



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**INFLUÊNCIA DOS INCENTIVOS REGULATÓRIOS NOS ÍNDICES DE PERDAS  
NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL EM MINAS GERAIS**

**Gustavo Henrique dos Reis Torres**

**Belo Horizonte**

**2025**

**Gustavo Henrique dos Reis Torres**

**INFLUÊNCIA DOS INCENTIVOS REGULATÓRIOS NOS ÍNDICES DE PERDAS  
NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL EM MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Dr. Frederico Keizo Odan

Belo Horizonte

2025



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC Nº 1 / 2025 - DCTA (11.55.03)

Nº do Protocolo: 23062.006787/2025-51

Belo Horizonte-MG, 06 de fevereiro de 2025.

## FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

Gustavo Henrique dos Reis Torres

### **INFLUÊNCIA DOS INCENTIVOS REGULATÓRIOS NOS ÍNDICES DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL EM MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 05 de fevereiro de 2025

Banca examinadora:

- Presidente da Banca Examinadora: Prof. DSc. Frederico Keizo Odan – CEFET-MG – Orientador
- 1º Examinador: Prof. MSc. André Luiz Marques Rocha – CEFET-MG
- 2ª Examinadora: Profa. DSc. Luciana Peixoto Amaral – CEFET-MG

*(Assinado digitalmente em 06/02/2025 19:44 )*  
ANDRE LUIZ MARQUES ROCHA  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: 2143906

*(Assinado digitalmente em 11/02/2025 12:11 )*  
FREDERICO KEIZO ODAN  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: 2092847

*(Assinado digitalmente em 06/02/2025 18:16 )*  
LUCIANA PEIXOTO AMARAL  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: 1808233

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **1**, ano: **2025**, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão: **06/02/2025** e o código de verificação: **babb33ffa4**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo Seu grande amor e por ter me sustentado desde o menor passo até o maior salto desta jornada. Aos meus pais, Regina Célia e José Maria, pelo amor incondicional e pelo alicerce que me proporcionaram nos momentos de insegurança. Ao meu irmão, Matheus Felipe, que sempre esteve presente quando mais precisei de apoio. À minha amada companheira, Isabela Rezende, que celebrou comigo as conquistas e me confortou nas adversidades. Ao meu querido amigo, Nicolás Heberte, que acreditou no meu potencial, mesmo quando eu não conseguia enxergar. Aos amigos próximos, que encheram essa jornada de sorrisos. Ao professor orientador, Frederico Keizo, por sua paciência, excelência e por acreditar no meu trabalho.

Agradeço a cada um de vocês, que me ajudaram a construir a melhor versão de mim.

## RESUMO

TORRES, GUSTAVO HENRIQUE DOS REIS. **Influência dos Incentivos Regulatórios nos Índices de Perdas na Distribuição de Água Potável em Minas Gerais**. 2025. 105 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

As perdas de água em sistemas de abastecimento representam um desafio cada vez mais significativo, sendo que prognósticos como as mudanças climáticas e a redução na disponibilidade hídrica fomentam debates acerca da redução de desperdícios no perfil urbano. O presente estudo busca analisar as perdas na distribuição de água potável em municípios de Minas Gerais atendidos pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa-MG), com o objetivo de inferir a respeito de possíveis efeitos oriundos de incentivos tarifários propostos pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (Arsae-MG), implementados de forma gradual a partir de 2016. O trabalho teve como base uma revisão histórica e conceitual acerca da evolução e dificuldades enfrentadas no setor de saneamento no país, definindo e conceituando a temática de perdas na distribuição e o papel das Agências Reguladoras na melhoria da qualidade do serviço. Como forma de inferir a respeito de possíveis efeitos dos incentivos tarifários sobre o panorama de perdas em Minas Gerais, foram extraídos dados de perdas na distribuição (IN049) do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), e empregadas ferramentas estatísticas descritivas e inferenciais, como a construção de gráficos boxplot, testes de variância e normalidade e o teste não paramétrico U de Mann-Whitney, visando verificar se houve mudanças significativas nos níveis de perdas entre 2012 e 2022 com uma significância de 0,05. Contrariamente à expectativa de uma possível redução dos níveis de perda diante dos incentivos, os resultados mostraram, com 95% de confiança, um aumento significativo entre 2016 e 2020, período de implementação da metodologia por parte da Arsae-MG, e poucas mudanças entre 2012 e 2015, assim como entre 2020 e 2022. Conclui-se, portanto, que ainda que os incentivos tenham potencial para alcançar resultados positivos, os mesmos devem ser acompanhados de ações coordenadas entre a agência e o prestador de serviços, de forma a identificar e superar possíveis barreiras técnicas e/ou financeiras, com o objetivo de alcançar

maior eficiência na distribuição de água potável e atender às metas elencadas pelo Novo Marco do Saneamento.

Palavras-chave: Perdas de água. Sistema de distribuição de água. Regulação hídrica. Incentivos tarifários. Saneamento.

## ABSTRACT

TORRES, GUSTAVO HENRIQUE DOS REIS. **Influence of Regulatory Incentives on Water Loss Rates in Drinking Water Distribution of Minas Gerais**. 2025. 105 f. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

Water losses in supply systems represent an increasingly significant challenge, as forecasts such as climate change and reduced water availability fuel debates about reducing waste in urban settings. The present study aims to analyze water distribution losses in municipalities of Minas Gerais served by the Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa-MG), inferring potential effects arising from tariff incentives proposed by the Minas Gerais State Water and Sewage Regulatory Agency (Arsae-MG) and implemented starting in 2016. The scope of the study began with a historical and conceptual review of the evolution and challenges faced by the sanitation sector in Brazil, defining the topic of distribution losses and the role of regulatory agencies in improving service quality. To infer potential effects of tariff incentives on the distribution loss scenario, data on distribution losses (indicator IN049) were extracted from the National Sanitation Information System (SNIS), and descriptive and inferential statistical tools were employed. These included the construction of boxplot graphs, variance and normality tests, and the non-parametric Mann-Whitney U test to determine whether significant changes occurred in loss levels between 2012 and 2022, with a significance level of 0.05. Contrary to the expectation of a potential reduction in loss levels due to the incentives, the results showed, with 95% confidence, a significant increase between 2016 and 2020, the period during which Arsae-MG implemented the methodology, and minimal changes between 2012 and 2015, as well as between 2020 and 2022. It is concluded, therefore, that while the incentives have the potential to achieve positive results, they must be accompanied by coordinated actions between the regulatory agency and the service provider. Such collaboration is necessary to identify and overcome possible technical and/or financial barriers, with the objective of achieving greater efficiency in the distribution of potable water and meeting the goals established by Brazil's New Sanitation Framework.

Keywords: Water losses. Water distribution system. Water regulation. Tariff incentives. Sanitation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Esquema ilustrativo de um sistema de um típico abastecimento de água.....	21
Figura 3.2 – Características das Perdas de Água nos Sistemas de Abastecimento de Água....	24
Figura 3.3 – Tipos de consumo e perdas nos sistemas de abastecimento de água.....	26
Figura 3.4 – Cálculo do indicador IN049.....	26
Figura 3.5 – Evolução das tentativas de estabelecimento de um novo marco regulatório no período que vai de 1967 a 2007.....	30
Figura 3.6 – Principais fases intervencionistas do Estado nas atividades econômicas, no contexto mundial.....	36
Figura 3.7 – Cálculo do Fator X.....	48
Figura 3.8 – Resultados do benchmarking para 2010.....	49
Figura 3.9 – Vantagens e desvantagens das principais medidas de centralidade.....	52
Figura 3.10 – Um exemplo de gráfico de linhas, expressando a progressão temporal de uma variável.....	54
Figura 3.11 – Um exemplo de gráfico <i>boxplot</i> .....	54
Figura 3.12 – Conceitos de acurácia e precisão, ilustrados como tiro ao alvo.....	56
Figura 3.13 – Conceito de um IC, com $\gamma = 0,95$ e $\sigma^2$ conhecido.....	57
Figura 3.14 – Uma distribuição normal, com média $\mu$ e desvio padrão $\sigma$ .....	58
Figura 3.15 – Erros Tipo I e Tipo II.....	60
Figura 3.16 – Relação entre os erros Tipo I e Tipo II.....	61
Figura 3.17 – Exemplos de testes paramétricos e não paramétricos.....	62
Figura 4.1 – Fluxograma geral para a metodologia adotada.....	65
Figura 4.2 – Página inicial da série histórica do SNIS.....	66
Figura 4.3 – Página inicial da série histórica do SNIS.....	67
Figura 4.4 – Tratamento dos municípios.....	68
Figura 4.5 – Relação das bibliotecas adicionais utilizadas.....	69
Figura 4.6 – Acionamento das bibliotecas no código.....	69
Figura 4.7 – Fluxograma relacionado à leitura dos dados.....	70
Figura 4.8 – Código voltado à leitura dos dados.....	71
Figura 4.9 – Fluxograma para o resultado do resumo estatístico dos dados.....	72
Figura 4.10 – Código para aplicar a estatística descritiva nos dados.....	72

Figura 4.11 – Fluxograma para gerar os gráficos <i>boxplot</i> .	73
Figura 4.12 – Código construído para gerar os gráficos <i>boxplot</i> .	74
Figura 4.13 – Fluxograma para realizar o teste de normalidade.	75
Figura 4.14 – Código para a aplicação do Teste Shapiro-Wilk.	76
Figura 4.15 – Fluxograma para a aplicação do teste de Bartlett.	77
Figura 4.16 – Código para a aplicação do teste de Bartlett.	78
Figura 4.17 – Fluxograma para o teste t de Student.	79
Figura 4.18 – Código para o teste t de Student.	80
Figura 4.19 – Fluxograma para o teste Mann-Whitney U.	81
Figura 4.20 – Código para o teste Mann-Whitney U.	81
Figura 5.1 – Comparação entre as médias e medianas do índice de perdas na distribuição IN049, entre 2012 e 2022.	84
Figura 5.2 – <i>Boxplot</i> para o indicador IN049 em cada ano, para municípios de Minas Gerais atendidos pela Copasa-MG.	85
Figura 5.3 – Resultados do teste Shapiro-Wilk, sob um nível de significância $\alpha$ igual a 0,05.	86
Figura 5.4– Resultados do teste Mann-Whitney U, sob um nível de significância $\alpha$ igual a 0,05.	87
Figura 5.5 – Resultados do teste Mann-Whitney U, sob um nível de significância $\alpha$ igual a 0,05, para os períodos que marcam os ciclos de reajuste.	88

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 5.1 – Resultado do tratamento de dados para municípios de Minas Gerais atendidos pela Copasa-MG.....	82
Tabela 5.2 – Resultados das análises do indicador de perdas IN049 em cada ano, para municípios de Minas Gerais atendidos pela Copasa-MG.....	83

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 3.1 .....	27
Equação 3.2 .....	44
Equação 3.3 .....	45
Equação 3.4 .....	45
Equação 3.5 .....	46
Equação 3.6 .....	46
Equação 3.7 .....	46
Equação 3.8 .....	47
Equação 3.9 .....	47

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ABAR	Associação Brasileira de Agências de Regulação
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Arisb-MG	Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento Básico de Minas Gerais
ARISMIG	Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento de Minas Gerais
Arsae-MG	Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais
ARSAN	Agência Reguladora de Saneamento Básico do Norte de Minas
ARSEC	Agência de Reguladora dos Serviços Públicos Delegados de Cuiabá
BNH	Banco Nacional de Habilitação
CESBS	Companhias Estaduais de Saneamento
Coponor-MG	Copasa Serviços de Saneamento Integrado do Norte e Nordeste de Minas Gerais
Copasa-MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EDT	Número de economias faturadas com serviço de esgotamento dinâmico
ERD	Eficiência de Remoção de DBO
FGTS	Fundo de Garantia de Tempo de Serviço
Funasa	Fundação Nacional de Saúde
IN049	Índice de Perdas na Distribuição
IP	Fator de Incentivo ao Controle de Perdas
ITE	Índice de Tratamento de Esgoto
PFM	Penalidade por Falta de Micro e Macromedição
PLANASA	Plano Nacional do Saneamento
PLC	Projeto de Lei da Câmara
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
SANARJ	Concessionária de Saneamento Básico de Araújos-MG
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUS	Sistema Único de Saúde
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
3.1	CONTEXTO HISTÓRICO DO SETOR DE SANEAMENTO NO BRASIL .....	16
3.2	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	20
3.3	PERDAS NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO .....	22
3.4	POLÍTICAS E LEGISLAÇÕES PERTINENTES .....	27
3.4.1	<i>Constituição Federal de 1988</i> .....	28
3.4.2	<i>Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997</i> .....	29
3.4.3	<i>Lei 11.445/2007</i> .....	29
3.4.4	<i>Lei 14.026/2020</i> .....	32
3.4.5	<i>Portaria nº 490, de 22 de março de 2021</i> .....	33
3.5	O PAPEL DAS AGÊNCIAS REGULADORAS .....	35
3.6	CICLOS TARIFÁRIOS: RESOLUÇÕES E NOTAS TÉCNICAS .....	40
3.6.1	<i>Fator de Qualidade</i> .....	44
3.6.2	<i>Fator de Incentivo ao Controle de Perdas</i> .....	45
3.6.3	<i>Fator X</i> .....	47
3.7	PESQUISAS RELACIONADAS AO GERENCIAMENTO DE PERDAS E AÇÕES REGULATÓRIAS 48	
3.8	FERRAMENTAS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	51
3.8.1	<i>Estatística descritiva</i> .....	51
3.8.2	<i>Inferência estatística: estimativa de parâmetros e testes de hipóteses</i> .....	55
3.8.3	<i>Testes paramétricos e não paramétricos</i> .....	62
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>65</b>
4.1	COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS .....	65
4.1.1	<i>Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS</i> .....	65
4.1.2	<i>Tratamento dos dados no Microsoft Excel</i> .....	67
4.2	ANÁLISES ESTATÍSTICAS NO RSTUDIO .....	68
4.2.1	<i>Preparação do ambiente no RStudio</i> .....	68

4.2.2	<i>Análise descritiva dos dados</i> .....	71
4.2.3	<i>Teste de normalidade e homogeneidade de variâncias</i> .....	74
4.2.4	<i>Aplicação do teste paramétrico ou não paramétrico</i> .....	78
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>82</b>
5.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS.....	82
5.2	TESTES DE NORMALIDADE E HOMOGENEIDADE DAS VARIÂNCIAS .....	85
5.3	APLICAÇÃO DO TESTE NÃO PARAMÉTRICO.....	86
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>92</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em um cenário nacional caracterizado pelo desperdício de água potável nas redes de distribuição, observa-se uma crescente preocupação com a crise hídrica no Brasil. Segundo Cirilo (2015), a escassez hídrica pode ser dividida em dois grupos: aquela que se dá em decorrência de limitações físicas, como a disponibilidade natural de água em um ambiente que não atende à demanda, e a escassez resultante da falta de investimento, pouca infraestrutura e distribuição desigual de água. No Brasil, observa-se uma abundância privilegiada de recursos hídricos, mas que se encontram mal distribuídos em escala intra e inter-regional, onde a densidade populacional não necessariamente acompanha a disponibilidade de água (Cirilo, 2015). Cirilo (2015) apresenta como exemplo a Amazônia, que concentra 81% das reservas hídricas do país, e abriga apenas 5% da população total, ao passo que o Nordeste abriga 35% da população brasileira e é constantemente afligido por secas. Além da distribuição desigual de recursos hídricos, as mudanças climáticas, em associação com a degradação dos biomas brasileiros pela ação humana, também influenciam na disponibilidade de água, uma vez que tais alterações afetam diretamente o ciclo hidrológico (Almeida e Nogueira, 2023).

Neste contexto, além do cenário de escassez hídrica diante dos fatores expostos, o país ainda enfrenta atrasos no que diz respeito ao saneamento, em especial sistemas abastecimento de água potável que se encontram obsoletos e carentes de investimentos (Soares e Viana, 2022), o que fomenta debates sobre a gestão operacional dos sistemas, principalmente no que se refere à eficiência e aos níveis de perdas na distribuição (Machado, 2017). De acordo com Heller e Pádua (2006), um sistema de abastecimento de água segue uma estrutura básica composta pela produção e distribuição de água potável. No que tange às vulnerabilidades desse sistema, Tsutiya (2006) aponta que as maiores deficiências estão nos sistemas de distribuição, devido à presença de tubulações antigas e à falta de abastecimento em áreas de rápido e desordenado crescimento.

Vale destacar que as perdas não se limitam apenas a problemas físicos, como vazamentos e danos estruturais, mas também abrangem o uso não autorizado e erros na micro e macromedição (Santos e Oliveira, 2023). Miranda (2006) acrescenta que o cenário é agravado por fatores como

a baixa capacidade institucional, a percepção pública de alta oferta e a ausência de estudos de engenharia apropriados para a extensão das redes até áreas periféricas dos sistemas.

No contexto internacional, os problemas nos sistemas de distribuição também são motivo de preocupação. Liemberger (2016) indica que, embora haja pouco espaço para avanços tecnológicos significativos em relação ao que já foi feito, a maioria das cidades no mundo enfrenta perdas de água em níveis insustentáveis. Em um estudo sobre a quantificação do volume de água não faturada nos sistemas de distribuição globalmente, Liemberger e Wyatt (2019) estimaram uma perda de 126 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de água, o que acarreta um custo aproximado de USD 39 bilhões/ano, ressaltando o impacto econômico dessas perdas nos sistemas. Ainda que o cenário seja preocupante, observa-se que países como Japão e Nova Zelândia apresentam, por meio da implementação de tecnologias de controle e qualidade nos sistemas de abastecimento de água, níveis de perdas abaixo de 10%, algo entendido como um modelo a ser seguido para a gestão eficiente dos recursos hídricos dentro do perfil urbano (Piechnicki et al., 2011).

No Brasil, a Lei nº 14.026/2020, conhecida como o Novo Marco Regulatório do Saneamento, estabelece a inclusão de metas progressivas e controle de perdas nos contratos (Brasil, 2020). Mesmo com esse amparo legal, o país ainda está distante do cenário projetado pelo marco. Um estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil, com base nos dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), revelou que, em 2021, o índice de perdas na distribuição foi de 40,25%, representando um desempenho abaixo do padrão de excelência, que seria inferior a 25%, além de uma piora em relação aos 40,14% registrados em 2020 (Oliveira; Scazufca; Sayon, 2023). Vale mencionar que os dados mais recentes do SNIS mostram uma melhora, com um índice de perdas na distribuição de 37,8% no país, e 36,8% em Minas Gerais (SNIS, 2024). Apesar da expressiva melhora, ainda são necessárias ações para alcançar os padrões de excelência.

Diante desses resultados, as agências reguladoras desempenham um papel crucial na busca por soluções que mitiguem os níveis de perdas na distribuição. Segundo o artigo 43, parágrafo 2 da Lei 14.026 (2022), cabe à entidade reguladora estabelecer limites máximos de perda na

distribuição de água tratada, sendo que estes limites podem ser reduzidos de forma gradativa para acompanhar os avanços tecnológicos e investimento na diminuição do desperdício de água potável. Dessa forma, a agência reguladora deve implementar medidas para atingir os níveis de perdas propostos. Entre as possíveis iniciativas, a Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (Arsae-MG) tem promovido, em seus ciclos tarifários, incentivos para melhorar os níveis de macro e micromedição, seguidos de incentivos destinados à redução dos níveis de perdas na distribuição.

Nesse contexto, torna-se necessário propor estudos que busquem identificar relações de causa e efeito entre as medidas regulatórias e o aumento ou diminuição do índice de perdas na distribuição, de forma a subsidiar novas ferramentas para minimizar o desperdício de água no país.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a influência da implantação dos incentivos regulatórios, propostos pela Arsae-MG, no controle de perdas na distribuição em uma amostra de municípios de Minas Gerais atendidos pela Copasa-MG, considerando o período de 2012 a 2022.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Coletar e tratar dados de perdas na distribuição de uma amostra de municípios de Minas Gerais, utilizando o SNIS para a extração do Índice de Perdas na Distribuição (IN049);
- Realizar uma análise descritiva dos dados coletados;
- Verificar, por meio de testes estatísticos paramétricos ou não paramétricos, se houve mudanças significativas antes, durante e após os incentivos fiscais na regulação; e
- Interpretar os resultados frente ao cenário atual de perdas na distribuição.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Contexto histórico do setor de saneamento no Brasil**

Em luz da Lei 11.445/2007, o conceito atual de saneamento abrange os serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos, e, por fim, drenagem urbana (Brasil, 2007). Entretanto, historicamente, a temática de saneamento foi tratada de forma centralizada nos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, tendo em vista a importância da água na vida humana (Santos, 2013), fazendo com que a evolução dos sistemas de abastecimento de água esteja diretamente ligada às demais vertentes do saneamento urbano. Como reflexo da necessidade de prover água para uma população urbana em constante expansão, os sistemas de abastecimento de água no Brasil passaram por mudanças significativas no decorrer dos séculos. Os primeiros registros de sistemas de captação e transporte de água no Brasil, visando suprir as necessidades da população, são datados entre os séculos XVI e XVIII, se tratando de sistemas simples de captação subterrânea e aquedutos (Díaz e Nunes, 2020). Diante do imperialismo, Díaz e Nunes (2020) ainda apontam registros da primeira rede de esgoto, construída no Rio de Janeiro em 1864, ainda que os sistemas de saneamento fossem limitados a grandes centros urbanos. Desde então, o aumento da demanda por recursos hídricos nos centros urbanos impulsionou o aprimoramento dos sistemas.

Com a Proclamação da República, os serviços de saúde e saneamento foram atribuídos aos municípios e autoridades estaduais (Sousa e Costa, 2016). Sousa e Costa (2016) ainda apontam que as constantes doenças que afligiam a população no início do século XX, como a febre amarela, corroboraram para que a preocupação com a saúde da população passasse do ponto de vista puramente individual para o coletivo. Uma menção pode ser feita ao engenheiro Saturnino de Brito, que foi responsável por obras de distribuição de água e coleta de esgoto em várias capitais do país (Díaz e Nunes, 2020). Ainda nas primeiras décadas do século XX, discussões eram feitas entre aqueles que apoiavam a autonomia municipal e estadual, no que diz respeito aos serviços de saúde, e aqueles que defendiam a centralização administrativa pelo Executivo Federal, por meio da criação de um ministério da saúde pública (Sousa e Costa, 2016). Neste

contexto, em 1919, foi dado um grande passo do ponto de vista de saneamento: a criação do Departamento Nacional de Saúde Pública, subordinado ao Ministério da Justiça e Negócios Interiores, que propôs aos estados a firmação de convênios para financiar ações federais de saneamento e profilaxia rural, promovendo aos estados benefícios e recursos proporcionais à transferência de responsabilidades para o poder central nestes setores (Sousa e Costa, 2016). Com o êxodo rural impulsionado pela industrialização promovida pelo governo de Getúlio Vargas, a partir de 1930, outro grande passo foi dado do ponto de vista do saneamento: a criação do Ministério da Educação e Saúde Pública, por meio do Decreto nº 19.402, de 14 de novembro de 1930 (Diáz e Nunes, 2020), que centralizou ainda mais a estrutura dos serviços de saneamento na esfera federal (Sousa e Costa, 2016). Diáz e Nunes (2020) também mencionam a Constituição de 1934, que estabelece a saúde e assistência pública como de competência comum entre União e Estados, além de assegurar assistência sanitária aos trabalhadores, e promover a participação dos municípios em assuntos relacionados à problemática sanitária. Ainda em 1934, também foi publicado o Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, conhecido como Código das Águas, o qual Silva (1998, p. 169) comenta a respeito:

Com a instituição do Código de Águas de 1934, iniciou-se uma tentativa de disciplinar o uso da água, ao estabelecer regras de controle federal para o aproveitamento dos recursos hídricos, sobretudo com fins energéticos. Por outro lado, o código também formulava alguns princípios que podem ser considerados os primeiros instrumentos de controle do uso de recursos hídricos no país e a base para a gestão pública do setor de saneamento, principalmente no que se referia à água para abastecimento.

Na década de 1950, o aumento demográfico resultante da expansão industrial não acompanhou a melhoria de infraestrutura dos centros urbanos, o que resultou em graves problemas de saneamento, incluindo a falta de abastecimento de água potável (Sousa e Costa, 2016). Sousa e Costa (2016) apontam ainda que, com a ascensão dos militares na década de 1960, foi aberto espaço para um modelo predominantemente assistencial dos serviços de saúde, o que levou à prestação de serviços de saneamento baseada na sustentabilidade econômico-financeira, culminando na criação do Plano Nacional do Saneamento (PLANASA).

