

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MARILY LIMA DA CONCEIÇÃO**

**TECNOLOGIAS PARA A DETECÇÃO DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUAS: ESTUDO DE CASO EM UM MUNICÍPIO DO TOCANTINS**

**PONTA GROSSA**

**2024**

**MARILY LIMA DA CONCEIÇÃO**

**TECNOLOGIAS PARA A DETECÇÃO DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUAS: ESTUDO DE CASO EM UM MUNICÍPIO DO TOCANTINS**

**Technologies for detecting loss in water distribution: case study in a  
municipality in Tocantins**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Regina Negri Pagani

Co Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Eliane Fernandes

**PONTA GROSSA**

**2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Ponta Grossa

---



MARILY LIMA DA CONCEIÇÃO

**TECNOLOGIAS PARA A DETECÇÃO DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUAS: ESTUDO DE CASO EM UM MUNICÍPIO DO TOCANTINS**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Regina Negri Pagani  
Co Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Eliane Fernandes

Data de aprovação: 21 de Outubro de 2024

Dra. Regina Negri Pagani, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Dr. Antonio Augusto De Paula Xavier, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Dr. Fernando Henrique Lermen, Doutorado - Universidade Estadual do Paraná (Unespar)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 24/10/2024.

[https://sistemas2.utfpr.edu.br/dpls/sistema/aluno06/mpCADEDocsAssinar.pcTelaAssinaturaDoc?p\\_pesscodnr=249564&p\\_cadedocpescodnr=344199&p\\_cadedoccodnr=354169&p\\_cargo=&p\\_tipo=3&p\\_retorno=](https://sistemas2.utfpr.edu.br/dpls/sistema/aluno06/mpCADEDocsAssinar.pcTelaAssinaturaDoc?p_pesscodnr=249564&p_cadedocpescodnr=344199&p_cadedoccodnr=354169&p_cargo=&p_tipo=3&p_retorno=)

Dedico este trabalho à minha família, a todos os meus professores que sempre se dispuseram a me ajudar.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e aos meus queridos pais (*in memoriam*) Luiz e Nemesia, pela vida que eles me deram e por todo apoio durante o período escolar, durante a infância e adolescência, todos os sacrifícios que eles fizeram para que eu conseguisse chegar até aqui, por cada renúncia da sua própria que tiveram que fazer, sou eternamente grata por todo o incentivo e pelos ensinamentos.

Agradecimento especial à minha orientadora Profa. Dra. Regina Negri Pagani, por toda compreensão e condução nos ensinamentos que me passou, por ter se dedicado assiduamente para me auxiliar e, principalmente, por não ter me deixado desistir no momento mais difícil.

À minha coorientadora, a Dr<sup>a</sup>. Eliane Fernandes, que foi essencial na minha pesquisa, sempre me orientando de forma célere e com muita paciência, minha gratidão a você professora.

Ao meu esposo João Duarte Crispim, que foi paciente nos momentos de ausência e dedicação acadêmica;

Ao meu filho Joaquim Pietro Lima Duarte de 6 anos de idade, que apesar da pouca idade, sempre respeitou minha ausência, "mamãe tá estudado".

As minhas lindas filhas Lidia Mel Lima da Conceição e Julyana Lima Duarte, que sempre me incentivaram na concretização dos meus objetivos.

Ao meu mais novo filho, Julian Duarte Lima Duarte, de 7 meses de idade, que veio para acreditar ainda mais no propósito que Deus tem na minha vida.

À banca, pelas orientações, correções e principalmente pelo apoio.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), por prover os recursos e a estrutura com excelência em ensino, para que essa dissertação fosse construída.

Agradeço à Concessionária BRK, por ter me recebido de braços abertos para a realização da pesquisa, por ter proporcionado todo suporte de informações e parte técnica para que a pesquisa fosse realizada.

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Nas últimas décadas as atenções sobre os recursos hídricos têm aumentado a cada ano. Destaca-se a importância da comunidade civil em entender a importância desse recurso nas suas vidas, surgindo, assim, a necessidade de proteção e fiscalização desse importante bem. Temáticas como o combate às perdas de água têm sido temas recorrentes na literatura e nas escolas, tendo em vista a grande relevância para desenvolvimento da eficiência dos sistemas de distribuição em todo o mundo. Estudos indicam que um grande volume de água é perdido, antes mesmo que elas possam chegar no seu consumidor final, ocasionando um incalculável prejuízo para as concessionárias que gerenciam esses sistemas, bem como para a sociedade, que pode vir a sofrer a falta da mesma. A concessionária responsável pelo gerenciamento hídrico do município de Araguaína, localizado no Estado do Tocantins, enfrenta sérios problemas referentes às perdas de água, denominada de perda “física”. Assim, este trabalho tem como objetivo geral mapear novas tecnologias existentes que tratam de detecção de perdas por vazamentos em sistemas de distribuição de água potável. Para alcançar esse objetivo, realizou-se uma revisão sistemática de literatura com a metodologia *Methodi Ordinatio*. O portfólio resultante foi o acervo de materiais teóricos, a partir de onde foram mapeadas as tecnologias existentes para a gestão de perdas. Para completar esse estudo, uma pesquisa de natureza aplicada foi realizada na Secretaria Municipal de Captação e Gestão de Recursos Hídricos, visando identificar as tecnologias atualmente utilizadas na gestão de perdas, e quais poderiam ser adotadas. Os resultados alcançados visam demonstrar quais são as tecnologias mais eficientes no cenário de perdas e quais as facilidades de gestão a mesma trará em ser implementadas no Município.

**Palavras-chave:** tecnologias; recursos hídricos; sistema de distribuição; perdas de água.

## ABSTRACT

In recent decades, attention on water resources has increased every year. The importance of the civil community in understanding the importance of this resource in their lives is highlighted, thus arising the need for protection and supervision that is so important. Topics such as combating water loss have been recurring themes in literature and schools, given their great relevance for developing the efficiency of distribution systems around the world. Studies indicate that a large volume of water is lost, even before it can reach the final consumer, causing incalculable damage to the concessionaires who manage these systems, as well as to society, which may suffer the lack of water. The supervision responsible for water management in the Municipality of Araguaína, located in the State of Tocantins, faced serious problems related to water losses, called “physical” losses. Thus, this work has the general objective of mapping new existing technologies that deal with detecting losses due to leaks in drinking water distribution systems. To achieve this objective, a systematic literature review was carried out using the Methodi Ordinatio methodology. The resulting portfolio was the collection of theoretical materials, from which existing technologies for loss management were mapped. To complete this study, applied research was carried out at the Municipal Department of Water Resources Collection and Management, identifying which technologies are currently used in loss management, and what the obligations could be. The results obtained aim to demonstrate which technologies are most efficient in the loss scenario and which management facilities are the same as being innovative in the Municipality.

**Keywords:** technologies; water resources; distribution system; water losses.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Correlação com a engenharia organizacional .....        | 21 |
| Figura 2 - Mapa da localização do município de Araguaína - TO..... | 22 |
| Figura 3 - Etapas para a construção do acervo de materiais .....   | 49 |
| Figura 4 - Etapas simplificada da pesquisa aplicada.....           | 50 |
| Figura 5 - Sistemas 4Fluid .....                                   | 62 |
| Figura 6 - NIT K718WA-LO.....                                      | 63 |



## **LISTA DE FOTOGRAFIAS**

|                                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Fotografia 1 - Técnico realizando varredura em rede de água para a detecção do vazamento .....</b> | <b>35</b> |
| <b>Fotografia 2 - Sensor inteligente.....</b>                                                         | <b>60</b> |
| <b>Fotografia 3 - Correlacionador de sinais/ruídos .....</b>                                          | <b>61</b> |
| <b>Fotografia 4 - Sistemas de vídeo-Inspeção robotizado .....</b>                                     | <b>62</b> |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 - Evolução de perdas.....       | 67 |
| Gráfico 2 - Tecnologias apresentadas..... | 68 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Distribuição hídrica no Brasil.....                                                        | 16 |
| Quadro 2 - Estrutura do trabalho .....                                                                | 23 |
| Quadro 3 - Detalhamento do consumo de água no Brasil.....                                             | 28 |
| Quadro 4 - Detalhamento de perdas de água no Brasil por Região .....                                  | 29 |
| Quadro 5 - A outorga de direito de uso dos recursos hídricos.....                                     | 30 |
| Quadro 6 - Tipos de perdas .....                                                                      | 33 |
| Quadro 7 - Resumo dos estudos teóricos mais relevantes sobre<br>monitoramento das perdas de água..... | 36 |
| Quadro 8 - Tecnologias para detecção de perdas.....                                                   | 37 |
| Quadro 9 - Classificação da pesquisa .....                                                            | 40 |
| Quadro 10 - Etapas dos procedimentos metodológicos .....                                              | 42 |
| Quadro 11 - Resultados das buscas nas bases de dados.....                                             | 46 |
| Quadro 12 - Resultados das buscas nas bases de dados.....                                             | 47 |
| Quadro 13 - Tecnologias Internacionais utilizadas na redução de perda .....                           | 54 |
| Quadro 14 - Cenários das tecnologias Brasileiras utilizadas na redução de<br>perda .....              | 58 |
| Quadro 15 - Cenário hídrico de Araguaína.....                                                         | 64 |
| Quadro 16 - Consumo e preço .....                                                                     | 65 |
| Quadro 17 - Cenário Eficiência .....                                                                  | 65 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|         |                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------|
| ANA     | Agência Nacional de Água                               |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística        |
| IOT     | Internet das coisas (tipo de tecnologia)               |
| PNRH    | Política Nacional de Recursos Hídricos                 |
| RDAs    | Redes de Distribuição de Água tratada                  |
| SINGREH | Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos |
| SNIS    | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento       |

## SUMÁRIO

|            |                                                             |           |
|------------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                     | <b>14</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Problema de pesquisa .....</b>                           | <b>15</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Objetivos .....</b>                                      | <b>17</b> |
| 1.2.1      | Objetivo geral .....                                        | 17        |
| 1.2.2      | Objetivos específicos.....                                  | 17        |
| <b>1.3</b> | <b>Justificativa.....</b>                                   | <b>18</b> |
| <b>1.4</b> | <b>Inserção na Engenharia de Produção .....</b>             | <b>20</b> |
| <b>1.5</b> | <b>Delimitação da pesquisa.....</b>                         | <b>21</b> |
| 1.5.1      | Limitação da pesquisa.....                                  | 22        |
| <b>1.6</b> | <b>Estrutura do trabalho .....</b>                          | <b>22</b> |
| <b>2</b>   | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                             | <b>24</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Água ou recurso hídrico? .....</b>                       | <b>24</b> |
| 2.1.1      | Classificação das águas.....                                | 24        |
| <b>2.2</b> | <b>Água e qualidade de vida .....</b>                       | <b>26</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Água, sustentabilidade e desenvolvimento .....</b>       | <b>27</b> |
| 2.3.1      | Consumo de água no Brasil .....                             | 28        |
| <b>2.4</b> | <b>Concessionárias de recursos hídricos.....</b>            | <b>29</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Perdas de recursos hídricos .....</b>                    | <b>31</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Modelos utilizados na gestão de perdas .....</b>         | <b>34</b> |
| <b>2.7</b> | <b>Considerações sobre a seção .....</b>                    | <b>38</b> |
| <b>3</b>   | <b>METODOLOGIA .....</b>                                    | <b>39</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Caracterização e organização da pesquisa .....</b>       | <b>39</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Revisão sistemática de literature.....</b>               | <b>44</b> |
| 3.2.1      | Análise bibliométrica.....                                  | 49        |
| 3.2.2      | Análise de conteúdo .....                                   | 49        |
| <b>3.3</b> | <b>Pesquisa aplicada .....</b>                              | <b>50</b> |
| 3.3.1      | Universo/contexto da pesquisa aplicada .....                | 51        |
| 3.3.2      | Análise das informações coletadas na pesquisa aplicada..... | 51        |
| <b>3.4</b> | <b>Considerações sobre a seção .....</b>                    | <b>51</b> |
| <b>4</b>   | <b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>              | <b>53</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Resultado da revisão da literatura .....</b>             | <b>53</b> |

|            |                                                                                         |           |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.1      | Mapeamento das tecnologias utilizadas na gestão de perdas dos recursos hídricos .....   | 53        |
| <b>4.2</b> | <b>Tecnologias de redução de perdas utilizadas em concessionárias brasileiras .....</b> | <b>58</b> |
| 4.2.1      | Sistemas de águas inteligentes .....                                                    | 59        |
| 4.2.2      | Correlacionador de sinais/ruídos .....                                                  | 60        |
| 4.2.3      | Sistemas de Vídeo-Inspeção robotizado .....                                             | 61        |
| 4.2.4      | Sistemas 4Fluid .....                                                                   | 62        |
| 4.2.5      | Detector de Vazamento de Água NIT K718WA-LO .....                                       | 62        |
| 4.2.6      | Softwares de planejamento .....                                                         | 63        |
| <b>4.3</b> | <b>Resultado da Pesquisa aplicada .....</b>                                             | <b>64</b> |
| 4.3.1      | Compreendendo o cenário dos recursos hídricos em Araguaína – TO ..                      | 64        |
| 4.3.2      | Resultados do questionário .....                                                        | 66        |
| <b>4.4</b> | <b>Discussão .....</b>                                                                  | <b>69</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                                                  | <b>72</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>                                           | <b>73</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                 | <b>74</b> |
|            | <b>APÊNDICE A - Formulário de perguntas abertas .....</b>                               | <b>83</b> |
|            | <b>APÊNDICE B - Portifólio de Artigos.....</b>                                          | <b>85</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento vital para todos os seres vivos, sendo, assim, de caráter essencial, principalmente para a saúde e o bem-estar da humanidade. A água participa de todos os processos envolvidos no equilíbrio dos ecossistemas, sendo, portanto, fundamental para a vida na Terra. Diante disso, é de grande importância que esses recursos hídricos estejam em qualidade adequada para as atividades humanas, especialmente para seu uso mais nobre, como o abastecimento humano.

Nos últimos anos, tem-se discutido amplamente a utilização dos recursos hídricos, focando na perspectiva da sustentabilidade e nas consequências do crescimento populacional. O processo de industrialização e a expansão da agricultura trouxeram consigo sérios problemas de deterioração desses recursos. Este cenário tem despertado um crescente interesse político, social, econômico e acadêmico na gestão hídrica. Os impactos ambientais causados pela ação humana sobre os recursos hídricos têm levado à necessidade de uma gestão mais eficiente e sustentável. Estudos realizados por Miranda e Teixeira (2004) e Castro (2012) destacam a importância de integrar políticas públicas que conciliam o desenvolvimento econômico com a preservação dos recursos naturais, enfatizando que a preservação dos recursos hídricos é essencial para garantir a qualidade de vida das futuras gerações.

Um dos aspectos bastante abordados na literatura, no que tange a distribuição dos recursos hídricos, são as perdas. A caracterização de perdas de água vai muito além do senso comum, onde se supõe a água escorrendo pelas vias públicas. O controle das perdas, nesse caso, seria relativamente simples, pois bastaria o combate imediato da origem do vazamento. Essas perdas são denominadas aparentes. Ocorre que existem perdas de água que não são aparentes, pois são aquelas decorrentes de fissuras nas redes de distribuição e também nos reservatórios enterrados, cuja visualização não é possível a “olho nu” e a identificação das mesmas se dá pela diferença de medições do que se disponibilizou de água tratada para distribuição com o que se mediu de consumo nos clientes finais, por meio dos hidrômetros (Tardelli, 2016).

O Brasil é um dos países que mais sofre com o desperdício de água em seus sistemas de distribuição. As perdas médias de água nos sistemas de abastecimento brasileiros chegaram a 40,3%; a água é perdida antes de chegar às casas. Isso

significa que, a cada 100 litros de água tratada e específica para o consumo, perdem-se devido aos diversos tipos de vazamentos, o que representa um desperdício de aproximadamente 6,5 bilhões de metros cúbicos de água por ano (Instituto Trata Brasil, 2021).

Em 2021, o desperdício de água no Tocantins, como em muitas outras regiões do Brasil, apresentou índices elevados. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o estado causou perdas significativas em suas redes de distribuição de água. Em várias cidades, incluindo Araguaína, Palmas e Gurupi, as perdas totais de água, que incluem tanto perdas físicas (vazamentos e rompimentos de tubulações), quanto perdas comerciais (como fraudes e implicações indiretas), atingiram níveis alarmantes.

Diante da escassez de água viva nos últimos anos, a boa gestão dos recursos hídricos assume um papel prioritário na definição de políticas públicas, pois impacta profundamente os diversos setores econômicos da sociedade, o meio ambiente e a qualidade de vida da população (ANA, 2020). Nesse contexto, percebe-se que a perda de água nos sistemas de abastecimento é um problema global que desafia a eficiência na gestão de recursos hídricos e no saneamento básico no Brasil. Assim, o objetivo desta pesquisa é expor o grave problema econômico e social gerado pela ineficiência no controle de perdas de água em nosso país (Instituto Trata Brasil, 2024).

A presente pesquisa traz um olhar sobre a operacionalização e tecnologia na gestão de recursos hídricos como um conceito inovador no contexto brasileiro, visando dar unidade e coerência ao que tradicionalmente entendemos como ações ou atividades de gestão. Analisando os principais componentes da gestão dos recursos hídricos, percebe-se que o investimento em tecnologia melhora o conhecimento, que é a base para o desenvolvimento sustentável e gestão eficiente dos recursos hídricos. Esse investimento vem se tornando um dos campos com características interdisciplinares e na interface com diferentes áreas do conhecimento que buscam entender os processos tecnológicos (ANA, 2020).

## **1.1 Problema de pesquisa**

Visando elucidar o fenômeno das perdas, verificou-se que, para a ABES (Tardelli Filho, 2015), a existência de perdas é um fator que compromete a condição de operação das concessionárias de gerenciamento de recursos hídricos, uma vez



que a disponibilidade desses recursos não acompanha a expansão das cidades. Considerando essa situação, deve-se procurar métodos para tornar o processo de distribuição de água tratada mais eficiente e, conseqüentemente, reduzir os índices de perdas.

Com isso, o problema das perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) tem sido uma das principais preocupações das concessionárias no Brasil e ao redor do mundo. Assim, a motivação deste estudo está estritamente ligada à necessidade de gerenciamento de perdas e melhores práticas de consumo. Ou seja, é possível inferir que a eficiência desse sistema é inversamente proporcional à existência de perdas. Obviamente, a ocorrência de perdas impacta negativamente nos indicadores de distribuição. Como a ocorrência de perdas é um assunto amplo, esta pesquisa irá abordar os aspectos relacionados à ocorrência das perdas na distribuição e na má utilização dos recursos.

Ao analisar o comportamento das empresas de saneamento ambiental no Brasil, utilizando os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, percebeu-se que essas empresas devem focar seus esforços no desenvolvimento de estratégias e métodos que tendem a reduzir os vazamentos ao nível econômico (Instituto Trata Brasil, 2021). Nesse processo de distribuição, a água pode ser classificada como consumo autorizado ou não autorizado (perda). O consumo autorizado refere-se ao recurso hídrico fornecido aos clientes autorizados (medidos ou não), enquanto o consumo não autorizado corresponde à diferença entre o volume de entrada e o consumo autorizado (Quadro 1).

**Quadro 1 - Distribuição hídrica no Brasil**

|                                         |                    |                                 |                                                                       |                   |
|-----------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Água que entra no sistema               | Consumo autorizado | Consumo autorizado              | Consumo faturado medido                                               | Água faturada     |
|                                         |                    | Consumo autorizado não faturado | Consumo não faturado medido (uso próprio, caminhão pipa entre outros) | Água não faturada |
|                                         |                    |                                 | Consumo não faturado e não medido                                     |                   |
|                                         | Perdas de          | Perdas aparentes (comerciais)   | Uso não autorizado (fraudes e falha de cadastros)                     |                   |
| Erros de medição (macro e micromedição) |                    |                                 |                                                                       |                   |

|  |       |                           |                                                                                                                                                                                                  |  |
|--|-------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | águas | Perdas reais<br>(físicas) | Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios (de adução e/ou distribuição)<br>Vazamentos nas adutoras e/ou redes (de distribuição)<br>Vazamentos nos ramais até o ponto de medição do cliente. |  |
|--|-------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

Fonte: Autoria própria (2023)

Visando elucidar o fenômeno das perdas, verificou-se que, para a ABES (2015), a existência de perdas é um fator que compromete a condição de operação das concessionárias de gerenciamento de recursos hídricos, uma vez que a disponibilidade desses recursos não acompanha a expansão das cidades. Considerando essa situação, deve-se procurar métodos para tornar o processo de distribuição de água tratada mais eficiente e, conseqüentemente, reduzir os índices de perdas. Nesse contexto, coloca-se a pergunta de partida: Quais tecnologias para detecção de perdas de água são abordadas pela literatura?

