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 25 out. 2024.

CARNEIRO, Marta *et al*. A gestão do saneamento no Brasil e sua relação com a gestão de recursos hídricos. INOVAE, v. 6, p.100-116, jan./dez. 2018.

CARVALHO, Rafael Santos. Investimentos em controle de perdas dos sistemas de abastecimento de água nas bacias hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Orientador: Prof. Assoc. Tadeu Fabrício Malheiros. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-20102023-181820/publico/DissertacaoRafaelSantosCarvalhoVersaoCorrigida.pdf>. Acesso em: 17 out. 2024.

CONEGUNDES, Gustavo. Os principais tipos de tubulações e conexões hidráulicas. Portobello Engenharia, 2023. Disponível em:

<https://www.portobelloengenharia.com.br/os-principais-tipos-de-tubulacoes-e-conexoes-hidraulicas/>. Acesso em: 17 out. 2024.

DYSARZ, Joana; GOETTEN, Willian. O impacto da redução das perdas de água de água nos sistemas de abastecimento dos municípios da região nordeste do estado de Santa Catarina. Revista Unicrea, Florianópolis, v.1, n. 2, p. 192-222, mai/ago. 2023. Disponível em: <https://revistaunicrea.crea-sc.org.br/index.php/revistaunicrea/article/view/32/47>. Acesso em 3 set. 2024.

FACCIOLI, Ana. Otimização energética em sistemas de abastecimento de água utilizando o EPANET. Dissertação (Mestrado em Energia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ab543a5f-912f-4a5c-af01-00e046734b73/content>. Acesso em 3 set. 2024.

FELINTO FILHO, Genilson Gomes. Sistema automatizado de macromedição para redes de abastecimento de água. 2023. Dissertaçaõ (Mestrado em Engenharia de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2023. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/32603/1/GENILSON%20GOMES%20FELINTO%20FILHO%20-DISSERTAC%c3%83O%20%28PPGEGRN%29%202023.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

FOGLIATTI, Maria; FILIPPO, Sandro; GOUDARD, Beatriz. Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

FRACALANZA, Ana Paula; FREIRE, Thais. Crise da água na Região Metropolitana de São Paulo: a injustiça ambiental e a privatização de um bem comum. Geousp Espaço e Tempo (Online), 19(3), 464-478, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/302054772_Crise_da_agua_na_Regiao_Metropolitana_de_Sao_Paulo_a_injustica_ambiental_e_a_privatizacao_de_um_bem_comum/fulltext/573906ed08aea45ee83ec1f0/Crise-da-agua-na-Regiao-Metropolitana-de-Sao-Paulo-a-injustica-ambiental-e-a-privatizacao-de-um-bem-comum.pdf>. Acesso em 14 out. 2024.

FRANCO, Lorena Cruz. Avaliação dos impactos ambientais da usina UHE Engenheiro Sérgio Motta através da Matriz de Leopold. 2024. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Faculdade de Engenharia e Ciências, Universidade Estadual Paulista, Rosana. 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/>. Acesso em 16 out. 2024.

FRITZ, Rodrigo; GIMENES, Julia; PINA FILHO, Armando. Um estudo da automação para redução de perdas na rede de distribuição de água. Brazilian Journal of Development, v.6, n.8, p. 56408-56416, ago. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/14736/12196>. Acesso em 11 set. 2024.

GARCIA, Ana Julia; TEIXEIRA, Wagner. Análise preliminar de viabilidade de implantação de um sistema de abastecimento de água próprio para atender o município de Navegantes. REFS – Revista Eletrônica da Faculdade Sinergia, Navegantes, v. 14, n. 24, p. 56- 71, jul./dez. 2023.

GARCIA, Katia Cristina. Avaliação de impactos ambientais. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2014. *E-book*. Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 25 out. 2024.

GOMES, H.P. Sistemas de Abastecimento de Água. 3ª ed. Paraíba Universitária. Universidade Federal da Paraíba 277 p. 2009.