Segundo Tsutiya (2006), a implementação do PLANASA representou um grande avanço no setor entre as décadas de 1970 e 1980. Gerido pelo Banco Nacional de Habitação (BNH), e

utilizando como financiamento seus próprios recursos e o Fundo de Garantia de Tempo de Serviço (FGTS), o plano buscou financiar a implementação, aprimoramento e expansão dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário (Smiderle, 2020). Jorge (1992) aponta que, na década de 1980, alcançou-se um atendimento de até 80% no que diz respeito ao abastecimento urbano de água, ainda que com desníveis regionais acentuados. Com a implementação do PLANASA, a responsabilidade pelos serviços de saneamento passou das prefeituras municipais para as Companhias Estaduais de Saneamento (CESBS), com algumas exceções (Justo, 2004).

Outro marco importante foi a menção ao saneamento na Constituição Federal de 1988, que atribui o setor como de competência comum da União, Estados, Distrito Federal e dos Municípios (Ferreira; Gomes; Dantas, 2021). A Constituição Federal também estabelece a necessidade de promover programas habitacionais e de saneamento básico, e se refere à competência do Sistema Único de Saúde (SUS) participar da formulação e execução de políticas e ações de saneamento (Brasil, 1988).

Com o fim do BNH em 1986 e a ausência do apoio financeiro oriundo do FGTS, iniciou-se o período de vazio institucional do saneamento, caracterizado como um período de transição e paralisia que, por 26 anos, impactariam nos avanços do setor (Aversa, 2017). Neste cenário, é importante apontar a promulgação da Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Brasil, 1997). Conhecida como Lei das Águas, a política viria a atribuir um valor econômico para a água, definindo a mesma como um bem público e de natureza limitada (Brasil, 1997). No contexto do saneamento básico, a lei estabelece que:

Art. 31. Na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, os Poderes Executivos do Distrito Federal e dos municípios promoverão a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estaduais de recursos hídricos. (Brasil, 1997, Art. 31)

Após mais de duas décadas de vazio institucional, foi promulgada a Lei nº 11.445/2007, conhecida como Marco Legal do Saneamento Básico (Vilarinho e Couto, 2023). Referida lei

estabelece diretrizes nacionais (União e entes federativos) referentes ao saneamento básico, fundamentando-se sobre princípios como universalização do acesso, eficiência e sustentabilidade econômica, transparência das ações, controle social, segurança, qualidade e regularidade (Costa; Pierobon; Soares, 2018).

Vale ressaltar que, além de estabelecer os quatro pilares do saneamento, sendo o abastecimento de água um deles, o Marco Legal do Saneamento contemplou a regulação do setor para promover a eficiência e a qualidade dos serviços (Vilarinho e Couto, 2023). Santos (2013) aponta ainda que a Lei 11.445/2007 trouxe discussões acerca da responsabilização, possibilidade de cobrança por resultados, e o planejamento por parte da regulação. A referida lei prevê ainda a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB), pautado na universalização do saneamento básico e promovendo critérios para metas a curto, médio e longo prazo (Brasil, 2007).

Houve um expressivo avanço no setor, porém, problemas de articulação se mostraram presentes nos anos que sucederam a Lei 11.445/2007 (Vilarinho, Couto, 2023). Em 2020, foi promulgada a Lei 14.026/2020, que atualiza o Marco Legal do Saneamento (Brasil, 2020). Destaca-se nela as metas para a universalização do saneamento, com atendimento de 99% da população com água potável até 2033, tema que antes era abordado de forma sintética, sem metas ou prazos bem definidos (Vilarinho, Couto, 2023). No que diz respeito a perdas nos sistemas de distribuição, a Lei 14.026/2020, que altera a Lei nº 11.445/2007, é apontado que:

Art. 7º A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, passa a vigorar com as seguintes alterações:

“Art. 2º .....

[...]

XIII - redução e controle das perdas de água, inclusive na distribuição de água tratada, estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reúso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva; (...)” (Brasil, 2020, Art. 7º)

Nos últimos anos, mesmo com o amparo legal e a instauração de metas ambiciosas para a universalização e eficiência dos sistemas de saneamento a partir do Novo Marco do Saneamento, o país enfrenta desafios consideráveis, fomentados por incertezas e controvérsias (Ferreira; Gomes; Dantas, 2021). Ferreira, Gomes e Dantas (2021) também citam a incapacidade de muitos municípios em elaborar suas políticas de saneamento, além da insuficiência do Estado em liderar e investir no setor. Marcon e Wesz Junior (2024) apontam as lacunas e fragilidades no banco de dados de saneamento do país, o que acarreta desafios para o diagnóstico e formulação de estratégias para a expansão do atendimento e melhorias nos sistemas. Outros desafios incluem a transição mais focada no setor privado, o que pode acarretar instabilidades e baixa eficiência dos sistemas, levando a um possível aumento excessivo de tarifas (Machado, 2021).

### **3.2 Sistemas de abastecimento de água**

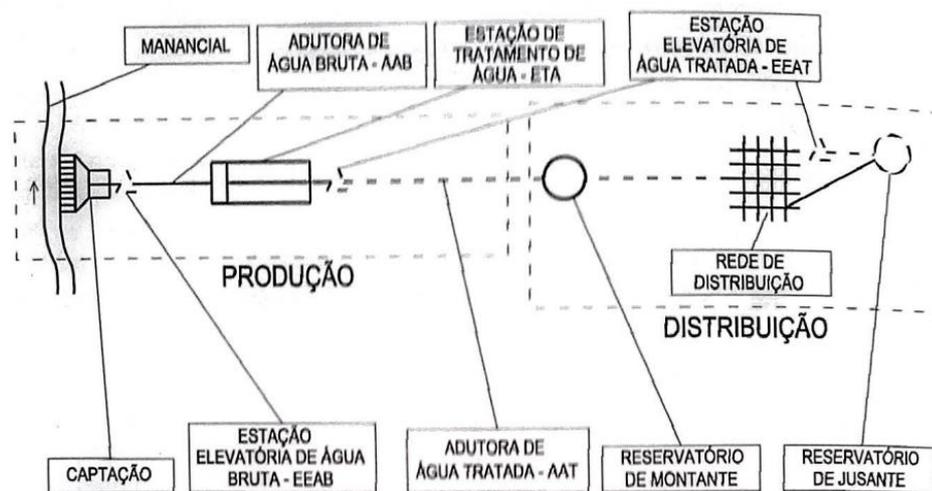
Quando se trata de sistemas de abastecimento de água, do ponto de vista da engenharia, a solução nem sempre se encontra em sistemas mais baratos, confiáveis ou avançados, mas em uma concepção que se enquadra na realidade social e características particulares onde será aplicado (Heller e Pádua, 2006). Neste contexto, o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) (1978 apud Heller e Pádua, 2006, p. 66) propõe que a tecnologia implementada em um sistema de abastecimento de água deve se caracterizar como:

- higienicamente segura: que não contribua para disseminar enfermidades, que estimule hábitos sanitários e saudáveis, que evite riscos do trabalho e que seja ergonomicamente saudável;
- técnica e cientificamente satisfatória: que seja de funcionamento simples e de manutenção fácil, tecnicamente eficaz e eficiente, razoavelmente livre de riscos de acidentes e suficientemente adaptável a condições variáveis;
- social e culturalmente aceitável: que atenda às necessidades básicas da população, requeira uma alta densidade de mão-de-obra local, melhore e não substitua na medida do possível atitudes e ofícios tradicionais e seja esteticamente satisfatória;
- inócua ao ambiente: que evite a contaminação ambiental, não altere o equilíbrio ecológico, contribua para a conservação dos recursos naturais, seja econômica no emprego de recursos não renováveis, recircule subprodutos e resíduos, enriqueça e não deprecie o ambiente;

- economicamente viável: que seja eficaz em função dos custos, preferencialmente adotando soluções de baixo custo e financeiramente viáveis; contribua para o desenvolvimento da indústria local, utilize materiais locais e seja econômica na utilização da energia.

Sabendo das características sociais, econômicas e financeiras que devem ser levadas em consideração, Heller e Pádua (2006) propõe um sistema básico de abastecimento de água, que pode seguir a concepção apresentada na Figura 3.1.

**Figura 3.1 – Esquema ilustrativo de um sistema de um típico abastecimento de água.**



Fonte: Heller e Pádua (2006).

Na Figura 3.1, pode-se observar que um sistema de abastecimento de água básico é dividido em produção, que inclui a captação, transporte e tratamento da água, e a distribuição, onde destina-se a água tratada à população. Em sua publicação, Tsutiya (2006, p. 10) detalha a respeito das principais etapas neste processo:

- Manancial: é o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento. Deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário.
- Captação: conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento.
- Estação elevatória: conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte. Em sistemas de abastecimento de água, geralmente há várias estações elevatórias, tanto para o recalque de água bruta, como para o recalque de

água tratada. Também é comum a estação elevatória, tipo “booster”, que se destina a aumentar a pressão e/ou vazão em adutoras ou redes de distribuição de água.

- Adutora: canalização que se destina conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem a água aos consumidores, mas podem existir as derivações que são as sub-adutoras.
- Estação de tratamento de água: conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade.
- Reservatório: é o elemento do sistema de distribuição de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.
- Rede de distribuição: parte do sistema de abastecimento de água formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada.

Conforme abordado na introdução deste trabalho, Tsutiya (2006) destaca que hoje as maiores deficiências estão nas condições dos sistemas de abastecimento de água, que se encontram deficientes e/ou deteriorados, apresentando problemas especialmente nas redes de distribuições, com altas incidências de vazamentos e perdas de água.

### **3.3 Perdas nos sistemas de distribuição**

Segundo Heller e Pádua (2006), o aumento da demanda por recursos hídricos não está atrelado apenas ao aumento desenfreado da população ou incrementos industriais, mas também ao aumento das perdas de água nos centros urbanos, oriundas da deterioração dos sistemas implementados. Miranda (2006) reforça o ponto de Heller e Pádua (2006) ao destacar que, diante do quadro de escassez hídrica, o combate às perdas se configura como essencial para a gestão eficaz dos recursos hídricos. Ainda que a temática de perdas de água nos sistemas de abastecimento tenha este peso diante do cenário apresentado, este tem sido um dos problemas menos priorizados no saneamento (Instituto Trata Brasil, 2020). Neste contexto, é de suma importância obter conhecimento pleno acerca da temática de perdas, incluindo a identificação e quantificação que possam subsidiar ações de combate (Miranda, 2006).

Na obra de Tsutiya (2006), Tardelly (2006, p. 457) traz uma reflexão a respeito da temática de infraestrutura urbana ao apontar que “Há uma tendência geral, nos vários setores de infraestrutura urbana, em supervalorizar a ‘construção’, em detrimento da ‘operação e

manutenção”. De fato, conforme abordado na introdução deste trabalho, a maior parte dos problemas associados às perdas de água nos centros urbanos está nas redes de distribuição, que se encontram deterioradas e/ou obsoletas com a passagem do tempo (Tsutiya, 2006). No que diz respeito à definição de perdas de água nos sistemas de abastecimento, Tardelly (2006) define como sendo um determinado volume de água que foi tratado, mas não foi entregue ao consumidor final, ou seja, um produto industrializado e dotado de valor que se perde no percurso até o consumidor final. O conceito se expande ainda mais ao se considerar os volumes de água que foram entregues ao consumidor, mas que por vários motivos, não foram faturados, gerando perdas associadas aos recursos utilizados desde a captação até o tratamento e distribuição daquela água (Tardelly, 2006). Como forma de definir e hierarquizar as ações de combate às perdas, Miranda (2006) destaca a importância de categorizar as perdas como perdas físicas (ou perdas reais, no cenário internacional), e perdas não físicas (ou perdas aparentes, no cenário internacional).

De acordo com Miranda (2006), as perdas reais correspondem ao volume perdido nas unidades que compõem o sistema de abastecimento de água, desde a captação até a distribuição, incluindo as perdas por uso inconsciente nos próprios processos das unidades (como, por exemplo, descarga para limpeza da rede de distribuição e a lavagem de filtros). Tardelly (2006) destaca que as principais perdas reais se dão em decorrência de vazamentos nas adutoras, reservatórios e nas redes de distribuição, assim como extravasamentos em reservatórios. Ainda sobre as perdas reais, Tardelly (2006, p. 458-459) pontua que:

Em relação às Perdas Reais, dois pontos de extrema importância devem ser colocados:

a) Um relacionado à conservação de recursos naturais, pois quanto menos volume se perde no sistema, menor é a necessidade de explorar ou ampliar as captações de água, acarretando menor impacto ambiental. Pode-se argumentar que as Perdas Reais recarregam o lençol freático, o que é fato, mas isso não parece uma forma adequada de gestão de recursos hídricos, na medida em que, para atender à crescente demanda de água tratada, é requerida a execução de obras com elevado custo e com forte impacto ambiental, representadas por barragens, represas, importação de águas de outras bacias, etc.

b) Outro diz respeito à saúde pública, em decorrência da existência de vazamentos na rede de distribuição de água, onde qualquer despressurização do sistema (manutenção ou intermitência no abastecimento, por exemplo) pode levar à contaminação da água

pela entrada de agentes nocivos na tubulação. Este risco não é meramente potencial, há diversos casos relatados, inclusive em países do Primeiro Mundo, de mortes ou doenças ocasionadas por contaminação de redes através dos pontos de vazamento após despressurização do sistema (Martins, 2001).

Tardelly (2006) ressalta ainda que as perdas reais carregam consigo todos os custos envolvidos não apenas no tratamento direto, mas também no seu transporte, considerando a energia gasta, mão-de-obra, produtos químicos etc. Sobre a natureza das perdas reais de água nos sistemas, Lambert (2002) apud Miranda (2006, p. 807) aponta as principais causas como sendo:

- vazamentos inerentes (juntas e fissuras, não detectáveis) - vazões muito pequenas, porém contínuas (geralmente  $< 0,25 \text{ m}^3/\text{h}$ );
- rompimentos e vazamentos comunicados (reclamações dos consumidores, notificação dos próprios funcionários do operador etc.) - vazões elevadas, mas geralmente de curta duração;
- rompimentos e vazamentos não comunicados (detectáveis por intermédio de pesquisas regulares de vazamentos) - vazões moderadas e duração que depende da intensidade do controle de vazamentos.

No que diz respeito às perdas aparentes, Tardelly (2006) as define como sendo volumes de água consumidos, mas que não foram contabilizados pela companhia de saneamento responsável, ou seja, a água é consumida, mas não é faturada. Ainda de acordo com Tardelly (2006, p. 458), o não faturamento da água pode-se dar por fatores como “erros de medição nos hidrômetros e demais tipos de medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas no cadastro comercial.”. Na Figura 3.2, é possível observar algumas características associadas às perdas reais e perdas aparentes.

**Figura 3.2 – Características das Perdas de Água nos Sistemas de Abastecimento de Água.**

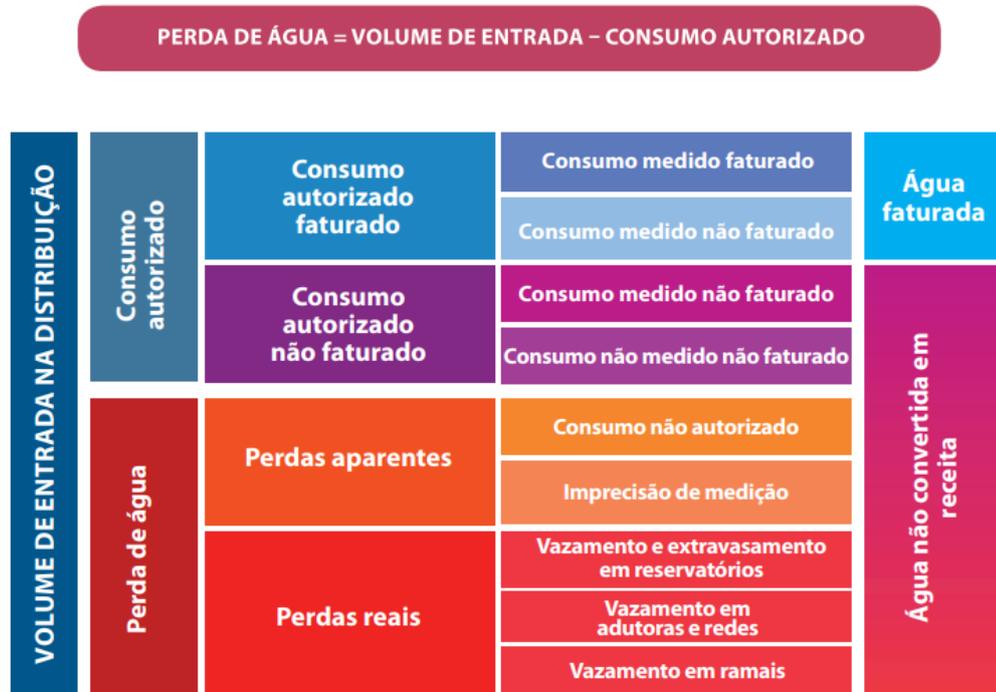
Item	Características Principais	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Tipo de ocorrência mais comum	- Vazamento	- Erro de medição
Custos associados ao volume de água perdido	- Custos de produção da água tratada	- Valor cobrado no varejo ao consumidor

Item	Características Principais	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Efeito no meio ambiente	- Desperdício de recursos naturais - Maiores impactos ambientais devido à necessidade de ampliação da exploração dos mananciais	- Não é relevante
Efeito na saúde pública	- Riscos de contaminação	- Não é relevante
Ponto de vista empresarial	- Perda de produto "industrializado"	- Perda elevada de receita
Ponto de vista do consumidor	- Imagem negativa da empresa, associada ao desperdício e ineficiência	- Não é preocupação imediata
Efeitos finais no consumidor	- Repasse de custos à tarifa - Desincentivo ao uso racional da água	- Repasse de custos à tarifa - Incitamento ao roubo e fraudes

Fonte: Tardelly (2006).

No contexto geral de consumo e perdas nos sistemas de abastecimento de água, a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) (2014) propõe o esquema apresentado na Figura 3.3.

**Figura 3.3 – Tipos de consumo e perdas nos sistemas de abastecimento de água.**



Fonte: Funasa (2014).

Hoje, as perdas na distribuição são agrupadas no âmbito municipal e divulgadas na série histórica do SNIS, que se encontra em transição para o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), no formato do indicador IN049. Os detalhes acerca do indicador podem ser observados na Figura 3.4.

**Figura 3.4 – Cálculo do indicador IN049.**

<b>Nome do Indicador</b>	<b>Código</b>	<b>Palavra-Chave</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Indicador correspondente no SNIS</b>	<b>Ano de Implementação</b>
Perdas totais de água na distribuição	IAG2013	Perdas	- Volume de água produzido (GTA1001) - Volume de água tratada importado (GTA1009) - Volume de	IN049 Índice de Perdas na Distribuição	Ano 01

Nome do Indicador	Código	Palavra-Chave	Variáveis	Indicador correspondente no SNIS	Ano de Implementação
			água autorizado não faturado (GTA1207) - Volume de água consumido (GTA1211) - Volume de água tratada exportado (GTA1203)		

Fonte: SINISA (2024).

Por meio das informações apresentadas nessa figura, e levando em conta as variáveis nele descritas, pode-se realizar o cálculo a partir da Equação 3.1.

$$\begin{aligned}
 & IN049 (\%) \\
 & = \frac{GTA1001 + GTA1009 - GTA1207 - GTA1211 - GTA1203}{GTA1001 + GTA1009} * 100 \quad \text{Equação 3.1}
 \end{aligned}$$

Dessa forma, observa-se, a partir da Figura 3.4 e da Equação 3.1, que o cálculo do indicador é multivariável, abrangendo grandezas como o volume de água produzido, volume consumido, volume autorizado mas não faturado, dentre outros.

### 3.4 Políticas e legislações pertinentes

Conforme abordado anteriormente, o setor de saneamento enfrentou diversas mudanças nas últimas décadas, com a criação de diversas leis e políticas visando à expansão e eficácia do atendimento. Ainda que as políticas públicas não estejam bem integradas e articuladas, o atual arcabouço legal oferece oportunidades de integração entre a gestão de recursos hídricos e o saneamento básico, possibilitando avanços na qualidade e eficiência do setor (Bastos e Monte-Mor, 2022). Neste contexto, menciona-se a seguir uma parte do arcabouço legal direcionado às

ações de saneamento, particularmente aos sistemas de abastecimento de água e à problemática de perdas na distribuição.

#### *3.4.1 Constituição Federal de 1988*

Segundo Paixão (2023, p. 12), “O saneamento básico consiste no conjunto de serviços fundamentais para a garantia da vida e da dignidade humana, bem como das condições mínimas essenciais para o desenvolvimento ético da economia, da sociedade e da proteção ao meio ambiente”. Neste contexto, e apesar de não abordar diretamente a temática de perdas na distribuição, a Constituição Federal de 1988 desempenhou um importante papel ao relacionar temáticas de saneamento com o direito à dignidade da pessoa humana como fundamento da República Federativa do Brasil, atribuindo a competência administrativa do saneamento como comum entre União, Estados e Municípios (Leite; Moita; Bezzerra, 2022). Segundo Santo Silveira e Matos (2022), através da Constituição, o saneamento foi tido como direito de todos, e uma responsabilidade do Estado. O artigo em questão pode ser lido como “É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: [...] IX - promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico; [...]” (Brasil, 1988, Art. 23).

Ao atribuir a competência comum à União, Estados e Municípios, a Constituição contribuiu para o processo de titularidade dos serviços de saneamento no país (Gonçalves, 2019). Além disso, a Constituição contempla a participação do SUS nas questões do setor de saneamento, conforme lê-se que “Ao sistema único de saúde compete, além de outras atribuições, nos termos da lei: [...] IV - participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico; [...]” (Brasil, 1988, Art. 200).

Mesmo diante destes avanços, Paixão (2023) afirma que o saneamento ainda não era tido como um direito individual e autônomo, sendo tratado em associação com os direitos sociais e ambientais.

### 3.4.2 *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*

Conhecida como Lei das Águas, a Lei 9.433 de 1997 estabelece a PNRH, visando assegurar principalmente a qualidade e acessibilidade dos recursos hídricos, tendo em vista o seu valor econômico (Brasil, 1997). Dessa forma, dita lei desempenha um papel essencial ao atribuir importância do saneamento frente à qualidade das águas, destacando inclusive a relevância do abastecimento de água para consumo humano como uso (Libânio; Chernicharo; Nascimento, 2005). Já no primeiro artigo previsto pela lei, são elencados pontos de suma importância para atribuir valor econômico à água, bem como estabelecer a importância dela para o consumo humano (Brasil, 1997, Art. 1º), lendo-se:

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

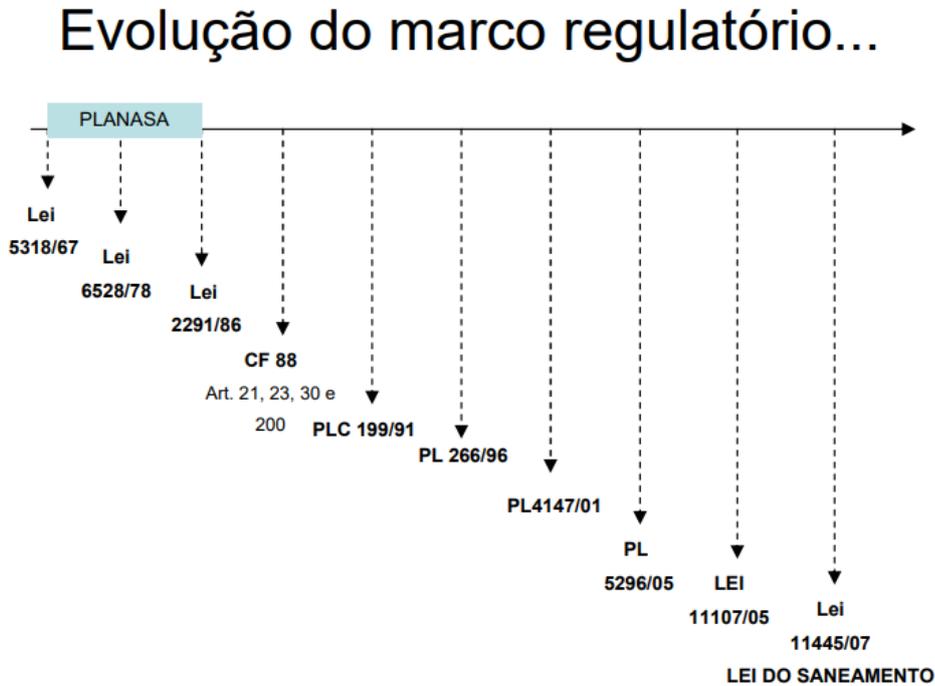
[...]

Dessa forma, a lei desempenha um papel importante para as políticas de saneamento, inclusive aquelas que buscam mitigar impactos em setores como abastecimento de água e esgotamento sanitário, como, por exemplo, o controle de poluições difusas ou pontuais (Libânio; Chernicharo; Nascimento, 2005).