Desta forma, esta pesquisa busca responder à seguinte pergunta: quais tecnologias que podem ser utilizadas pela concessionária para reduzir as perdas de recursos hídricos no município de Araguaína, Tocantins? A partir dessa questão, apresentamos os objetivos desta pesquisa, conforme descrito a seguir

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Mapear novas tecnologias existentes que tratam de detecção de perdas por vazamentos em sistemas de distribuição de água potável.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- i) Identificar na literatura as tecnologias utilizadas na redução de perdas;

- II) Analisar o cenário da gestão dos recursos hídricos no Município de Araguaína - TO;
- iii) Realizar um levantamento das tecnologias utilizadas pela concessionária;
- iv) Analisar a possibilidade de utilização de novas tecnologias que tratam de detecção de perdas por vazamento no sistema de distribuição de Araguaína.

### **1.3 Justificativa**

Considerando a importância da oferta de água como fator determinante para o desenvolvimento econômico, em consonância com a transformação digital, que é a integração da tecnologia em todas as áreas de um negócio, na prática, esse movimento muda a forma como as empresas ou instituições operam e entregam melhores resultados aos clientes e usuários. Contudo, esse tipo de transformação não se limita ao uso das tecnologias disruptivas; acima de tudo, trata-se de uma cultura de mudança integrada em todos os setores da empresa, que revolucionou também o modo como os processos são executados e geridos. Desta forma, quando a empresa utiliza tecnologias e ferramentas que facilitam o processo de gestão, reduzem gastos e ainda possibilitam uma melhor aplicação dos seus resultados.

À medida que as populações e as atividades econômicas crescem, muitos países estão atingindo rapidamente condições de escassez de água ou se defrontando com limites para o desenvolvimento econômico. Com isso, as demandas por água de qualidade estão aumentando rapidamente.

Em Araguaína (TO), o prestador mede o consumo de 100% das economias de água, que são todos os estabelecimentos que possuem hidrômetros. No entanto, 33,64% da água captada é perdida na rede antes de chegar ao seu destino final (Instituto Trata Brasil, 2024).

Analisando essa problemática, a pesquisa propõe o uso de tecnologias para o controle de perdas de água tratada. A ação de mitigação da perda ocorre quando o cliente informa a concessionária sobre a falta de água em seu bairro ou quando é realizada uma pesquisa por método de detecção acústica aleatória. Esta condição carece de uma metodologia avançada, pois, quando as concessionárias de recursos hídricos apresentam baixa eficiência, enfrentam o desafio de incrementar seu desempenho visando melhorar a competitividade e a satisfação dos clientes.

Considerando esta situação, é possível ponderar que a ocorrência de perdas é um fenômeno associado ao rendimento do sistema, e sua redução em redes de distribuição é uma questão elementar. Partindo dessa premissa, verifica-se que, de toda a água bruta captada, tratada e injetada no sistema distribuidor, somente uma parte é comercializada. Ou seja, para se atender à demanda, é necessário produzir um montante de água superior a esta demanda em razão da existência de perdas no sistema.

Quando se discute o gerenciamento dos recursos hídricos, um fator importante a salientar é que a demanda é crescente, e a cada novo dia enfrenta-se o desafio de encontrar um denominador comum para equalizar consumo e capacidade de suporte do sistema. Considerando isso, é preciso que o homem aprenda a trabalhar em parceria com a natureza e não contra ela. Caso haja escassez deste recurso, os prejuízos à vida são imensos e isso pode resultar em migrações em massa e conflitos entre povos. Por essa razão, é indispensável que sejam produzidas soluções sustentáveis para a gestão deste recurso (Butzke; Pontalti, 2012).

De acordo com Boyle *et al.* (2013), um desafio iminente para as concessionárias é o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos dentro do ambiente urbano. Diversos fatores externos, como mudanças climáticas, secas e crescimento populacional, têm contribuído para que os gestores sejam impedidos de buscar abordagens de gerenciamento mais sustentáveis que minimizem as transferências de custos aos clientes.

Realizar uma análise das perdas nos sistemas de abastecimento de água é um tema que vem ganhando cada vez mais destaque na gestão dos recursos hídricos. Isso porque a perda de água nos sistemas de abastecimento, além de representar um desperdício de um recurso cada vez mais escasso, também tem impacto direto na qualidade do serviço prestado à população.

Com isso, a construção desta pesquisa poderá identificar se essa desarmonia está relacionada com a falta de tecnologias nesse processo, e em que grau o desenvolvimento dos recursos hídricos contribui para a produtividade econômica e o bem-estar social. Nem sempre essa contribuição é apreciada, embora todas as atividades econômicas e sociais dependem muito do suprimento e da qualidade da água.

## 1.4 Inserção na Engenharia de Produção

De acordo com a divisão das áreas propostas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2020), esta pesquisa se enquadra na área de Engenharia Organizacional. Na Engenharia de Produção são desenvolvidos projetos, operações e melhorias nos sistemas que criam e entregam os produtos (bens ou serviços) primários da empresa. Utilizam-se modelos para resolver problemas complexos enfrentados pelas empresas. Além desta área específica, este trabalho busca integrar diferentes conceitos relacionados à Engenharia.

Segundo Salvendy (2001), a Engenharia de Produção evoluiu como uma disciplina essencial, combinando conhecimentos de engenharia e gestão. Sua aplicação eficaz contribui diariamente para o aumento da produtividade, resultando em maior qualidade de produtos e serviços, além de melhorias nos ambientes de trabalho.

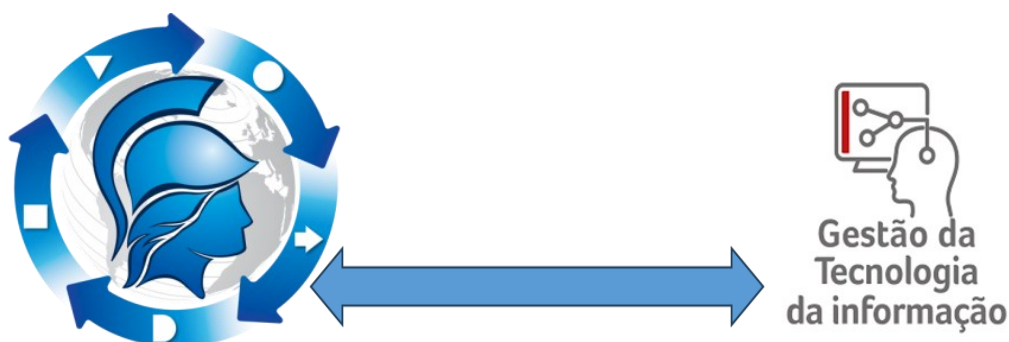
Atualmente, a internet permite o armazenamento, processamento e análise de informações com base em parâmetros preestabelecidos, tornando processos e máquinas mais flexíveis e adaptáveis às variações da demanda. Uma das principais vantagens dessa tecnologia é o monitoramento em tempo real dos processos, com verificações de qualidade mais precisas, o que possibilita ajustes rápidos. Isso garante um fluxo constante com o mínimo possível de falhas, conferindo competitividade às empresas em relação aos seus concorrentes.

O sensoriamento para controle da produção, acessível na palma das mãos, é essencial para qualquer empresa, especialmente para manter sua competitividade. Em tempo real, é possível receber alertas sobre a quantidade produzida, tempo de *setup* e o tempo em que a máquina fica parada. O gestor pode tomar ações ágeis e integradas com o restante da equipe, otimizando a produção, controlando as perdas e monitorando cada etapa do processo. Isso garante uma tomada de decisão eficaz, fundamental para se destacar no mercado.

Considerando a possibilidade de melhora incremental dentro de um sistema produtivo, Warnecke *et al.* (2001) reiteram que as empresas do futuro devem adotar novas metodologias, incluindo tecnologias para aprimorar seus processos. Essa adoção permitirá que as empresas melhorem sua penetração, maturidade e área de atuação. A utilização das ferramentas computacionais dentro da engenharia de produção é, de acordo com Schleich *et al.* (2017), uma maneira eficiente de promover

a predição de condicionantes que interferem em uma cadeia produtiva, possibilitando a tomada de decisão orientada para a redução de custos e tempo. Seguindo as definições presentes no Glossário Técnico - Área de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2021), expressas na figura 1, verifica-se que o tema "O uso de tecnologias inovadoras no processo de distribuição, avaliação, aperfeiçoamento e integração dos recursos" está corretamente inserido dentro do campo de estudos da Engenharia de Produção. Desta forma, é possível perceber que este estudo está relacionado diretamente com o campo científico da Engenharia de Produção.

**Figura 1 - Correlação com a engenharia organizacional**

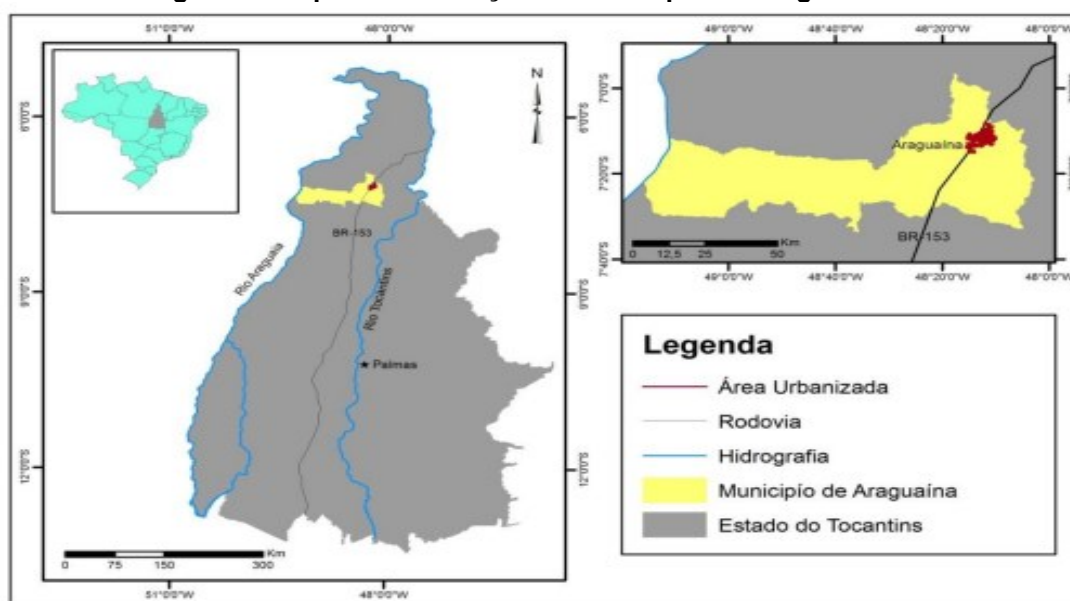


**Fonte: Autoria própria (2023)**

### **1.5 Delimitação da pesquisa**

Para a realização desta pesquisa, foi selecionado o município de Araguaína-TO (Figura 2), a Secretaria Municipal de Captação e Gestão dos Recursos e a respectiva empresa de gestão de recursos hídricos do município, durante o período de janeiro de 2022 a janeiro de 2023. Este município possui uma estação de tratamento de água que é eficiente para permitir o acesso à água tratada a todos os seus moradores. De acordo com a estimativa do IBGE para o ano de 2021, a população é estimada em cerca de 186.245 pessoas. Em Araguaína, 96,94% da população total tem acesso aos serviços de abastecimento de água, enquanto a média do estado de Tocantins é de 86,74% e, do país, 83,96%.

**Figura 2 - Mapa da localização do município de Araguaína - TO**



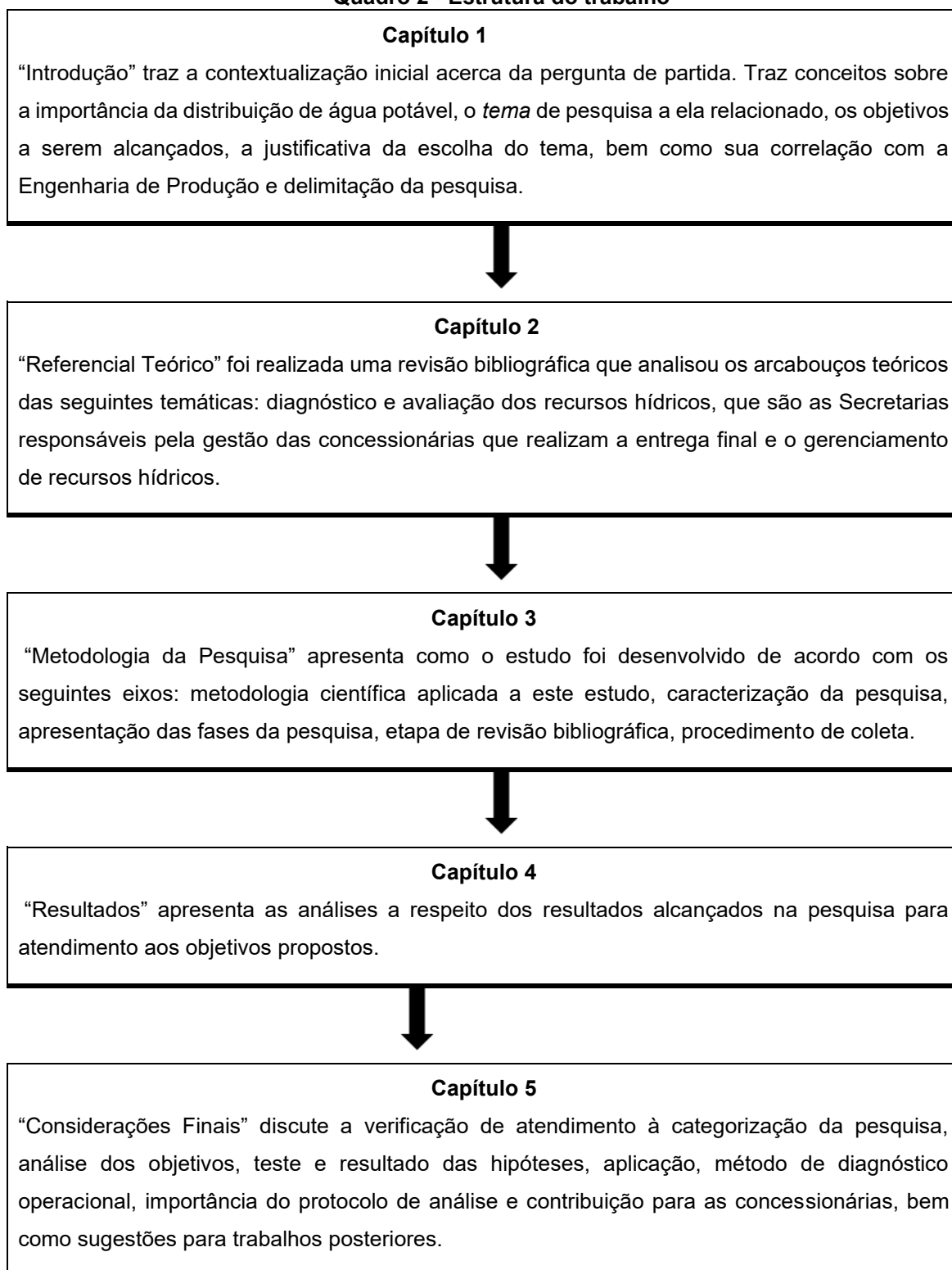
**Fonte: Progestão (2018)**

### 1.5.1 Limitação da pesquisa

Quanto as limitações, destaca-se a acessibilidade dos dados de perdas de água da concessionária BRK em Araguaína, Tocantins, como os dados são essenciais para avaliar as perdas reais no sistema de distribuição, qualquer restrição ou atraso no acesso às informações pode comprometer a precisão e a atualidade das análises. Além disso, a dependência de dados autodeclarados pela concessionária pode introduzir vieses, uma vez que as métricas de perdas podem variar conforme a metodologia e os critérios de registro adotados pela BRK. Essas limitações podem dificultar a comparação direta com outros estudos ou a replicação dos resultados em contextos diferentes.

### 1.6 Estrutura do trabalho

Esta pesquisa segue uma estrutura em capítulos, totalizando cinco, que pretendem fornecer subsídios para uma análise minuciosa do assunto. O objetivo é apresentar um estudo que satisfaça os objetivos propostos.

**Quadro 2 - Estrutura do trabalho**

**Fonte: Autoria própria (2023)**



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção visa apresentar os temas que povoam o universo explorado neste estudo, como os conceitos de água e recursos hídricos, a prevenção e conservação da água, sua importância para a sustentabilidade e a qualidade de vida.

### 2.1 Água ou recurso hídrico?

Para compreender todas as relações quando se fala sobre o uso da água, o ponto inicial é entender a diferença de significado entre a palavra "água" e a expressão "recurso hídrico". Como adverte Pompeu (2002, p. 600), "é comum encontrarmos, em leis e manifestações doutrinárias e técnicas, a utilização da palavra como uma expressão de sinônimo, o que não é verdade". O autor explica que "água é o elemento natural, descomprometido com qualquer uso ou utilização. É o gênero. Recurso hídrico é a água como bem econômico, passível de utilização com tal fim" (Pompeu, 2002, p. 600).

Portanto, o termo "recurso hídrico" tem embutido valor de uso e de troca quando o elemento água é entendido como um dos principais bens de consumo, ou seja, deixa de ser apenas um elemento natural disponível para ser um recurso utilizável. Devemos ressaltar que nem toda a água disponível é um recurso hídrico e há uma variabilidade em sua distribuição na Terra. A maioria da água disponível tem altos teores de salinidade, como definem Rebouças, Braga e Tundisi (2002).

#### 2.1.1 Classificação das águas

De acordo com as palavras de Rebouças (2002, p 1):

[...] o critério mundial de classificação ambiental das águas da Terra designa como Água Doce aquela que apresenta teor de salinidade inferior a 1.000 mg/l, ou mais propriamente, teor de Sólidos Totais dissolvidos (STD) (...) Estas águas ocorrem nas porções de terras emersas – continentes, ilhas, e similares – fluindo pelos rios, riachos, córregos, formando geleiras, depósitos subterrâneos, enchendo as lagoas, os lagos, as represas ou açudes, formando pantanais ou encharcados – sendo por isso também chamadas águas interiores. (p. III)

Desta forma, os múltiplos usos estão associados diretamente à evolução das técnicas que desvendaram as possibilidades de uso das águas doces e tornaram

viável a sua utilização independentemente da sua disponibilidade e variabilidade natural. Por outro lado, fica claro na história do desenvolvimento dos múltiplos usos que os sistemas de engenharia, na maioria das vezes, foram aplicados à facilidade natural. Um exemplo é o uso da água para geração de energia, que é economicamente viável em ambientes com relevo montanhoso.

Já a classificação para os “usos consuntivos”, por definição, refere-se aos usos que resultam em perda de água na sua derivação ou utilização. Os usos não consuntivos são aqueles que não envolvem derivação, ou seja, a água não é retirada do curso natural do corpo d'água por qualquer sistema hidráulico, não resultando em perdas. Pode haver alguma modificação na sua disponibilidade temporal devido ao regime de chuvas ou, dependendo do uso, interferências na qualidade da água (LANNA, 2004, p. 735). Manter a quantidade e a qualidade suficientes para o abastecimento em grandes concentrações urbanas é notadamente uma tarefa difícil.

A ANA (2001, p.90-91) conceitua a gestão dos recursos hídricos como sendo:

[...] em sentido lato, é a forma pela qual se pretende equacionar e resolver as questões de escassez relativa dos recursos hídricos, bem como fazer o uso adequado, visando a otimização dos recursos em benefício da sociedade. A condição fundamental para que a gestão de recursos hídricos se realize é a motivação política para a sua efetiva implantação. Havendo motivação política, será possível planejar o aproveitamento e o controle dos recursos hídricos e ter meios de implantar as obras e medidas recomendadas, controlando-se as variáveis que possam afastar os efeitos nocivos ao planejado.

E para a eficácia dessa gestão, os recursos hídricos incluem todas as atividades necessárias para formular princípios e diretrizes, preparar documentos normativos, estruturar sistemas gerenciais e, finalmente, decidir sobre o inventário, uso, controle e proteção da água enquanto recurso. Essa conceituação faz parte dos objetivos da administração dos recursos hídricos, que inclui alguns instrumentos para tornar eficiente a gestão. A outorga do direito de uso, o controle e a fiscalização são essenciais para ampliar a eficácia da administração dos recursos hídricos, sendo necessários planos para identificar onde estão os nós a serem desatados pela administração, apesar de ela poder existir independentemente desse plano (ANA, 2001, p. 91) por meio de legislação específica e órgãos reguladores. Portanto, “a gestão dos recursos hídricos [...] realiza-se mediante procedimentos integrados de planejamento e de administração” (ANA, 2001, p. 91).