GRAFF, Neimar. Análise e dimensionamento de uma rede de abastecimento de água existente em uma localidade rural do município de Arroio de Meio-RS visando sua otimização operacional. 2019. 105 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2019. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/5457df63-f2d0-43a0-992d-752ac124013d/content>. Acesso em 2 out. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Catolé do Rocha*. IBGE Cidades e Estados, (2022). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/catole-do-rocha.html>. Acesso em: 6 out. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). Semiárido brasileiro. Gov.br, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>. Acesso em: 16 out. 2024.

KHANLAWIA, António *et al*. Avaliação das perdas de água em redes de distribuição: Município de Chimoio, Moçambique. Research, Society and Develoment,v.11, n.6, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/360092135_Avaliacao_das_perdas_de_agua_em_redes_de_distribuicao_Municipio_de_Chimoio_Mocambique>. Acesso em 7 out. 2024.

LIMA, Gustavo. Microgeração em Sistemas de Abastecimento de Água. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/963/3/dissertacao_lima1_2013.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024.

MELO, Valneli; LIMA, Lourivaldo. Caracterização da Chuva da Microrregião de Catolé do Rocha no Estado da Paraíba Baseada em Estatística Aplicada. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 1, 97-106, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/jPKwcCbkhrDjXtcchSkgbpd/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em 20 ago. 2024.

NEOWATER. Tipos de captação de água. NeoWater, 2024. Disponível em: < https://www.neowater.com.br/post/captacao-agua#:~=em%20seu%20estabelecimento%3A-

,Tipos%20de%20capta%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%A1gua,de%20len%C3%A7%C3%B3is%20e%20aqu%C3%ADferos%20subterr%C3%A2neos>. Acesso em: 2 out. 2024.

OLIVEIRA, G. et al. Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanços da Eficiência do Saneamento. p. 113, 2018.

OLIVEIRA, Walace. Plano de segurança de água para o sistema de abastecimento da cidade de Pombal. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2023. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/34876>. Acesso em 6 ago. 2024.

PEREIRA, Sansara; TINÔCO, Juliana. Avaliação das perdas de água em sistema de abastecimento de água: Estudo do setor parque das nações, Parnamirim/RN. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). Gesta, v. 19, n. 3, p. 32-45, mai/set. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/44564/25713>. Acesso em: 10 set. 2024.

PORTELA, Raphael; COSTA, Reginaldo; CORREIA, Jonas. Análise das perdas nos sistemas de abastecimento de água nos municípios de Mato Grosso do Sul. Geofronter, v.9, p. 01-23, 2023. Disponível em: <https://www.academia.edu/124143408/An%C3%A1lise_Das_Perdas_Nos_Sistemas_De_Abastecimento_De_%C3%81gua_Nos_Munic%C3%ADpios_Do_Mato_Grosso_Do_Sul>. Acesso em: 1 out. 2024.

PORTO, Rodrigo. HIDRÁULICA BÁSICA. 4° Edição. São Paulo: EESC - USP, 2006.

RODRIGUES, Tayná; SZLAFSTEIN, Claudio. Medidas adaptativas autônomas diante a falha no abastecimento de água em Belém - PA. Revista GeoAmazônia, v.9, n.18, p. 99-177, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/12816>. Acesso em: 23 set. 2024.

SÁNCHEZ, Luis. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 3ª ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2020.

SANTANA JUNIOR, Fernando; PEDREIRO, Marcelo. Avaliação e dimensionamento hidráulico de um sistema de abastecimento de água em zona rural. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 10, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/12191/5661> . Acesso em: 22 ago. 2024.

SOUZA JUNIOR, José; VATAVUK, Paulo. Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água. Revists DELOS, v.16, n.42, p. 445-470, 2023. Disponível em:

<https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/818/750>. Acesso em: 16 set. 2024.

TESTEZLAF, Roberto; MATSURA, Edson. Engenharia de Irrigação: Tubos e Acessórios. Campinas: Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola, 2015.

VIEIRA, José; MORAIS, Carla. Planos de segurança em sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Universidade do Minho, v.7, p. 178, 2005.