### 3.4.3 *Lei 11.445/2007*

Ainda que clara a necessidade de um marco legal para o saneamento básico, diversas tentativas de criação de leis tramitaram no Congresso Nacional, sem sucesso, tais como o Projeto de Lei da Câmara (PLC) 199 de 1993, e o Projeto de Lei nº 4.147 de 2001 (Gonçalves, 2019). A Figura 3.5 exemplifica o longo caminho percorrido pelo país na busca pela evolução do setor de saneamento até a promulgação da Lei 11.445 de 2007.

**Figura 3.5 – Evolução das tentativas de estabelecimento de um novo marco regulatório no período que vai de 1967 a 2007.**



Fonte: Salles (2009).

Neste cenário, Madeira (2010) afirma que:

Após o vazio criado com o fim do Plano Nacional de Saneamento (Planasa) no fim dos anos 1980, que foi responsável pela criação das companhias estaduais de saneamento básico (CESBs), e depois de quase duas décadas de discussão em torno de uma estrutura institucional para a regulação do setor de saneamento, foi aprovado o marco legal do setor. A Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007, também conhecida como Lei do Saneamento, permitiu o desenho de uma nova política setorial para os serviços de saneamento (Madeira, 2010, p. 144).

Com o advento do Marco do Saneamento, novos instrumentos foram contemplados, tais como a regulação obrigatória, contratualização e os planos de saneamento e do controle social, a fim de criar um ambiente jurídico-institucional estável (Gonçalves, 2019). Madeira (2010) complementa que a lei criou um ambiente estável para o investimento do setor privado no saneamento. No que diz respeito aos contratos de concessão e programa, Madeira (2010) também aponta que a lei contempla o equilíbrio econômico-financeiro, a eficiência da cobrança e composição de taxas e tarifas da empresa, reajuste e revisão das taxas e tarifas, questões de

subsídios, além de mecanismos sociais, regulação e fiscalização. A Lei 11.445/2007 (2007, Art. 11) também contempla “[...] III - a existência de normas de regulação que prevejam os meios para o cumprimento das diretrizes desta Lei, incluindo a designação da entidade de regulação e de fiscalização”. Ainda sobre as entidades reguladoras, Madeira (2010, p. 146) comenta que:

No que diz respeito à regulação, a lei estabelece que a entidade reguladora é responsável pela verificação do cumprimento contratual e dos planos de saneamento estabelecido pelos titulares. A entidade reguladora será regida pelos princípios da independência decisória, orçamentária e financeira; e da transparência, tecnicidade, notoriedade e objetividade das decisões.

A regulação terá como objetivo estabelecer padrões, garantir as metas, prevenir e reprimir o abuso econômico e definir tarifas. A entidade reguladora será responsável pelas normas técnicas, econômicas e sociais, e a concessionária deverá prover todas as informações necessárias para a avaliação do desempenho.

A entidade responsável pela regulação pode ser delegada pelos titulares a qualquer entidade constituída dentro do estado. No caso de prestação regionalizada, a regulação deverá ser feita por órgão ou entidade do ente da Federação ao qual tenham sido delegados os serviços<sup>17</sup> ou pelos próprios municípios titulares do serviço, por meio de consórcio público de direito privado. É assegurado aos usuários dos serviços amplo acesso às informações e a participação no controle social dos serviços, entre outros.

A Lei 11.445/2007 também elencou princípios de grande relevância para a população, como a universalização do saneamento e a promoção da sustentabilidade e eficiência no setor (Brasil, 2007). Neste contexto, o Marco aborda a temática de perdas na distribuição, na forma do Art. 3º (vigência encerrada), nas seguintes palavras:

Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais: [...] XIII - combate às perdas de água e estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva. (Brasil, 2007, Art. 3º - vigência encerrada)

Ademais, o Art. 23 da referida lei atribui às entidades reguladoras o dever de editar as normas de ordem técnica, social e econômica para subsídios tarifários e não tarifários, complementado pelo Art. 29, parágrafo segundo (Vigência encerrada): “Poderão ser adotados subsídios tarifários e não tarifários para os usuários e localidades que não tenham capacidade de pagamento ou escala econômica suficiente para cobrir o custo integral dos serviços.” (Brasil, 2007, Art. 29, § 2º).

#### 3.4.4 Lei 14.026/2020

Conforme mencionado anteriormente, ainda que a Lei 11.445/2007 tenha representado um marco para o saneamento no país, diversos desafios seguiram presente nos anos que sucederam (Vilarinho e Couto, 2023). Dessa forma, tendo como objetivo aprimorar a regulação do setor e fomentar a articulação dos órgãos, em 15 de julho de 2020 foi promulgada a Lei 14.026/2020, conhecida como Novo Marco do Saneamento (Machado, 2021). Além de alterar a Lei 11.445/2007, o Novo Marco estabelece metas para a universalização do acesso ao serviço de saneamento, metas progressivas para a sustentabilidade, inclusive no que diz respeito às perdas na distribuição dos sistemas de abastecimento de água, e atribui à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a responsabilidade de editar as normas de referência da regulação dos serviços de saneamento (Brasil, 2020). No que diz respeito a perdas na distribuição, o Art. 7º, da Lei 14.026/2020 modifica o Art. 2º da Lei 11.455/2007, de tal forma que se lê:

Art. 7º A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, passa a vigorar com as seguintes alterações:

“Art. 2º .....

[...]

XIII - redução e controle das perdas de água, inclusive na distribuição de água tratada, estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reúso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva;

[...]” (NR)

(Brasil, 2020, Art. 7º)

Ainda no que diz respeito às perdas, o Novo Marco do Saneamento também altera a Lei 9.984/2000, relacionando à temática ao papel da regulação com a seguinte redação:

Art. 3º A Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, passa a vigorar com as seguintes alterações:

[...]

“Art. 4º-A. A ANA instituirá normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico por seus titulares e suas entidades reguladoras e fiscalizadoras, observadas as diretrizes para a função de regulação estabelecidas na Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.

§ 1º Caberá à ANA estabelecer normas de referência sobre:

[...]

VI - redução progressiva e controle da perda de água; [...]” (NR)

(Brasil, 2020, Art. 3º)

Mais informações, no que diz respeito a outras alterações propostas pela Lei 14.026/2020, serão abordadas nos tópicos posteriores.

#### *3.4.5 Portaria nº 490, de 22 de março de 2021*

Com o Novo Marco do Saneamento, diversos textos foram incluídos ou atualizados na Lei 11.445 de 2007 (Brasil, 2022) e, na sua sequência, a Lei 14.600, de 19 de junho de 2023, promoveu novas alterações (Brasil, 2023). Dentre as modificações aplicadas, no contexto de perdas na distribuição, podemos mencionar o Art. 50, onde lê-se:

Art. 50. A alocação de recursos públicos federais e os financiamentos com recursos da União ou com recursos geridos ou operados por órgãos ou entidades da União serão feitos em conformidade com as diretrizes e objetivos estabelecidos nos arts. 48 e 49 desta Lei e com os planos de saneamento básico e condicionados:

[...]

IV - ao cumprimento de índice de perda de água na distribuição, conforme estabelecido em ato do Ministro de Estado das Cidades; (Redação dada pela Lei nº 14.600, de 2023)

(Brasil, 2007, Art. 50)

Neste contexto, torna-se pertinente mencionar a Portaria nº 490, de 22 de março de 2021, que estabelece procedimentos e diretrizes para o cumprimento do artigo mencionado acima (Brasil, 2021). Como primeiro parágrafo, a portaria estabelece que:

Art. 1º A alocação de recursos públicos federais e os financiamentos com recursos da União ou com recursos geridos ou operados por órgãos ou entidades da União ficam

condicionados ao cumprimento de índice de perda de água na distribuição, nos termos desta Portaria.

[...]

Art. 2º Para fins de comprovação do cumprimento do índice de perda de água na distribuição, devem ser adotados os seguintes indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS):

I - IN049: índice de perdas na distribuição, medido em percentual; e

II - IN051: índice de perdas por ligação, medido em litros/ligação/dia

(Brasil, 2021, Art. 1º e Art. 2º)

Por meio destes artigos, é pressuposta a alocação de recursos para o cumprimento da redução dos índices de perdas previstos na Lei 11.445/2007 (Brasil, 2007), atualizada pela Lei 14.026/2020 (Brasil, 2022), bem como a definição dos índices a serem avaliados. Para os municípios beneficiados com estes recursos, a portaria estabelece então metas de redução dos índices de perdas, com relação à média nacional, conforme lê-se em:

Art. 3º Para atendimento à condição estabelecida no caput do art. 1º, em cada município a ser beneficiado os valores dos indicadores devem ser menores ou iguais à seguinte proporção do índice médio nacional da última atualização da base de dados do SNIS:

I - 100% nos anos de 2021 e 2022;

II - 95% nos anos de 2023 e 2024;

III - 90% nos anos de 2025 e 2026;

IV - 85% nos anos de 2027 e 2028;

V - 80% nos anos de 2029 e 2030;

VI - 75% nos anos de 2031 e 2032;

VII - 70% no ano de 2033; e

VIII - 65% a partir do ano de 2034.

[...]

(Brasil, 2021, Art. 3º)

Diante do não cumprimento destas metas, a portaria contempla ainda intervenções para melhorias, conforme citado a seguir:

Art. 4º Caso o município não atenda aos índices dispostos no caput do art. 3º, devem ser incluídas nas propostas que tenham abastecimento de água potável em seu escopo iniciativas que promovam a redução de perdas no município, envolvendo, no que couber, as seguintes intervenções:

I - setorização e zonas de medição e controle;

II - macromedição e pitometria no sistema distribuidor;

III - micromedição; e

IV - implantação, ampliação ou melhoria do controle operacional.

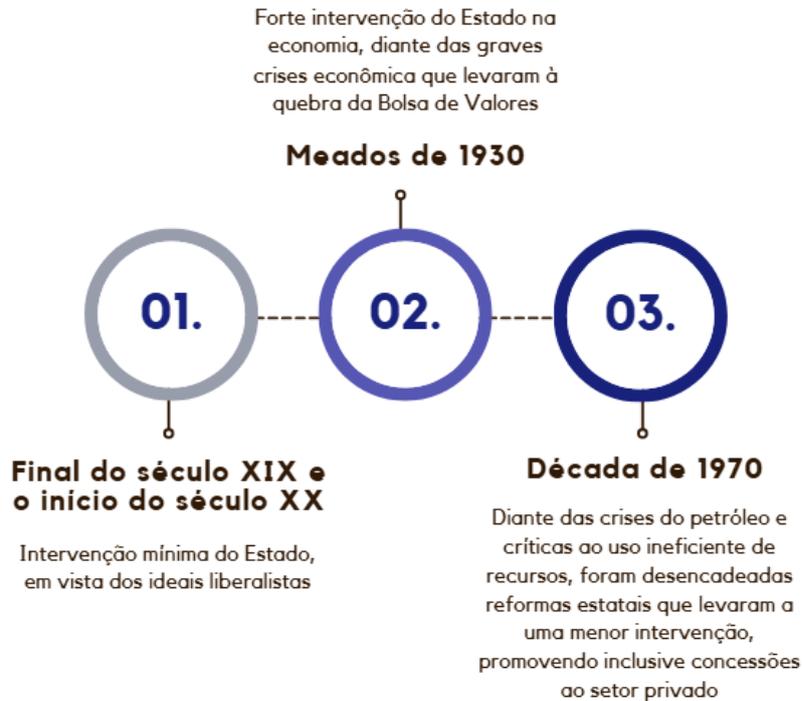
[...] (Brasil, 2021, Art. 4º)

No contexto de redução de perdas por meio de incentivos fiscais, as intervenções propostas nos incisos II, III e IV serão discutidos posteriormente.

### **3.5 O papel das Agências Reguladoras**

No contexto histórico, verifica-se que o Estado desempenhou diferentes formas de intervenção na sociedade. Com base nos apontamentos de Santos (2013), foi elaborada a Figura 3.6, que ilustra as três principais fases do Estado no que diz respeito à sua intervenção.

**Figura 3.6 – Principais fases intervencionistas do Estado nas atividades econômicas, no contexto mundial.**



Fonte: Adaptado de Santos (2013).

Por meio da Figura 3.6, observa-se que os três momentos partiram de uma intervenção mínima do estado, para uma política fortemente intervencionista, seguida de um abalo que levou a uma menor intervenção do Estado na economia, possibilitando o afloramento de concessões ao setor privado.

Conforme abordado anteriormente neste trabalho, após o fim do BNH em 1986, foi instaurado o vazio institucional, que se arrastaria pelos próximos 26 anos (Aversa, 2017). Durante este tempo, as companhias estaduais promoviam a autorregulação de tarifas e preços, considerando sua própria realidade financeira e de custos, algo que fomentou os debates que levariam à promulgação da Lei 11.445/2007 (Andrade e Magalhães, 2016). Durante os governos de Fernando Collor e de Itamar Franco (1990 a 1995), as privatizações, ainda que vagarosamente, estavam em crescimento, o que levou às primeiras discussões acerca da regulação por parte do Estado (Santos, 2013). Santos (2013) também pontua que, nessa época, contemplou-se um novo

modelo onde o Estado deixaria de ser responsável direto pela produção de bens e serviços, e passaria a assumir uma postura de promotor e regulador, o que leva ao conceito de Estado Regulador. Em seu trabalho, Mattos (2006, p. 151) define o Estado Regulador como colocado a seguir:

O novo Estado regulador — caracterizado pela criação de agências reguladoras independentes, pelas privatizações de empresas estatais, por terceirizações de funções administrativas do Estado e pela regulação da economia segundo técnicas administrativas de defesa da concorrência e correção de “falhas de mercado”, em substituição a políticas de planejamento industrial — representou uma clara descentralização do poder do presidente da República e de seus ministros, ao mesmo tempo em que se tentaram criar novos mecanismos jurídico-institucionais de participação de diferentes setores da sociedade civil no controle democrático do processo de formulação do conteúdo da regulação de setores da economia brasileira.

Diante das privatizações que sucederam nos anos seguintes, sob o governo de Fernando Henrique Cardoso, surgiram então as primeiras Agências Reguladoras (Santos, 2013). Segundo Aragão (2003, p. 275 apud Santos, 2013), as Agências Reguladoras têm como definição:

[...] autarquias de regime especial, dotadas de considerável autonomia frente à Administração centralizada, incumbidas do exercício de funções regulatórias e dirigidas por colegiados cujos membros são nomeados por prazo determinado pelo Presidente da República, após prévia aprovação pelo Senado Federal, vedada a exoneração ad nutum.

Frente à criação da PNRH em 1997, foi então promulgada a Lei n. 9.984/2000, que, dentre suas providências, estabelece a criação da ANA (Brasil, 2000). No contexto apresentado por Aragão (2003 apud Santos, 2013), pode-se trazer a definição e algumas atribuições dadas pela lei:

Art. 3º Fica criada a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e vinculada ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, com a finalidade de implementar, em sua esfera de atribuições, a Política Nacional de Recursos Hídricos e de instituir normas de referência para a regulação dos serviços de saneamento básico. (Redação dada pela Lei nº 14.600, de 2023)

[...]

Art. 4º A atuação da ANA obedecerá aos fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e será desenvolvida em articulação com órgãos e entidades públicas e privadas integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, cabendo-lhe:

I – supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos;

[...]

IV – outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União, observado o disposto nos arts. 5o, 6o, 7o e 8o;

V - fiscalizar os usos de recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União;

[...]

XII – definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios por agentes públicos e privados, visando a garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos, conforme estabelecido nos planos de recursos hídricos das respectivas bacias hidrográficas;

(Brasil, 2000, Art. 1º, Art 4º, Art 5º, Art 12)

Ainda que a lei preveja a criação da Agência Reguladora, a regulação tanto das entidades privadas quanto estatais no setor do saneamento só veio a ser efetivamente estabelecida com a Lei 11.445/2007 (Santos, 2013). Segundo Andrade e Magalhães (2016, p. 88-89) “Uma das principais inovações trazidas pela Lei n. 11.445/2007 foi a determinação de que os serviços públicos de saneamento básico fossem regulados por entidade dotada de independência técnica e poder decisório”. Conforme discutido no primeiro tópico deste artigo, em julho de 2020, a Lei 14.026/2020 atualizou a Lei 11.445/2007 em diversos aspectos, incluindo questões de contrato e normas de referência para as Agências Reguladoras (Brasil, 2020). Sendo assim, são estabelecidos pela Lei 11.445/2007 os seguintes objetivos para a regulação:

Art. 22. São objetivos da regulação:

I - estabelecer padrões e normas para a adequada prestação e a expansão da qualidade dos serviços e para a satisfação dos usuários, com observação das normas de referência editadas pela ANA; (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)

II - garantir o cumprimento das condições e metas estabelecidas nos contratos de prestação de serviços e nos planos municipais ou de prestação regionalizada de saneamento básico; (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)

III - prevenir e reprimir o abuso do poder econômico, ressalvada a competência dos órgãos integrantes do Sistema Brasileiro de Defesa da Concorrência; e (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)

IV - definir tarifas que assegurem tanto o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos quanto a modicidade tarifária, por mecanismos que gerem eficiência e eficácia dos serviços e que permitam o compartilhamento dos ganhos de produtividade com os usuários. (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)

(Brasil, 2007, Art. 22)

A lei estabelece ainda as funções e deveres desempenhados pelas Agências Reguladoras, onde destacam-se para a finalidade deste trabalho os incisos VII, IX XIV, e conforme lê-se a seguir:

Art. 23. A entidade reguladora, observadas as diretrizes determinadas pela ANA, editará normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços públicos de saneamento básico, que abrangerão, pelo menos, os seguintes aspectos: (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)

I - padrões e indicadores de qualidade da prestação dos serviços;

II - requisitos operacionais e de manutenção dos sistemas;

III - as metas progressivas de expansão e de qualidade dos serviços e os respectivos prazos;

IV - regime, estrutura e níveis tarifários, bem como os procedimentos e prazos de sua fixação, reajuste e revisão;

V - medição, faturamento e cobrança de serviços;

VI - monitoramento dos custos;

VII - avaliação da eficiência e eficácia dos serviços prestados;

VIII - plano de contas e mecanismos de informação, auditoria e certificação;

IX - subsídios tarifários e não tarifários;

X - padrões de atendimento ao público e mecanismos de participação e informação;

XI - medidas de segurança, de contingência e de emergência, inclusive quanto a racionamento; (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)

XII – (VETADO).

XIII - procedimentos de fiscalização e de aplicação de sanções previstas nos instrumentos contratuais e na legislação do titular; e (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)

XIV - diretrizes para a redução progressiva e controle das perdas de água. (Incluído pela Lei nº 14.026, de 2020)

(Brasil, 2007, Art. 23)

Com base nas informações apresentadas até então, e voltando os olhos para os mecanismos que permitem a criação e a extinção das Agências Reguladoras, Motta (2003) afirma que a Constituição Federal prevê que elas sejam instituídas por lei, considerando critérios como institucionalidade, independência e a composição dos conselheiros que estejam desvinculados de mandatos políticos (Souto, 1999).

Hoje, no contexto da regulação dos serviços de abastecimento de água, observa-se a atuação da Arsae-MG no âmbito Estadual, bem como outras agencias, notavelmente a: Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento de Minas Gerais (ARISMIG); Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento Básico de Minas Gerais (Arisb-MG); e a Agência Reguladora de Saneamento Básico do Norte de Minas (ARSAN) (CLP, [s.d.]).

Vale ressaltar que as ações voltadas ao controle de perdas, foco do presente estudo, podem assumir diferentes perspectivas. Conforme abordado no trabalho de Santos e Oliveira (2023), as ações voltadas para o controle de perdas podem ser direcionadas ao controle de macromedição e hidromedição, ajustes de pressão na distribuição, melhorias na infraestrutura, além de medidas compensatórias.

### **3.6 Ciclos tarifários: Resoluções e Notas Técnicas**

Diante do breve histórico apresentado até então, o presente trabalho terá como foco algumas medidas tomadas pela Arsae-MG, sobretudo no que diz respeito a ações na temática de perdas na distribuição. Criada em 2009, por meio da Lei 18.309, de 3 de agosto de 2009, a Agência Reguladora é responsável pela regulação dos serviços de água e esgoto prestados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa-MG), pela Copasa Serviços de Saneamento Integrado do Norte e Nordeste de Minas Gerais (Copanor-MG), pela Concessionária de Saneamento Básico de Araújos-MG (SANARJ), e pela Samotracia Meio Ambiente e Empreendimentos (prestando serviços para a Alphaville – Lagoa dos Ingleses)

(Arsae-MG, 2009). Neste trabalho, serão avaliados incentivos tarifários que foram implementados por parte da Arsae-MG para os municípios atendidos pela Copasa-MG, sendo esta companhia o foco do estudo.

No contexto da regulação econômica e tarifária, por parte das Agências Reguladoras, a Lei 11.445/2007 (atualizada pelo Novo Marco Regulatório) prevê que:

Art. 23. A entidade reguladora, observadas as diretrizes determinadas pela ANA, editará normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços públicos de saneamento básico, que abrangerão, pelo menos, os seguintes aspectos: (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)

[...]

IV - regime, estrutura e níveis tarifários, bem como os procedimentos e prazos de sua fixação, reajuste e revisão;

[...]

(Brasil, 2007, Art. 23)

Segundo Lustosa e Silva (2020), a revisão tarifária se dá mediante a desequilíbrios econômicos por fatores inesperados, ou por questões que não foram sanadas por meio dos reajustes tarifários, enquanto o reajuste tarifário em si busca adequar as tarifas ao índice econômico, bem como à realidade local. A nota técnica de reajuste da Arsae-MG (2016) complementa que, enquanto o reajuste tarifário busca corrigir a inflação sobre os custos do prestador de serviços, a revisão tarifária “consiste na reavaliação das condições da prestação dos serviços e de mercado, com o estabelecimento de mecanismos tarifários de indução à eficiência e metas de expansão e qualidade dos serviços (artigo 38 da Lei 11.445/07)” (Arsae-MG, 2016, p. 1). Quanto à periodicidade do reajuste e revisão tarifária, a Lei 11.445/2007 (2007, Art. 37 e Art. 38) contempla que:

Art. 37. Os reajustes de tarifas de serviços públicos de saneamento básico serão realizados observando-se o intervalo mínimo de 12 (doze) meses, de acordo com as normas legais, regulamentares e contratuais.

Art. 38. As revisões tarifárias compreenderão a reavaliação das condições da prestação dos serviços e das tarifas praticadas e poderão ser:

I - periódicas, objetivando a distribuição dos ganhos de produtividade com os usuários e a reavaliação das condições de mercado;

II - extraordinárias, quando se verificar a ocorrência de fatos não previstos no contrato, fora do controle do prestador dos serviços, que alterem o seu equilíbrio econômico-financeiro.

[...]

Com base nas definições apresentadas, o presente trabalho busca avaliar medidas tomadas dentro do processo de revisão tarifária, tendo em vista os objetivos de reestruturação dos mecanismos de tarifação visando alcance de metas e expansão de serviços, particularmente no que diz respeito à perda de água nos sistemas de distribuição.

Segundo as informações dispostas no site da agência, desde o ano de 2012 a Arsae-MG vem cumprindo seu compromisso em realizar os reajustes tarifários de forma anual. No ano de 2016, deu-se início o primeiro ciclo de revisão tarifária a ser realizado pela agência, por meio da Resolução Arsae-MG 82/2016, de 12 de abril de 2016, e da Nota Técnica CRFEF 30/2016. Segundo a nota técnica publicada pela Arsae-MG (2016), o processo de revisão tarifária pode ser simplificado em quatro etapas gerais: eficiência dos custos operacionais; custos de capital, incluindo remuneração e amortização/depreciação dos investimentos; necessidades de recursos para alcançar as metas e objetivos dos serviços; ajuste da estrutura tarifária. O processo como um todo foi dividido em duas etapas, em vista de deficiências no Banco Patrimonial da Copasa para fins destinados à regulação (Arsae-MG, 2016).

A primeira etapa, realizada ainda em 2016, contemplou a reavaliação das condições de mercado da Copasa, por meio da implementação de um fator de ajuste de mercado nas tarifas, bem como um fator de produtividade para a diminuição dos custos associados à tarifa do fornecedor de serviços. Ademais, a primeira etapa da revisão contemplou ajustes relacionados à inflação, bem como mudanças na estrutura tarifária da Copasa, alterando a forma como são cobrados os usuários de diferentes categorias, níveis de consumo e serviços (Arsae-MG, 2016).

A segunda etapa, que se deu no ano de 2017, deu sequência na avaliação das condições de mercado e de custos da Copasa, além de definir detalhes como os custos de capital com base

nos ativos do prestador de serviços (Arsae, 2016). Nessa etapa, destaca-se para este trabalho a destinação de recursos para programas de combate a perdas. Com base na Nota Técnica CRFEF 65/2017, a Arsae-MG (2017) ressalta a necessidade de preservar os interesses dos usuários, estimular a expansão dos serviços de esgotamento sanitário e aumentar os investimentos no setor, além de promover a sustentabilidade operacional e econômico-financeira da companhia. Para este fim, a Agência deu início a uma metodologia baseada em incentivos tarifários, com o objetivo de promover recompensa ou penalidade, de forma que o prestador tenha motivação a articular ações relacionadas a temáticas como perdas na distribuição, e que o esforço de gestão por parte do prestador seja revelado ao regulador durante o processo. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2010 apud Arsae-MG, 2017), os incentivos são ferramentas voltadas para ações que, embora não estejam no padrão desejável, apresentam progresso ou diagnóstico que corrobora para tal, enquanto as penalidades são aplicadas nos casos em que são apresentadas regressões ou agravamento da situação, bem como ausência de progresso.