A importância desses procedimentos está ligada às discussões internacionais feitas no âmbito da ONU e de organizações mundiais que debatem os problemas da água para chegarem a proposições de sustentabilidade e governança da água. Com esses debates, o Brasil adotou o modelo francês de gestão das águas, que tem a perspectiva de interação entre governos, usuários e sociedade civil, além da condição de que a gestão e a administração devem partir da introdução de instrumentos econômicos para regulação dos usos e dos problemas hídricos. Ou seja, uma gestão integrada e participativa. Outra questão importante é a unidade de planejamento para aplicação desses instrumentos: a bacia hidrográfica (ANA, 2007, p. 86).

De acordo com o Governo do Estado do Tocantins (Estado Do Tocantins - SEPLAN, 2010), o Brasil ocupa uma posição privilegiada no panorama de reservas e fontes de água. Dois terços da água doce do planeta se concentram em terras brasileiras. O estado é cortado pela maior bacia hidrográfica completamente brasileira, Tocantins-Araguaia, que possui mais de 767 mil quilômetros quadrados, sendo que 58% dessa área está no Tocantins e em Goiás. Porém, apesar da grande quantidade de água doce presente no Brasil, o acesso a ela ainda é um problema. Para facilitar o acesso da população tocanтинense à água potável nas regiões onde há escassez, o Governo do Estado implantou o programa Tocantins Sem Sede. O programa começou a ser implantado em novembro de 2013 na região sudeste, considerada a mais seca do estado.

## **2.2 Água e qualidade de vida**

Entende-se que a água é um recurso renovável essencial à vida no planeta Terra. Seu ciclo tem continuado por séculos e milênios, sustentando a biodiversidade e, assim, mantendo os ecossistemas, comunidades e populações. O ciclo hidrológico no planeta possui componentes bem conhecidos e integrados: águas superficiais, águas subterrâneas e águas atmosféricas. O permanente movimento entre esses componentes é uma característica fundamental do ciclo da água e uma consequência de suas propriedades e de seus estados sólido, líquido e gasoso (ANA, 2013).

Por muitos anos, a água era utilizada exclusivamente para manter o funcionamento dos ecossistemas. No entanto, com a chegada da espécie humana, o desenvolvimento da agricultura (sobretudo da agricultura irrigada) e da indústria, e a diversificação dos usos múltiplos da água, novos tipos de apropriação dos recursos

hídricos superficiais e subterrâneos foram introduzidos. Isso produziu estresse hídrico (conflito crescente entre os diversos usos da água) e até mesmo escassez de água (desequilíbrio entre disponibilidade e demandas).

Em regiões onde há falta de água, os níveis de suprimento são baixos em relação ao mínimo indispensável para as necessidades básicas de vida. Desde então, a escassez, o estresse e a falta de água estão diretamente relacionados à segurança coletiva da população humana: segurança para a produção de alimentos, segurança para o abastecimento público com água potável e segurança contra a contaminação dos suprimentos de água e ameaças à saúde pública (ANA, 2009).

### **2.3 Água, sustentabilidade e desenvolvimento**

Compreende-se que a disparidade no suprimento de água entre regiões, nações e continentes causa diferenças na velocidade e no processo de desenvolvimento, gerando conflitos, desigualdades sociais e diferentes oportunidades de saúde adequada, trabalho, renda e educação (Rogers *et al.*, 2006). Os estudos estratégicos referentes aos recursos hídricos são, portanto, fundamentais para examinar em profundidade as disponibilidades e demandas de água, bem como as interações entre os processos biofísicos envolvidos no ciclo e os usos múltiplos da água e o desenvolvimento econômico e social (Naiman *et al.*, 1995; Bicudo; Bicudo, 2010).

Apesar de um grande número de estudos, avaliações, determinações e monitoramento da quantidade e qualidade de água, há um conjunto significativo de falhas no gerenciamento dos recursos hídricos, devido à desarticulação entre o conhecimento existente e o gerenciamento nos planos regional, municipal e, mesmo, nacional (Braga *et al.*, 2006). As diferentes análises realizadas em diversos países e por organizações internacionais têm justamente a finalidade de estimular essa interação necessária e promover efetivamente a resolução dos problemas, tornando o gerenciamento de recursos hídricos mais eficiente e menos dispendioso.

De acordo com Revenga *et al.* (1998) e Tundisi (2007, 2009), o gerenciamento de recursos hídricos e a ciência básica devem ser, portanto, integrados de forma a produzir e implantar soluções mais consistentes e de longo alcance, com capacidade preditiva. Esse esforço de integração demanda a participação de acadêmicos, pesquisadores, tomadores de decisão e gerentes. Esses atores, em conjunto, podem

desenvolver novas e criativas soluções para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

2.3.1 Consumo de água no Brasil

De acordo com o Instituto Trata Brasil, o consumo médio de água no país é de 148,2 litros por habitante ao dia, enquanto a ONU (Organização das Nações Unidas) considera que 110 litros/dia são suficientes para atender às necessidades básicas de uma pessoa. Os dados sobre abastecimento de água tratada, divididos por região no Brasil, mostram que no Norte 64,2% da população é abastecida com água tratada; no Nordeste, o índice é de 76,9%. A região Sudeste abastece 90,9% da população, enquanto o Sul e o Centro-Oeste possuem índices de 91,6% e 89,8%, respectivamente. Contudo, ao distribuir água para garantir o consumo, os sistemas sofrem perdas significativas na distribuição, que na média nacional chegam a 37,78%, o equivalente a quase 8 mil piscinas olímpicas de água tratada desperdiçadas diariamente.

A quantidade de água desperdiçada seria suficiente para abastecer mais de 67 milhões de brasileiros em um ano, equivalente a pouco mais 30% da população brasileira em 2022, retrata o Instituto Trata Brasil.

Quadro 3 - Detalhamento do consumo de água no Brasil

| Consumo de água |                                                             |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|
| 84,9%           | Brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada |
| 33 milhões      | Brasileiros não têm o acesso a este serviço básico          |

Fonte: Instituto Trata Brasil (2024)

**Quadro 4 - Detalhamento de perdas de água no Brasil por Região**

| <b>Perdas de água tratada</b> |              |
|-------------------------------|--------------|
| Região Norte                  | <b>46,9%</b> |
| Região Nordeste               | <b>46,7%</b> |
| Região Sudeste                | <b>33,9%</b> |
| Região Sul                    | <b>36,7%</b> |
| Região Centro Oeste           | <b>35,1%</b> |

**Fonte: Instituto Trata Brasil (2024)**

## **2.4 Concessionárias de recursos hídricos**

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é a responsável, na esfera federal, por implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; por regular o uso de recursos hídricos; pela prestação dos serviços públicos de irrigação e adução de água bruta; pela segurança das barragens; e pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Em consonância com a Lei 14.026, de 15 de julho de 2020 (Novo Marco do Saneamento), a prestação do serviço de saneamento depende da celebração de contrato de concessão e reitera a importância da eficiência dos sistemas, principalmente com relação à redução de perdas (Brasil, 2020).

Com base nesses elementos, descreve-se a importância das concessionárias hídricas - Agências de Água. Estas, por meio de uma outorga de água, que é um instrumento pelo qual o órgão público concede à pessoa física ou jurídica autorização para uso do recurso hídrico, que é um bem inalienável de domínio do Estado ou da União. A regularização busca harmonizar os interesses da sociedade com a conservação do meio ambiente, mediando possíveis conflitos. A outorga de direito de uso de recursos hídricos é o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante faculta ao outorgado (usuário requerente) o direito de uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo. É o documento que assegura ao usuário o direito de utilizar os recursos hídricos. No quadro 5, detalham-se algumas das responsabilidades impostas às concessionárias.

**Quadro 5 - A outorga de direito de uso dos recursos hídricos**

| <b>Intervenções sujeitas à outorga</b>             |                                                                                        |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.Captação ou derivação em um corpo de água        | 8.Retificação, canalização ou obras de drenagem                                        |
| 2.Exploração de água subterrânea                   | 9.Transposição de bacias                                                               |
| 3.Construção de barramento ou açude                | 10.Aproveitamento de potencial hidroelétrico;                                          |
| 4.Construção de dique ou desvio em corpo de água   | 11.Sistema de remediação para águas subterrâneas contaminadas                          |
| 5.Rebaixamento de nível de água                    | 12.Dragagem em cava aluvionar                                                          |
| 6.Construção de estrutura de transposição de nível | 13.Dragagem em corpo de água para fins de extração mineral                             |
| 7.Construção de travessia rodo ferroviária         | 14.Dragagem em corpo de água para fins comerciais                                      |
| 8.Lançamento de efluentes em corpo de água         | 15. Outras intervenções que alterem regime, quantidade ou qualidade dos corpos de água |

**Fonte: ANA (2020)**

Como se pode observar, intervenções sujeitas à outorga envolvem diversas atividades que podem impactar significativamente os corpos de água e seus ecossistemas. Essas atividades incluem a captação ou derivação de água, a exploração de águas subterrâneas, a construção de barramentos, açudes, diques, desvios e estruturas de transposição de nível, bem como o rebaixamento do nível de água. Adicionalmente, a retificação, a canalização, a drenagem, a transposição de bacias, o aproveitamento de potencial hidroelétrico e a implementação de sistemas de remediação para águas subterrâneas contaminadas também se enquadram nesta categoria. Atividades de dragagem, seja para fins de extração mineral, comerciais ou em cavas aluvionares, além da construção de travessias rodoferroviárias e o lançamento de efluentes em corpos de água, são igualmente sujeitas a outorga. Por fim, qualquer outra intervenção que altere o regime, a quantidade ou a qualidade dos corpos de água deve ser devidamente regulamentada para garantir a sustentabilidade e a preservação dos recursos hídricos.

A próxima subseção trata das perdas de recursos hídricos.

## 2.5 Perdas de recursos hídricos

As perdas são inerentes a qualquer sistema de abastecimento de água. Isso se torna especialmente relevante em cenários de escassez hídrica e altos custos de energia elétrica, pois afeta diretamente a saúde financeira dos prestadores de serviços, representando desperdício de recursos naturais, operacionais e receitas. Portanto, é crucial minimizar os custos decorrentes das perdas e gerenciá-los de forma apropriada, uma vez que são repassados ao consumidor final.

Para isso, foram desenvolvidas estratégias e técnicas de controle para perdas de água em muitas partes do mundo (Lambert; Hirner, 2002; Kanakoudis *et al.*, 2011). Entre as ferramentas básicas de intervenção para controlar perdas reais em sistemas de distribuição de água estão o gerenciamento de pressão, o controle ativo de vazamentos, a velocidade e qualidade dos reparos, além do gerenciamento de ativos e dutos (Lambert; Hirner, 2002).

A divisão dos sistemas de distribuição de água em áreas de medição distrital (DMAs) e o gerenciamento da pressão são ferramentas úteis para controlar perdas reais nos sistemas de distribuição de água (Karadirek *et al.*, 2012). DMAs são subsistemas isolados nos quais a quantidade de água fornecida e consumida pode ser medida (Thornton, 2002; Gomes, 2013). Dessa forma, o monitoramento dos fluxos noturnos através de DMAs facilita o gerenciamento das perdas reais (Alkassseh *et al.*, 2013).

Segundo Shabangu, Hamam e Adedeji (2020), as perdas nos sistemas de abastecimento são um problema reconhecido globalmente, resultando em desperdício de recursos naturais, poluição ambiental e perda financeira. É destacado que as perdas ocorrem em todos os sistemas de distribuição, embora os volumes variem. Portanto, constituem um dos principais desafios operacionais, podendo atingir níveis graves de até 60% de perdas.

Segundo o SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), ano base 2018, o índice de perdas médio nacional é de 38,50%. No entanto, é sabido que esse índice é suscetível a incertezas, pois as informações fornecidas pelos prestadores de serviço muitas vezes não refletem totalmente a realidade do sistema. Esse valor está muito além da meta de 25% estipulada, o que evidencia a necessidade de ações e investimentos contínuos no controle e redução das perdas hídricas (Instituto Trata Brasil, 2022).



Existem dois conceitos para perdas de água: a "perda de água física" ou "real", que ocorre quando o volume inicial de água disponibilizado no sistema de distribuição pelas operadoras de água é desperdiçado durante o processo de distribuição; e a "perda de água comercial" ou "aparente", que ocorre quando, apesar da distribuição de água alcançar o consumidor final, o produto não é cobrado adequadamente, seja por problemas técnicos na medição dos hidrômetros, seja por fraude do consumidor (ABES, 2013).

As perdas de água ocorrem desde a captação até a entrega de água tratada ao consumidor final. Elas têm origem em vazamentos no sistema, como em adutoras, redes de distribuição, reservatórios e ramais prediais, além de procedimentos operacionais como lavagem de filtros das Estações de Tratamento de Água (ETAs) e descargas na rede (Reinfra Consultoria, 2017). Em grande parte, essas perdas são causadas por operação e manutenção deficientes das tubulações e inadequada gestão comercial das companhias de saneamento (B&B Engenharia, 2012).

No contexto dos recursos hídricos, as perdas no sistema de distribuição de água estão diretamente ligadas ao volume captado dos mananciais para abastecimento público. Com o crescimento populacional nos próximos anos e, conseqüentemente, um aumento na demanda por água, podem surgir conflitos pelo uso deste recurso. Considerando que o abastecimento humano é prioritário, as operadoras de água devem buscar a redução das perdas, visando melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

Existem diversas ações para o combate e controle de perdas. Algumas delas não são consideradas diretamente como "ações de controle de perdas", porém são essenciais para iniciar qualquer trabalho consistente nessa área. São ações preliminares que incluem: atualização do cadastro técnico, setorização, macromedição e compatibilização do cadastro comercial com o cadastro técnico. Essas ações são fundamentais para o início efetivo do controle de perdas, pois representam o conhecimento detalhado do sistema. Sem elas, não é viável iniciar programas preventivos ou corretivos de controle de perdas, nem mensurar seus impactos.

Para isso, o controle efetivo das perdas físicas é realizado por meio de quatro atividades principais: gerenciamento de pressões, controle ativo de vazamentos, velocidade e qualidade dos reparos, e gerenciamento da infraestrutura. No entanto, alcançar uma maior eficiência na redução das perdas de água nos sistemas não é

uma tarefa fácil. Trata-se de uma questão complexa que requer um bom diagnóstico, levantamento de dados históricos, conhecimento técnico, cadastramento confiável, além do envolvimento de esforços e recursos contínuos e permanentes.

Segundo Freitas (2020), o combate às perdas de água está se intensificando em algumas cidades brasileiras devido ao déficit de recursos hídricos. Segundo os parâmetros do SNIS, uma cidade para ser considerada excelente no controle de perdas não deve ultrapassar o valor de 15%. No Brasil, em 2018, o índice de perdas foi, ligeiramente melhor do que os 39,21% registrados em 2017. Ao examinar mais detalhadamente os resultados, nota-se uma melhoria modesta de apenas 0,16% nas perdas na rede de distribuição entre 2017 e 2018.

Além disso, para um diagnóstico confiável das perdas, é necessário aplicar hipóteses e realizar testes e ensaios em campo. No entanto, muitas empresas não realizam essa quantificação, o que resulta em ações mal direcionadas, desperdício de recursos, especialmente escassos, e uma redução insuficiente das perdas físicas.

**Quadro 6 - Tipos de perdas**

| <b>Tipos de Perdas</b>          | <b>Descrição</b>                                                                                                         | <b>Ano e Autor</b>             |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Perdas por evaporação           | Perda de água devido à transformação de água líquida em vapor, principalmente, em reservatórios e sistemas de irrigação. | Beskow <i>et al.</i> (2008)    |
| Perdas por infiltração          | Água que se infiltra no solo, sendo perdida antes de alcançar a planta ou a rede de distribuição.                        | Anjos <i>et al.</i> (2021)     |
| Perdas por vazamento            | Água perdida devido a vazamentos em tubulações e infraestruturas de distribuição de água.                                | ABES (2013)                    |
| Perdas por consumo inadequado   | Uso excessivo ou ineficiente de água por usuários finais, como em irrigação excessiva ou desperdício doméstico.          | Instituto Trata Brasil (2022)  |
| Perdas por manejo inadequado    | Ineficiências na gestão e operação de sistemas de abastecimento e irrigação.                                             | Marouelli; Silva; Silva (2011) |
| Perdas em processos industriais | Desperdício de água nos processos de produção industrial, incluindo sistemas de resfriamento e lavagem.                  | Rodrigues (2018)               |
| Perdas por contaminação         | Água que se torna inutilizável devido à contaminação por poluentes agrícolas, industriais ou urbanos.                    | Tyquant (2023)                 |

|                                     |                                                                                                                  |                                |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Perdas em sistemas de abastecimento | Água perdida em sistemas públicos de abastecimento devido a vazamentos e fraudes.                                | ABES (2013)                    |
| Perdas em agricultura               | Ineficiências na aplicação de água na agricultura, como evaporação e escoamento superficial.                     | Marouelli <i>et al.</i> (2018) |
| Perdas por uso recreativo           | Desperdício de água em atividades recreativas, como piscinas e campos de golfe.                                  | Behnke <i>et al.</i> (2020)    |
| Perdas em transporte de água        | Perda de água durante o transporte de uma fonte a um destino, seja por caminhões ou canalizações não otimizadas. | Scharwies <i>et al.</i> (2019) |

Fonte: Autoria própria (2024)

## 2.6 Modelos utilizados na gestão de perdas

A tecnologia sempre foi uma grande aliada no combate às perdas de água, sendo do verdadeiro interesse das concessionárias adotar o que há de mais moderno na prestação de serviços de qualidade. Os modelos de gestão das águas, em um sentido amplo, são definidos como o conjunto de procedimentos organizados para resolver os problemas relacionados ao uso e controle dos recursos hídricos. Seu objetivo é atender aos princípios de justiça social, levando em consideração as limitações econômicas e ambientais.

Outro fator determinante das perdas é que elas ocorrem em todos os sistemas de distribuição, embora os volumes de perdas sejam diferentes. Com isso, constituem um dos grandes problemas operacionais e, em casos graves, pode ocorrer um nível de perda de até 60% (Shabangu; Hamam; Adedeji, 2020).

Com isso, o monitoramento da água requer a integração da tecnologia e o equilíbrio da água disponível. Essa gestão da demanda do recurso hídrico torna-se crucial para garantir o abastecimento de água durante períodos de escassez (Rbués; García-Valiñas; Martínez, 2003; Russell; Fielding, 2010). Torna-se claro que as companhias precisam adotar abordagens inteligentes para a gestão desse recurso (Savić; Vamvakeridou-Lyroudia; Kapelan, 2014).

Manter os sistemas em bom estado de conservação requer políticas de manutenção constantes e o uso de tecnologias específicas. Uma vez que as

tubulações estão isoladas, identificar rapidamente a localização de vazamentos pode ser desafiador. Entre as técnicas empregadas para detectar vazamentos invisíveis está a metodologia de detecção por som, que se baseia no fato de que os vazamentos geram ruídos devido ao atrito da água com a fissura no tubo e seu impacto nas estruturas ao redor. Nessa técnica, um operador humano, com o auxílio de um Geofone (equipamento para captação e amplificação de sons no solo ou em estruturas), consegue identificar o local do vazamento (Brasil, 2018; Salvagnini; Monteiro; Nunes, 2017).

**Fotografia 1 - Técnico realizando varredura em rede de água para a detecção do vazamento**



**Fonte: Google (2024).**

No entanto, essa tarefa demanda tempo e a varredura ocorre de maneira insuficiente, pois exige a análise de longos trechos de tubulação. Em muitos casos, essa análise só pode ser realizada em horários em que não há movimentação de pessoas ou veículos, uma vez que ruídos externos podem ocorrer na mesma frequência do ruído do vazamento, interferindo no processo de captação do áudio do vazamento.

Nas concessionárias de distribuição de água, os indicadores de vazamentos nas redes incluem a perda de pressão nas unidades consumidoras e a diferença entre o volume de água enviado para uma determinada região e o volume mensurado pelos hidrômetros dos consumidores (Brasil, 2017; Brasil, 2019; Salvagnini; Monteiro; Nunes, 2017).

Nesse sentido, o Quadro 7 foi construído para demonstrar o que os autores apontados pela literatura abordam sobre monitoramento e suas principais características.

**Quadro 7 - Resumo dos estudos teóricos mais relevantes sobre monitoramento das perdas de água**

| <b>Autores</b>                   | <b>Principais características</b>                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aivazidou <i>et al.</i> (2021)   | Uso de sensores para monitorar a quantidade de água e detecção de possíveis vazamentos                                                                                                                               |
| Duan <i>et al.</i> (2020)        | Média de 10% de perda de água no sistema de abastecimento.                                                                                                                                                           |
| Giudicianni <i>et al.</i> (2020) | Otimização do sistema através de modelos hidráulicos. Recuperação de energia e estação de distrito multitarifa. Redução de até 16% nos vazamentos.                                                                   |
| Ramos <i>et al.</i> (2020)       | Medidas para monitorar e controlar as perdas de água. Redução de perdas de água, menores custos.                                                                                                                     |
| Nie <i>et al.</i> (2020)         | Existe uma quantidade de informações sobre os sistemas de abastecimento de água e os recursos técnicos, tendo em vista que são cada vez mais necessários. Uso software de IoT auxilia no monitoramento dos sistemas. |
| Singh; Ahmed (2021)              | Sensores de baixo custo e o uso da IoT resolveram os desafios da medição da qualidade da água.                                                                                                                       |
| Mamaheswari; Priya; Kumar (2021) | Uso de tecnologias, IoT, AI e a TICs, auxiliam na construção de sistemas inteligentes de monitoramento da água nas cidades.                                                                                          |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Já o Quadro 8 retrata o resumo de alguns modelos de tecnologias utilizadas pelas concessionárias para detecção de perdas que podem auxiliar as concessionárias na gestão de perdas de água. Desse modo, pode-se constatar que a tecnologia desempenha um papel vital na implementação desses modelos. O uso de várias tecnologias permite construir um sistema inteligente.

**Quadro 8 - Tecnologias para detecção de perdas**

| <b>Modelos de tecnologias para detecção de perdas</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tecnologias aplicadas</b>                          | <b>Principais características</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Detecção acústica de vazamentos                       | Reduz a perda de água e planeja reparos e substituições econômicas com nossas soluções de correlação acústica não invasivas.<br>Monitora e detecta vazamentos emergentes antes que eles apareçam nas redes de distribuição.                                                                                                                              |
| Imagens de satélite                                   | Redução significativa da perda de água.<br>Solução pode ser usada em qualquer tipo de tempo, tipo de tubulação e solo.<br>Redução significativa no trabalho de campo, através do foco em áreas específicas.<br>Priorização de vazamentos rapidamente, reduzindo a chance de grandes estragos.<br>Utilização de tecnologias de acesso para sensoriamento. |
| Imagem térmica                                        | Usa termovisores, as câmeras necessárias para enxergar a radiação infravermelha, é feita uma varredura em todo o ambiente, tentando procurar por discrepâncias na temperatura geral do local.<br>Busca pelo local exato do vazamento, evitando uma busca demorada ou quebrar pontos de forma desnecessária.                                              |
| Medidores de água inteligentes                        | Identificação de casos de vazamento, precisão da medição e redução de água não faturada.<br>O medidor de água inteligente com telemetria (IoT) pode rastrear em tempo real: o consumo de água; anomalias de vazão e pressão e identificação de vazamentos e fraudes remotamente.                                                                         |
| Sensores de pressão                                   | Caracteriza como um dispositivo com mecanismo acionado por pressão, que automatiza o enchimento e o esvaziamento de tanques com o auxílio de uma boia, um tipo de diafragma, por um interruptor, o sensor de nível de água limita o nível de água presente no recipiente.                                                                                |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

De acordo com os dados registrados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), para o ano de 2023, o índice de perdas na rede de distribuição para os prestadores de serviços de abrangência regional, ou seja, as companhias estaduais de saneamento, foi de 36,7% (Instituto Trata Brasil, 2023). A Lei nº 11.445/2007 garante a titularidade dos serviços de saneamento ao gestor público, o qual pode delegar a prestação dos serviços a autarquias municipais, consórcios públicos, empresas privadas, empresas públicas ou sociedades de economia mista estadual (companhias de saneamento) (Brasil, 2007). Sendo assim, fazer a gestão do controle e da redução de perdas é tarefa emergente para as companhias de saneamento se manterem competitivas.

Com base neste entendimento, é necessário implementar soluções que antecipem essas perdas de água com um processo estratégico para a tomada de

decisões, visando garantir a sustentabilidade e a competitividade da companhia diante de uma eventual concorrência. Além disso, investir no controle e na redução de perdas traz benefícios em diversos segmentos: "econômico", uma vez que, após os investimentos iniciais, os resultados incluem redução de custos operacionais e aumento no faturamento a curto prazo; "tecnológico", com a modernização de equipamentos e capacitação técnica; "energético", considerando que a redução de perdas promove economia e eficiência energética; "sociocultural", contemplando a necessidade de ações e campanhas sociais e educativas para conscientizar os envolvidos na redução de fraudes; e "ambiental", visto que a gestão de perdas é fundamental para mitigar os impactos da crise hídrica mundial (Brasil, 2007).

## **2.7 Considerações sobre a seção**

A seção apresentou os principais temas relacionados a esta pesquisa, abordando principalmente quais tecnologias estão sendo utilizadas em cenários nacionais e internacionais, destacando características relevantes para este estudo. No próximo capítulo, será exposta a metodologia utilizada para construir esta pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

Esta seção visa, principalmente, apresentar o caminho metodológico seguido para a construção da pesquisa. A pesquisa científica é um processo que envolve perguntas e investigação, com o objetivo de ampliar o conhecimento humano. Devido à sua complexidade, a pesquisa científica pode ser caracterizada de diversas formas, como serão apresentadas a seguir.

#### 3.1 Caracterização e organização da pesquisa

Todo e qualquer tipo de pesquisa decorre sempre de um problema a ser investigado, e para cada tipo de pesquisa existe a necessidade de um direcionamento específico que se refere à estratégia definida para integrar os diferentes componentes do estudo (Cauchick-Miguel *et al.*, 2018). Do ponto de vista da natureza esta pesquisa, caracteriza-se como aplicada. Conforme Gil (2017), a pesquisa aplicada produz conhecimentos para aplicação prática e visa a solução de problemas específicos. Assim, esta pesquisa visa propor um modelo de gestão baseado em tecnologias a serem utilizadas pela concessionária do município de Araguaína, visando a redução de perdas dos recursos hídricos.

Quanto aos seus objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória, pois conforme Gil (2017), a pesquisa exploratória busca proporcionar maior familiaridade com o problema em estudo, construindo hipóteses e envolvendo levantamento bibliográfico e experiências práticas, visando conhecer melhor a variável de estudo, seus significados e suas implicações, entre outros aspectos. Outra característica da pesquisa exploratória é que ela busca estudos já validados para, partindo de condições generalizadas, culminar com a compreensão de um ponto específico (Lakatos; Marconi, 2001).

Do ponto de vista de sua abordagem, a pesquisa caracteriza-se como qualitativa, pois tem como objetivo interpretar e descrever um processo de disponibilização de dados (Silva; Menezes, 2005). A pesquisa qualitativa propicia o entendimento de determinado evento, estudando os aspectos relevantes relacionados a ele por meio de perspectivas de pessoas e discussões científicas (Godoy, 1995). Neste contexto, com relação à abordagem do problema de pesquisa (Gil, 2017), este trabalho é classificado como pesquisa qualitativa, pois a pesquisa qualitativa se



relaciona à intenção de produzir um conhecimento especializado e eficaz para entender e fornecer respostas válidas que permitam propor um modelo de gestão baseado em estratégias e tecnologias a serem utilizadas pelas concessionárias de Araguaína, visando à redução de perdas dos recursos hídricos no município.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa pode ser classificada como bibliográfica e documental, pois resulta de uma busca exploratória, sistemática ou não estruturada, realizada através de consulta a publicações científicas, bem como a regimentos internos, leis e normativas que trazem embasamento ao tema pesquisado. Além disso, pode ser conceituada como uma busca pela compreensão e interpretação mais profunda dos fatos e acontecimentos específicos. Embora os resultados obtidos não possam ser generalizados, eles podem disseminar o conhecimento adquirido (Appolinário, 2009, p. 67).

Com relação ao tipo de coleta de dados, a pesquisa é qualificada como descritiva, pois tende a descrever o fenômeno estudado de acordo com a correlação entre as variáveis investigadas (Turrioni; Mello, 2012).

**Quadro 9 - Classificação da pesquisa**

| <b>Classificação da pesquisa</b> |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| <b>Eixo</b>                      | <b>Característica</b> |
| Natureza                         | Aplicada              |
| Abordagem                        | Qualitativa           |
| Objetivos                        | Exploratória          |
| Coletas de dados                 | Descritiva            |
| Procedimentos técnicos           | Bibliográfica         |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Após concluída a etapa de classificação da pesquisa, foram definidos os procedimentos para atingir cada objetivo específico, permitindo cumprir o objetivo geral, bem como responder ao problema da pesquisa.

Os procedimentos adotados para a pesquisa são descritos a seguir.

A metodologia orienta os passos de como a pesquisa deve ser conduzida. Assim, para uma melhor compreensão de toda a trajetória percorrida na realização deste estudo, o Quadro 10 apresenta um levantamento de todos os procedimentos

seguidos em cada etapa. Nas subseções seguintes, cada uma dessas etapas será fundamentada de acordo com a literatura, com os procedimentos detalhadamente descritos.

Quadro 10 - Etapas dos procedimentos metodológicos

| Partes                                     | Etapas                                                             | Procedimentos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Principais Autores                                                                                                                             | Objetivos A Serem Atingidos                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I parte: revisão sistemática de literatura | 1ª Etapa: Revisão de Literatura                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Bibliometria;</li> <li>•Leitura sistemática e análise de conteúdo;</li> <li>•Definição do problema ser pesquisado e pergunta de partida;</li> <li>•Pesquisa exploratória em literatura cinzenta sobre perdas, gestão de perdas, e tecnologias e ferramentas já utilizadas na gestão hídrica.</li> </ul> | (Cauchick-Miguel <i>et al.</i> , 2018) (Gil, 2017). (Pagani; Kovaleski; Resende, 2015; 2017)                                                   | Definido o problema, justificativa e os objetivos da pesquisa. (OE.I) Identificar na literatura as tecnologias utilizadas na redução de perdas;                                    |
| II parte pesquisa aplicada                 | 2ª Etapa: Coleta de Dados - Secretarias e órgãos responsáveis      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Observação assistemática para analisar o cenário tecnológico hídrico de Araguaína;</li> <li>•Tipos de tecnologias utilizadas pela concessionária;</li> <li>•Propor a utilização de novas tecnologias.</li> </ul>                                                                                        | (Rossi; Righetti; Renzi, 2016) (Sousa Pereira; Moraes; Figueira, 2020) (ANA, 2020) (BRK Ambiental, 2020) (Estado do Tocantins - SEPLAN, 2010). | (OE.II) Analisar o cenário da gestão dos recursos hídricos no Município de Araguaína - TO;<br><br>(OE.III) Realizar um levantamento das tecnologias utilizadas pela concessionária |
|                                            | 3ª Etapa: Análise de todas informações coletadas na etapa anterior | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Análise de todas informações dos responsáveis pela gestão hídrica</li> <li>•Análise documental dos relatórios e regimentos de gestão disponibilizado</li> <li>•Além de uma prévia de visualização dos sistemas utilizados.</li> </ul>                                                                   |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                    |
| III parte desenvolvimento da pesquisa      | 4ª Etapa: Desenvolvimento da Redação                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Cruzamento dos dados encontrados nas revisões de literatura e pesquisa documental:</li> <li>• Definição das tecnologias e suas funcionalidades, quanto a sua utilização e as características de cada uma delas.</li> </ul>                                                                              | (Campos; Fracalanza, 2010), (Rebouças, 2002), (Veloso, 2015). (Rabelo; Teixeira; Espluga, 2013)                                                | (OE.IV) Analisar a possibilidade de utilização de novas tecnologias que tratam de detecção de perdas por                                                                           |

|  |                                                      |                                                                       |                                                |                                                    |
|--|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|  | 5ª Etapa: Análise de todos os resultados encontrados | •Revisão da redação final<br>Demonstração dos resultados encontrados. | (Alves, 2015)<br>(Barbosa; Hanay; Silva, 2016) | vazamento no sistema de distribuição de Araguaína. |
|--|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|

Fonte: Autoria própria (2023)

Nesta pesquisa, os procedimentos metodológicos se dividiram em três partes: (I) Revisão sistemática da literatura, (II) Pesquisa aplicada no ambiente organizacional para compreender o cenário da concessionária, e (III) Desenvolvimento da redação com exposição dos resultados alcançados.

### 3.2 Revisão sistemática de literature

Segundo Gil (2017, p. 28), a revisão da literatura permite a fundamentação teórica adequada, bem como o entendimento do estágio atual da área na qual o estudo está se desenvolvendo. Na visão de Cervo, Bervian e Silva (2007), o passo inicial para qualquer pesquisa é o denominado levantamento bibliográfico, por meio do qual é possível: (i) escolher, delimitar e justificar a escolha de determinado tema; (ii) realizar revisão da literatura especializada; (iii) formular o problema de pesquisa; (iv) construir hipóteses; (v) descrever as amostragens e os instrumentos de coleta de dados.

Para realizar esta pesquisa, foi construído um portfólio de artigos científicos para a Revisão Sistemática de Literatura, utilizando a metodologia *Methodi Ordinatio* (Pagani; Kovalski; Resende, 2015, 2017). Esta metodologia é uma ferramenta de decisão multicritério que permite a ordenação de artigos considerando três variáveis: ano de publicação, fator de impacto (Fi) e número de citações (Ci) do artigo. A partir da ponderação dessas três variáveis, ocorre a ordenação de um portfólio de artigos através da equação *InOrdinatio*, que indica a relevância científica de cada artigo. Essa ordenação dos artigos possibilita classificar os trabalhos, individualmente, o que, diante da grande quantidade de artigos resultantes da pesquisa, proporciona uma maneira de selecionar os trabalhos mais adequados com rigor científico, otimizando a tarefa do pesquisador sem comprometer a qualidade científica (Gao; Melero; Sese, 2019; Souza *et al.*, 2019; Corsi *et al.*, 2020). As etapas da revisão de literatura são detalhadas a seguir.

**Etapas 1 – Estabelecimento da intenção de pesquisa:** neste estudo, a intenção de pesquisa baseou-se na busca por processos, ferramentas, e modelos de gestão de perdas de recursos hídricos.

**Etapa 2** – Pesquisa exploratória preliminar de palavras-chave em bancos de dados: a busca sobre a temática foi realizada em banco de dados como: Scopus, Web of Science, Science Direct.

**Etapa 3** – Definição da sintaxe de pesquisa: as configurações adotadas na pesquisa, de acordo com cada base de dados, foram:

**Scopus:** pesquisa por título, resumo e palavras-chave, selecionando somente artigos e revisões, utilizando o operador booleano (\*) ao final de cada palavra;

**Web of Science:** pesquisa por título, resumo e palavras-chave, selecionando somente artigos e revisões, utilizando o operador (\*) ao final de cada palavra;

**Science Direct:** pesquisa por título, resumo e palavras-chave, selecionando somente artigos e revisões, a base não permite o operador booleano.

Optou-se também por utilizar um recorte temporal, considerando o grande volume de trabalhos encontrados e o objetivo de abordar apenas tecnologias mais recentes na gestão de perdas. Assim, foram encontrados artigos dos anos de 2021 e 2022.

**Etapa 4** – Busca final nas bases de artigos: realizada a partir da definição das combinações de palavras chaves e das bases de dados, sendo o resultado obtido conforme o quadro 11. Nessa etapa foram definidos **3 linhas** de pesquisa, sendo a **Linha 1** com as combinações das *'water OR hydric resources'*, com o propósito de encontrar materiais nesta linha, **Linha 2** *'loss management template or loss management tools'*, com a intenção de encontrar materiais que retratasse essas tecnologias e as aplicabilidades de cada uma delas, e na **Linha 3** *'leakage management tools OR leakage management technologies'*, finalizando assim com apresentação dos resultados no quadro 10.

Quadro 11 - Resultados das buscas nas bases de dados

| COMBINAÇÕES DE PALAVRAS CHAVES |                                                                                                                                                                    | SCOPUS / | SCIENCE / | WEB OF / | TOTAL |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|-------|
|                                |                                                                                                                                                                    | DIRECT   | SCIENCE   | SCIENCE  |       |
| Linha 1                        | (water OR "hydric resources")<br>AND (leakage OR waste OR loss)<br>AND management                                                                                  | 73       | 104       | 195      | 372   |
|                                | (water OR "hydric resources")<br>AND (leakage OR waste OR loss<br>management)<br>AND ("management model" OR<br>"management tools"<br>OR "management technologies") | 250      | 606       | 344      | 1.2   |
|                                | (water OR "hydric resources") AND<br>("loss management model" OR<br>"loss management tools" OR<br>"loss management technologies")                                  | 3        | 3         | 301      | 307   |
| Linha 2                        | ("waste management model" OR<br>"waste management tools" OR<br>"waste management technologies")                                                                    | 0        | 31        | 0        | 31    |
|                                | (water OR "hydric resources") AND<br>("waste management model" OR<br>"waste management tools" OR<br>"waste management technologies")                               | 7        | 23        | 17       | 47    |
| Linha 3                        | (water OR "hydric resources") AND<br>("leakage management model" OR<br>"leakage management tools" OR<br>"leakage management technologies")                         | 2        | 2         | 301      | 303   |
| TOTAL DE ARTIGOS               |                                                                                                                                                                    | 2.263    |           |          |       |

Fonte: Autoria própria (2023)

Para analisar todos os ângulos da problemática, foi necessário realizar algumas combinações, como por exemplo, a linha 1 com a linha 3 e a linha 2 com a linha 1. Percebe-se que o embaralhamento das linhas resulta em uma maior quantidade de materiais, o que pode ser explicado pela multidisciplinaridade do tema.

**Etapas 5 – Procedimentos de filtragem:** com o objetivo de selecionar apenas artigos diretamente relacionados ao tema de pesquisa e eliminar trabalhos duplicados, foram aplicados critérios de filtragem: eliminação de duplicidades utilizando o gerenciador de referências Mendeley; exclusão de artigos de conferência e congressos, também através do gerenciador de referências; eliminação por conteúdo. O resultado obtido nessa etapa está descrito no Quadro 12.

**Quadro 12 - Resultados das buscas nas bases de dados**

| <b>Procedimentos de filtragem</b>                     |                 |                 |                 |
|-------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                                       | <b>Linhas 1</b> | <b>Linhas 2</b> | <b>Linhas 3</b> |
| Eliminação de duplicatas                              | 897             | 234             | 193             |
| Eliminação por tipo de documento                      | 551             | 38              | 39              |
| Eliminação por leitura de título                      | 34              | 43              | 27              |
| Eliminação por resumo                                 | 14              | 29              | 46              |
| Eliminação por linha em desacordo                     | 45              | 33              | 40              |
| Total geral de artigos eliminados                     | 1.541           | 377             | 345             |
| Total geral artigos                                   | <b>2.263</b>    |                 |                 |
| Total de artigos eliminados de todas as linhas        | <b>2.190</b>    |                 |                 |
| <b>Total geral de artigos selecionados no acervo.</b> | <b>73</b>       |                 |                 |

Fonte: Autoria própria (2023)

A exclusão por conteúdo ocorreu inicialmente pela leitura de títulos e palavras-chave, e em caso de dúvida, pelo exame do resumo ou do artigo completo. Após analisar todas as fontes, observou-se que o número de artigos foi maior em algumas das linhas de pesquisa, resultando em um grande volume de artigos.

**Etapas 6** – Identificando o fator de impacto, ano e número de citações: o fator de impacto selecionada para atribuir a importância ao periódico foi o JCR (Journal Citation Reports), caso a revista não apresente essa métrica, a sequência de métricas adotadas foram: CiteScore, Scientific Journal Rankings – SJR e Source Normalized Impact per Paper – SNIP.

Se o periódico não apresenta nenhuma dessas métricas, o valor atribuído ao Fi do artigo é zero. O ano de publicação é coletado no próprio artigo e, por fim, o número de citações (Ci), que é encontrado no Google Scholar.

**Etapas 7** – Classificando os artigos: essa fase busca classificar cada artigo de acordo com sua relevância científica, por meio da equação 1, denominada InOrdinatio:

$$Ordinatio = (IF/1000) + \alpha * [10 - (\text{AnoPesquisa} - \text{AnoPublicação})] + (Ci) \quad (1)$$

Em que:



IF é o Fator de Impacto;

- $\alpha$  é um fator de ponderação variando de 1 a 10 atribuído pelo pesquisador e quando mais próximo do 10 maior importância da atualidade do tema;
- **AnoPesquisa** é o ano em que a pesquisa foi realizada;
- **AnoPublicação** é o ano em que o artigo foi publicado;
- **Ci** é a quantidade de citações do artigo.