Neste contexto, a metodologia proposta pela Arsae-MG (2017) para alcançar as melhorias comentadas foi fundamentada sobre adoção de dois incentivos tarifários: (i) um fator de qualidade relacionado aos serviços de esgotamento sanitário e (ii) a construção de um mecanismo que promova a redução de perdas na distribuição de água, cuja metodologia se iniciaria no ano de 2017, e teria sua aplicação efetiva no ano de 2019, com essa carência de 2 anos voltada para a correção dos sistemas de micro e macromedição deficientes, elaboração de metas para redução de perdas, bem como um prazo para que a Copasa-MG pudesse avaliar sua capacidade de combater as perdas na distribuição.

No ano de 2018, por meio da Nota Técnica GRT N° 09/2018, a Arsae-MG (2018) agrupou os dois indicadores apresentados, juntamente com o Fator de Produção (FP) e Incentivo ao Atendimento Telefônico, em um único fator de incentivo, chamado de Fator X. Apesar de compor o Fator X, o Fator de Produtividade e Atendimento Telefônico são aplicados predominantemente nos gastos operacionais e itens específicos, estando atrelados ao desempenho operacional. Dessa forma, este fator não será abordado em detalhes neste trabalho.

### 3.6.1 Fator de Qualidade

Diante das dificuldades relacionadas ao acesso ao serviço de esgotamento sanitário, bem como a sua baixa eficiência, a Arsae-MG (2017) propôs o cálculo deste fator com base no alcance dos serviços de esgoto, bem como na sua eficiência. Dessa forma, foram levantados os seguintes indicadores para o cálculo: (i) Índice de Tratamento de Esgoto (ITE) e (ii) Eficiência de Remoção de DBO<sup>1</sup> (ERD).

O ITE se trata de um indicador voltado a mensurar a abrangência do serviço de tratamento de esgoto. Neste contexto, ao contrário dos indicadores de tratamento convencionais, onde são comparados os volumes de esgoto coletado com o tratado, este indicador busca averiguar o número de economias atendidas pelo serviço. De forma a promover o uso de informações mais confiáveis, bem como incentivar o serviço de coleta em si, foram utilizados como componentes de cálculo o Número de economias faturadas com serviço de esgotamento dinâmico (EDT) com coleta e tratamento, e o número de economias faturadas com serviços de água. O cálculo pode ser observado na Equação 3.2.

$$ITE (\%) = \frac{\text{Número de economias faturadas com serviços de EDT}}{\text{Número de economias faturadas com serviços de água}} * 100 \quad \text{Equação 3.2}$$

A Arsae-MG (2017) ressaltou ainda que o número de economias considerado para fins de cálculo é relativo às economias que estão contempladas nos contratos de prestação de serviços de esgotamento sanitário.

Quanto ao indicador relativo à ERD (Eficiência de Remoção de DBO), este foi elaborado com base na legislação voltada ao lançamento de efluentes nos corpos hídricos, sendo: (i) DBO até

---

<sup>1</sup> Demanda Bioquímica de Oxigênio

60 mg/L ou (ii) Eficiência média anual de remoção de DBO igual ou acima de 70% (Minas Gerais, 2008). Sendo assim, o cálculo do indicador poderá ser feito conforme a Equação 3.3.

$$ERD (\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de municípios que atenderam ao padrão de DBO}}{\text{Número de municípios com serviços de EDT}} * 100$$

Equação 3.3

Com esses dois indicadores, o Fator de Qualidade poderá ser calculado da Equação 3.4:

$$\text{Fator de Qualidade} = (ITE_t - ITE_{t-1}) * ERD_t$$

Equação 3.4

Onde:

$ITE_t$ : Índice de tratamento de esgoto no ano de referência

$ITE_{t-1}$ : Índice de Tratamento de Esgoto no ano anterior ao ano de referência

$ERD_t$ : Eficiência de Remoção de DBO no ano de referência.

### 3.6.2 Fator de Incentivo ao Controle de Perdas

No que diz respeito à temática de perdas, Arsae-MG (2017) demonstrou grande preocupação acerca da necessidade de melhorias quanto aos índices de perdas na distribuição, especialmente diante das metas do PLANSAB que eram vigentes na época. Em vista dessa problemática, o segundo incentivo tarifário foi voltado inicialmente para a melhoria da confiabilidade dos dados de produção e consumo de água, sendo essa melhoria em função dos níveis de micro e macromedição, e posteriormente voltada para a aplicação de um fator que trouxesse benefícios ou penalidades em função do desempenho da Copasa-MG frente ao combate às perdas.

Com base no que foi dito, a metodologia inicial proposta pela Arsae-MG (2017) consistiu no agrupamento de municípios cujos níveis de micro e macromedição se encontravam abaixo de 99% em dezembro de 2016, sendo este grupo denominado “Grupo A”. Dessa forma, a cada ano, seria aplicada a Penalidade por Falta de Micro e Macromedição (PFM), cujo valor máximo

foi fixado em  $-0,2\%$ , sobre o número de municípios que permanecessem no Grupo A, ou seja, carentes de micro e macromedição. O cálculo da penalidade foi definido por meio Equação 3.5:

$$PFM (\%) = \frac{\% \text{ de municípios que permanecem no Grupo A}}{\% \text{ inicial de municípios no Grupo A}} * (-0,2\%) \quad \text{Equação 3.5}$$

De posse do PFM, o cálculo do Fator de Incentivo ao Controle de Perdas (IP) foi proposto pela Equação 3.6:

$$IP (\%) = PFM + \text{Fator de Redução de Perdas} \quad \text{Equação 3.6}$$

Destaca-se novamente que, segundo a metodologia proposta pela Nota Técnica CRFEF 65/2017, o indicador Fator de Redução de Perdas só seria aplicado após o reajuste de 2019. A quantificação do benefício ou prejuízo, segundo a Resolução 121 de 2019 (Arsae-MG, 2019, Art. 5º), é determinada “... a partir da diferença de volume distribuído regulatório e o volume distribuído apurado, cujo resultado será multiplicado pelo custo médio do volume distribuído definido regulamentamente (CME)”. Para o cálculo do fator em si, o valor encontrado para benefício/prejuízo é então dividido pelo valor da Receita Tarifária no momento zero (Arsae-MG, 2018). Segundo a Nota Técnica GRT N° 13/2018 (Arsae-MG, 2018, p. 14), o volume regulatório é o “...volume distribuído máximo coberto pelas tarifas.”. O Volume regulatório pode ser calculado a partir da Equação 3.7:

$$Vol \ dist_{reg} = \frac{Vol \ dist_{apurado}}{1 - IPD_{reg}} \quad \text{Equação 3.7}$$

Onde:

$Vol \ dist_{apurado}$ : Volume distribuído no período de referência do ciclo tarifário.

$IPD_{reg}$ : Índice de Perdas na Distribuição regulatório, sendo a meta a ser alcançada.

Dessa forma, se o volume apurado pelo prestador for superior ao volume regulatório, que é estabelecido pela Arsae-MG conforme as metas promovidas para perdas na distribuição, a receita tarifária da Copasa-MG sofrerá uma redução, uma vez que está sendo produzido um volume superior ao volume coberto pelas tarifas, ao passo que o aumento da receita se dará caso o volume apurado for inferior ao volume regulatório (Arsae-MG, 2019). Assim, o cálculo do Fator de Redução de Perdas (%) pode ser feito por meio da Equação 3.8:

$$\text{Fator de Redução de Perdas} = \frac{(\text{Vol dist}_{reg} - \text{Vol dist}_{verificado}) * CME_{PR17}}{RT0 \text{ base}} \quad \text{Equação 3.8}$$

Onde:

$\text{Vol dist}_{verificado}$ : Volume efetivamente verificado no período de referência.

$CME_{PR17}$ : É o custo médio do volume distribuído definido reguladoramente (Arsae-MG, 2019).

$RT0$ : Receita Tarifária Base no momento 0, que é calculada através das tarifas base sobre o mercado de referência, sem levar em conta componentes financeiras ou o desempenho do prestador de serviços.

O impacto deste fator seria, portanto, sobre toda a receita tarifária da Copasa-MG, podendo aumentá-la ou diminuí-la conforme o desempenho.

### 3.6.3 Fator X

Conforme mencionado anteriormente, o Fator X, aplicado diretamente sobre a Receita Tarifária base, após a correção inflacionária, é composto pelos incentivos tarifários apresentados até então, sendo eles: (i) Fator de Produtividade (FP); (ii) Fator de Qualidade (FQ) e (iii) Fator de Incentivo ao Controle de Perdas (IP). O cálculo do Fator X pode ser observado pela Equação 3.9:

$$\text{Fator X} = FP + FQ + IP \quad \text{Equação 3.9}$$

Tendo em vista que a aplicação destes incentivos pode gerar certa imprevisibilidade sobre a receita tarifária, o Fator X está limitado aos limites de três unidades percentuais positivas (+3%) e três unidades percentuais negativas (-3%). Caso o cálculo do Fator X ultrapasse estes limites, a Arsae-MG iria realizar uma compensação retroativa (Arsae-MG, 2019). Um exemplo pode ser observado na Figura 3.7:

**Figura 3.7 – Cálculo do Fator X.**

**Tabela 11 – Impactos do Fator X**

Componentes do Fator X	Sobre RT base inicial	Sobre RT base com inflação	Varição estimada na receita (em R\$)	% da RT <sub>1</sub>
Fator de Produtividade + Incentivo Atend. Telefônico	0,85%	0,82%	R\$ 41.174.691	0,79%
Fator de Incentivo à Redução de Perdas	-0,01%	-0,01%	-R\$ 539.455	-0,01%
Fator de Qualidade	-0,47%	-0,46%	-R\$ 23.043.281	-0,44%
<b>Impacto total do Fator X</b>	<b>0,36%</b>	<b>0,35%</b>	<b>R\$ 17.591.955</b>	<b>0,34%</b>

Fonte: cálculos da Arsae.

limitado a +3% ou -3%

Fonte: Arsae-MG (2019).

### 3.7 Pesquisas relacionadas ao gerenciamento de perdas e ações regulatórias

Uma vez abordada a problemática de perdas na distribuição, bem como o esforço estatal em promover melhorias por meio de instrumentos como a regulação, torna-se interessante levantar estudos que tenham como foco o desempenho das Agências Reguladoras e ações tarifárias.

Sob a ótica da eficiência de operação e gestão de perdas no sistema de distribuição, vale mencionar o estudo levantado por Pertel, Azevedo e Volschan Junior (2016), onde são comparados os desempenhos de 22 prestadores regionais de saneamento, comparando-os por meio da metodologia de *benchmarking* frente aos indicadores: índice de micromedição (IN010), índice de perdas no faturamento (IN013), índice de perdas na distribuição (IN049) e o índice de perdas por ligação (IN051). Para a referência de *benchmarking*, foi utilizado o percentil de 25% para os indicadores, com o índice de perdas de 33% para este percentil. Os resultados obtidos pelos autores demonstram que apenas 3 das 22 companhias atenderam ao *benchmarking* os 4 parâmetros propostos, conforme a Figura 3.8.

**Figura 3.8 – Resultados do benchmarking para 2010.****Tabela 3 – Companhias estaduais – indicadores de desempenho e benchmarking para o ano-base 2010.**

Companhia estadual	Número de municípios avaliados	Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado (%) - IN010	Índice de perdas no faturamento (%) - IN013	Índice de perdas na distribuição (%) - IN049	Índice de perdas por ligação (L.lig <sup>1</sup> . dia <sup>1</sup> ) IN051
Valores de referência para o benchmarking (percentil 25%)					
		65,48	24,10	33,00	254,20
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o benchmarking					
CAGECE	149	67,20	20,20	32,70	215,40
SANEATINS	128	67,00	22,80	33,00	207,10
SANEPAR	344	67,60	20,50	32,40	225,60
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o benchmarking					
AGESPISA	156	37,20	46,60	53,60	447,70
CAEMA	142	12,00	68,20	67,90	1036,20
CAER	15	21,60	64,30	56,20	832,80
CAERN	154	28,20	52,70	60,50	644,50
CAESB	1	74,90	23,10	24,90	287,40
CAGEPA	181	47,20	35,10	44,70	334,80
CASAL	76	22,90	60,70	65,90	785,60
CASAN	200	59,60	18,00	35,40	287,10
CEDAE	61	37,80	49,10	31,20	715,10
CESAN	58	62,60	27,10	34,70	460,90
COMPESA	173	23,30	57,00	66,20	726,70
COPASA	578	67,00	29,20	33,00	233,10
CORSAN	314	49,80	22,60	41,10	340,70
COSANPA	58	18,70	41,90	46,90	488,40
DESO	73	40,50	52,10	59,00	626,80
EMBASA	360	55,00	28,60	37,10	272,80
SABESP	363	61,40	27,80	34,50	403,20
SANEAGO	223	66,10	35,90	32,20	219,80
SANESUL	68	63,60	28,20	35,60	248,00

Fonte: Pertel, Azevedo e Volschan Junior (2016).

Neste resultado, observa-se que a Copasa teve seus resultados de perdas em cima do limite, com um índice de perdas igual a 33%.

Cabe mencionar ainda o trabalho de Teixeira, Azevedo e Julien (2021), onde os autores levantam perspectivas além da simples mensuração do volume produzido pela Estação de Tratamento de Água com relação ao volume consumido pela população. Neste trabalho, os autores abordam a importância de direcionar os esforços também às perdas que ocorrem nos sistemas de captação e transporte de água bruta até a estação de tratamento de água. Cabe ressaltar também a importância atribuída pelos autores à melhoria do indicador de perdas na distribuição, uma vez que o indicador IN049, expresso em percentual, pode não refletir a magnitude do volume de água efetivamente perdido. Por fim, vale mencionar os esforços dos autores em trazer à discussão ferramentas de gestão de recursos hídricos, como por exemplo a outorga e cobranças pelos recursos hídricos (Teixeira; Azevedo; Julien, 2021).

Diante dos últimos tópicos abordados nessa revisão, direcionados ao papel das Agências Reguladoras e suas ações voltadas a melhorias dos sistemas de abastecimento de água, Araújo e Bertussi (2018) trabalharam de forma a identificar a eficácia das agências. Por meio de análises de fatores como infraestrutura do setor, estrutura tarifária e as ações das Agências Reguladoras, os autores concluíram que as empresas de saneamento têm apresentado dificuldades em dispor de recursos para promover investimentos em melhorias, sendo que uma parte delas sequer apresenta lucro expressivo em 2015. O estudo também mostrou que as ações das Agências Reguladoras têm encontrado dificuldades em promover o equilíbrio econômico-financeiro sobre a definição de tarifas efetivas. Por fim, os autores também afirmaram a necessidade de atribuir à ANA as responsabilidades associadas ao setor de saneamento, de forma a promover ações mais efetivas por parte da União (Araújo e Bertussi, 2018).

Cabe também mencionar o estudo feito por Silva e Ledo (2023), ressaltando a importância da regulação nos setores de abastecimento e esgotamento sanitário, tendo em vista que muitas vezes uma única empresa é responsável por toda a verticalização destes sistemas. Além disso, o estudo apresenta em seus resultados que não foram observadas eficiências significativamente maiores em municípios regulados no setor de saneamento, observando, no entanto, que em subamostras foram identificadas ações das Agências Reguladoras que tiveram impactos positivos na eficiência dos prestadores. O estudo reforça ainda a importância de uma centralização maior para a regulação, promovendo condutas comuns que podem contribuir para a melhoria da eficiência do setor. Neste contexto, os autores recebem positivamente a centralização das atividades de saneamento na ANA, diante da Lei 14.026/2020 (Silva e Ledo, 2023).

Além da eficácia das agências no setor de regulação, há ainda a importância associada à confiabilidade do SNIS, posteriormente SINISA, contexto no qual se dá a criação do projeto ACERTAR, resultado da colaboração entre a Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR) e Ministério das Cidades. Neste contexto, a Agência de Reguladora dos Serviços Públicos Delegados de Cuiabá (ARSEC), em seu estudo, aponta que o projeto tem potencial de auxiliar o setor de regulação ao promover indicadores que realmente refletem as condições da qualidade do setor de saneamento (Guimarães Santos et al., 2020).

Por fim, cabe-se citar pesquisas que buscam o desenvolvimento de novas tecnologias para o gerenciamento e combate às perdas de água na distribuição. Neste contexto, Silva Junior (2017) apresenta um sistema de detecção de vazamentos por meio de um sistema de sensores sem fio, posicionados estrategicamente e processados localmente. O sistema se mostrou eficaz, sendo capaz de detectar vazamentos em um curto espaço de tempo após a sua ocorrência, o que representa um resultado positivo para evitar vazamentos contínuos (Silva Junior, 2017). Outro trabalho a ser mencionado foi o desenvolvido por Fritz, Gimenes e Pina Filho (2020), onde os autores dissertaram acerca de metodologias de automação para o gerenciamento de perdas, onde os sistemas são conectados a uma central remota para o controle de pressurização das tubulações. Os autores também fazem menções importantes acerca de avanços na área em outros países, como Japão e Reino Unido (Fritz; Gimenes; Pina Filho, 2020). Por fim, cabe mencionar métodos mais indiretos, como apresentado no trabalho de Araujo (2020), onde foram utilizadas modelagens matemáticas e hidráulicas, baseadas em processos de iteração, para a detecção e localização de vazamentos em redes de distribuição.

### **3.8 Ferramentas de análise estatística**

Tão importante quanto compreender a problemática a ser estudada, ou os resultados obtidos, é entender as ferramentas utilizadas no processo de tratamento e análise dos dados obtidos. Nas palavras de Crespo (2002, p. 4):

Em geral, as pessoas, quando se referem ao termo estatística, o fazem no sentido da organização e descrição dos dados (estatística do Ministério da Educação, estatística dos acidentes de tráfego etc.), desconhecendo que o aspecto essencial da Estatística é o de proporcionar métodos inferenciais, que permitam conclusões que transcendam os dados obtidos inicialmente.

Neste contexto, serão abordadas as principais ferramentas estatísticas utilizadas neste estudo, em sua natureza descritiva e inferencial.

#### *3.8.1 Estatística descritiva*

De maneira generalizada, pode-se separar os estudos estatísticos em dois grupos: a estatística descritiva, utilizada para analisar as características de um grupo de dados coletados, e a estatística indutiva ou inferencial, que estuda estes dados com o objetivo de formular conclusões

(Barbosa, 2012). Portanto, a estatística descritiva, como o nome sugere, busca determinar parâmetros que caracterizam o grupo de dados coletados, como medidas de posição e variabilidade, bem como ferramentas visuais que esboçam essas medidas, por exemplo a construção de gráficos (Bussab e Morettin, 2010).

Medidas descritivas de interesse para este trabalho incluem a análise de centralidade dos dados (moda, média e mediana), classificação quantitativa e qualitativa (distribuição de frequências e categorização dos dados) e medidas de dispersão (amplitude, percentis, desvio padrão e variância) (Ferreira, 2005). Em alguns casos, as medidas de centralidade podem parecer similares, mas elas não são excludentes, e apresentam vantagens e desvantagens. A partir da obra de Crespo (2009), as vantagens e desvantagens entre as medidas de centralidade podem ser aferidas na Figura 3.9;

**Figura 3.9 – Vantagens e desvantagens das principais medidas de centralidade.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Média	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliza todos os valores da variável</li> <li>- Fácil de trabalhar em equações matemáticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É afetada por valores extremos</li> <li>- É necessário conhecer todos os valores da variável</li> </ul>
Mediana	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não é afetada por valores extremos</li> <li>- Esboça bem a centralidade dos dados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difícil de incluir em equações matemáticas</li> <li>- Não utiliza todos os valores da variável</li> </ul>

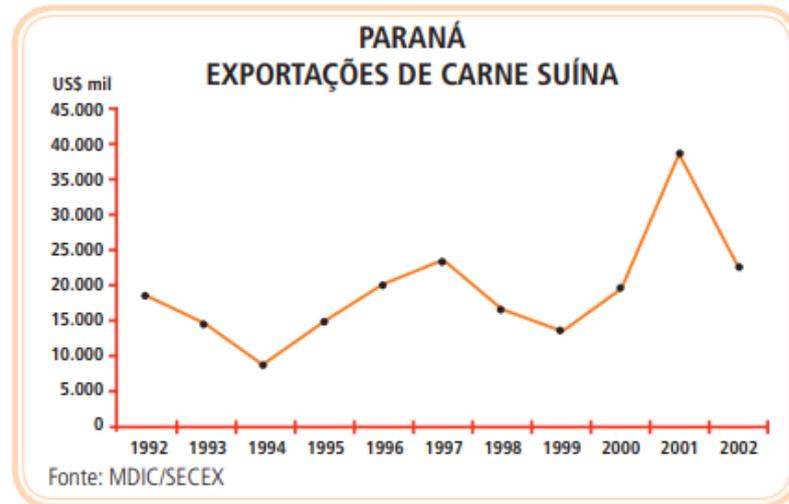
<b>Parâmetro</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Moda	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não é afetada por valores extremos</li> <li>- Esboça valores que aparecem com grande frequência na variável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difícil de incluir em equações matemáticas</li> <li>- Algumas variáveis não têm modas</li> <li>- A variável pode ter mais de uma moda</li> <li>- Pode estar afastada do centro dos valores</li> </ul>

Fonte: Crespo (2009).

Além das medidas descritivas, é importante garantir a transmissão das ideias por elas apresentadas. Neste contexto, a construção de gráficos desempenha um papel fundamental na compreensão de uma população, tendo em vista sua natureza visual capaz de transmitir rapidamente ideias de centralidade e variabilidade dos dados (Bussab e Morettin, 2010). Para alcançar este objetivo, Crespo (2009) aponta que os gráficos devem ser fundamentados sobre a simplicidade, clareza e veracidade, de forma a transmitir as informações necessárias da forma mais rápida e eficiente possível, enquanto mantêm a veracidade da proposta original. Neste contexto, alguns gráficos se destacam para este estudo, sendo eles: (i) gráficos de linha ou dispersão e (ii) gráficos *boxplot*.

Os gráficos de linhas ou dispersão são dados que expressam a correlação entre duas variáveis, normalmente em um plano cartesiano dotado de eixos de coordenadas (abscissas e ordenadas) (Crespo, 2009). Essa característica torna este gráfico interessante para esboçar progressões de variáveis com relação ao tempo, como pode ser observado na Figura 3.10.

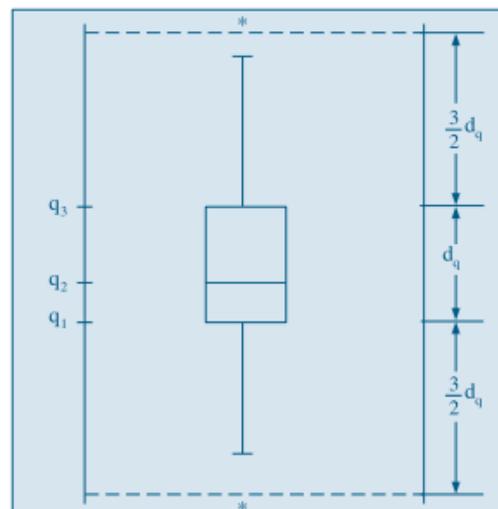
**Figura 3.10 – Um exemplo de gráfico de linhas, expressando a progressão temporal de uma variável.**



Fonte: MDIC/SECEX (apud BARBOSA, 2012).

Já o *boxplot* se trata de uma representação gráfica dos dados que transmite ideias como dispersão, assimetria e dados valores atípicos (Bussab e Morettin, 2010). A representação da estrutura de um *boxplot* pode ser vista na Figura 3.11.

**Figura 3.11 – Um exemplo de gráfico *boxplot*.**



Fonte: Bussab e Morettin (2010).