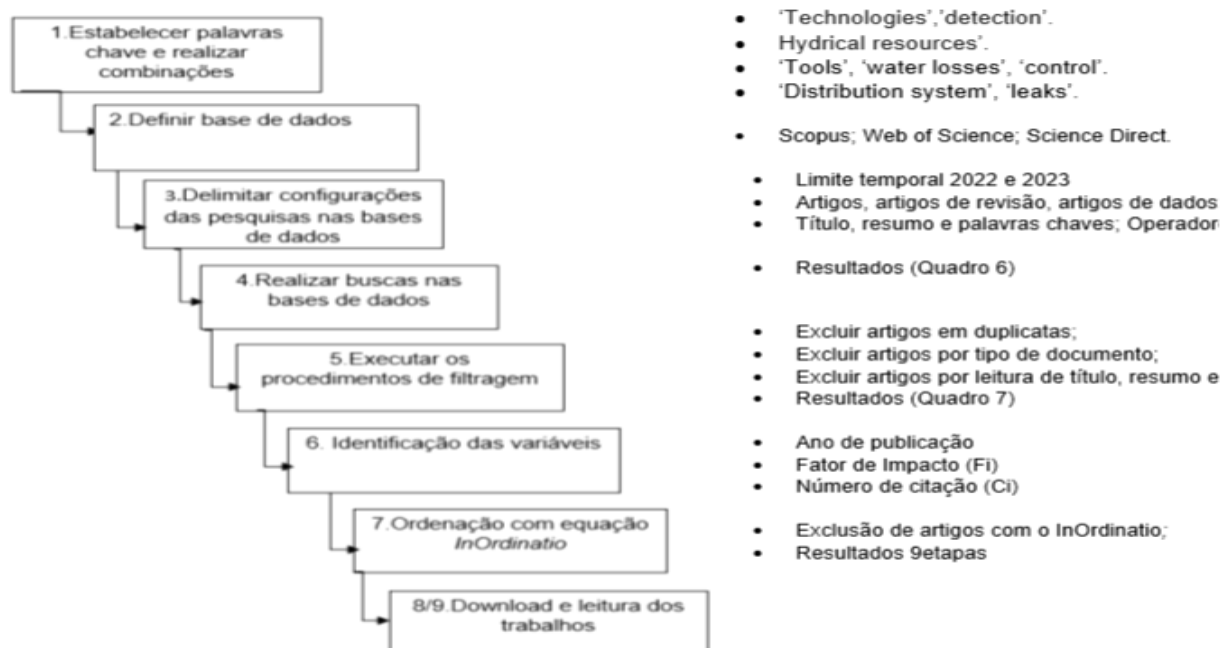
Finalizado a aplicação da metodologia InOrdinatio, os artigos foram organizados para leitura. Definiu-se como critério que todos os artigos dos anos de 2022 e 2023 seriam lidos por, possivelmente, apresentarem ferramentas mais atualizadas em relação ao tema estudado. Estabeleceu-se também que o menor valor de InOrdinatio de 2022 seria usado como linha de corte para os demais artigos. Ou seja, todos os artigos com InOrdinatio igual ou maior que 80 foram selecionados.

Essa delimitação de filtragem justifica a utilização da metodologia de pesquisa Methodi Ordinatio para compor um rico acervo de artigos conforme relevância aceita pela comunidade científica.

**Etapas 8 – Encontrando os artigos completos:** o próximo passo foi realizar o *download* de cada material.

**Etapas 9 - Leitura final e análise sistemática de artigos:** Após classificados em ordem de relevância, os artigos foram lidos e analisados em sua totalidade. Por fim, a síntese da aplicação do Methodi Ordinatio (Pagani; Kovaleski; Resende, 2015), pode ser observado na Figura 3.

**Figura 3 - Etapas para a construção do acervo de materiais**



**Fonte: Adaptado de Pagani, Kovaleski e Resende (2015; 2017)**

### 3.2.1 Análise bibliométrica

Nota-se que esta etapa possibilita o correto direcionamento da pesquisa em seus vários aspectos, justamente por se valer dos conhecimentos validados anteriormente nos estudos e relatos dispostos na literatura. Diante dessas características, as análises bibliométricas cresceram rapidamente devido aos pesquisadores utilizarem esse método para rastrear a quantidade de publicações de artigos e patentes sobre determinados assuntos para embasar suas pesquisas, o que a tornou uma referência amplamente aceita (Motoyama; Eisler, 2011).

Nesta pesquisa, todos os documentos encontrados foram analisados separadamente com o objetivo de obter um panorama bibliométrico geral. A análise baseou-se nos dados relacionados diretamente com a linha principal da pesquisa, considerando especialmente as publicações mais atualizadas sobre ferramentas tecnológicas utilizadas na gestão hídrica para prevenir e detectar perdas.

### 3.2.2 Análise de conteúdo

Essa etapa da pesquisa consistiu na análise de conteúdo dos documentos disponíveis no acervo final dos artigos utilizados neste estudo, buscando informações

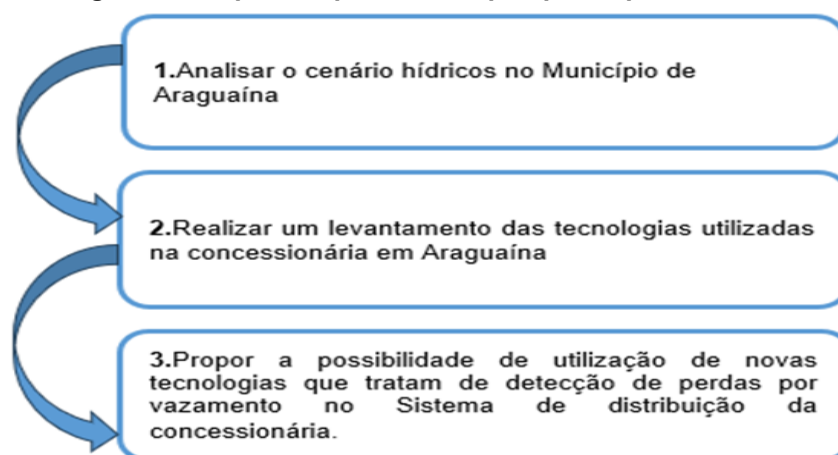
sobre as tecnologias empregadas para o controle de perda hídrica. Essas informações foram posteriormente organizadas em formato de texto, quadros e figuras, e apresentadas no capítulo 2 do referencial teórico, além de serem integradas aos demais capítulos deste trabalho. Essa análise foi fundamental para a construção de um embasamento teórico abrangente sobre as ferramentas utilizadas, fornecendo a base necessária para a pesquisa aplicada (Caregnato; Mutti, 2006; Cappelle; Melo; Gonçalves, 2003; Campos, 2004).

### 3.3 Pesquisa aplicada

Na perspectiva dos procedimentos e objetivos desta pesquisa, adota-se uma abordagem de natureza aplicada para resolver problemas concretos, práticos e operacionais.

O desenvolvimento desta pesquisa configura-se em 3 partes, como retrata a figura 4:

**Figura 4 - Etapas simplificadas da pesquisa aplicada**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para obter as informações necessárias nesta etapa foram definidas três sub etapas essenciais para a pesquisa. Para alcançar os resultados, optou-se pela coleta de dados por meio de entrevistas com os principais gestores do setor, utilizando perguntas abertas. Essa abordagem permitiu investigar as ferramentas utilizadas e o estado da gestão em relação ao uso de tecnologia.

A primeira etapa consistiu em analisar o cenário hídricos no Município de Araguaína;

A segunda etapa consistiu em realizar um levantamento das tecnologias utilizadas na concessionária em Araguaína;

A terceira etapa consistiu na proposta de adoção de novas tecnologias para a detecção de vazamentos no sistema de distribuição da concessionária.

### 3.3.1 Universo/contexto da pesquisa aplicada

A presente pesquisa foi desenvolvida na concessionária de recursos hídricos BRK no município de Araguaína – TO, que é a segunda maior cidade do estado, localizada ao norte do Tocantins, na microrregião de Araguaína. Possui uma área de 4.000 km<sup>2</sup> e faz divisa com os seguintes municípios: Aragominas, Babaçulândia, Carmolândia, Filadélfia, Muricilândia, Nova Olinda, Palmeirante, Pau d'Arco, Piraquê, Santa Fé do Araguaia e Wanderlândia, todos situados no próprio estado do Tocantins.

Com apenas 63 anos, o aumento populacional deste município foi de quase 100%, atingindo aproximadamente 186.245 pessoas. O índice de população urbana chega a cerca de 90% da população total, o que é considerado um dos maiores índices de urbanização. Araguaína é considerada um grande centro urbano polarizador das atividades econômicas, gerador de oportunidades e serviços (IBGE, 2022).

### 3.3.2 Análise das informações coletadas na pesquisa aplicada

De acordo com Caregnato e Mutti (2006), Cappelle, Melo e Gonçalves (2003) e Campos (2004), a análise de discurso das informações coletadas através da pesquisa aplicada foi organizada por meio de anotações em documentos de texto. Essas informações, aliadas à análise documental dos relatórios de qualidade e à visualização dos sistemas utilizados, serviram para nortear o desenvolvimento da redação da pesquisa. O objetivo é apresentar novas tecnologias a serem utilizadas pela concessionária de Araguaína, visando à redução de perdas dos recursos hídricos no município.

## 3.4 Considerações sobre a seção

Essa seção descreve detalhadamente como os procedimentos da pesquisa foram realizados. Inicialmente, a caracterização da pesquisa é feita para demonstrar

os tipos de estudo contemplados. Em seguida, apresenta-se a organização da pesquisa, ou seja, os passos necessários para sua realização, contemplando cada parte, etapa e procedimento, bem como os principais autores relacionados e os objetivos atingidos.

Após, foi descrita a revisão bibliográfica sistemática com cada uma de suas duas etapas, resultando em um acervo que inclui documentos institucionais utilizados na construção da análise bibliométrica e da análise de conteúdo, que também são descritas. A revisão de literatura, juntamente com as análises, permitiu que todas as demais etapas da pesquisa fossem possíveis por meio das informações fornecidas, atingindo assim a metodologia para a pesquisa aplicada e para o desenvolvimento da redação. Os resultados serão apresentados a seguir, no capítulo 4.

## **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Nesta seção, os resultados serão apresentados e discutidos, divididos conforme apresentado na Metodologia. Primeiramente, os itens (4.1 e 4.2) apresentam respectivamente, os resultados da Revisão de Literatura, onde são mapeadas as tecnologias utilizadas na gestão de perdas. Esta subseção visa o alcance dos objetivos específicos I e II. No item (4.3), são apresentados os resultados da Pesquisa Aplicada no município de Araguaína - TO, descrevendo o levantamento das tecnologias já utilizadas pela concessionária. Esta subseção visa o alcance do objetivo específico III. Na seção 4.3 são apresentadas as sugestões de tecnologias que podem ser utilizadas pela concessionária. Esta subseção visa o alcance do objetivo específico IV.

### **4.1 Resultado da revisão da literatura**

Após a realização da análise bibliométrica, que permite observar as principais características das publicações selecionadas, o crescimento do tema e as tendências, além de possibilitar uma aproximação com a temática discutida.

Foram analisados os 73 artigos provenientes da revisão de literatura realizada, conforme descrito no Quadro 11, com o objetivo de obter um panorama bibliográfico geral. Foram identificadas informações como número de publicações nos últimos anos, representatividade dos periódicos no portfólio, termos mais abordados e os mais frequentemente citados em conjunto. Para atingir os objetivos desta pesquisa foi realizada a leitura.

E para atingir o objetivo desta pesquisa, foi realizada a leitura dos artigos buscando, primeiramente, encontrar elementos que respondessem sobre o mapeamento das tecnologias.

#### **4.1.1 Mapeamento das tecnologias utilizadas na gestão de perdas dos recursos hídricos**

A literatura aponta diversas tecnologias utilizadas para a redução de perdas de água. O Quadro 13 lista estas tecnologias.

**Quadro 13 - Tecnologias Internacionais utilizadas na redução de perda**

| <b>Autores</b>                         | <b>Tecnologias</b>                             | <b>Principais resultados</b>                                                                                   | <b>País</b>    |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Li <i>et al.</i> (2011)                | Sistema de informação geográfica               | Utiliza a probabilidade de vazamento de cada segmento de tubo (com base em dados históricos de vazamentos)     | Pequim         |
| Sousa <i>et al.</i> (2014)             | (WDN) C-Town                                   | Otimização dos controles da bomba, seguido pela instalação de válvulas redutoras de pressão                    | Brasil         |
| Tricarico <i>et al.</i> (2014)         | Programação convencional das bombas            | A produção de energia é realizada pela locação estratégica na rede de bombas que operam como Turbinas (PATs).  | Brasil         |
| Notaro <i>et al.</i> (2015)            | Ferramenta de apoio à decisão                  | Sustentabilidade ambiental e energética de sistemas integrados de água.                                        | Itália         |
| Rossi; Righetti; Renzi. (2016)         | Turbina (PaT)                                  | Controlar os níveis de pressão nas redes de distribuição de água                                               | Suíça e Itália |
| Brentan <i>et al.</i> (2017)           | Modelo híbrido (simulador + otimizador)        | Redução relativa de 37,67%, a 40,82%                                                                           | Brasil         |
| Moczulski <i>et al.</i> (2018)         | Sistema SysDetLok,                             | Utilização de dados adquiridos das bases de dados GIS.                                                         | Polônia        |
| Sousa Pereira; Morais; Figueira (2020) | Estratégias (SODA) com o método ELECTRE TRI-nC | Trabalha com a instalação de válvulas redutoras de pressão e estabelecimento de setorização no sistema de rede | Brasil         |
| Babel <i>et al.</i> (2021)             | <i>Software</i> Epanet 2                       | Redução de vazamentos em 20 a 25% em casos de altas pressões                                                   | Tailândia      |
| Klosok-Bazan <i>et al.</i> (2021)      | Conjunto de indicadores de desempenho (IP)     | Trabalha na avaliação permanente da condição técnica da rede,                                                  | Polônia        |

**Fonte: Autoria própria (2024)**

O estudo realizado por Li *et al.* (2011) utiliza um método baseado no sistema de informação geográfica para otimizar de forma rápida e automática o *layout* dos instrumentos de detecção de vazamentos. Estes também são utilizados para estimar a probabilidade de vazamento de cada segmento de tubo (com base em dados históricos de vazamentos) e no auxílio da localização dos pontos de vazamentos (com

base em sinais de vazamento). A estratégia da área de medição distrital (DMA) é utilizada, de modo que são propostas diretrizes e um fluxograma para estabelecer um DMA para gerenciar as redes de grande escala em Pequim. Em 2007, o sistema detectou 102 vazamentos não óbvios (ou seja, 14,2% do total detectado em Pequim) nas áreas selecionadas, de modo que foi estimada uma economia de 2.385.000 m<sup>3</sup> de água.

Entretanto, a tecnologia recomendada por Sousa *et al.* (2014) em termos de vazamentos de água, consumo de energia, impacto ambiental e redução de custo financeiro, é um procedimento para resolver o problema da rede de distribuição de água (WDN) C-Town. A abordagem visa reduzir as perdas de água ocasionadas por vazamentos de fundo e aplicá-la a um sistema real de distribuição de água. Esta baseia-se na utilização de dois modelos de otimização (projeto de menor custo e de operação ideal), com base em conhecimentos de engenharia para propiciar a escolha das melhores estratégias. Dentre estas, cita-se a otimização dos controles da bomba, seguida pela instalação de válvulas redutoras de pressão (PRVs) e substituição de tubulações existentes. A instalação de 41 PRVs é uma estratégia que apresentou um bom benefício-investimento para redução das perdas de água. Já a estratégia de substituição do tubo pode ser considerada uma alternativa para um período de médio a longo prazo.

Para Tricarico *et al.* (2014) os estudos demonstraram que a programação convencional das bombas é uma alternativa para minimizar o consumo direto de eletricidade e otimizar sistemas de abastecimento de água. A produção de energia é realizada pela localização estratégica na rede de bombas que operam como Turbinas (PATs), as quais atuam de maneira semelhante às válvulas redutoras de pressão convencionais, recuperando adicionalmente eletricidade. Os resultados obtidos em um sistema de distribuição de água real demonstram um evidente benefício econômico para a instalação de PATs para recuperação de energia, juntamente com uma programação de bombas e regime de gerenciamento de pressão.

Para Notaro *et al.* (2015), a busca é pela melhoria energética dos sistemas de bombeamento de menor potência, juntamente com a instalação de painéis fotovoltaicos para suprir 40% da demanda de energia das estações de bombeamento de menor potência. Os resultados demonstram maior economia de água e energia, sendo com água não faturada (NRW), 16%, e com energia, 24,5%. A redução dos custos totais foi de 7,4% em relação ao cenário real.



Rossi, Righetti, Renzi (2016) utilizaram bombas como turbina (PAT) em um laboratório para avaliar seu desempenho e, posteriormente, aplicaram essa tecnologia em uma rede de distribuição de água. Na última década, devido ao aumento do custo das fontes não renováveis e a uma maior sensibilidade às questões ambientais, surgiu a possibilidade de recuperação da energia cinética da água por meio da instalação de turbinas nas adutoras e redes de abastecimento de água. Essas turbinas podem ser instaladas em substituição às válvulas reguladoras de pressão, cujo objetivo é controlar os níveis de pressão nas redes de distribuição de água. Esta tecnologia já vem sendo aplicada em países europeus, como Suíça e Itália, porém sua exploração ainda está longe do nível potencial de utilização.

As turbinas hidráulicas podem ser instaladas para recuperação de energia, mas devem ser projetadas com base no local de instalação. Os resultados demonstram que uma eficiência máxima de 76% pode ser obtida nos modos direto e reverso, com a mesma velocidade específica de 0,57. Além disso, o melhor ponto de eficiência (BEP) resultou próximo ao valor avaliado pela teoria de McCluskey, em detrimento das demais. Com base no estudo de caso real, para avaliar a viabilidade econômica de instalação de um PAT, funcionando nas mesmas condições fluidodinâmicas do PAT testado, em uma parte do aqueduto da cidade de Merano, localizada na Itália, que abastece 30% dos habitantes, foram obtidos 338,11 kWh para cada dia de operação.

Para Brentan *et al.* (2017), outra tecnologia é o modelo híbrido (simulador + otimizador) para encontrar as velocidades das bombas e os pontos de ajuste das válvulas redutoras de pressão (PRV), com o intuito de combinar economia de energia com outras duas variáveis: controle de pressão e redução das perdas de água em uma rede real de água, Campos do Conde II, localizada em Piracicaba, Brasil, com as seguintes características: 121 nós, 153 tubulações, 1 reservatório, 1 bomba, 1 tanque e 1 PRV.

Como resultados, comparando o consumo de energia do sistema utilizando a bomba operando a plena rotação e a bomba operando com cronograma ótimo, observa-se uma redução de 54,62% de energia. Ao comparar o sistema usando a bomba, trabalhando com a solução inicial e a melhor solução, é possível diminuir o consumo de energia em mais 12,40%. Em termos de diminuição de vazamentos, o cenário com cronograma inicial consegue uma redução relativa de 37,67%, enquanto o cenário com cronograma em tempo real obtém 40,82%.

Moczulski *et al.* (2018) realizaram a localização de vazamentos com base em modelos hidráulicos, utilizando o sistema SysDetLok, que aproveita os dados adquiridos das bases de dados GIS e das bases de dados de medição, manutenção e serviço. O estudo foi realizado em um sistema de abastecimento de água da Polônia, que fornece água para 150.000 habitantes. A implantação de investimentos para modernizar as redes de abastecimento de água, associadas a estas tecnologias, reduziu as perdas de água em 4,42% quando se comparam os anos de 2012 e 2016.

Sousa Pereira, Morais, Figueira (2020) combinaram o desenvolvimento e Análise de Opções Estratégicas (SODA) com o método ELECTRE TRI-NC para classificar áreas em categorias de criticidade, a fim de determinar prioridades para monitorar um serviço de manutenção. O estudo de caso foi realizado no município de Itamaracá, localizado no Nordeste do Brasil. A estrutura permite obter: (i) prioridades gerenciais para apoiar as decisões de manutenção que melhoram o planejamento de ação da empresa de água; (ii) conhecimento formal e estruturado sobre o sistema de distribuição de água; e (iii) benefícios à sociedade, com otimização da qualidade do serviço, redução de custos e preservação dos recursos hídricos. O estudo demonstra que ações como o desenvolvimento de campanhas de conscientização sobre o uso racional da água, a instalação de válvulas redutoras de pressão e o estabelecimento de setorização no sistema de rede são essenciais para melhorar a forma como a manutenção é gerenciada.