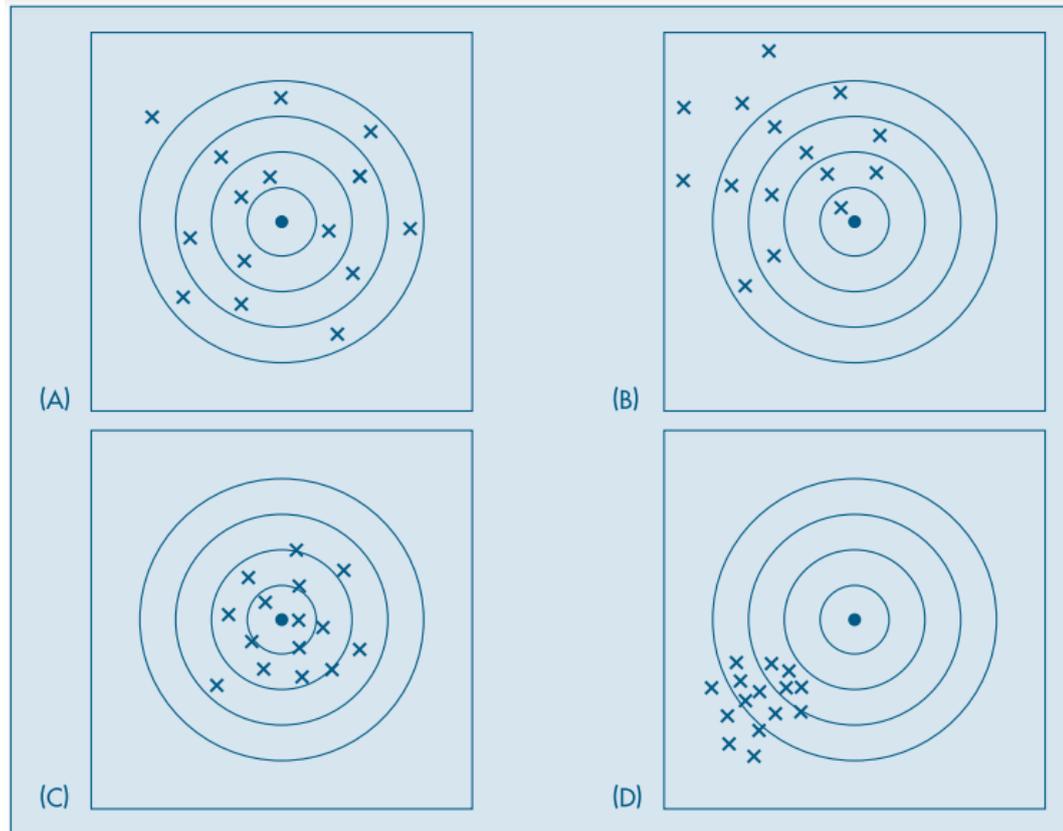
Conforme apresentado na Figura 3.11, o gráfico é dotado de três divisões principais: (i)  $q_1$ , (ii)  $q_2$ , que se trata da mediana, e (iii)  $q_3$ , além dos limites superior (LS) e inferior (LI), localizados nos extremos das caldas. Estes pontos delimitam os percentis adotados para a construção do boxplot, denominados quartis por representar uma fração de um quarto dos dados. Dessa forma, de LI a  $q_1$  tem-se 25% dos dados, de LI a  $q_2$  tem-se 50%, de LI a  $q_3$  75%, e, por fim, de LI a LS temos a totalidade dos dados. Dessa forma, o gráfico permite, por meio de suas distorções, transmitir ideia de variabilidade e dispersão dos dados (Bussab e Morettin, 2010).

### 3.8.2 *Inferência estatística: estimativa de parâmetros e testes de hipóteses*

Na visão de Bussab e Morettin (2010), o processo de inferência estatística é inerente ao dia a dia das pessoas, uma vez que a dedução das características de uma população a partir de uma amostra está presente em diversas ações corriqueiras, como quando uma pessoa decide se vai comprar frutas a partir de uma seleta amostra, de forma a não perder tempo verificando todas as frutas disponíveis para venda. A necessidade do uso da inferência estatística está, portanto, associada a inviabilidade, ou impossibilidade, de conhecer a distribuição exata de uma população, utilizando-se no lugar algumas características de uma amostra para inferir sobre um todo (Bussab e Morettin, 2010). Neste contexto, Viali (2023) aponta que o estudo de inferência estatística se subdivide em dois grupos: (i) estimativa dos parâmetros de uma população e (ii) aplicação de testes de hipóteses.

Segundo Bussab e Morettin (2010), o processo de estimativa dos parâmetros de uma população consiste em determinar as características de uma ou mais amostras e, mediante ao estabelecimento das propriedades desejáveis destes parâmetros, inferir que essas características se espelham na população como um todo. No que diz respeito às propriedades mencionada, Bussab e Morettin (2010) destacam a importância de conhecer os conceitos como viés (a tendência das observações em se concentrar em uma região de dados específica), acurácia (o quão perto as observações se encontram do valor alvo) e a precisão (o quão perto cada observação está uma das outras, com relação à média). A síntese dos conceitos de acurácia e precisão pode ser ilustrado por meio da Figura 3.12.

**Figura 3.12 – Conceitos de acurácia e precisão, ilustrados como tiro ao alvo.**



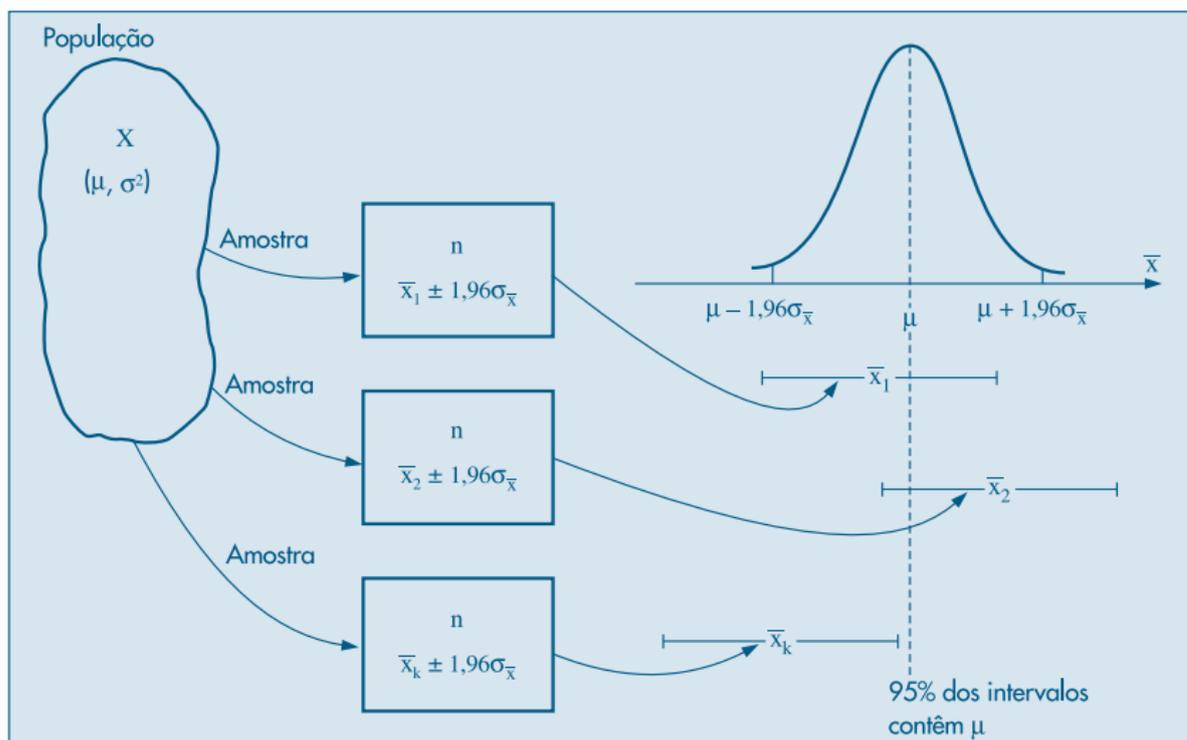
Fonte: Bussab e Morettin (2010).

Na Figura 3.12, em (A) pode-se ver observações não-enviesadas, com baixa precisão e baixa acurácia. Em (B), tem-se observações enviesadas (direcionadas a uma região diferente do alvo), pouco precisas e com baixa acurácia. Em (C), tem-se observações não-enviesadas, com boa precisão e boa acurácia. Por fim, em (D), tem-se observações enviesadas, com excelente precisão e baixa acurácia. Em um primeiro momento, as observações de (C) seriam mais desejáveis, tendo em vista seu balanço entre os conceitos estabelecidos neste cenário, porém, é importante a definição das propriedades esperadas para sua estimativa, uma vez que outros cenários podem apresentar uma ou mais características que tenham maior peso sobre a escolha, como a alta precisão de (D) (Bussab e Morettin, 2010).

Quando tratamos de estimativa de parâmetro, outro conceito importante de se apresentar é o intervalo de confiança. Apesar da estimativa poder ser pontual e direta, onde a característica de

uma amostra é inferida sobre a população de forma direta, convém-se estabelecer mecanismos que abrem portas para uma “margem de dúvida ou confiança” acerca do valor estimado para a população, conceito que leva a definição de um intervalo que pode conter o parâmetro procurado (Bussab e Morettin, 2010). Em linhas gerais, o intervalo de confiança pode ser entendido como um intervalo que possui uma chance X% (utilizando como base uma curva normal) de conter o parâmetro procurado, frisando que neste caso a variável não é o parâmetro em si (que é tido como fixo), mas sim o intervalo que pode ou não o conter (Bussab e Morettin). Para ilustrar melhor este conceito, a Figura 3.13 demonstra o funcionamento de um intervalo de confiança, com um coeficiente de confiança  $\gamma = 0,95$  (95% de confiança).

**Figura 3.13 – Conceito de um IC, com  $\gamma = 0,95$  e  $\sigma^2$  conhecido.**



Fonte: Bussab e Morettin (2010).

Na Figura 3.13, o parâmetro a ser estimado é a média de uma população. A partir da coleta de três amostras aleatórias de mesmo  $n$ , vê-se que duas delas contêm a média, e uma delas não contém. Esta amostra que não contém a média se enquadra dentro dos 5% que não contém o parâmetro desejado, com base no coeficiente de confiança escolhido. Na figura, também é

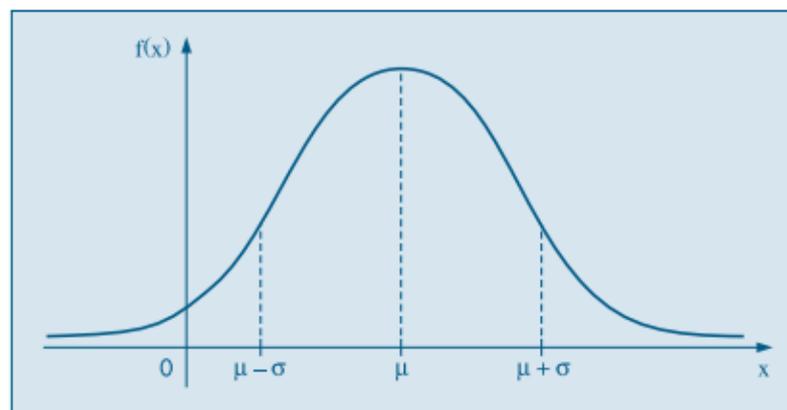
possível ver que a média é tida como fixa, sendo os intervalos variáveis (Bussab e Morettin, 2010).

No processo de determinação do intervalo de confiança, observa-se a aplicação do modelo de curva normal, outro conceito importante no processo de inferência estatística. Nas palavras de Crespo (2009, p. 139), as propriedades de uma distribuição normal (ou gaussiana) são:

- 1<sup>a</sup>) A variável aleatória  $X$  pode assumir todo e qualquer valor real.
- 2<sup>a</sup>) A representação gráfica da distribuição normal é uma curva em forma de sino, simétrica em torno da média ( $\mu$ ), que recebe o nome de curva normal ou de Gauss.
- 3<sup>a</sup>) A área total limitada pela curva e pelo eixo das abscissas é igual a 1, já que essa área corresponde à probabilidade de a variável aleatória  $X$  assumir qualquer valor real.
- 4<sup>a</sup>) A curva normal é assintótica em relação ao eixo das abscissas, isto é, aproxima-se indefinidamente do eixo das abscissas sem, contudo, alcançá-lo.
- 5<sup>a</sup>) Como a curva é simétrica em torno de  $\mu$ , a probabilidade de ocorrer valor maior do que a média é igual à probabilidade de ocorrer valor menor do que a média, isto é, ambas as probabilidades são iguais a 0,5. Escrevemos:  $P(X > \mu) = P(X < \mu) = 0,5$ .

Com base nessas propriedades, uma curva normal pode ser visualizada na Figura 3.14.

**Figura 3.14 – Uma distribuição normal, com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ .**



Fonte: Bussab e Morettin (2010).

Pela Figura 3.14, é possível notar o clássico formato de sino, com simetria em ambos os lados a partir da média amostral, conforme descrito por Crespo (2009).

Conforme abordado anteriormente, a inferência estatística também contempla estudos acerca dos testes de hipótese. Em linhas gerais, um teste de hipótese consiste em fazer uma afirmação acerca de uma população, normalmente direcionada a um parâmetro da mesma, e, por meio de uma metodologia aplicada a dados amostrais dessa população, verificar se eles corroboram ou não para esta afirmação (Bussab e Morettin, 2010). Assis, Sousa e Linhares (2020, p. 5-6) afirmam que:

A teoria da inferência estatística que surge da necessidade do pesquisador fazer tomadas de decisão e realização de generalizações acerca de parâmetros populacionais, bem como sobre a natureza da distribuição de probabilidade desses universos mediante obtenção de conclusões sobre a população partindo-se dos resultados estatísticos através de estimadores ou estatísticas de amostras principalmente aleatórias, faz do teste de hipótese estatístico uma das mais importantes áreas da teoria estatística. Testes de hipóteses são técnicas ou processos com objetivos de verificação da igualdade ou desigualdade entre duas ou mais medidas, entre valores esperados ou previstos e valores ocorridos, ou entre estatísticas de dois ou mais conjuntos separados no tempo e no espaço, pode-se testar, por exemplo, a eficácia de uma vacina na cura da gripe aviária num lote de aves como galinhas poedeiras, mediante o suporte do cálculo de probabilidades.

Ferreira (2005) afirma que um teste de hipóteses geral consiste em cinco principais elementos: (i) a elaboração de uma hipótese nula ( $H_0$ ), (ii) a colocação de uma hipótese alternativa ( $H_1$ ), (iii) a aplicação de um teste estatístico, (iv) estabelecimento de uma região de rejeição, e (v) a conclusão acerca do teste.

De acordo com Assis, Sousa e Linhares (2020, p. 25), uma hipótese “É uma afirmação, mentalmente elaborada, sobre as possíveis causas ou natureza de um problema, fato observacional ou fenômeno que se deseja investigar.”, sendo elaborada a partir dos conhecimentos técnico-científicos do pesquisador, e utilizada como o que os autores definem “solução temporária”. Dessa forma, a hipótese nula pode ser entendida como aquela a ser testada, de caráter unívoco e que possa ser comprovado ou rejeitado experimentalmente, enquanto a hipótese alternativa oferece um resultado diferente da hipótese nula, podendo ser oposto ou não. A hipótese alternativa usualmente representa aquilo que o pesquisador deseja provar, enquanto a hipótese nula representa aquilo que ele busca rejeitar, sendo a hipótese nula considerada verdadeira até que se possa provar o contrário (Assis; Sousa; Linhares, 2020). Os

erros associados a uma conclusão equivocada, que possa levar à aceitação ou rejeição da hipótese nula erroneamente, podem ser aferidos na Figura 3.15.

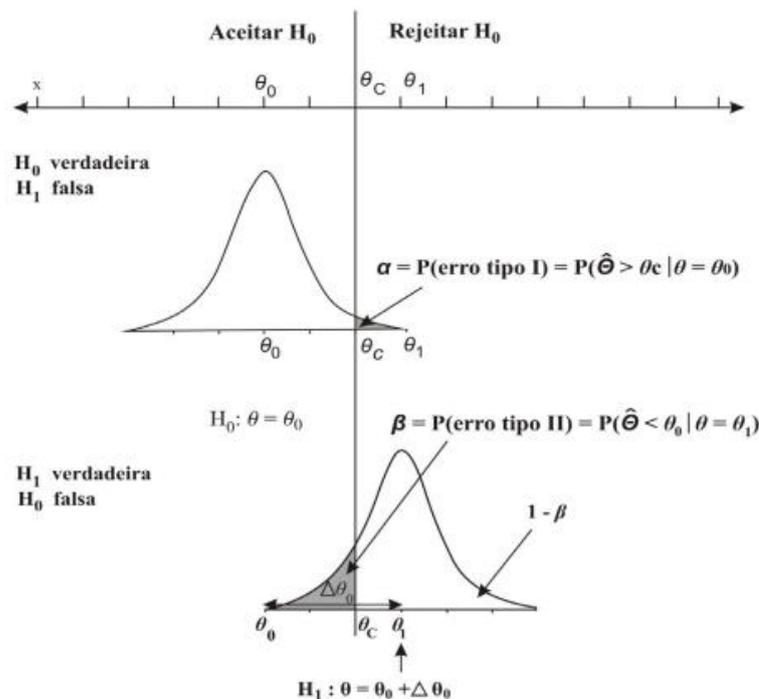
**Figura 3.15 – Erros Tipo I e Tipo II.**

SITUAÇÃO REAL	TOMADA DE DECISÃO	
	ACEITAR $H_0$	REJEITAR $H_0$
Se $H_0$ é Verdadeira	Decisão correta Nível de confiança do teste, mensurada pela probabilidade = $1 - \alpha$	Decisão errada Erro tipo I ou de primeira espécie Probabilidade = $\alpha$ (nível de significância do teste)
Se $H_0$ é Falsa	Decisão errada Erro tipo II ou de segunda espécie Probabilidade = $\beta$	Decisão correta Poder do teste Probabilidade = $1 - \beta$

Fonte: Assis, Sousa e Linhares (2020).

Em síntese, o erro Tipo I (falso positivo) é aquele onde se rejeita a hipótese nula verdadeira, enquanto no erro Tipo II (falso negativo) não se rejeita uma hipótese nula falsa. Na Figura 3.15, também é possível verificar a presença do nível de significância do teste de hipótese. O nível de significância ( $\alpha$ ) está associado à probabilidade de cometer o erro Tipo I, ou seja, rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira, enquanto o coeficiente é a probabilidade de aceitar a hipótese nula quando esta é verdadeira ( $1-\alpha$ ). De maneira análoga, o nível de significância  $\beta$  é a probabilidade de se cometer o erro do Tipo II (Assis; Sousa; Linhares, 2020). A relação entre os erros pode ser vista na Figura 3.16.

**Figura 3.16 – Relação entre os erros Tipo I e Tipo II.**



Fonte: Assis, Sousa e Linhares (2020).

Pela Figura 3.16, é possível observar que ao reduzir a área associada ao nível de significância ( $\alpha$ ), ou seja, a probabilidade de cometer o erro Tipo I, aumenta-se a área associada ao nível de significância  $\beta$ , que é a probabilidade de cometer o erro Tipo II, e vice-versa. Isso implica uma relação mútua, onde é impossível reduzir a probabilidade de um erro sem aumentar a probabilidade de sua contraparte. Os valores de significância, por sua vez, são usualmente 0,1 para 90% de confiança, 0,05 para 95% de confiança ou 0,01 para 99% de confiança (Assis; Sousa; Linhares, 2020).

Outro aspecto importante para um teste de hipótese é a escolha do teste estatístico a ser aplicado. Este teste desempenha um papel para subsidiar a decisão acerca da aceitação ou rejeição das hipóteses apresentadas, por meio da quantificação dos dados amostrais. Assis, Sousa e Linhares, (2020) definem que os testes de hipóteses podem ser subdivididos em duas modalidades: (i) os testes paramétricos e (ii) os testes não paramétricos.

Os testes de hipótese paramétricos são aqueles onde as hipóteses são elencadas em torno de um parâmetro populacional, como por exemplo a média populacional de um determinado grupo. Os testes não paramétricos, por sua vez, são definidos como sendo testes que não fazem menção aos parâmetros da população, ou faz pressuposições de forma mais “branda” (Assis; Sousa; Linhares, 2020).

### 3.8.3 Testes paramétricos e não paramétricos

Segundo Reis e Ribeiro Júnior (2007, p. 1), os testes paramétricos “são aqueles que utilizam os parâmetros da distribuição, ou uma estimativa destes, para o cálculo de sua estatística. Normalmente, estes testes são mais rigorosos e possuem mais pressuposições para sua validação.”. Sendo assim, autores como Assis, Sousa e Linhares (2010) utilizam estes testes com base em pressuposições como normalidade dos dados, número da amostra, variância, dentre outros. Os testes não paramétricos, por sua vez, são fundamentados sobre a atribuição de postos aos dados, e são tidos como livres da pressuposição de uma distribuição de probabilidades definidas, ou com pressuposições mais brandas, também no que diz respeito a fatores como número de elementos da amostra (Reis e Ribeiro Júnior, 2007). A Figura 3.17 ilustra alguns dos testes paramétricos e não paramétricos frequentemente utilizados.

**Figura 3.17 – Exemplos de testes paramétricos e não paramétricos.**

<b>Exemplos de testes</b>		
<b>Natureza</b>	<b>Teste</b>	<b>Objetivo</b>
Paramétricos	A.N.O.V.A	Avaliar se a média de três ou mais grupos possuem diferenças significativas (Bussab e Morettin, 2010).
	t de Student	Avaliar se a média de um par de amostras são significativamente diferentes (Assis; Sousa; Linhares, 2020).
	Correlação de Pearson	Testar a correlação entre duas amostras. (R Core Team, 2025).
Não paramétricos	Kruskal-Wallis	Comparar os postos de três ou mais grupos para avaliar se há diferenças significativas (Viali, 2023).

<b>Exemplos de testes</b>		
<b>Natureza</b>	<b>Teste</b>	<b>Objetivo</b>
	Mann-Whitney U	Verificar, por meio da atribuição de postos, se dois grupos são estatisticamente diferentes (Viali, 2023).
	Spearman	Avaliar a relação entre duas variáveis baseando-se na atribuição de postos (Viali, 2023)

Fonte: Autor (2025).

Conforme abordado anteriormente, o objetivo deste estudo consiste em avaliar se houve diferenças significativas no indicador de perdas de água na distribuição diante dos incentivos regulatórios. Neste contexto, e estabelecendo o objetivo como sendo a comparação entre pares de anos (cada ano avaliado será considerado uma amostra), dois testes apresentados se enquadram nessa proposta: (i) o teste paramétrico t de Student, e (ii) o teste não paramétrico Mann-Whitney U.

O teste t de Student é uma ferramenta de teste de hipótese paramétrico que, sob uma significância adotada, compara duas médias e determina se elas são estatisticamente diferentes, isto é, se as amostras são originadas de uma mesma população (pouca diferença entre as médias), ou se as amostras são originadas de populações distintas. Se tratando de um teste paramétrico, o teste parte de pressuposições necessárias para a sua aplicação, sendo elas a assunção de uma distribuição normal e a homogeneidade das variâncias, além de uma amostra superior a trinta (30) elementos (Assis; Sousa; Linhares, 2020). Em sua publicação, Souza et al. (2023) reforçam a necessidade de verificar a normalidade dos dados por meio de testes numéricos, e recomendam a ferramenta Shapiro-Wilk como meio de verificação, a apresentando como um recurso robusto e amplamente utilizado para este fim. Assis, Sousa e Linhares (2020) ressaltam ainda que a homogeneidade das variâncias também deve ser considerada com rigor, para não levar a assunções equivocadas, e recomendam testes não paramétricos como o teste de Bartlett para verificar numericamente se as condições são atendidas. Assis, Sousa e Linhares (2020) concluem que o teste t de Student é uma opção robusta para testes de comparação, uma vez que ele apresenta resultados consistentes mesmo

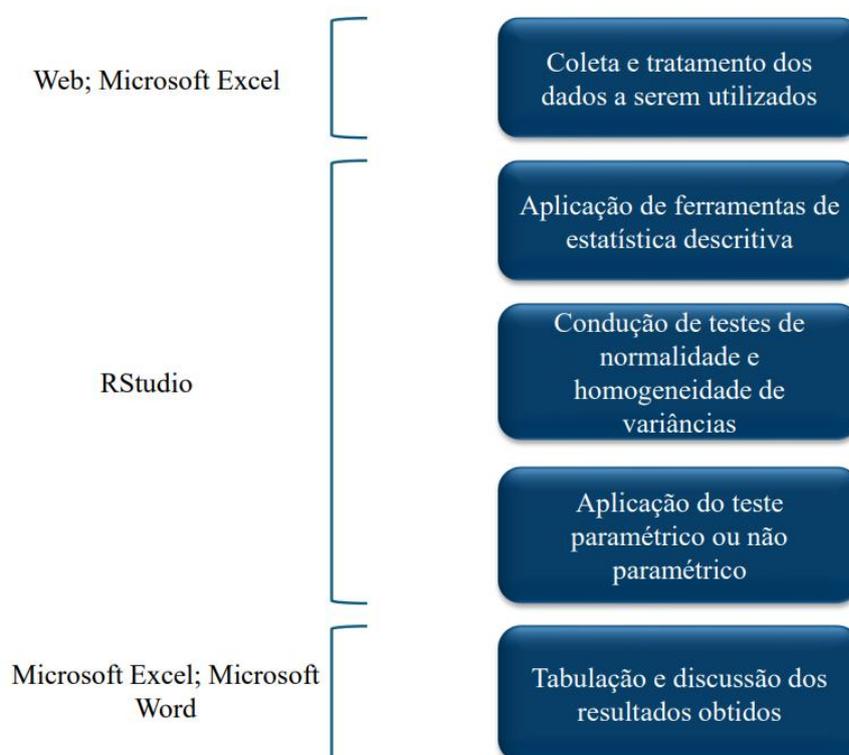
com amostras com um certo grau de assimetria, as caracterizando como aproximadamente normais.

Se por um lado o teste paramétrico  $t$  de Student necessita de cumprir requisitos como normalidade e homogeneidade das variâncias, o teste Mann-Whitney  $U$  se apresenta como a sua contraparte não paramétrica, atendendo a uma proposta semelhante na comparação entre duas amostras para determinar sua diferença estatística. Diferente do teste paramétrico abordado anteriormente, o teste não depende ou gira em torno da média das amostras, mas sim da atribuição de postos. Neste contexto, o teste faz uma comparação pareada entre cada elemento dos grupos a serem comparados, atribuindo postos à esta diferença. Por essa característica não paramétrica, a ferramenta é menos exigente no que diz respeito à normalidade e homogeneidade das variâncias, como na sua contraparte paramétrica (Hughes, 2012).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

De forma a alcançar os objetivos estipulados, a metodologia adotada neste trabalho objetivou-se nas etapas de: (i) pesquisa na web; (ii) tratamento dos dados no Microsoft Excel; (iii) condução dos testes estatísticos no RStudio e, por fim, (iv) tabulação e discussão dos resultados no Microsoft Excel e Microsoft Word. A Figura 4.1 ilustra as etapas apresentadas, mostrando as ferramentas aplicadas em cada uma.

**Figura 4.1 – Fluxograma geral para a metodologia adotada.**



Fonte: Autor (2025).

A seguir, serão detalhadas as etapas da metodologia aplicada neste estudo.

### 4.1 Coleta e tratamento dos dados

#### 4.1.1 Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS

Conforme abordado nos objetivos da pesquisa, a coleta dos dados de interesse foi realizada por meio da plataforma SNIS. De acordo com o portal, o sistema de informações, vinculado ao

Ministério das Cidades, promove a estruturação e disponibilização das informações por meio de painéis com os principais indicadores de interesse, bem como uma ferramenta de filtros para gerar planilhas contendo dados selecionados pelo usuário (BRASIL, 2024). O acesso à página onde a coleta das informações se dá por meio da Série Histórica, que reúne diversas subpáginas relacionadas aos serviços de saneamento. A Figura 4.2 apresenta a página, bem como a área de interesse para este trabalho, destacada em vermelho.

**Figura 4.2 – Página inicial da série histórica do SNIS.**

**SNIS - Série Histórica**  
Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

Ministério das Cidades  
Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental [SNSA]

**CONHEÇA O SNIS**

O **Governo Federal** administra o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS no âmbito da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades.

O SNIS se constitui no maior e mais importante sistema de informações do setor saneamento no Brasil, apoiando-se em um banco de dados que contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade sobre a prestação de serviços de água, de esgotos e de manejo de resíduos sólidos urbanos.

Dentre os objetivos do SNIS destacam-se: (i) planejamento e execução de políticas públicas; (ii) orientação da aplicação de recursos; (iii) conhecimento e avaliação do setor saneamento; (iv) avaliação de desempenho dos serviços; (v) aperfeiçoamento da gestão; (vi) orientação de atividades regulatórias e de fiscalização; e (vii) exercício do controle social. Além disso, a consolidação do SNIS, desde 1995, permite a utilização dos seus indicadores como referência para comparação e como guia para medição de desempenho da prestação de serviços.

O SNIS atualmente está dividido em três componentes: água e esgotos (SNIS-AE), resíduos sólidos (SNIS-RS) e Águas Pluviais (SNIS-AP). As informações do SNIS são coletadas anualmente e provêm de prestadores de serviços ou órgãos municipais encarregados da gestão dos serviços, sendo a base de dados totalmente pública e disponibilizada gratuitamente no site [www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/aces-e-programas/saneamento/snis](http://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/aces-e-programas/saneamento/snis).

A metodologia do SNIS considera uma tipologia de prestadores de serviços apoiada em três características básicas:

- a abrangência da sua atuação (diferenciando os prestadores pela quantidade e complexidade dos sistemas de provimento dos serviços, tanto os sistemas físicos como os político/institucionais e os espaciais/geográficos);
- a natureza jurídico-administrativa (diferenciando os prestadores do ponto de vista da formalidade legal e administrativa a que estão submetidos em todas as dimensões da sua atuação); e
- os tipos de serviços de saneamento que são oferecidos aos usuários (água, água e esgotos, esgotos, resíduos sólidos urbanos).

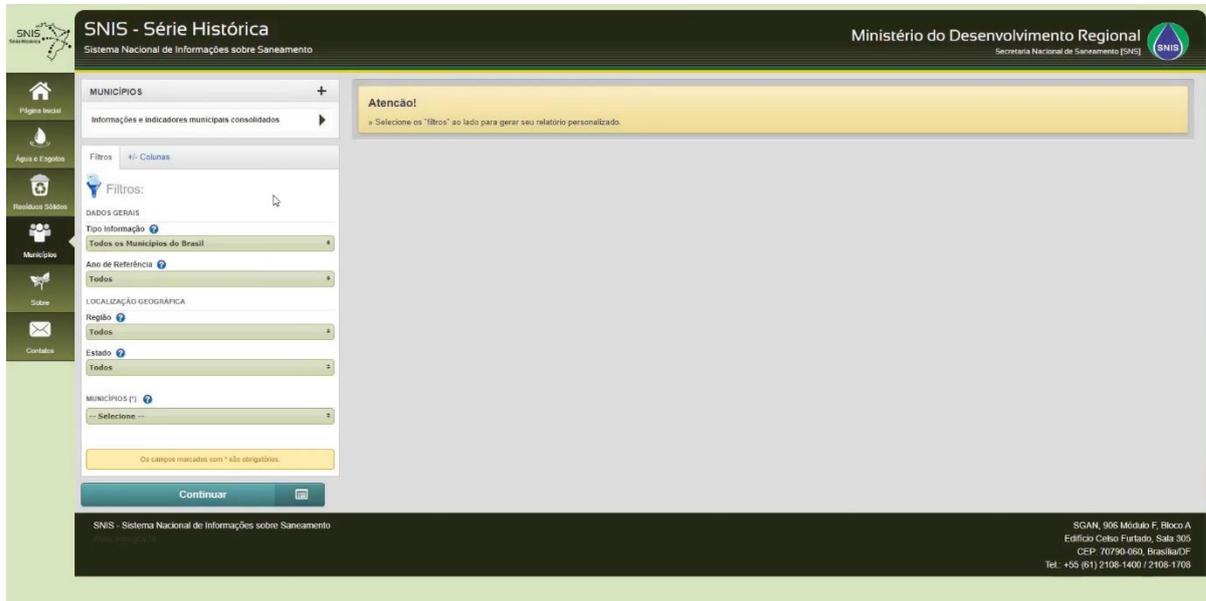
**CONHEÇA O SNIS - SÉRIE HISTÓRICA**

O SNIS - Série Histórica é um programa via web que permite consultar as informações e os indicadores do SNIS em seus três componentes: "Água e Esgotos", "Resíduos Sólidos Urbanos" e "Águas Pluviais", desde os primeiros anos de coleta até o atual. Ele permite também realizar o cruzamento dos dados para possibilitar melhor compreensão e avaliação do setor de saneamento.

Fonte: SNIS (2024).

Como é de interesse do estudo buscar o indicador IN049 por município, foi acessada a aba referente à esta categorização. Uma vez na página, e acessando o repertório de dados consolidados, a plataforma permite realizar a seleção de filtros, de forma a delimitar os dados a serem exportados, conforme demonstrado na Figura 4.3.

**Figura 4.3 – Página inicial da série histórica do SNIS, na aba “Municípios”.**



Fonte: SNIS (2024).

Uma vez aplicado os filtros que selecionam apenas o indicador IN049 para os municípios de Minas Gerais, o arquivo gerado é então exportado no formato “.xlsx”, compatível com a plataforma Microsoft Excel.

#### 4.1.2 Tratamento dos dados no Microsoft Excel

Para que os testes sejam conduzidos de forma satisfatória, é necessário realizar um tratamento prévio dos dados amostrados. Para tanto, foram estabelecidos três critérios para este estudo: (i) os dados necessariamente devem ter envolvimento da Copasa-MG, uma vez que os incentivos abordados neste estudo foram direcionados apenas à esta companhia, (ii) O indicador de perdas IN049 deve ser maior do que zero para ser considerado válido e (iii) Cada município deve dispor dos dados em todo o período avaliado (2012 a 2022).

Para alcançar estes objetivos, foram criadas três colunas auxiliares, uma para cada um dos critérios definidos no parágrafo anterior, respectivamente. A primeira, estabelece uma verificação na coluna “Prestadores”, buscando a palavra-chave “COPASA” e retornando a resposta condizente com o que foi encontrado. A segunda coluna faz uma verificação condicional simples, testando se o dado apresentado no indicador é maior que zero (excluindo o mesmo), e retornando a resposta “Válido” ou “Inválido”. Por fim, a terceira coluna realiza a

contagem da ocorrência do código de cada município em toda a planilha, de forma a verificar se todo o período foi contemplado, sinalizando os municípios que possuem uma contagem inferior a 11 (período contemplado). Com base nestes critérios, os municípios que apresentaram dados inconformidade foram excluídos do estudo. As fórmulas utilizadas podem ser aferidas na Figura 4.4.

**Figura 4.4 – Tratamento dos municípios.**

<b>COPASA envolvida?</b>	<b>Dado Válido?</b>	<b>Dispõe de dados em todo o período?</b>
=SEERRO(SE(ÉNÚM(PROCURAR("COPASA"; [@Prestadores])); "Contém COPASA"; "Não contém COPASA");"Erro")	=SEERRO(SE([@IN049]<=0;"Inválido";"Válido");"Erro")	=SE(CONT.SE(A:A;[@Código do Município])=11;"Sim";"Não")

Fonte: Autor (2025).

Posteriormente, os dados foram divididos em planilhas sob o critério de ano, sendo então exportados como arquivos de texto para leitura no RStudio (RStudio Team, 2023).

## 4.2 Análises estatísticas no RStudio

### 4.2.1 Preparação do ambiente no RStudio

Desenvolvido pela Lucent Technologies (anteriormente conhecida como AT&T Bell Laboratories), o programa RStudio (2023) foi criado como uma ferramenta dedicada a análises estatísticas e gráficas. Amplamente utilizado no meio científico, a ferramenta se destaca por apresentar não apenas uma variedade de pacotes internos, mas uma ampla gama de pacotes desenvolvidos de forma independente pela comunidade, atendendo a diversas demandas específicas (Hughes, 2012). Essa oferta, bem como a versatilidade proporcionada pela linguagem de programação R empregada no programa, motivaram a escolha do programa para o desenvolvimento deste trabalho.

De forma a conduzir o estudo na plataforma RStudio, foi necessário preparar o ambiente para os testes propostos. Apesar de dispor de uma ampla gama de ferramentas, algumas operações específicas exigiram a instalação de bibliotecas adicionais no programa, além de fazer a sua

devida configuração no início do código. Neste contexto, a Figura 4.5 apresenta as principais bibliotecas utilizadas no trabalho, bem como a sua finalidade e a respectiva autoria.

**Figura 4.5 – Relação das bibliotecas adicionais utilizadas.**

Biblioteca	Utilização	Autor
Reshape2	Manipulação das variáveis em células e colunas.	Wickham (2020)
Tidyr	Manipulação das variáveis em células e colunas.	Wickham et al. (2024)
Ggplot2	Construção de gráficos boxplot.	Wickham et al. (2024)
Dplyr	Manipulação de <i>data frames</i> <sup>2</sup> .	Wickham et al. (2023)

Fonte: Autor (2025).

De forma a fazer uso dessas bibliotecas, elas foram incorporadas ao código com linhas de acionamento, conforme a Figura 4.6.

**Figura 4.6 – Acionamento das bibliotecas no código.**

```
1 # Carregamento das bibliotecas
2 library("reshape2")
3 library("tidyr")
4 library("ggplot2")
5 library("dplyr")
```

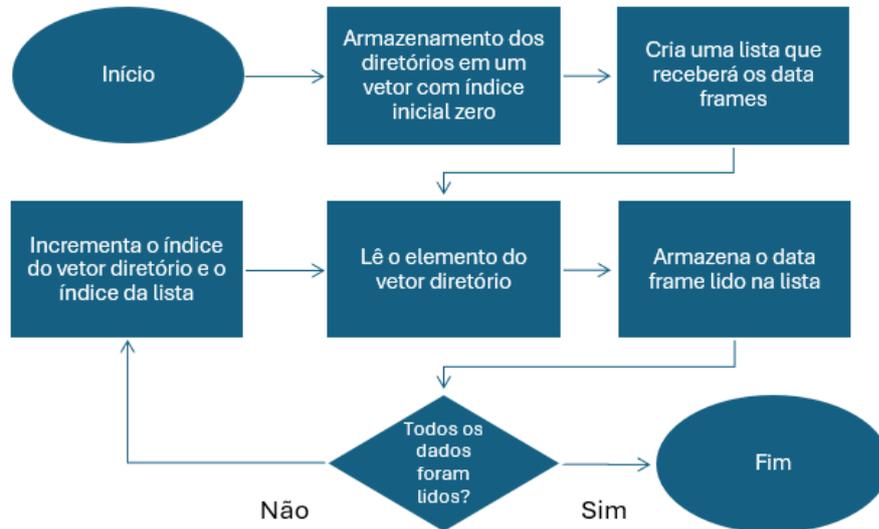
Fonte: Autor (2025).

Na sequência, foi feito o carregamento dos dados no programa. No item 4.1.2 *Tratamento dos dados no Microsoft Excel*, foi apontado que, ao final do processo, os dados foram separados por ano no formato de arquivo com extensão “.txt”. Dessa forma, a leitura destes dados foi feita individualmente por meio de uma rotina de repetição, de acordo com a Figura 4.7.

---

<sup>2</sup> Estrutura bidimensional no formato de tabela, onde as colunas podem assumir diferentes formatos (R Core Team, 2025).

**Figura 4.7 – Fluxograma relacionado à leitura dos dados.**



Fonte: Autor (2025).

Diante dessa rotina, foi elaborado o código apresentado na Figura 4.8, que utiliza como ferramenta de leitura a função “`read.table()`”, dotada dos argumentos que especificam presença de cabeçalho no arquivo de texto para cada série de dados, bem como a separação dos dados e sistema de linguagem.

**Figura 4.8 – Código voltado à leitura dos dados.**

```

160 # Registro dos diretórios para os dados anuais em um vetor.
161 diretorios_agua <- c("C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2012.txt",
162                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2013.txt",
163                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2014.txt",
164                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2015.txt",
165                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2016.txt",
166                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2017.txt",
167                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2018.txt",
168                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2019.txt",
169                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2020.txt",
170                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2021.txt",
171                    "C:/Users/gusta/OneDrive/TCC/RStudio/Dados/IN049/2022.txt")
172
173 # Cria uma lista destinada a abrigar os data frames anuais
174 data_frames_agua <- list()
175
176 # Faz a leitura dos data frames e registra na lista
177 for (indice_diretorio in diretorios_agua) {
178   leitura_agua <- read.table(indice_diretorio, header = TRUE, sep = "\t",
179                             fileEncoding = "latin1")
180   # Converte a coluna "ano" para texto
181   leitura_agua[, 2] <- as.character(leitura_agua[, 2])
182
183   data_frames_agua[[length(data_frames_agua) + 1]] <- leitura_agua
184 }
185

```

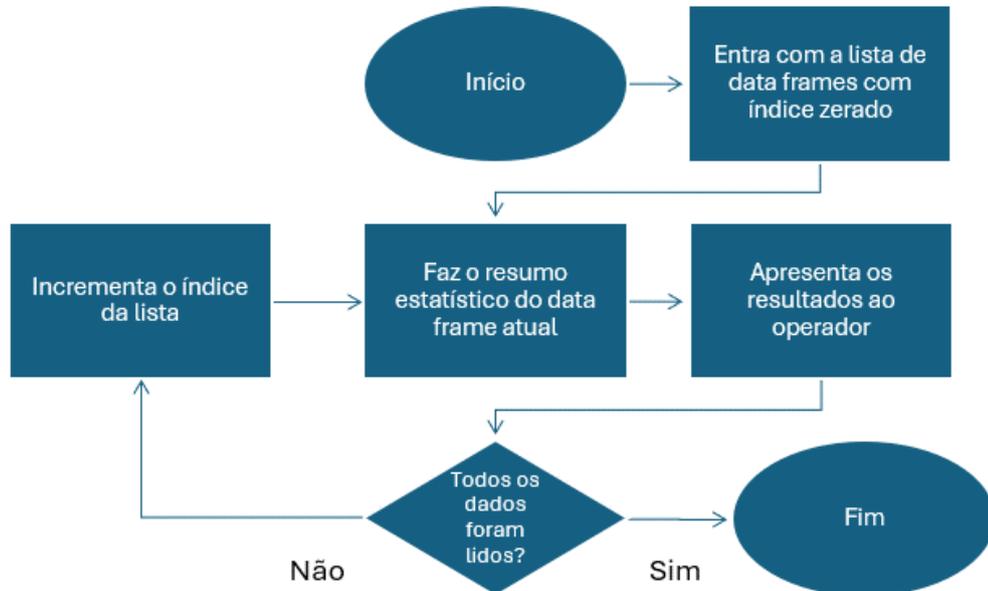
Fonte: Autor (2025).

Conforme demonstrado na Figura 4.8, os dados de perdas na distribuição para cada ano serão abrigados em um *data frame*. Cada *data frame*, por sua vez, é armazenado em uma lista, criando essencialmente uma lista de *data frames*. Dessa forma, o acesso a estes dados se dará por meio da manipulação do índice dessa lista, que irá direcionar para o *data frame* referente ao ano desejado.

#### 4.2.2 Análise descritiva dos dados

Para a análise da estatística dos dados, foram utilizadas ferramentas integradas ao RStudio. Diante desta proposta, as principais medidas estatísticas abordadas no item 3.8.1 *Estatística descritiva*, podem ser levantadas por meio da ferramenta “summary()”, integrada ao RStudio. Como os dados estão agrupados em uma lista de *data frames*, o resumo estatístico foi feito por meio de uma rotina de repetição, conforme o fluxograma apresentado na Figura 4.9.

**Figura 4.9 – Fluxograma para o resultado do resumo estatístico dos dados.**



Fonte: Autor (2025).

O código referente ao fluxograma foi elaborado de forma a manter a estrutura de repetição, para fins de facilitar a organização, e a apresentação dos dados foi feita por meio das funções “print ()” e “cat ()”, sendo a última utilizada com a finalidade de concatenar as informações a serem apresentadas. O código resultante pode ser verificado na Figura 4.10.

**Figura 4.10 – Código para aplicar a estatística descritiva nos dados.**

```

176 # Faz a leitura dos data frames e registra na lista
177 for (indice_diretorio in diretorios_agua) {
178   leitura_agua <- read.table(indice_diretorio, header = TRUE, sep = "\t",
179                             fileEncoding = "latin1")
180   # Converte a coluna "ano" para texto
181   leitura_agua[, 2] <- as.character(leitura_agua[, 2])
182
183   data_frames_agua[[length(data_frames_agua) + 1]] <- leitura_agua
184 }
185

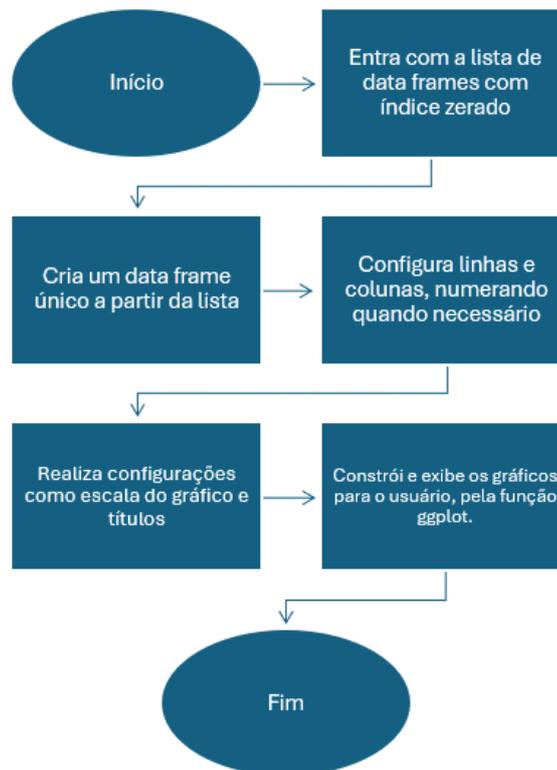
```

Fonte: Autor (2025).

Conforme abordado no item 3.8.1 *Estatística descritiva*, tão importante quanto determinar as medidas descritivas, é realizar a sua apresentação (Bussab e Morettin, 2010). Neste contexto,

para o presente trabalho, optou-se por gerar gráficos *boxplot* para cada ano, de forma a apresentar a distribuição dos dados ano a ano, bem como a sua dispersão, variabilidade e posição da mediana sem distorções provocadas por valores discrepantes. Para a produção dos gráficos *boxplot*, foi elaborado o fluxograma apresentado na Figura 4.11.

**Figura 4.11 – Fluxograma para gerar os gráficos *boxplot*.**



Fonte: Autor (2025).

A partir do fluxograma apresentado na Figura 4.11, foi elaborada uma função para a construção dos gráficos. É importante ressaltar que a configuração foi feita de forma que os *boxplot* fossem construídos no mesmo gráfico, possibilitando a comparação dos anos lado a lado. O código resultante pode ser observado na Figura 4.12.

**Figura 4.12 – Código construído para gerar os gráficos *boxplot*.**

```

9 # Cria uma função que gera boxplots para cada ano
10 - gerador_boxplots <- function(data_frames, title_prefix, title_prefix2) {
11 # Cria um dataframe único combinando todos os dataframes da lista e adiciona a coluna 'year'
12 quadro_combinado <- bind_rows(data_frames, .id = "year")
13
14 # Mapeia as colunas numéricas
15 colunas_numericas <- nomes(quadro_combinado)[sapply(quadro_combinado, is.numeric)]
16
17 # Converte os dados em formato longo e adiciona a coluna 'year'
18 quadro_combinado_long <- tidyr::pivot_longer(quadro_combinado, cols = colunas_numericas, names_to = "variable")
19
20 # Cria o boxplot usando ggplot2
21 ggplot(quadro_combinado_long, aes(x = as.factor(year), y = value)) +
22   geom_boxplot() +
23   labs(title = title_prefix,
24        x = NULL,
25        y = title_prefix2) +
26   ylim(0, 100) + # Define a escala do eixo Y entre 0 e 100
27   theme(
28     axis.text.x = element_text(size = 15, angle = NULL, hjust = 1), # Ajusta o tamanho dos valores no eixo X
29     axis.text.y = element_text(size = 15), # Ajusta o tamanho dos valores no eixo Y
30     plot.title = element_text(hjust = 0.5, size = 16) # Ajusta o tamanho do título
31   ) +
32   scale_x_discrete(labels = c("2012", "2013", "2014", "2015", "2016", "2017",
33                             "2018", "2019", "2020", "2021", "2022")) # Define os rótulos do eixo X
34 - }
35

```

Fonte: Autor (2025).