Em consonância com este cenário, torna-se urgente a busca por tecnologias. Babel *et al.* (2021) destacam a tecnologia que proporciona melhores resultados, utilizando um modelo hidráulico com o software Epanet 2 para avaliar alternativas de economia de água e energia em um sistema de abastecimento de água na Tailândia. Como resultados, observa-se que a aplicação de turbinas hidrelétricas pode reduzir a pressão e gerar eletricidade, enquanto o uso de válvulas redutoras de pressão (PRV) pode reduzir vazamentos em 20 a 25% em casos de altas pressões.

Klosok-Bazan *et al.* (2021) apresentam resultados da avaliação de perdas de água utilizando um conjunto de indicadores de desempenho (IP) que consideram a dependência da disponibilidade de recursos e condições específicas de operação. Com base na análise, percebe-se que, nos anos de 2013 a 2018, as perdas de água no pequeno sistema de distribuição que abastece um município da Polônia variaram de 7,0% a 9,5%. O índice médio de volume de água sem fins lucrativos é de cerca de 18%. Durante o período considerado, o ILI (Índice de Localização de Vazamentos)

ficou entre 0,53 e 0,82. Destaca-se que este último indicador é muito útil para avaliar a condição técnica da rede. A condição técnica do sistema de abastecimento de água analisado foi determinada como muito boa, de acordo com os critérios rigorosos da IWA (International Water Association) e da American Water Works Association, aplicáveis a países altamente desenvolvidos.

#### 4.2 Tecnologias de redução de perdas utilizadas em concessionárias brasileiras

As perdas de água são preocupantes para todas as concessionárias no Brasil, pois elevam os custos e reduzem as receitas, além de desperdiçar um recurso tão importante como a água. Dessa forma, o uso de tecnologias pode ser uma grande aliada na redução de problemas no sistema de distribuição (EOS Consultores, 2018).

O fato de a grande maioria das redes não ser visível a olho nu por estar enterrada gera grandes dificuldades na inspeção e detecção de vazamentos considerados invisíveis, ou seja, aqueles que não são visíveis superficialmente. A seguir, destacam-se os principais métodos de detecção e reparo de vazamentos.

A inovação tecnológica é fundamental para buscar o equilíbrio entre o desenvolvimento sustentável e o crescimento das redes de distribuição urbana de água. Isso é crucial diante dos problemas relacionados à qualificação da mão de obra e aos custos com reparos. Toda tecnologia que visa agilidade nos reparos, precisão na detecção de vazamentos e assertividade para reparos mais ágeis representa uma base sólida.

O Quadro 14 mostra os cenários de tecnologias que são usadas para combater as perdas.

**Quadro 14 - Cenários das tecnologias Brasileiras utilizadas na redução de perda**

| <b>Tecnologias</b>                                                  | <b>Características</b>                               | <b>Concessionárias que utilizam</b> |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>1.</b> Sistemas de águas inteligentes<br>(EOS Consultores, 2017) | Utilização sensores ao longo da rede de distribuição | ADASA, no Distrito Federal          |
| <b>2.</b> Correlacionador de sinais/ruído<br>(FAPESP, 2017)         | Utilização de geofone eletrônico                     | Sabesp/SP                           |

|                                                                         |                                                                                                  |                                   |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>3.</b> Sistemas de vídeo-Inspeção robotizado (EOS Consultores, 2017) | Utilização de robô e guiado via cabos                                                            | Sabesp/SP                         |
| <b>4.</b> Sistemas 4Fluid (Iot-Labs, 2024)                              | Utilização de inteligência artificial                                                            | Companhia de Saneamento de Manaus |
| <b>5.</b> Detector de vazamento de água NIT K718WA-LO (Iot-Labs, 2024)  | Utilização de alarmes para comunicar vazamentos                                                  | Rio Saneamento BL3 SA             |
| <b>6.</b> Softwares de planejamento (EOS Consultores, 2018).            | Utilização de programas que ajudam nas análises, projetos, simulações e otimizações dos sistemas | Sabesp Franca/SP                  |

**Fonte: Autoria própria (2024)**

#### 4.2.1 Sistemas de águas inteligentes

O conceito de sistemas de águas inteligentes utiliza sensores ao longo da rede de distribuição para coletar informações relevantes do sistema, como, por exemplo, a detecção de perdas. Os dados são processados por sistemas de inteligência artificial e manipulados por redes de dados complexos, os Big Data, que oferecem um plano de monitoramento e solução para as perdas e vazamentos. Com isso, é possível detectar onde uma rede de distribuição de água está falhando e antecipar crises e desperdícios. A perda desse recurso natural no Brasil é significativa, estimando-se que o equivalente a seis represas Cantareira seja desperdiçado por ano (EOS Consultores, 2017).

A Fotografia 2 retrata um sensor inteligente instalado no Parque Tecnológico de São José dos Campos, junto ao Centro de Desenvolvimento Tecnológico em Águas e Saneamento Ambiental (CDTASA).

**Fotografia 2 - Sensor inteligente**



**Fonte: Nexus (2024).**

#### 4.2.2 Correlacionador de sinais/ruídos

A tecnologia nacional é amplamente empregada na detecção de vazamentos, utilizando um aparelho da tipologia do geofone eletrônico. Esse dispositivo coleta informações (ondas sonoras) em um ponto específico da rede e correlaciona esses dados com outro ponto a uma determinada distância na mesma rede. Por meio de um software dedicado à análise de sinais e ondas, verifica-se se há pontos de vazamento neste trecho analisado, proporcionando maior precisão na localização de vazamentos em tubulações enterradas. Pesquisas indicam que esse sistema pode reduzir perdas físicas em até 20% (FAPESP, 2017).

O protótipo desenvolvido por um grupo de pesquisadores da UNESP de Ilha Solteira foi capaz de localizar 100% dos vazamentos nos campos de testes da Sabesp. O processo de detecção consiste na medição das vibrações da tubulação em dois ou mais pontos ao redor da área onde há suspeita de vazamento e na comparação dos resultados. Isso ocorre porque o sinal de vibração se atenua conforme a distância percorrida; a diferença entre os sinais permite estimar a localização do vazamento, sendo influenciada pelo tipo de solo em que a tubulação está instalada (FAPESP, 2017).

A correlação é baseada na diferença de tempo que o ruído de vazamento leva para atingir cada um dos sensores. Essa diferença de tempo é denominada Tempo de Retardo (Sapporo, 1994).

**Fotografia 3 - Correlacionador de sinais/ruídos**



**Fonte: FAPESP (2024).**

#### 4.2.3 Sistemas de Vídeo-Inspeção robotizado

Diagnóstico preciso e inspeção de tubulações envolvem o uso de sistemas de vídeo-inspeção, nos quais um robô é inserido e guiado por cabos, equipado com iluminação própria e câmeras de alta resolução. Com o sistema Rovver X, comercializado pela Sondeq, é possível filmar completamente a tubulação desde sua inserção até o final, permitindo a inspeção completa de sistemas de distribuição hídrica. Este robô é composto por 12 opções de rodas, um dispositivo de elevação para a câmera e o trator, iluminação adicional e diversos acessórios que permitem sua configuração rápida para inspecionar tubulações de 150 a 1800 mm (6 a 72 polegadas) de diâmetro. O sistema rastreia cada parte da tubulação, possibilitando o diagnóstico de patologias como rachaduras, processos corrosivos e ligações clandestinas (EOS Consultores, 2017).

**Fotografia 4 - Sistemas de vídeo-Inspeção robotizado**



**Fonte: Goldman Soluções em Saneamento (2024)**

#### 4.2.4 Sistemas 4Fluid

Sistema de detecção automática de vazamentos de água em redes e ramais de distribuição. Seu funcionamento é baseado em um sistema de inteligência artificial que, através das amostras captadas por um coletor móvel, consegue analisar os dados e classificá-los como vazamento ou não vazamento.

**Figura 5 - Sistemas 4Fluid**



**Fonte: lot-labs (2024)**

#### 4.2.5 Detector de Vazamento de Água NIT K718WA-LO

É um dispositivo para alarme de vazamento de água, utilizado em salas de máquinas, data centers, sistemas de ar condicionado ou qualquer projeto de *smart*



*home*. O detector contribui significativamente para a economia e sustentabilidade dos projetos.

**Figura 6 - NIT K718WA-LO**



**Fonte: lot-labs (2024)**

#### 4.2.6 Softwares de planejamento

No mercado atual existem diversos tipos de softwares que auxiliam no planejamento de soluções para os sistemas de distribuição. Esses programas ajudam nas análises, projetos, simulações e otimizações dos sistemas. O planejamento e simulação de um projeto podem colaborar na redução de custos operacionais e melhorar a qualidade do serviço. Pesquisadores indicam que softwares desse tipo podem melhorar a gestão energética das empresas. Hoje, a energia elétrica é um dos maiores gastos que as empresas concessionárias de saneamento básico possuem. Com os atuais desafios de simulação e modelagem hidráulica e de abastecimento em diversas regiões do país que ainda não são atendidas, os softwares ganham um papel fundamental. Reduzir custos e levar serviços de qualidade a regiões periféricas são grandes oportunidades que as empresas possuem. Portanto, buscar ferramentas de auxílio para verificar como trabalhar, são fundamentais na busca de soluções pertinentes. Além disso, hoje em dia, existem softwares para gestão de processos para as empresas de saneamento. Assim como os sistemas de planejamento e monitoramento, esses softwares podem fazer a diferença nos serviços ofertados. Nota-se que a tecnologia pode ser uma solução eficiente, seja para minimizar os



problemas ou para fornecer soluções que garantam os serviços aos consumidores (EOS Consultores, 2023).

### 4.3 Resultado da Pesquisa aplicada

Considerando os procedimentos metodológicos desta pesquisa, descritos no quadro 5 (2ª etapa - Pesquisa aplicada e Coleta de dados), a referida etapa foi dividida em subetapas conforme a figura 4: analisar o cenário da gestão dos recursos hídricos no município de Araguaína - TO; realizar um levantamento das tecnologias utilizadas na concessionária em Araguaína; e analisar a possibilidade de utilização de novas tecnologias que tratam da detecção de perdas por vazamento no sistema de distribuição da concessionária.

No item a seguir, é descrito sucintamente, de forma clara e objetiva, o cenário hídrico do município.

#### 4.3.1 Compreendendo o cenário dos recursos hídricos em Araguaína – TO

A BRK, empresa privada de saneamento do Brasil, está presente no Tocantins desde 2012, com o desafio de garantir a cobertura com serviços de qualidade em toda a área urbana de 47 dos 139 municípios do estado. A empresa é responsável pela gestão dos serviços de captação, produção, tratamento e distribuição de água tratada, além da coleta, afastamento, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários. Em Araguaína, a empresa atua especificamente na gestão dos serviços de água e esgoto.

As informações abaixo retratam o cenário atual do município de acordo com os dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) de 2022, fornecidos pelo prestador de serviços no município. Esses dados representam o consumo médio de água por habitante e a média de perda de água na distribuição no município.

**Quadro 15 - Cenário hídrico de Araguaína**

|                                        |                                                  |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Responsável pelo abastecimento de água | Companhia de Saneamento do Tocantins - SANEATINS |
| Consumo médio de água por habitante    | 136,00L/(hab.dia)                                |
| Índice médio de perdas                 | 35,19%                                           |

|                                                            |             |
|------------------------------------------------------------|-------------|
| Custo do serviço de abastecimento de água                  | R\$ 5,81/m3 |
| Tarifa média de água                                       | R\$ 5,53/m3 |
| Domicílios com canalização interna em pelo menos um cômodo | 93,72%      |
| Domicílios com canalização interna somente no terreno      | 3,44%       |
| Domicílios sem canalização interna                         | 2,21%       |

**Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados do Instituto Água e Saneamento (2024)**

Quando se trata de consumo e preço, o consumo médio per capita em Araguaína - TO é superior à média nacional, enquanto o preço por m³ de água na cidade é 52,48% inferior ao praticado no restante do país.

**Quadro 16 - Consumo e preço**

|                          | <b>Município</b>          | <b>Estado</b>              | <b>País</b>                |
|--------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Consumo médio per capita | 147,7<br>l/habitantes/dia | 141,97<br>l/habitantes/dia | 153,26<br>l/habitantes/dia |
| Tarifa média de água     | 7,14<br>R\$/m³            | 6,64<br>R\$/m³             | 5,46<br>R\$/m³             |

**Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados do Instituto Água e Saneamento (2024)**

O prestador mede o consumo de 100% das economias de água, ou seja, todos os estabelecimentos que possuem hidrômetros. No entanto, 33,64% da água captada é perdida na rede antes de chegar às economias.

**Quadro 17 - Cenário Eficiência**

|                                  | <b>Município</b> | <b>Estado</b> | <b>País</b> |
|----------------------------------|------------------|---------------|-------------|
| Índice de hidrometração          | 100%             | 98,79%        | 91,42%      |
| Índice de perdas na distribuição | 33,64%           | 34,57%        | 37,78%      |

**Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados do Instituto Água e Saneamento (2024)**

De acordo com os dados do prestador, 97,1% da população total tem acesso aos serviços de abastecimento de água, enquanto a média do estado do Tocantins é de 87,53% e a do país é de 84,2% (Instituto Água e Saneamento, 2024).

#### 4.3.2 Resultados do questionário

Concluída a primeira parte da pesquisa aplicada, que consiste na análise do cenário hídrico do município, conforme descrito no tópico anterior, dá-se início à segunda etapa da pesquisa, a qual abrange a realização de entrevistas, conforme detalhado no item 3.3. Foram realizadas um total de 8 perguntas, sendo 7 delas de respostas abertas e 1 de resposta fechada. O objetivo dessas perguntas é esclarecer a problemática em questão: quais tecnologias podem ser utilizadas pelas concessionárias de Araguaína visando à redução de perdas dos recursos hídricos no município?

A primeira pergunta foi relacionada à gestão de perdas, perguntando se o controle da rede de distribuição é realizado de forma automatizada. A concessionária respondeu que tem realizado grandes investimentos em tecnologias, destacando que essas iniciativas para reduzir perdas contam com investimentos em tecnologias e sistemas que setorizam as redes e mensuram a diferença entre o volume de água distribuído e consumido.

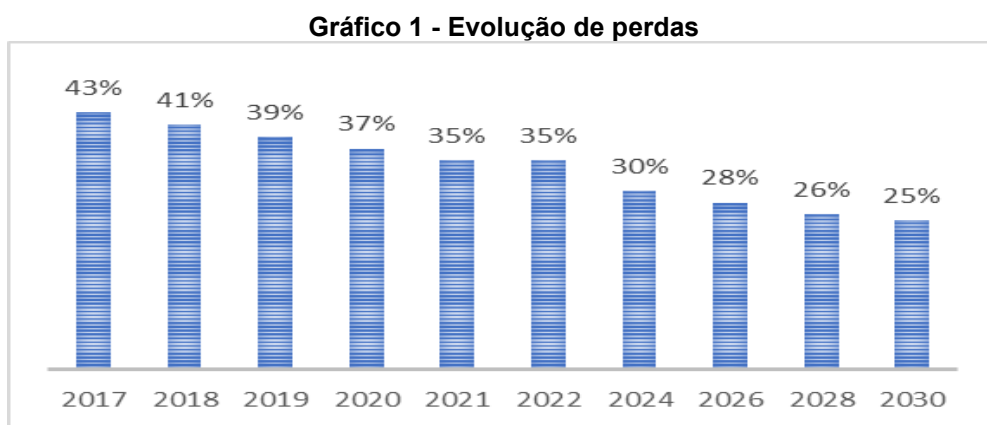
A segunda pergunta abordou se a concessionária possui algum plano de 'ações de perdas'. A BRK explicou que o Programa de Redução de Perdas foi implantado pela concessionária em 2017, com o objetivo de desenvolver ações de controle de perdas no sistema de abastecimento de água. Para alcançar esses resultados, a BRK empregou alta tecnologia, mão de obra qualificada e otimizou processos, o que permitiu uma redução do índice de perdas na distribuição de 36% em 2017 para 31% em 2022.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2022, o índice de perdas na região Norte é de 51,2%, enquanto a média nacional é de 37,78%. "Primamos pela melhoria contínua dos serviços por meio de soluções inovadoras que trazem resultados positivos para o meio ambiente e para a sociedade. Esses números reforçam nossos valores de garantir a excelência operacional, levando o saneamento além do básico, com qualidade e respeito ao meio ambiente", destacou a concessionária.

A terceira pergunta questiona se a concessionária reconhece que o sistema de perdas pode ser evitado com o uso da tecnologia. A concessionária afirmou que trabalha com o programa de segurança hídrica e combate a perdas, o que permitiu evitar o desperdício de 25 bilhões de litros de água entre 2018 e 2022. A empresa

informou que o modelo escolhido, baseado em programas para identificação e reparo de vazamentos e renovação/substituição de redes, vem reduzindo as perdas de água anualmente. Em 2022, a companhia reduziu as perdas de 41%, registradas em 2018, para 35%. Para garantir a efetividade dessa jornada, assumiu o compromisso de atingir 25% até 2030.

A quarta pergunta foi se a concessionária tem um levantamento quanto à perda física ou 'real' e à perda aparente ou 'não física' em um registro contabilizado. A concessionária apresentou informações demonstradas no gráfico 1, que retrata o balanço relacionado a perdas.



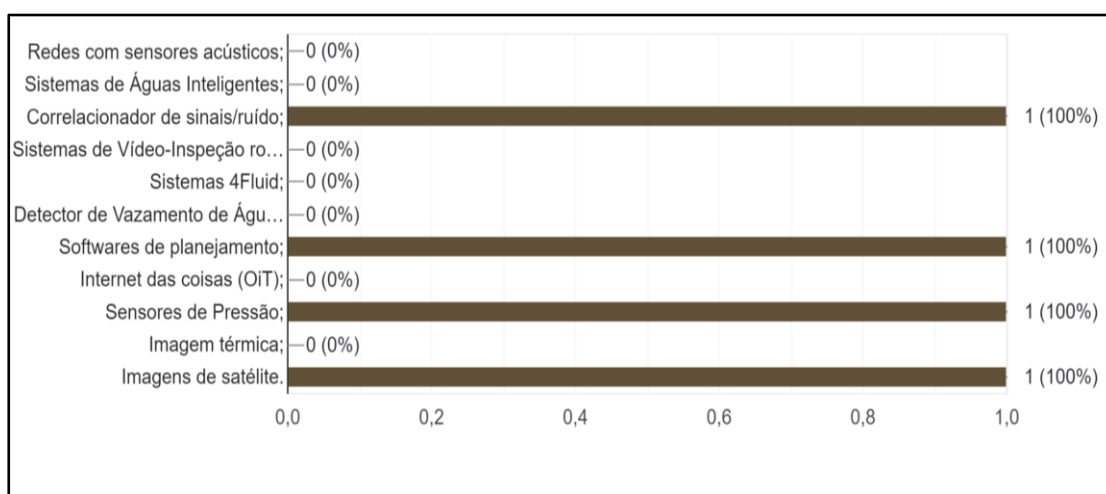
**Fonte: Autoria própria (2024)**

A quinta pergunta foi sobre quais fatores mais frequentemente originam vazamentos no sistema. A concessionária informou que a falta de manutenção é um dos principais fatores e destacou que, como as tubulações estão enterradas, há uma enorme dificuldade em encontrar os locais exatos de perda de água. Ressaltou ainda que o monitoramento desses fatores de risco é feito por meio de um relatório diário de análise de qualidade da água, bem como um relatório mensal de possíveis contaminações ocorridas e seus respectivos planos de ação. Além disso, são realizadas análises preventivas para relatar a escassez hídrica. Todos esses trabalhos são feitos sob o comando Operacional, conforme ressaltou o Diretor de Engenharia da BRK.

A sexta foi uma pergunta fechada, apresentando uma lista de tecnologias, e quis saber se a concessionária utiliza alguma dessas tecnologias de monitoramento que controlam o abastecimento de água em tempo real e detectam vazamentos. A concessionária detalhou que os programas de redução de perdas de água tratada são

um grande desafio enfrentado não só em Araguaína, mas em todo o Brasil. A empresa mencionou o desperdício de água devido à ineficiência da rede de distribuição, que apresenta vazamentos e falta de manutenção. Como as tubulações estão enterradas, há uma enorme dificuldade em encontrar os locais exatos de perda de água. Por isso, a detecção desse tipo de problema tem sido feita com equipamentos altamente tecnológicos, que utilizam sensores de pressão, sistemas acústicos e até imagens via satélite.