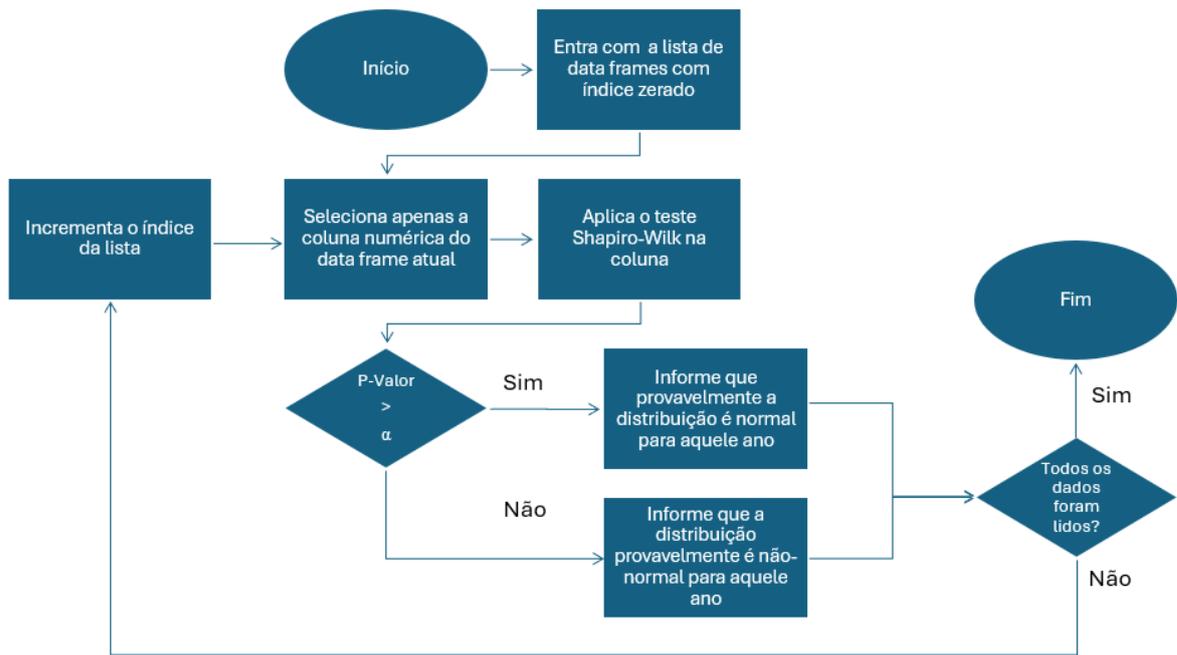
#### 4.2.3 Teste de normalidade e homogeneidade de variâncias

A partir deste tópico, serão apresentadas as metodologias utilizadas para a elaboração de testes de hipóteses. Para interpretar o resultado de um teste dessa natureza, é comparado o nível de significância “ $\alpha$ ” a ser adotado com o p-valor gerado no teste, conforme a metodologia sugerida por Assis, Sousa e Linhares (2020) para testes de hipóteses. Caso o p-valor seja menor ou igual ao nível de significância adotado, rejeita-se  $H_0$ , enquanto se o p-valor for superior ao nível de significância aceita-se  $H_0$  (R Coder, 2024). Conforme abordado no item 3.8.2 *Inferência estatística: estimativa de parâmetros e testes de hipóteses*, os níveis usuais de significância são entre 0,01 e 0,10 (Assis; Sousa; Linhares, 2020). De forma a manter o equilíbrio entre a probabilidade de cometer os erros Tipo I e Tipo II, nos testes de hipótese conduzidos neste trabalho será adotado o nível de significância igual a 0,05 (95% de confiança).

O primeiro teste estatístico a ser realizado está atrelado à necessidade de observar a natureza da distribuição dos dados. Dessa forma, procurou-se realizar um teste de normalidade para cada ano. Para tanto, foi aplicado o Teste Shapiro-Wilk, por meio da ferramenta “shapiro.test ()” (vide o item 3.8.3 *Testes paramétricos e não paramétricos* para informações acerca da necessidade e escolha do teste). Este teste foi estruturado de forma a ser aplicado ano a ano, para inferir se as amostras possuem distribuições normais ou não-normais. Por se tratar de um

teste de hipótese, o Teste Shapiro-Wilk é realizado sobre a formulação de duas hipóteses: (i) Hipótese Nula ( $H_0$ ): os dados seguem uma distribuição normal, e (ii) Hipótese Alternativa ( $H_1$ ): os dados seguem uma distribuição não-normal (R CODER, 2024). O fluxograma geral do processo pode ser ilustrado por meio da Figura 4.13.

**Figura 4.13 – Fluxograma para realizar o teste de normalidade.**



Fonte: Autor (2025).

Com base no fluxograma apresentado na Figura 4.13, elaborou-se então o código R para a execução na forma de função. O produto pode ser observado em detalhes na Figura 4.14.

**Figura 4.14 – Código para a aplicação do Teste Shapiro-Wilk.**

```

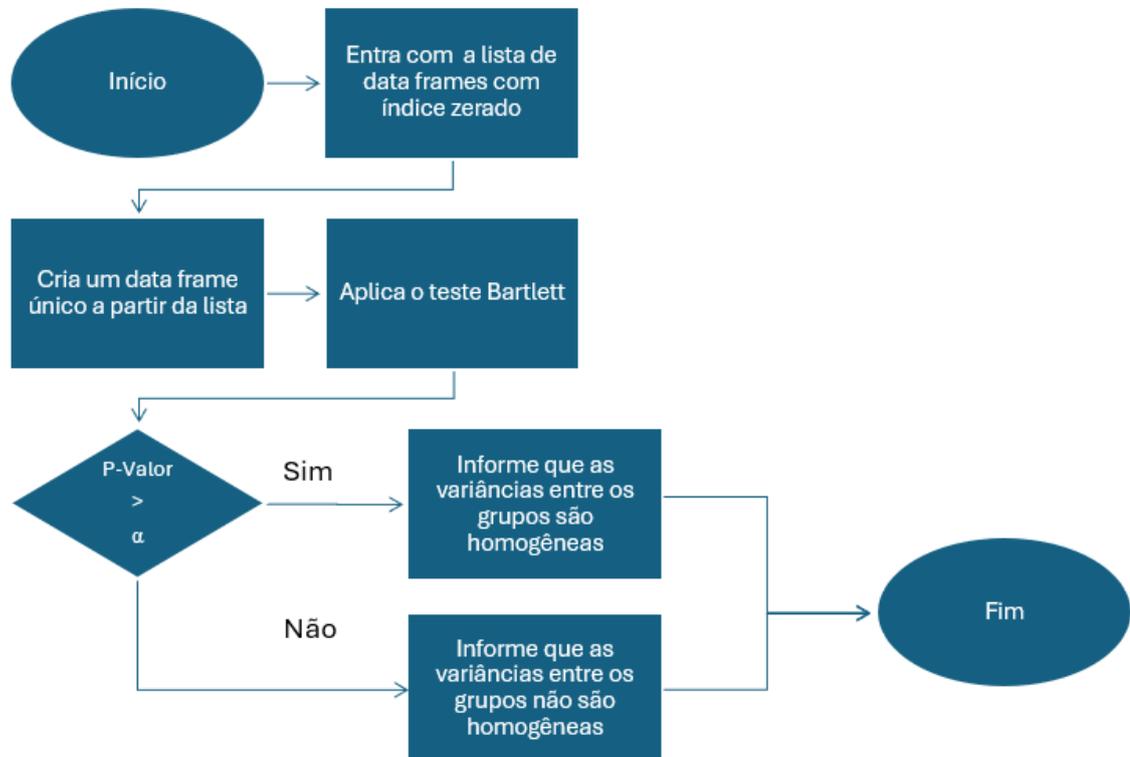
36 # Cria uma função para realizar o teste de Shapiro-wilk
37 shapiro_test <- function(data_frames, title_prefix) {
38   for (i in 1:length(data_frames)) {
39     # Selecionar apenas colunas numéricas
40     colunas_numericas <- names(data_frames[[i]])[sapply(data_frames[[i]], is.numeric)]
41
42     # Realizar o teste de Shapiro-wilk para cada coluna numérica
43     for (col in colunas_numericas) {
44       resultado <- shapiro.test(data_frames[[i]][, col])
45       p_valor_shapiro <- resultado$p.value
46
47       if (p_valor_shapiro > 0.05) {
48         cat(paste(title_prefix, i + 2011, "-", col, ": Dados seguem uma distribuição normal
49             (p-valor =", p_valor_shapiro, ")\n"))
50       } else {
51         cat(paste(title_prefix, i + 2011, "-", col, ": Dados não seguem uma distribuição normal
52             (p-valor =", p_valor_shapiro, ")\n"))
53       }
54     }
55   }
56 }
57 }
58 return(p_valor_shapiro)
59 }

```

Fonte: Autor (2025).

Caso os dados sigam uma distribuição normal, também convém realizar o teste de homogeneidade das variâncias, segundo os critérios propostos por Cochran e Cox (1957). Para este fim, utilizou-se o Teste de Bartlett (vide o item 3.8.3 *Testes paramétricos e não paramétricos* para informações acerca da escolha do teste), que será fundamentado em duas hipóteses: (i) Hipótese Nula ( $H_0$ ): A variância entre cada grupo é igual, e (ii) Hipótese Alternativa ( $H_1$ ): Pelo menos um grupo tem uma variância que não é igual aos outros (STATORIALS, 2024). A lógica segue apresentada no fluxograma da Figura 4.15.

**Figura 4.15 – Fluxograma para a aplicação do teste de Bartlett.**



Fonte: Autor (2025).

O respectivo código para a implementação do fluxograma no programa RStudio pode ser visualizado na Figura 4.16.

**Figura 4.16 – Código para a aplicação do teste de Bartlett.**

```

61 # Cria uma função para realizar o teste de Bartlett
62 bartlett_test <- function(data_frames, col_num = 3) {
63   # Itera sobre cada data frame na lista
64   for (i in 1:length(data_frames)) {
65     # Adiciona uma coluna "Ano" para identificar o grupo
66     data_frames[[i]]$Ano <- 2011 + i
67   }
68
69   # Combina todos os data frames em um único
70   dados_combinados <- do.call(rbind, data_frames)
71
72   # Realiza o teste de Bartlett para a coluna numérica especificada
73   resultado <- bartlett.test(dados_combinados[[col_num]] ~ as.factor(dados_combinados$Ano))
74
75   # Exibe o p-valor para verificar
76   print(resultado)
77
78   # Mensagem de interpretação
79   if (resultado$p.value > 0.05) {
80     Res <- "As variâncias entre os grupos são homogêneas (não rejeitamos H0).\n"
81   } else {
82     Res <- "As variâncias entre os grupos não são homogêneas (rejeitamos H0).\n"
83   }
84   cat(Res)
85
86   # Retorna o p-valor para uso posterior
87   return(resultado)
88 }

```

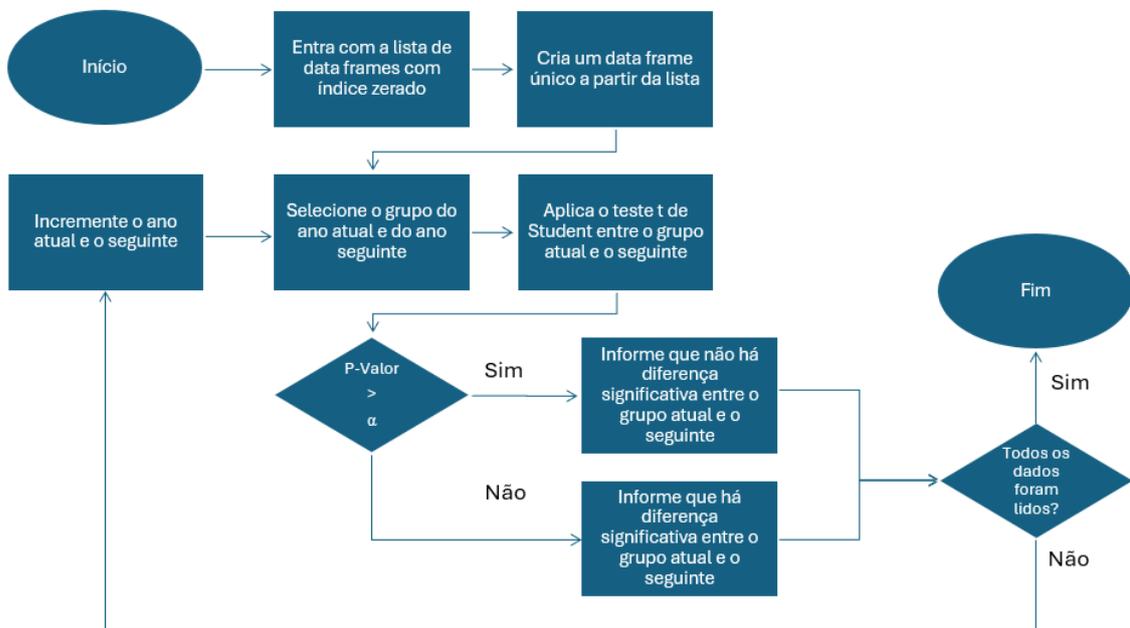
Fonte: Autor (2025).

#### 4.2.4 Aplicação do teste paramétrico ou não paramétrico

Uma vez realizado os testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, prosseguiu-se para a elaboração dos testes que irão indicar se existe diferença significativa entre os grupos de dados. Conforme abordado no item 3.8.3 *Testes paramétricos e não paramétricos*, os testes a serem feitos irão depender de fatores como a natureza da distribuição dos dados, bem a quantidade da amostra e objetivos a serem alcançados com o teste (Assis; Sousa; Linhares, 2020). Neste trabalho, os critérios a serem adotados serão a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, pressupondo também a independência entre as variáveis estudadas. Dessa forma, caso os testes apresentados no item anterior apontem uma natureza predominantemente normal entre as distribuições, e a variância seja aproximadamente homogênea entre os grupos, será conduzido o teste t de Student. Caso o teste aponte para uma distribuição predominantemente não-normal ou com variâncias não homogêneas, será conduzido o teste Mann-Whitney U. A justificativa para a escolha destes testes se encontra descrita no item 3.8.3 *Testes paramétricos e não paramétricos*.

Caso seja a opção escolhida, o teste t de Student será conduzido por meio da ferramenta “t.test()”. Essa função possibilita realizar o teste de variância fundamentado em duas hipóteses: (i) Hipótese Nula ( $H_0$ ): não há diferença significativa entre os grupos, e (ii) Hipótese Alternativa ( $H_1$ ): existe diferença significativa entre os grupos. As hipóteses seguem a mesma premissa quanto à adoção de níveis de significância, sendo fixado o nível de 0,05 (95% de confiança). O fluxograma detalhando o processo de teste t de Student pode ser estudado na Figura 4.17.

**Figura 4.17 – Fluxograma para o teste t de Student.**



Fonte: Autor (2025).

O respectivo código que implementa as ideias apresentadas pode ser visto em detalhes na Figura 4.18.

**Figura 4.18 – Código para o teste t de Student.**

```

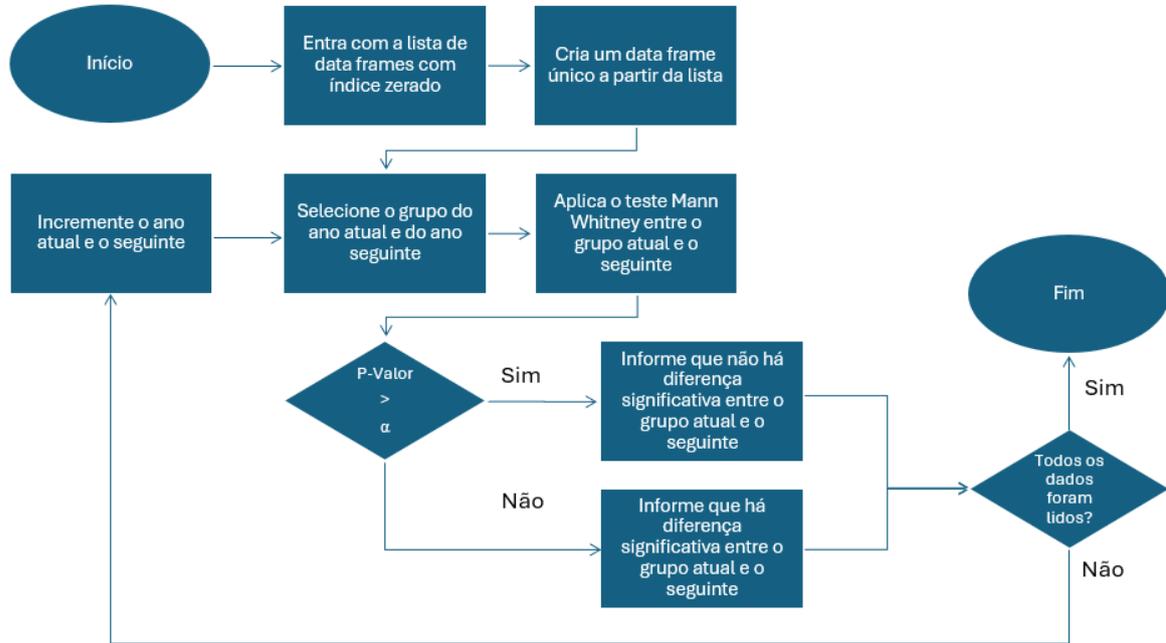
152 # Função para realizar o teste T de Student
153 teste_t_student <- function(data_frames, title_prefix) {
154   # Ferramenta para selecionar apenas colunas numéricas para o teste
155   colunas_numericas <- lapply(data_frames, function(df) names(df)[sapply(df, is.numeric)])
156
157   for (i in 1:(length(data_frames) - 1)) { #Rotina que determina o índice do ano atual
158     for (j in (i+1):length(data_frames)) { #Rotina que determina o índice do ano seguinte
159       for (col in intersect(colunas_numericas[[i]], colunas_numericas[[j]])) { #Rotina que itera sobre a coluna numérica IN049
160         # Combina os dados em um único quadro
161         quadro_combinado <- data.frame(
162           valor = c(data_frames[[i]][, col], data_frames[[j]][, col]),           #Cria um vetor contendo a lista de
163           #valores do ano atual e seguinte
164
165           grupo = factor(c(rep(paste0("Year_", i + 2011), nrow(data_frames[[i]])), #Cria um fator que categoriza os dados
166                          rep(paste0("Year_", j + 2011), nrow(data_frames[[j]])))) #do ano atual e seguinte
167         )
168
169         # Realiza o teste T Student
170         resultado <- t.test(valor ~ grupo, data = quadro_combinado, var.equal = TRUE)
171         p_value <- resultado$p.value
172
173         if (p_value > 0.05) { #Testa o p-valor do teste com relação à significância adotada de 0,05 (95% de confia)
174           cat(paste("Para", title_prefix, "entre", i + 2011, "e", j + 2011, "-", col, ": Não há diferença significativa \
175                 (p-valor =", p_value, ")\n"))
176         } else {
177           cat(paste("Para", title_prefix, "entre", i + 2011, "e", j + 2011, "-", col, ": Há diferença significativa \
178                 (p-valor =", p_value, ")\n"))
179         }
180       }
181     }
182   }
183 }

```

Fonte: Autor (2025).

No cenário onde a distribuição dos dados seja não-normal, será então aplicado o teste não paramétrico Mann-Whitney U, por meio da função “wilcox.test ()”. As hipóteses que fundamentam estes testes são semelhantes às apresentadas no teste t de Student: (i) Hipótese Nula ( $H_0$ ): não há diferença significativa entre os grupos, e (ii) Hipótese Alternativa ( $H_1$ ): existe diferença significativa entre os grupos. Vale ressaltar que neste estudo foi fixado o nível significância igual a 0,05 (95% de confiança). O fluxograma para a aplicação do teste Mann-Whitney U pode ser visto na Figura 4.19.

**Figura 4.19 – Fluxograma para o teste Mann-Whitney U.**



Fonte: Autor (2025).

Com base neste fluxograma, foi elaborado então o código apresentado na Figura 4.20.

**Figura 4.20 – Código para o teste Mann-Whitney U.**

```

118 # Função para realizar o teste de Mann-Whitney U
119 mann_whitney_test <- function(data_frames, title_prefix) {
120   # Seleciona apenas colunas numéricas para realizar o teste
121   colunas_numericas <- lapply(data_frames, function(df) names(df)[sapply(df, is.numeric)])
122
123   for (i in 1:(length(data_frames) - 1)) { #Rotina que determina o índice do ano atual
124     for (j in (i+1):length(data_frames)) { #Rotina que determina o índice do ano seguinte
125       for (col in intersect(colunas_numericas[[i]], colunas_numericas[[j]])) { # Itera sobre colunas numéricas comuns
126
127         # Combina os dados em um único quadro
128         quadro_combinado <- data.frame(
129           valor = c(data_frames[[i]][[col]], data_frames[[j]][[col]]), #Cria um vetor contendo a lista de
130                               #valores do ano atual e seguinte
131           grupo = factor(c(rep(paste0("Year_", i + 2011), nrow(data_frames[[i]])), #Cria um fator que categoriza os dados
132                           rep(paste0("Year_", j + 2011), nrow(data_frames[[j]])))) #do ano atual e seguinte
133         )
134
135         # Realiza o teste de Mann-Whitney U
136         resultado <- wilcox.test(valor ~ grupo, data = quadro_combinado, exact = FALSE)
137         p_value <- resultado$p.value
138
139         # Interpretação do resultado
140         if (p_value > 0.05) {
141           cat(paste("Para", title_prefix, "entre", i + 2011, "e", j + 2011, "-", col,
142                   ":", "Não há diferença significativa (p-valor =", round(p_value, 4), ")\n"))
143         } else {
144           cat(paste("Para", title_prefix, "entre", i + 2011, "e", j + 2011, "-", col,
145                   ":", "Há diferença significativa (p-valor =", round(p_value, 4), ")\n"))
146         }
147       }
148     }
149   }
150 }
  
```

Fonte: Autor (2025).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise descritiva dos dados

Uma vez realizada a extração dos dados na plataforma SNIS, foi feito o tratamento descrito no item 4.1.2 *Tratamento dos dados no Microsoft Excel*, ressaltando os critérios propostos pela metodologia: (i) Os dados necessariamente devem ter envolvimento da Copasa, (ii) O indicador IN049 deve ser maior do que zero e (iii) Cada município deve dispor dos dados em todo o período avaliado (2011 a 2022). Feito o procedimento de tratamento, foi obtido o panorama apresentado no Tabela 5.1.

**Tabela 5.1 – Resultado do tratamento de dados para municípios de Minas Gerais atendidos pela Copasa-MG.**

<b>Número de municípios coletados</b>	<b>Número de municípios atendidos pela Copasa</b>	<b>Número de municípios atendidos pela Copasa que apresentam dados inválidos em um ou mais anos</b>	<b>Número de municípios atendidos pela Copasa, com dados válidos<sup>3</sup>, mas não presentes em todo o período avaliado</b>	<b>Número de municípios atendidos pela Copasa, com dados válidos e presentes em todo o período analisado</b>
(un.)	(un.)	(un.)	(un.)	(un.)
849	594	7	27	565

Fonte: Autor (2025).

Considera-se, portanto, uma amostra de 565 municípios por ano, correspondendo a 66,55% da amostra coletada no SNIS. Uma vez realizada a coleta e o tratamento dos dados, foram conduzidos os testes no programa RStudio. As análises descritivas conduzidas no programa produziram os resultados organizados na Tabela 5.2.

<sup>3</sup> São considerados válidos dados maiores que 0.

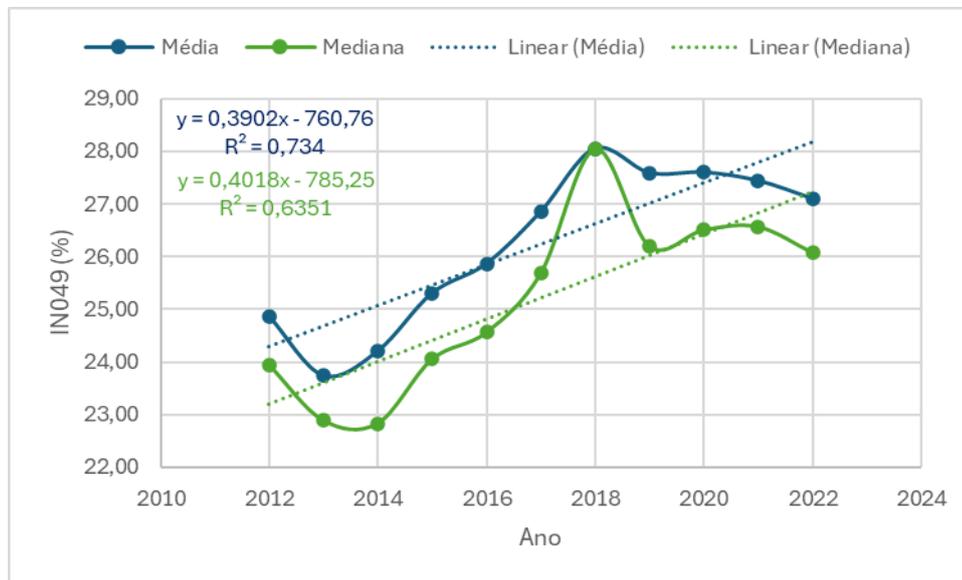
**Tabela 5.2 – Resultados das análises do indicador de perdas IN049 em cada ano, para municípios de Minas Gerais atendidos pela Copasa-MG.**

Parâmetro	Ano										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Média (%)	24,87	23,74	24,20	25,30	25,86	26,85	28,05	27,59	27,60	27,44	27,10
Variância (% <sup>2</sup> )	73,19	76,48	79,95	83,09	80,26	83,23	85,13	82,97	82,12	93,36	86,70
Desvio Padrão (%)	8,55	8,74	8,94	9,11	8,96	9,12	9,23	9,11	9,06	9,66	9,31
Mínimo (%)	1,14	3,77	1,74	0,37	4,52	3,25	3,37	6,02	6,48	4,29	5,43
P25 (%)	18,82	17,52	17,66	18,89	19,19	20,79	21,36	21,38	21,13	20,99	20,88
Mediana (%)	23,95	22,89	22,83	24,05	24,56	25,68	28,05	26,20	26,51	26,57	26,08
P75 (%)	29,81	28,90	29,33	30,90	31,29	31,54	32,63	32,72	33,02	32,45	31,89
Máximo (%)	56,51	57,86	78,06	72,22	55,84	60,97	65,10	65,26	61,78	74,07	63,32
Amplitude de (%)	37,69	40,34	60,40	53,33	36,65	40,18	43,74	43,88	40,65	53,08	42,44

Fonte: Autor (2025).