**Gráfico 2 - Tecnologias apresentadas**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

A sétima pergunta procura saber se a concessionária trabalha com alguma outra tecnologia não citada acima. A concessionária destacou a importância dos algoritmos gerados pelos aparelhos de monitoramento, que permitem encontrar as anormalidades na rede e realizar os devidos reparos para reduzir o desperdício. O Programa de Redução de Perdas é uma iniciativa que aumenta a eficiência no setor e permite que a distribuição de água seja feita de forma mais eficiente e sustentável. Um dos principais projetos para a redução das perdas técnicas é o Balanço Hídrico, que consiste na instalação de medidores inteligentes responsáveis por monitorar a entrada e a saída de água de cada estação. A concessionária também mencionou a utilização da tecnologia inovadora do sistema holandês Nereda.

A oitava pergunta questiona se a concessionária dispõe de interesses operacionais e estratégicos para ampliar sua forma de gerenciamento. Segundo o diretor de tecnologia da BRK está prevista a utilização de membranas para filtração no tratamento da água, uma forte tendência, pois várias empresas já estão produzindo

esse material com boa qualidade por um preço acessível. Ademais, o diretor destaca a urgente necessidade de substituir os tratamentos convencionais de sistemas de perdas de água no município por processos que ocupem menos espaço, gastem menos energia e sejam mais automatizados. Nesse contexto, tecnologias alternativas, como a Nereda, surgem como grandes promessas.

#### 4.4 Discussão

Iniciou-se essa pesquisa com uma análise bibliográfica para identificar quais tecnologias referentes a controle e gestão de perdas hídricas, foi observado um cenário com diversas alternativas tecnológicas, software de gestão. Porém, as perdas em sistemas de distribuição de água trazem consequências tanto para as companhias de saneamento, quanto para o meio ambiente, já que um alto desperdício corresponde a uma necessidade de captação e produção maiores que o volume realmente exigido. A pressão e o fluxo de água são geralmente utilizados para detectar a área e a rede da tubulação que potencialmente tem a presença de vazamentos.

De acordo com Revenga *et al* (1998) e Tundisi (2007, 2009), o gerenciamento de recursos hídricos e a ciência básica devem ser, portanto, integrados de forma a produzir e implantar soluções mais consistentes e de longo alcance, com capacidade preditiva. Esse esforço de integração é tarefa que demanda a participação de acadêmicos, pesquisadores, tomadores de decisão e gerentes. Esses atores, em conjunto, podem desenvolver novas e criativas soluções para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

Percebe-se que o combate às perdas demanda um esforço permanente, pois as perdas de água têm uma tendência natural de aumento, ou seja, se nada for feito as perdas aumentam pois, com o passar do tempo, a infraestrutura envelhece, surgem novos vazamentos, os hidrômetros perdem precisão e as irregularidades aumentam. Assim é preciso realizar um nível de esforço e aplicação de recursos para evitar que as perdas aumentem, e um nível adicional para reduzir as perdas.

Para isso existem as estratégias e técnicas de controle para perdas de água que foram desenvolvidas em muitas partes do mundo (Lambert; Hirner, 2002; Kanakoudis *et al.* 2011). Entretanto existem ferramentas básicas de intervenção para controlar perdas reais em sistemas de distribuição de água, que são gerenciamento de pressão, gerenciamento de vazamento ativo, velocidade e qualidade dos reparos e gerenciamento de dutos e ativos (Lambert; Hirner, 2002).

Com isso, as ações para o combate às perdas físicas ou reais são realizadas na forma de: gerenciamento de pressões a partir da execução de obras de setorização dos sistemas de distribuição de água, incluindo a instalação de válvulas redutoras de pressão em áreas específicas com pressões elevadas, para reduzir e estabilizar as pressões de modo a reduzir a quantidade de novos vazamentos e a vazão dos vazamentos existentes; varreduras para localização de vazamentos não visíveis; reparo dos vazamentos visíveis e não visíveis em redes e ramais; renovação da infraestrutura com a substituição de redes e ramais antigos e deteriorados; execução de obras de adequação dos setores de abastecimento, com melhoria dos níveis de pressão nas redes e a redução do tamanho das áreas de controle, de modo a otimizar sua operação e manutenção.

Com isso, o monitoramento da água requer a integração da tecnologia e o equilíbrio da água disponível. Aliás, essa gestão da demanda do recurso hídrico torna-se importante para garantir um abastecimento de água em tempos de escassez (Rbués; García-Valiñas; Martínez, 2003; Russell; Fielding, 2010). Torna-se claro que as companhias precisam de abordagens inteligentes para realizar a gestão desse recurso (Savić; Vamvakeridou-Lyroudia; Kapelan, 2014).

Foi possível compreender com essa pesquisa, que as técnicas mais utilizadas para identificar e localizar o vazamento pela concessionária em Araguaína foi o correlacionador de sinais/ruído e sensores de pressão. Essas ferramentas apresentam uma precisão em estimar a posição do vazamento ao longo da tubulação, esses dispositivos utilizam a técnica da correlação cruzada e são muito efetivos em tubos metálicos, entretanto, quando aplicados a tubos de plástico essa técnica é drasticamente afetada devido a elevada atenuação do sinal de vazamento. Porém, o município ainda caminha a passos lentos quando o assunto é tecnologia hídrica, percebe-se que a concessionária precisa reparar impactos negativos, como interferências nas vias públicas durante a execução das obras e manutenções no sistema de abastecimento de água.

Com isso, o objetivo geral da pesquisa foi mapear novas tecnologias existentes que tratam da detecção de perdas por vazamentos em sistemas de distribuição de água potável. Esse objetivo foi alcançado através do portfólio de artigos encontrados na análise bibliográfica. Além disso, os objetivos específicos também foram atingidos, visto que o primeiro objetivo específico, identificar na literatura as tecnologias utilizadas na redução de perdas, foi concluído através do referencial

teórico e da pesquisa bibliográfica, utilizando o portfólio de artigos científicos relevantes encontrados pela Methodi Ordinatio. O estudo detalha diversas tecnologias que podem ser utilizadas pela concessionária.

O objetivo específico 2 foi analisar o cenário da gestão dos recursos hídricos no Município de Araguaína - TO. Este objetivo também foi concluído através da pesquisa aplicada realizada na concessionária do município.

O objetivo específico 3 da pesquisa que foi realizar um levantamento das tecnologias utilizadas pela concessionária foi concluído através da pesquisa aplicada e com aplicação do questionário, a qual as perguntas buscavam detalhar melhor o âmbito operacional da concessionária. E, por fim, o quarto objetivo específico foi sugerir a possibilidade de utilização de novas tecnologias que tratam de detecção de perdas por vazamento no sistema de distribuição de Araguaína.

A combinação da pesquisa bibliográfica e da aplicação do questionário aliada a pesquisa aplicada, possibilitou obter um panorama de como o cenário hídrico do município. Como resultado, a pesquisa identificou que apesar de existir modernas tecnologias, a concessionária faz pouca adesão das mesmas para combater perdas de águas tratada. Consciente da sua responsabilidade com relação à situação de escassez dos recursos hídricos, e que toda sociedade que será afetada no futuro, com o número crescente da população. Se as barreiras impostas para a não utilização de tecnologias o aumento da perda hídrica irá aumentar.



## 5 CONCLUSÃO

Compreende-se que a gestão de recursos hídricos em âmbito mundial é uma das questões mais importantes para o futuro da humanidade. O legado que podemos deixar para as próximas gerações é definido pelas gestões efetuadas hoje. A gestão e controle de perdas de água são assuntos urgentes, considerando que a água é vital para toda forma de vida na Terra. O desperdício é prejudicial não só economicamente, mas também culturalmente. O planejamento adequado dos recursos hídricos é fundamental para o desenvolvimento do país a curto e longo prazo. O tratamento e distribuição eficientes são essenciais para demonstrar responsabilidade na disponibilidade deste recurso vital. Dados precisos são fundamentais para entender o funcionamento do sistema. Há muito a ser discutido sobre este tema e o levantamento de informações apenas enfatiza a urgência do problema atual. Em muitos lugares do mundo, o desperdício de água acaba sendo mais oneroso do que investimentos planejados.

Diante disso, esta pesquisa buscou por tecnologias que auxiliem na redução das perdas de água tratada, visando contribuir para o desenvolvimento sustentável e a economia dos recursos hídricos, além de diminuir os custos de produção. Assim, os estudos realizados nesta área representam uma significativa contribuição para o setor.

Para isso, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) utilizando a metodologia *Methodi Ordinatio*, resultando em um portfólio de artigos científicos relevantes, que serviram como fonte de dados para a análise do conteúdo. Além disso, uma pesquisa documental foi conduzida em documentos técnicos, que serviram como base para compreender o cenário tecnológico hídrico nacional e municipal, respondendo assim ao primeiro objetivo específico da pesquisa, que era identificar na literatura as tecnologias utilizadas na redução de perdas. O segundo objetivo foi analisar o cenário da gestão dos recursos hídricos no Município de Araguaína - TO, para isso, foi realizada uma pesquisa documental e entrevistas com gestores da concessionária, com o intuito de realizar um levantamento das tecnologias utilizadas pela concessionária e analisar a possibilidade de utilização de novas tecnologias que tratam da detecção de perdas por vazamento no sistema de distribuição de Araguaína. A partir dessas etapas, foi possível identificar as ferramentas tecnológicas utilizadas e avaliar o estado da gestão relacionada ao uso dessas tecnologias.

Como resultado, a pesquisa identificou excelentes ferramentas tecnológicas que poderiam auxiliar no processo de gerenciamento para redução de perdas de água. No entanto, este estudo destacou que o município de Araguaína enfrenta limitações na aplicação prática dessas tecnologias.

A pesquisa também detectou que as perdas de água não se apresentam apenas como um problema técnico e econômico, restrito à esfera de atuação de uma companhia local ou regional de abastecimento de água. A questão objeto deste trabalho tem complicações maiores, com repercussões que podem gerar impacto em diversos aspectos, como político, econômico, social, tecnológico, legal e ambiental, gerenciar e reduzir perdas não é um problema somente da concessionária BRK, abrange um problema nacional, como também mundial, visto diversos estudos internacionais, tampouco de fácil solução.

É sabido que todo sistema de água no mundo tem um certo volume de perdas reais. No entanto, também é comprovado que essas perdas podem ser administradas de forma a permanecer dentro dos limites econômicos e ambientais aceitáveis. Observa-se ainda que isso independe do tamanho das cidades.

Com isso, o estudo limita-se pela carência de aplicação prática dessas tecnologias que podem impactar na redução do volume de água. Sugere-se para trabalhos futuros a implementação de uma dessas tecnologias e o acompanhamento dos resultados obtidos. Essa utilização abre portas para solucionar o grande volume de água tratada que não chega às residências e é perdida após sair dos reservatórios.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Sugere-se para futuros trabalhos que o estudo sobre a utilização de tecnologias possam continuar, com sugestões de melhorias para as concessionárias, para que estas possam conseguir reduzir os grandes índices de perdas de água, essas pesquisas consideram que é necessário a existência de um programa de redução de perdas com ações estruturadas e constantes.

## REFERÊNCIAS

- ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental). **Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água:** diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. Rio de Janeiro, 2013.
- ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção). **A profissão.** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2020. Disponível em: <http://portalabepro.educacao.ws/a-profissao/#1521896790619c29714ce-c6b0>. Acesso em: 01 mar. 2023
- ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção). **A Profissão da Engenharia de Produção. Saiba mais sobre a Engenharia da Produção.** 2021. Disponível em: <http://portal.abepro.org.br/profissao/>. Acesso em: 01 mar. 2023.
- AIVAZIDOU, E. *et al.* Smart technologies for sustainable water management: An urban analysis. **Sustainability**, v. 13, n. 24, 13940, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132413940>. Acesso em: 30 mar. 2024
- ALVES, A. B. **Avaliação da qualidade democrática do processo de elaboração do plano de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Doce.** 2015. Dissertação (Mestrado em Política Social) – Programa de Pós-graduação em Política Social, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Apresenta a estrutura do sistema de Cobrança pelo uso dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.** Brasília: ANA, 2001. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRechidricos/CobrancaUso/BaciaPBS.asp>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **História do uso da água no Brasil:** do descobrimento ao Século XX. Versão preliminar, Brasília: ANA, 2007.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Cadernos de Recursos Hídricos:** panorama do enquadramento dos corpos d'água. Brasília: ANA, 2009.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água.** Brasília: ANA, 2013.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020:** informe anual. Brasília: ANA, 2020. 118 p. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/conjuntura-2020-traz-dados-que-servirao-de-base-tecnica-para-novo-plano-nacional-de-recursos-hidricos-2022-2040/> Acesso em: 11 jan. 2023.
- ANJOS, D. C. *et al.* Perda de água por infiltração: propriedades físicas e químicas de solos de reservatórios da aquicultura. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 9, n. 1, p. 22-31, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpel.edu.br/index.php/rbes/article/view/232>. Acesso em: 12 de jun de 2023.

ALKASSEH, J., *et al.* Aplicando o fluxo noturno mínimo para estimar a perda de água usando modelagem estatística: um estudo de caso em Kinta Valley, Malásia. **Gestão de Recursos Hídricos**, v.27, n.5, p.1439–1455, 2013.

APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de metodologia científica**: um guia para a produção do conhecimento científico. [S.I.]: Atlas, 2009.

ARBUÉS, F.; GARCÍA-VALIÑAS, M. Á.; MARTÍNEZ -ESPIÑEIRA, R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. **The Journal of Socio-Economics**, v. 32, n.1, p. 81- 102, 2003. Disponível em: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/87905/72/arbus2003.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2024.

BARBOSA, F. D.; HANAI, F. Y; SILVA, P. A. Participação, representação e representatividade no processo de tomada de decisão em comitês de bacias hidrográficas: conceitos, reflexões e discussões. **Sustentabilidade em debate**, v.7, n,3 p.34-46, dez. Brasília, 2016.

BABEL, M. S. *et al.* Evaluating the potential for conserving water and energy in the water supply system of Bangkok. **Sustainable Cities and Society**, v. 69, p.102857, 2021.

BEHNKE, N. L. *et al.* Environmental health conditions in protracted displacement: A systematic scoping review. **The Science of the total environment**, v. 726, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138234>. Acesso em: 01 jul. 2023.

BESKOW, S. *et al.* Simulação das perdas de água por evaporação e retenção, no aspersor NY-7 (4,6 mm x 4,0 mm), em sistemas de aspersão convencionais. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.3, p.427-437, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000300004>

BICUDO C. E. M.; BICUDO D. **Águas do Brasil. Análises Estratégicas**. Nota técnica. Academia Brasileira de Ciências. 4p. 2010.

BOYLE, T. *et al.* **Intelligent metering for urban water**: a review. Water: Switzerland, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w5031052>. Acesso em: 10 abr. 2021.

BRAGA, B. *et al.* Monitoramento da quantidade e qualidade das águas. In: REBOUÇAS, A. *et al.* (eds). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006, p. 145-160.

BRASIL. Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. **Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências**. Brasília - DF: Diário Oficial da União, 1990.

BRASIL. **Sistema nacional de informações sobre saneamento**: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2018. 2018.

BRASIL. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos** - 2019. 2019.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Brasília - DF: Diário Oficial da União, 2020.

BRENTAN, B. M. *et al.* Near real time pump optimization and pressure management. *Procedia Engineering*, v. 186, pp. 666-675, 2017.

BRK AMBIENTAL. **Relatório ESG BRK Ambiental – Visão e Impactos em Sustentabilidade**, 2020. Disponível em: <https://relatorioanual.brkambiental.com.br/2020/> Acesso em: 01 jul. 2023.

BUTZKE, A.; PONTALTI, S. **Os recursos naturais e o homem: o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado frente à responsabilidade solidária**. Caxias do Sul: Educus, 2012. Disponível em: [https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/recursos\\_naturais\\_homem\\_EDUCS\\_ebook.pdf](https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/recursos_naturais_homem_EDUCS_ebook.pdf) f. Acesso em: 03 abr. 2023.

B&B ENGENHARIA. **Plano de Redução e Controle de Perdas de Água e de Faturamento – PCP**. São Paulo, 2012.

CAMPOS, V. N. O. Gestión participativa del agua sin una cultura de participación: una ecuación a resolver. **Revista Eletrónica de la Redacher**. n.1, Ano 1, 2004.

CAMPOS, V. N. O.; FRACALANZA, A. P. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. XIII, n. 2, p. 443-454, 2010.

CAPPELLE, M.; MELO, M.; GONÇALVES, C. Análise de conteúdo e análise de discurso nas ciências sociais. **Organizações rurais & agroindustriais**, v. 5, n. 1, 2003.

CAREGNATO, R. C. A.; MUTTI, R. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. **Texto & Contexto - Enfermagem**, SciELO Brasil, v. 15, n. 4, p. 679–84, 2006.

CASTRO, C. N. **Gestão das águas: experiências internacional e brasileira**. 2012. Disponível em: [repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1132/1/TD\\_1744.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1132/1/TD_1744.pdf). Acesso em: 03 abr. 2023.

CAUCHICK-MIGUEL, P.; *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. da. **Metodologia Científica**. 6 ed. São Paulo: Pearson, 2007.

CORSI, A. *et al.* Technology transfer for sustainable development: social impacts depicted and some other answers to a few questions. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, n. 1, p. 118522-118527, fev. 2020

DUAN, H-F. *et al.* State-of-the-art review on the transient flow modeling and utilization for urban water supply system (UWSS) management. **Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA**, v. 69, n. 8, p. 858-893, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.048>. Acesso em: 11 abr. 2023

EOS CONSULTORES. **O que é e como funciona um sistema de abastecimento de água**. 2018. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/servicos/#goToServices>. Acesso em: 23 out. 2023.

EOS CONSULTORES. **Perdas De Água: importância dos sistemas inteligentes de água nas cidades**. 2017. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/perdas-de-agua-estudo-2019/#:~:text=As%20perdas%20de%20%C3%A1gua%20em,3%25%20de%20perdas%20no%20pa%C3%ADs>. Acesso em 10 dez.2023.

EOS SYSTEMS. **Perdas de água: gestão comercial de concessionária de água e esgoto**. s/d. Disponível em: <https://eossystems.com.br/nautilus/>. Acesso em 19 jan.2024.

ESTADO DO TOCANTINS. Secretaria de Planejamento e Orçamento (SEPLAN). **Serviços de consultoria para elaboração do plano de recursos hídricos das Bacias dos rios Lontra e Corda, na região do Bico do Papagaio/TO**. Setembro/2010.

FAPESP. **Unesp desenvolve detector de vazamentos de água para a Sabesp**, 2017. Disponível em: [http://pesquisaparaainovacao.fapesp.br/unesp\\_desenvolve\\_detector\\_de\\_vazamentos\\_de\\_agua\\_para\\_a\\_sabesp/267](http://pesquisaparaainovacao.fapesp.br/unesp_desenvolve_detector_de_vazamentos_de_agua_para_a_sabesp/267). Acesso em: 11 jan. 2024.

FREITAS, E. D. C. **Análise de perdas em sistema de abastecimento de água: estudo de caso no município de Jaguaruna**. Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, v. 1, n. 1, p. 1-53, dez./2020.

GAO, L. X.; MELERO, I.; SESE, F. J. Multichannel integration along the customer journey: a systematic review and research agenda. **The Service Industries Journal**, v. 40, n. 15/16, p. 1 - 32, ago. 2019

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIUDICIANNI, C. *et al.* Zero-net energy management for the monitoring and control of dynamically-partitioned smart water systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119745>. Acesso em: 12 jun. 2023.

GODOY, A. S. Pesquisa Qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresa**. São Paulo, v. 35, n 3, p. 20-29, 1995.

GOLDMAN SOLUÇÕES EM SANEAMENTO. **Vídeo inspeção robotizada**, 2024. Disponível em: <https://goldmansaneamento.com.br/video-inspecao-robotizada/>. Acesso em: 10 jan. 2024.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água**: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2013. p. 4-277.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **Municípios e saneamento**: Araguaína (TO). 2024. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/to/araguaína>. Acesso em: 20 mar. 2024

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2021**. 2021. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2021/>. Acesso em: 17 jul. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2022**. 2022. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2022/>. Acesso em: 17 jul. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo de perdas de água do Instituto Trata Brasil de 2023 – SNIS (2021)**: desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no Brasil. 2023. Disponível em: [https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Estudo-de-Perdas-de-Agua\\_2023.pdf](https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Estudo-de-Perdas-de-Agua_2023.pdf) / Acesso em: 10 jan. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo de perdas de água de 2024 (SNIS, 2022)**: desafios na eficiência do saneamento básico no Brasil. 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/06/Estudo-da-GO-Associados-Perdas-de-Agua-de-2024-V2.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

IOT-LABS. **Detector de Vazamento de Água**. 2024. Disponível em: <https://iot-labs.io/portfolio/detector-de-vazamento-de-agua-nit-k718wa-lo-khomp/>. Acesso em: 11 jan. 2024.

KANAKOUDIS, J. *et al.* **Perdas de Água Tecnologias de Controle**, 2011. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/pdf/perdas\\_agua.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/pdf/perdas_agua.pdf). Acesso em: 14 jun. 2023.

KARADIREK, I.E, KARA, S.; YILMAZ, G., MUHAMMETOGLU, A.; MUHAMMETOGLU, H. Implementação de modelagem hidráulica para redução de perda de água por meio do gerenciamento de pressão. **Gestão de Recursos Hídricos**, v.26, n.9, 2012, p.2555–2568.

KLOSOK-BAZAN, I. *et al.* Assessment of leakage management in small water supplies using performance indicators. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-10, 2021.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamento da metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LAMBERT, A.; HIRNER, W. **Losses from water supply systems**: standard terminology and recommended performance measures the blue pages. IRC - International Water and Sanitation Centre. London, UK: IWA - International Water Association, 2002. Disponível em: [www.iwa-network.org](http://www.iwa-network.org). Acesso em: 14 fev. 2023

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica**: aspectos conceituais e metodológicos. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2004.

LI, W. *et al.* Development of systems for detection, early warning, and control of pipeline leakage in drinking water distribution: A case study. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 11, p. 1816-1822, 2011.

MAMAHESWARI, S.; PRIYA, K. H.; KUMAR, S. A. Technologies used in smart city applications – An overview. **2021 International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)**, Coimbatore, India, 2021, pp. 1-6, DOI: 10.1109/ICAECA52838.2021.9675707.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2011. 150 p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Parâmetros básicos para manejo de irrigação por aspersão em tomateiro para processamento na região do cerrado. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., 2018, Teresina. **Anais...** Teresina: ABID, 2018. 1 CD-ROM.

MARQUELLI, W. A. *et al.* **Produção e qualidade de alho sob regimes de água no solo e doses de nitrogênio**. Horticultura Brasileira, Brasília, DF, v. 20, n. 2, p. 191-194, 2018.

MOCZULSKI, W. *et al.* SysDetLok-a leakage detection and localization system for water distribution networks. IFAC-PapersOnLine, v. 51, n. 24, p. 521-528, 2018.

MOTOYAMA, Y.; EISLER, M. N. Bibliometry and nanotechnology: a meta-analysis. **Technological Forecasting And Social Change**, [s.l.], v. 78, n. 7, p. 1174-1182, set. 2011.

NAIMAN, R. J. *et al.* (eds.). **The freshwater imperative**: a research agenda. Island Press. 165 pp. 1995.

NEXUS. **Integração Inovadora para Gestão Eficiente de Recursos Hídricos**, 2024. Disponível em: [https://www.nexusbr.com/pt\\_br/blog-inovacao-saneamento/entry/integracao-inovadora-para-gestao-eficiente-de-recursos-hidricos/](https://www.nexusbr.com/pt_br/blog-inovacao-saneamento/entry/integracao-inovadora-para-gestao-eficiente-de-recursos-hidricos/). Acesso em: 12 jan. 2024.

NIE, X. *et al.* Big Data Analytics and IoT Operation safety management in Under Water Management. **Computer Communications**, v. 154, p. 188-196, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.052>



NOTARO, V. *et al.* A Decision Support Tool for Water and Energy Saving in the Integrated Water System. **Procedia Engineering**, v. 119, p. 1109-1118, 2015.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, set. 2015.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. TICs na composição da Methodi Ordinatio: construção de portfólio bibliográfico sobre modelos de transferência de tecnologia. **Ciência da Informação**, v. 46, n. 2, 2017.

POMPEU, C.T. Águas Doces no Direito Brasileiro. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.). **Águas Doces no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP/Academia Brasileira de Ciências e Escriuras Editora, 2002

RABELO, D. C.; TEIXEIRA, E. C.; ESPLUGA, J. L. A participação cidadã no plano de bacia do rio Doce: análise a partir do Termo de Referência. **Revista G&DR**, Taubaté/SP, v. 9, n. 3, p. 184-204, set-dez/2013.

RAMOS, H. M. *et al.* Smart Water Management towards Future Water Sustainable Networks. **Water**, v. 12, n.1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12010058v>

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.). Águas Doces no Brasil. 2 ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP/Academia Brasileira de Ciências e Escriuras Editora, 2002.

REBOUÇAS, A.C. Água Doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.). **Águas Doces no Brasil**. 2 ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP/Academia Brasileira de Ciências e Escriuras Editora, 2002. Cap. 1, p. 01 - 37.

REINFRA CONSULTORIA. **As perdas de água nos sistemas de distribuição como agravante à vulnerabilidade das bacias hidrográficas. Produto 4 - estudo final versão executiva bacias PCJ**, 2017.

REVENGA, C., A. *et al.* **Watersheds of the world: ecological value and vulnerability**. WRI. WWI. 1998, 163 p.

RODRIGUES, J. C. **Gestão em processos produtivos**. Curitiba: IBPEX, 2018.

ROGERS P. P. *et al.* **Water Crisis: myth or reality?** Foundation Marcelino Botin. Taylor & Francis. 330 pp. 2006.

ROSSI, M.; RIGHETTI, M.; RENZI, M. Pump-as-Turbine for energy recovery applications: the case study of an aqueduct. **Energy Procedia**, v. 101, p. 1207-1214, 2016.

RUSSELL, S.; FIELDING, K. Water demand management research: a psychological perspective. **Water Resources Research**, v. 46, n. 5, p. 1-12, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2009WR008408>>. Acesso em: 8 abr. 2024.

SALVAGNINI, F. C. R.; MONTEIRO, L. N.; NUNES, V. A. **Sistema de identificação de vazamentos de água não visíveis por análise de espectrograma**. Sorocaba, SP, 2017. 89 f. TCC (Graduação em Engenharia Mecatrônica) - Centro Universitário Facens, Sorocaba, 2017.

SALVENDY, G. **Handbook of industrial engineering: technology and operations management**. 3.ed., New York: John Willey & Sons, 2001.  
Disponível em: <https://www.to.gov.br/semarh>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SAPPORO. **Tecnologias para detecção de vazamentos**. 1994. Disponível em: <https://www.geofotec.com.br/tecnologias/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

SAVIĆ, D.; VAMVAKERIDOU-LYROUDIA, L.; KAPELAN, Z. Smart meters, smart water, smart societies: the iWIDGET project. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 1105-1112, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pro-eng.2014.11.231>. Acesso em: 11 jan. 2023.

SCHARWIES, J. *et al.* 2019. **Perdas de água tecnologias de controle**. 2019. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/pdf/perdas\\_agua.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/pdf/perdas_agua.pdf). Acesso em: 15 de jun de 2023.

SHABANGU, T. H.; HAMAM, Y.; ADEDEJI, K. B. Decision support systems for leak control in urban water supply systems: a literature synopsis. **Procedia CIRP**, v. 90, p. 579-583, 2020.

SCHLEICH, B. *et al.* Shaping the digital twin for design and production engineering. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.040>. Acesso em 12 jun. 2023.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis, SC: UFSC, 2005.

SINGH, M.; AHMED, S. IoT based smart water management systems: A systematic review. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, n. 11, p. 5211-5218, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.588>

SOUSA, J. *et al.* WaterNetGen helps C-town. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 103-110, 2014.

SOUSA PEREIRA, L.; MORAIS, D. C.; FIGUEIRA, J. R. Using criticality categories to evaluate water distribution networks and improve maintenance management. **Sustainable Cities and Society**, v. 61, p. 102308, 2020.

SOUZA, J. *et al.* WaterNetGen helps C-town. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 103-110, 2019.

TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista DAE**, São Paulo, p.06-20, abr. 2016. Quadrimestral.

THORNTON, J. **Manual de controle de perda de água**. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2002.

TRICARICO, C. *et al.* Integrated optimal cost and pressure management for water distribution systems. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 1659-1668, 2014.

TUNDISI, J. G. Coupling surface and groundwater research: a new step towards water management. *In: Integrating Science and Technology into development policies: an international perspective*. OECD. 2007, p.163-169.

TUNDISI, J. G. Water Programme: bridging water research, innovation and management: enhancing global water management capacity. *In: Integrated water resources management*. Royal Scientific Society Jordan, IAP Water Programme, WAITRO. 2009, p 1-10.

TURRIONI J.B., MELLO C.H. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá: UNIFEI. 2012.

TYQUANT, J. **Water Loss Control Manual**. McGraw-Hill, New York, 2023.

VELOSO; S. Crescimento urbano e degradação ambiental na cidade de Araguaína - TO: o caso da nascente do Córrego Cimba. **Revista Tocantinense de Geografia**, Araguaína (TO), Ano 04, n.6, ago.- dez. 2015.

WARNECKE, H-J *et al.* The factory of the Future: New Structures and Methods to Enable Transformable Production. *In: SALVENDY, G (org). Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*, 3. ed., New York: John Wiley & Sons, 2001.

## **APÊNDICE A - Formulário de perguntas abertas**

### **Formulário de perguntas abertas**

1. A gestão e controle da rede de distribuição é realizada de forma automatizada?
2. A concessionária tem algum plano de “ações de perdas”?
3. A concessionária reconhece que o sistema de perdas pode ser evitado com o uso da tecnologia?
4. Se a concessionária tem um levantamento quanto a perda física ou ‘real’ perda aparente ou ‘não física’ em um registro contabilizado?
5. Quais os fatores que mais originam-se vazamentos no sistema?
6. A concessionária utiliza algum sistema de monitoramento que controla o abastecimento da água urbana em tempo real e detectam os vazamentos?  
Segue abaixo a lista de algumas dessas tecnologias:
  - Redes com sensores acústicos;
  - Sistemas de Águas Inteligentes;
  - Correlacionador de sinais/ruído;
  - Sistemas de Vídeo-Inspeção robotizado;
  - Sistemas 4Fluid;
  - Detector de Vazamento de Água NIT K718WA-LO;
  - Softwares de planejamento;
  - Internet das coisas (OiT);
  - Sensores de Pressão;
  - Imagem térmica;
  - Imagens de satélite.
7. A concessionária trabalha com alguma outra tecnologia não citada acima?
8. A concessionária dispõe de interesses operacionais e estratégicos para ampliar sua forma de gerenciamento?

## **APÊNDICE B - Portifólio de Artigos**

| Artigo                                                                                                                                                              | Ano  | FI  | NC    | InOrdinatio |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-------|-------------|
| Technologies applied to reduce water loss in supply systems                                                                                                         | 2022 | 195 | 2,89  | 2070,003    |
| Water losses evaluation about water supply system: study in sector parque das nações, parnamirim/rn                                                                 | 2021 | 122 | 4,769 | 1330,005    |
| Survey of measures to reduce water use by water-intensive industries located in Hydrographic Region II (RHII - Guandu)                                              | 2021 | 105 | 5,9   | 1160,006    |
| Environmental sustainability indicators applied to assessment water security: international approaches                                                              | 2021 | 104 | 3,171 | 1150b,003   |
| The Balanced Scorecard in supporting the reduction of treated water losses: Case study in a municipal water distribution company                                    | 2021 | 41  | 4,131 | 520,004     |
| Loss reduction program: a proposal for reduction Water loss                                                                                                         | 2021 | 36  | 4,098 | 470,004     |
| Efficiency of pressure meters in water distribution networks                                                                                                        | 2022 | 35  | 1,39  | 420,004     |
| Use of a systematized solution with artificial intelligence in Planning actions to combat water loss in Urban supply systems: case study in Santa Catarina, brasil. | 2021 | 35  | 3,573 | 410,004     |
| Monitoring leaks in a reduced scale piping model for water flow control                                                                                             | 2022 | 35  | 5,572 | 380,006     |
| The benefits of using new technologies for hydraulic systems                                                                                                        | 2022 | 29  | 0,000 | 290,000     |
| Water supply system: water loss in the distribution process                                                                                                         | 2021 | 29  | 5,726 | 230,006     |
| Study of water losses in the supply system of the city of Porto Nacional/TO                                                                                         | 2022 | 28  | 3,334 | 220,003     |
| Water reuse technologies                                                                                                                                            | 2021 | 28  | 1,66  | 220,002     |
| Charging for the use of water as a water resources management tool                                                                                                  | 2022 | 27  | 0,4   | 210,000     |
| Development of a low-cost automated system for intelligent flow measurement in supply networks                                                                      | 2021 | 27  | 5,589 | 180,006     |
| Digitalization and IoT in the water sector                                                                                                                          | 2021 | 27  | 1,48  | 160,001     |
| Control of loss in the water supply system in chibuto city                                                                                                          | 2021 | 26  | 0,000 | 160,000     |
| Investments in loss control in water supply systems in the Piracicaba, Capivari e Jundiá                                                                            | 2022 | 26  | 5,589 | 140,006     |
| Benchmarking as a tool for reducing physical losses in water supply systems                                                                                         | 2022 | 26  | 3,171 | 130,009     |
| Assessment of losses in small water supply systems in the Brazilian semi-arid region by multi-criteria aspects                                                      | 2022 | 26  | 2,120 | 130,003     |
| Analysis of the loss index in the Anápolis-GO water supply system                                                                                                   | 2022 | 26  | 3,101 | 130,002     |
| Analysis of the loss index in the Anápolis-GO water supply system                                                                                                   | 2021 | 26  | 2,122 | 130,001     |
| Identification of techniques for controlling water losses in supply systems: case study in water concessionaires in São Luís – MA and Paço do Lumiar – MA           | 2021 | 25  | 2,101 | 129,112     |

|                                                                                                                                                    |      |    |       |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|-------|---------|
| Management and control of water losses                                                                                                             | 2022 | 26 | 2,106 | 129,150 |
| Rational Use of Water on the UFSC Campus                                                                                                           | 2022 | 26 | 2,106 | 129,149 |
| Techniques for detecting water leaks in pipes for use in the internet of things (IOT)                                                              | 2022 | 26 | 2,106 | 129,142 |
| Use of the method for analysis and troubleshooting in the water losses reduction: a case study in Sanepar                                          | 2021 | 26 | 2,104 | 129,141 |
| Study to decrease losses in the public system Water distribution with the use of electronic devices                                                | 2021 | 25 | 2,103 | 129,141 |
| Control of water losses in Public supply and Distribution systems                                                                                  | 2022 | 24 | 2,102 | 129,141 |
| Analysis on the application of investments in water losses in Northeast Brazil                                                                     | 2021 | 24 | 2,101 | 129,141 |
| Automation of treated water pumping station via low-cost radio module                                                                              | 2022 | 23 | 2,101 | 129,139 |
| Consumption of treated water: reducing waste with individualized measurement in Salvador-bahia                                                     | 2021 | 23 | 2,100 | 129,139 |
| Assessment of Losses in Water Distribution: Case Study in São Bento Baixo, Nova Veneza-SC                                                          | 2021 | 23 | 2,100 | 129,138 |
| Groundwater and automation in sanitation                                                                                                           | 2021 | 23 | 2,100 | 129,135 |
| Assessment of water losses in the Cosanpa water supply system in the Metropolitan Region of Belém-PA                                               | 2021 | 23 | 2,098 | 129,135 |
| The impact of using different measuring equipment on the loss index in a sector of the water supply system in the city of Campo Grande             | 2021 | 23 | 2,098 | 129,135 |
| A new paradigm for water resources management                                                                                                      | 2021 | 23 | 2,097 | 129,134 |
| Water scarcity from the perspective of public management                                                                                           | 2021 | 23 | 2,096 | 129,133 |
| Integrated resource planning in the supply of treated water for the supply system of the metropolitan region of Fortaleza: proposal of methodology | 2021 | 23 | 2,095 | 129,133 |
| Water: the choice of science                                                                                                                       | 2021 | 22 | 2,092 | 129,132 |
| Assessment of physical loss control in water distribution networks in the metropolitan region of São Paulo                                         | 2021 | 22 | 2,091 | 129,129 |
| Development of a 3t system for treated water supply processes                                                                                      | 2021 | 22 | 2,097 | 129,129 |
| Description of water treatment technologies in Brazil and their distribution by region in the country                                              | 2021 | 22 | 2,097 | 129,125 |
| Benchmarking applied to water loss control in the context of the Piracicaba, Capivari and Jundiaí river basins                                     | 2021 | 22 | 2,095 | 129,124 |
| Analysis of water losses and energy relations in a water distribution system using balance methodology.                                            | 2022 | 21 | 2,093 | 129,124 |
| Water losses in supply systems                                                                                                                     | 2021 | 21 | 2,093 | 129,123 |
| Loss management in water supply systems: a constructivist approach                                                                                 | 2021 | 21 | 2,093 | 129,123 |
| Prioritization of loss control areas in water distribution networks                                                                                | 2022 | 21 | 2,092 | 129,123 |
| Actions to control real and apparent losses in distribution systems                                                                                | 2021 | 21 | 2,092 | 129,123 |
| Improving the quality of treated water and strategies to combat losses                                                                             | 2021 | 21 | 2,091 | 129,123 |
| Real-Time Leak Detection                                                                                                                           | 2021 | 21 | 2,091 | 129,122 |



|                                                                                                                                                                      |      |    |       |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|-------|---------|
| Smart Pipes and Automated Networks                                                                                                                                   | 2021 | 20 | 2,091 | 129,122 |
| Opportunities for minimizing sludge generated at the Alto da Boa Vista Water Treatment Plant, located in the city of São Paulo                                       | 2021 | 20 | 2,091 | 129,122 |
| Water Crises: technology and innovation in combating water shortages                                                                                                 | 2021 | 20 | 2,091 | 129,122 |
| Water efficiency in terms of loss reduction                                                                                                                          | 2021 | 20 | 2,090 | 129,122 |
| Smart tap with flow control and automatic activation to reduce waste of water resources                                                                              | 2021 | 20 | 2,086 | 129,122 |
| Data mining in data warehouse for water supply system                                                                                                                | 2021 | 20 | 2,086 | 129,121 |
| Study of the correlation between water and energy losses for sectors of the water supply system in the city of São Lourenço–MG                                       | 2021 | 20 | 2,085 | 129,121 |
| Management of water and energy losses in Embasa water supply systems: a study of factors involved in RMS                                                             | 2021 | 20 | 2,083 | 129,121 |
| Analysis on the application of investments in water losses in Northeast Brazil                                                                                       | 2021 | 20 | 2,082 | 129,121 |
| Measurement and control districts as a tool for managing losses in water distribution networks                                                                       | 2021 | 19 | 2,082 | 129,121 |
| Standardization of water loss indicators: the experience of regulatory agencies in Brasil                                                                            | 2021 | 19 | 2,082 | 129,120 |
| Studies on reducing water losses and increasing energy efficiency in the sanitation sector                                                                           | 2021 | 19 | 2,081 | 129,120 |
| Assessment of financial, energy and emissions costs resulting from energy waste due to treated water losses in Brasil                                                | 2021 | 19 | 2,081 | 129,120 |
| Loss index of the drinking water supply system in the Flores-Russas-CE district                                                                                      | 2021 | 19 | 2,081 | 129,120 |
| Group decision model for managing water losses                                                                                                                       | 2021 | 19 | 2,080 | 129,120 |
| Diagnosis for directing actions to reduce losses of treated water                                                                                                    | 2021 | 19 | 2,075 | 129,118 |
| Leaks and losses in water supply systems                                                                                                                             | 2021 | 19 | 2,074 | 129,118 |
| Performance evaluation to support the management of losses in water supply systems based on the multi-criteria methodology of constructivist decision-making support | 2021 | 19 | 2,070 | 129,118 |
| Analysis of the Impact of the Economic Loss of Treated Water in the Municipalities of the Metropolitan Region of Recife between 2018 and 2021                        | 2022 | 15 | 2,061 | 129,118 |
| Proposal for integrated urban water management as a strategy to promote water security: the case of Fortaleza                                                        | 2022 | 15 | 2,060 | 129,116 |
| Assessment of physical loss control in water distribution networks in the metropolitan region of São Paulo                                                           | 2021 | 12 | 2,012 | 129,115 |
| Groundwater in the national water resources management system                                                                                                        | 2021 | 10 | 2,001 | 129,111 |