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que entre 2012 e 2022 houve uma tendência de aumento nas medidas de centralidade (média e mediana), bem como um aumento na variância e dispersão dos dados (apontados pelas medidas de variância e percentis, respectivamente). Esses valores indicam que, além do aumento das perdas médias, o sistema tem se tornado mais ineficiente de forma mais irregular ou desigual ao longo do tempo, que é corroborado ao comparar a amplitude e o P25, sendo que neste último, significa que 75 dos municípios da amostra apresentaram aumento no percentual de perdas de 2012 a 2022. Notavelmente, observa-se que a partir do ano de 2019, ano em que se deu a efetiva implantação da penalidade por perdas na distribuição por parte da Arsae-MG, houve uma pequena diminuição da média de perdas. A Figura 5.1 ilustra a progressão da média, juntamente com a mediana de perdas ao longo dos anos.

**Figura 5.1 – Comparação entre as médias e medianas do índice de perdas na distribuição IN049, entre 2012 e 2022.**

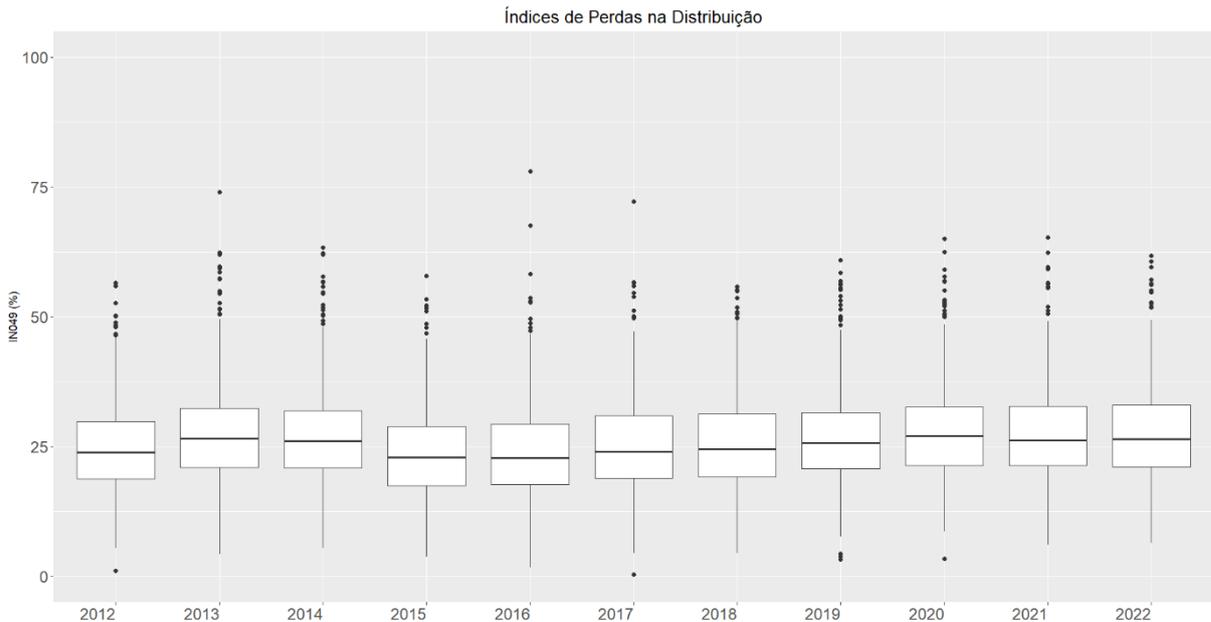


Fonte: Autor (2025).

Na Figura 5.1, é possível observar uma tendência geral de crescimento, demonstrada tanto pela média quanto mediana dos dados. As equações de regressão linear, também exibidas na figura para cada medida, também mostram um coeficiente angular positivo e aproximadamente igual para a média e mediana. Ainda na figura, são apresentados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), que se apresentam positivos e maiores que 0,5, podendo ser um indicador razoável para o ajuste dos dados no modelo linear, ainda que este modelo possa estar sendo afetado pela presença de *outliers* (Martins, 2018). Também vale ressaltar que, à exceção do ano de 2018, onde observou-se uma equidade entre média e mediana, em geral a os valores de mediana foram inferiores aos valores de média. Conforme apontado por Crespo (2009) (vide o item 3.8.1 *Estatística descritiva*), a mediana é uma medida de posição central dos dados, sendo robusta mediante à presença de valores extremos, enquanto a média é uma medida de tendência central, podendo ser afetada por tais valores. Assume-se que os valores, em geral maiores, da média, podem estar associados à municípios com níveis de perdas muito elevados e não característicos, que deslocam a média para magnitudes acima da mediana.

Neste contexto, torna-se pertinente avaliar não apenas as medidas de posição e tendência central, mas também a dispersão dos conjuntos de dados. A representação gráfica dos dados, por meio da ferramenta *boxplot*, pode ser visualizada pela Figura 5.2.

**Figura 5.2 – Boxplot para o indicador IN049 em cada ano, para municípios de Minas Gerais atendidos pela Copasa-MG.**



Fonte: Autor (2025).

Por meio do boxplot apresentado na Figura 5.2, é possível visualizar a presença de diversos *outliers*, caracterizados como pontos discrepantes com relação à distribuição dos dados. Por meio da ferramenta gráfica, também é possível visualizar que a dispersão dos dados, embora consideravelmente ampla, apresenta 50 dos dados compreendidos nos entornos do índice de perdas igual a 25. Pelo gráfico, também é possível visualizar uma tendência geral de aumento dos níveis de perdas entre 2015 e 2022, com uma oscilação da mediana entre 2019 e 2022.

## 5.2 Testes de normalidade e homogeneidade das variâncias

Conforme discutido no item 3.8.2 *Inferência estatística: estimativa de parâmetros e testes de hipóteses*, ainda que as análises descritivas sejam importantes para entender a distribuição e comportamento dos dados coletados, faz-se necessário utilizar ferramentas para inferir a respeito da população como um todo, de forma a formular conclusões (Bussab e Morettin, 2010). Neste contexto, deu-se seqüência à realização de testes preparatórios, para inferir se a

distribuição dos dados é normal e se a variância é homogênea. Os resultados do teste Shapiro-Wilk (vide o item 3.8.3 *Testes paramétricos e não paramétricos*, para mais informações acerca da escolha do teste), destinado a tratar sobre a normalidade dos dados, pode ser visto na Figura 5.3.

**Figura 5.3 – Resultados do teste Shapiro-Wilk, sob um nível de significância  $\alpha$  igual a 0,05.**

Hipótese	Ano											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Não rejeita H0 - A distribuição é normal												
Rejeita H0 - A distribuição não é normal	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Autor (2025).

A partir dos resultados obtidos, observa-se pela Figura 5.3 que nenhum dado apresentou distribuição normal, o que, conforme abordado no item 3.8.3 *Testes paramétricos e não paramétricos*, frustra uma das condições para a aplicação de testes paramétricos Souza et al. (2023).

### 5.3 Aplicação do teste não paramétrico

Uma vez que a distribuição em cada ano foi apontada como não normal, com 95 de confiança, e tendo em vista que isso configura como não atendimento aos critérios recomendados para a realização do teste t de Student, optou-se então por seguir com o teste não paramétrico Mann-Whitney U, de forma a inferir se houve diferença significativa entre os grupos (vide o item 3.8.3 *Testes paramétricos e não paramétricos* para verificar os critérios de escolha). A comparação foi feita entre um ano e o seu subsequente, com a exceção das comparações diretas entre os anos de 2012 e 2016, período anterior ao ciclo tarifário no qual este estudo tem foco, entre os anos de 2016 e 2020, de forma a inferir se os incentivos para melhorias de micro e macro medição tiveram algum efeito nos níveis de perdas, bem como as penalidades ou incentivos também tiveram algum efeito sobre os níveis de perdas (vide o item 3.6 *Ciclos tarifários: Resoluções e Notas Técnicas* para mais informações acerca de como os incentivos foram aplicados durante o ciclo tarifário) e, por fim, entre os anos de 2020 e 2022, de forma a avaliar

o desempenho no ciclo tarifário seguinte ao estudado. Na Figura 5.4, são exibidos os resultados gerados pelo teste Mann-Whitney U, comparando ano a ano.

**Figura 5.4– Resultados do teste Mann-Whitney U, sob um nível de significância  $\alpha$  igual a 0,05.**

Hipótese	Grupos									
	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022
Não rejeita H0 - Não há diferença significativa entre os grupos		X		X	X		X	X	X	X
Rejeita H0 - Há diferença significativa entre os grupos	X		X			X				

Fonte: Autor (2025).

Apesar das diferenças observadas ano a ano sob a ótica da estatística descritiva, os resultados do teste Mann-Whitney U demonstram que não houve diferença significativa nos níveis de perdas na distribuição em grande parte do período avaliado, à exceção dos períodos de 2012 a 2013, 2014 a 2015 e 2017 a 2018, que apresentaram diferenças significativas em suas médias com 95 de confiança. Entre 2012 e 2013, esta diferença se configurou como uma diminuição de 1,06 unidades percentuais da mediana do índice de perdas, uma redução de aproximadamente 4,43. Entre 2014 e 2015, a diferença se deu como um aumento da mediana de 1,22 unidades percentuais de perdas, um aumento de 5,34. Por fim, entre 2017 e 2018 a diferença entre as medianas se apresentou como um aumento de 2,37 unidades percentuais de

perdas, representando um aumento de 9,23 (Para verificar as variações mencionadas, vide a Tabela 5.2).

Conforme mencionado anteriormente, também foi feita a comparação direta (sem considerar os anos entre estes grupos) entre anos específicos que determinam os ciclos tarifários. O motivo da análise direta entre estes marcos, sem levar em conta os grupos intermediários, se fundamenta sobre a necessidade de avaliar o retrato antes e após os ciclos tarifários. Na hipótese de considerar os grupos intermediários, e o teste acusar diferenças significativas entre os grupos, não seria possível determinar se essa diferença seria absoluta entre os marcos, ou fruto de flutuações intermediárias. Vale ressaltar que, conforme abordado no tópico 3.6 *Ciclos tarifários: Resoluções e Notas Técnicas*, os marcos de interesse são o ano de 2012, ano no qual a Arsa-MG iniciou suas atividades tarifárias, 2016, ano no qual deu-se início o ciclo tarifário onde os incentivos foram elaborados e implementados, 2020, que marca o fim deste ciclo, e 2022, último ano que dispõe de dados na plataforma SNIS, e de interesse para averiguar se os incentivos tiveram algum efeito. Diante do exposto, os resultados das comparações diretas podem ser aferidos na Figura 5.5.

**Figura 5.5 – Resultados do teste Mann-Whitney U, sob um nível de significância  $\alpha$  igual a 0,05, para os períodos que marcam os ciclos de reajuste.**

Hipótese	Grupos			
	2012 - 2016	2016 - 2020	2020 - 2022	2012- 2022
Não rejeita H0 - Não há diferença significativa entre os grupos	X		X	
Rejeita H0 - Há diferença significativa entre os grupos		X		X

Fonte: Autor (2025).

Conforme os resultados apresentados na Figura 5.5, o teste não acusou diferenças significativas na comparação direta entre os dados do ano de 2012 e 2016, tampouco entre os dados do ano de 2020 e 2022. Entretanto, o teste indicou diferença significativa na comparação direta entre os dados de 2016 e 2020 com 95 de confiança, período no qual se deu o ciclo de reajuste com a implantação gradual dos incentivos tarifários. Essa diferença, no entanto, se configurou como

um aumento dos níveis de perda na distribuição, conforme a Tabela 5.2, de quase duas unidades percentuais da mediana referente ao índice de perdas, representando um aumento aproximadamente 8. Por fim, o teste aplicado em comparação direta entre os dados de 2012 e 2022 apresentaram diferenças significativas, mostrando que o aumento apresentado na tendência descritiva pode representar uma piora geral no quadro durante estes dez anos.

Nos demais períodos avaliados, a contraposição da afirmação de não haver diferenças significativas, quando se observa diferenças do ponto de vista descritivo (vide a Figura 5.1 e a Figura 5.2), está fundamentada na natureza destes testes, que não levam apenas um parâmetro em consideração (como a média ou mediana), mas também a disposição e variância dos dados. Dessa forma, mesmo que seja observada uma diferença entre duas médias atuais, esta diferença não necessariamente será significativa sob o ponto de vista de como os dados que a compõe estão distribuídos (Bussab e Morettin, 2010). No caso do teste de Mann-Whitney U, a análise não depende ainda das médias ou medianas amostrais, uma vez que o teste é feito sobre uma metodologia de análise de postos atribuídos à cada unidade amostral, analisando o quão significante as mudanças são diante da possibilidade de serem variações aleatórias de uma mesma população (Hughes, 2012).

No que diz respeito aos resultados obtidos, é importante apontar que a contrariedade à expectativa de resultados positivos em virtude dos incentivos tarifários, demonstrada pelo aumento dos níveis de perdas entre 2016 e 2020, e a pouca diferença entre 2020 e 2022, não é totalmente inesperada. Em concordância com a revisão apresentada no tópico *3.6 Ciclos tarifários: Resoluções e Notas Técnicas*, a implementação dos incentivos não foi feita de maneira imediata, sendo a metodologia fundamentada sobre um período de ajuste dos níveis de micro e macromedição (entre 2016 e 2018), seguido da implementação das medidas de benefício ou penalidade por perdas a partir de 2019 (Arsae-MG, 2017). Sob essa perspectiva, se torna razoável inferir que no período de revisão em questão não houve tempo hábil para que o prestador movimente recursos para mitigar uma problemática difusa como as perdas de água. Cabe-se ressaltar também que um aspecto importante para o gerenciamento de perdas é o desenvolvimento de novas tecnologias de detecção e controle de vazamentos, conforme os estudos mencionados no item *3.7 Pesquisas relacionadas ao gerenciamento de perdas e ações*

*regulatórias*, sendo que a experimentação e implementação dessas metodologias podem requerer mais tempo, especialmente considerando o número de municípios inclusos neste estudo.

Conforme abordado na revisão histórica deste estudo, bem como na problemática de perdas na distribuição (vide os tópicos *3.1 Contexto histórico do setor de saneamento no Brasil* e *3.3 Perdas nos sistemas de distribuição*), o setor de abastecimento de água enfrenta diversos desafios econômicos, sociais e de infraestrutura. Muitos centros urbanos dispõem de sistemas de distribuição antigos, por vezes datados do período de atuação do PLANASA na década de 80, e que apresentam avanços na sua deterioração e, conseqüentemente, intensificação da ocorrência de perdas físicas (Tsutiya, 2006). Outro aspecto a ser retomado da bibliografia para justificar os resultados reside na definição da problemática de perdas, que não é alimentada exclusivamente por problemas na infraestrutura, mas também de natureza social e econômica. A expansão irregular da mancha urbana, desníveis sociais e ausência de investimentos criam um ambiente favorável para o agravamento dos níveis de perdas (Tardelly, 2006).

Outro aspecto notável diz respeito às mudanças no arcabouço legal do saneamento. Conforme abordado no tópico *3.4 Políticas e legislações pertinentes*, o país passou por mudanças significativas no repertório legal, em um período de pouco mais de dez anos. Apesar do Marco Legal do Saneamento desempenhar um papel importante no controle de qualidade e eficiência dos sistemas de abastecimento de água, sobretudo para este trabalho no que diz respeito ao papel das agências reguladoras, a instauração de metas significativamente ambiciosas na temática de perdas na distribuição só foi efetivamente contemplada com a Lei 14.026, de 2020, com metas progressivas de redução dos níveis de perda até o ano de 2033 (Brasil, 2020).

Convém-se ressaltar que os resultados obtidos neste estudo foram fundamentados sobre municípios que possuem associação à Copasa-MG, excluindo aqueles que são atendidos pela Copanor-MG ou outras concessionárias que prestam serviços de abastecimento de água. Dessa forma, ainda que os resultados possam ser associados em algum grau com as ações da reguladora Arsa-MG, responsável pela regulação da Copasa-MG, estes resultados podem não refletir o panorama dos demais municípios de Minas Gerais.

## 6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, observou-se diferenças significativas nos níveis de perdas na distribuição nos municípios de Minas Gerais atendidos pela Copasa-MG em diferentes intervalos entre 2012 e 2022, apresentando, com 95% de confiança, poucas diferenças entre 2012 e 2016, uma piora significativa entre 2016 e 2020, seguida de pouca diferença entre 2020 e 2022. A piora no desempenho durante o intervalo em que se deu a implementação dos incentivos tarifários pode ser associada à natureza difusa e multivariada da temática de perdas na distribuição, principalmente no que diz respeito aos aspectos de infraestrutura (como a deterioração dos sistemas de distribuição antigos) e sociais (tal como a expansão e ocupação irregular dos centros urbanos, não acompanhada por obras de infraestrutura de abastecimento de água). Nos anos que sucederam a efetiva implementação dos incentivos fiscais, embora observada uma pequena redução da mediana, foram observadas poucas mudanças significativas no quadro de perdas dos municípios estudados. A ausência de mudanças significativas no período de pós implementação dos incentivos (entre 2020 e 2022) pode ser um indicativo de ausência de recursos e mão de obra, por parte do prestador de serviços, para o desenvolvimento de métodos de identificação e combate de perdas na distribuição.

## 7 RECOMENDAÇÕES

De forma a complementar o presente estudo, algumas recomendações podem ser feitas para promover o melhor entendimento acerca do impacto das ações das entidades reguladoras sobre a qualidade e eficiência dos serviços de abastecimento de água.

Conforme abordado no tópico *3.6 Ciclos tarifários: Resoluções e Notas Técnicas*, o fator de perdas na distribuição se trata de apenas uma componente integrante do cálculo do Fator X, que é efetivamente aplicado sobre a receita tarifária do prestador como um incentivo (limitado a três unidades percentuais positivas) ou penalidade (limitado a menos três unidades percentuais negativas). As demais componentes que incorporam o Fator X estão relacionadas aos serviços de esgotamento sanitário e a serviços operacionais, como atendimento telefônico. Dessa forma, uma proposta de estudo pode ser feita sobre a composição do Fator X, especificamente sobre o peso que a cada variável carrega no que diz respeito à relevância para a população, qualidade atual destes aspectos e a necessidade de melhorias. Novos estudos envolvendo simulações de como a redução dos níveis de perdas podem influenciar na receita da Copasa também podem contribuir para dimensionar o impacto da metodologia proposta na economia do prestador.

Por outro lado, estudos adicionais podem complementar a análise por meio da eficiência dos incentivos em outros setores associados à prestação de serviços de saneamento. Podemos exemplificar outras componentes como o Fator de Qualidade, que atua como incentivo associado à qualidade da prestação do serviço de tratamento de esgoto. Estudos complementares acerca de possíveis impactos dos incentivos em outras áreas podem mostrar se a metodologia proposta alcançou um grau de eficácia satisfatório em problemas além das perdas na distribuição.

Por fim, recomenda-se ampliar os estudos acerca das metodologias adotadas pelos prestadores de serviço para a correta identificação e remediação de focos de perda, seja por meio do desenvolvimento de novas tecnologias, ou por meio da melhoria dos sistemas já existentes.

## 8 REFERÊNCIAS

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água**. 2015. Disponível em: [https://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas\\_Abes.pdf](https://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf). Acesso em: 29/10/2024

ALBUQUERQUE, Edilincon Martins de; RAMIREZ, Daniele Bertaco; GRAVINA, Carlos Roberto Belani; SANTOS, Fernanda de Oliveira. Indicadores de perdas hídricas: instrumento de avaliação do desempenho na prestação de serviço de abastecimento. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2018, Cochabamba. Anais [...]. Cochabamba: **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)**, 2018. Disponível em: [https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/45\\_Download/TrabalhosCompletosPDF/V-103.pdf](https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/45_Download/TrabalhosCompletosPDF/V-103.pdf). Acesso em: 8 nov. 2024.

ALMEIDA, Priscylla; NOGUEIRA, João F. F. Crise hídrica: a resiliência dos biomas brasileiros diante das mudanças climáticas. **Ciência & Cultura**, São Paulo, v. 75, n. 4, 2023. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252023000400016&script=sci\\_arttext](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252023000400016&script=sci_arttext). Acesso em: 08/11/2024

ANDRADE, Érico; MAGALHÃES, Gustavo Alexandre de. Regulação e controle dos serviços públicos de saneamento básico: agências reguladoras e controle social à luz da Lei n. 11.445/2007. **Revista do Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 56-78, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/39021>. Acesso em: 08/11/2024

ARAÚJO, Flávia Camargo de; BERTUSSI, Geovana Lorena. Saneamento básico no Brasil: estrutura tarifária e regulação. **Planejamento e Políticas Públicas (PPP)**, Brasília, n. 51, p. 166-194, jul./dez. 2018. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9864/1/ppp\\_51\\_saneamento.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9864/1/ppp_51_saneamento.pdf). Acesso em: 08/11/2024

ARAUJO, Rafael Brito Aguiar de. **Deteção de vazamentos em redes de distribuição de água através da aplicação do método iterativo do gradiente hidráulico alternativo (MIGHA)**. 2020. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/50144>. Acesso em: 25/01/2025

ARSAE-MG. **Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <https://www.arsae.mg.gov.br/sobre/>. Acesso em: 08/11/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Nota Técnica CRE nº 10/2024: Reconstrução da Receita Tarifária Pós-Consulta Pública.** Belo Horizonte: Arsae-MG, 2024. Disponível em: [https://www.arsae.mg.gov.br/wp-content/uploads/2024/07/NT\\_CRE\\_10\\_2024\\_ReconstrucaoReceitaTarifaria\\_PosCP\\_.pdf](https://www.arsae.mg.gov.br/wp-content/uploads/2024/07/NT_CRE_10_2024_ReconstrucaoReceitaTarifaria_PosCP_.pdf). Acesso em: 24/01/2024.

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Nota Técnica CRE nº 15/2021: Metodologia de reajustes tarifários da COPASA MG.** Belo Horizonte, 2021. Disponível em: [https://www.arsae.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/06/NT\\_CRE\\_15\\_2021\\_Metodologia\\_Reajuste\\_PosCP23-1.pdf](https://www.arsae.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/06/NT_CRE_15_2021_Metodologia_Reajuste_PosCP23-1.pdf) Acesso em: 08/12/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Nota Técnica CRFEF 65/2017: Incentivos Tarifários. Metodologia para a Revisão Tarifária Periódica da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA (Versão após Audiência Pública).** Coordenadoria Técnica de Regulação e Fiscalização Econômico-Financeira. Belo Horizonte, 2017. Disponível em: [https://arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia\\_publica/15/NTCRFEF\\_65\\_2017\\_Incentivos\\_Tarifarios.pdf](https://arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia_publica/15/NTCRFEF_65_2017_Incentivos_Tarifarios.pdf) Acesso em: 22/11/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Nota Técnica GRT Nº 07/2019: Detalhamento do Cálculo do Reajuste Tarifário de 2019 da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa).** Belo Horizonte, 2019. Disponível em: [https://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/legislacao/2019/NT\\_GRT\\_07\\_ReajusteCopasa\\_2019\\_final.pdf](https://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/legislacao/2019/NT_GRT_07_ReajusteCopasa_2019_final.pdf) Acesso em: 11/10/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Nota Técnica GRT nº 13/2018: Fator de Incentivo para Redução e Controle de Perdas.** Belo Horizonte, 2018. Disponível em: [https://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia\\_publica/NT\\_GRT\\_13\\_FatorIP\\_2018.pdf](https://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia_publica/NT_GRT_13_FatorIP_2018.pdf). Acesso em: 08/11/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Resolução ARSAE-MG n. 121, de 8 de fevereiro de 2019.** Regulamenta o Fator de Incentivo para Redução e Controle de Perdas (IP) aplicado à Copasa. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: [https://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/legislacao/2019/Resolucao\\_121\\_FatorIP\\_GRT.pdf](https://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/legislacao/2019/Resolucao_121_FatorIP_GRT.pdf). Acesso em: 07/12/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Resolução No 100, de 25 de setembro de 2017**

(Revogada). Disponível em: <https://www.arsae.mg.gov.br/2017/09/25/resolucao-100-2017/> Acesso em: 13/10/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Resolução No 127, de 25 de junho de 2019** (Revogada). Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://www.arsae.mg.gov.br/2019/06/25/resolucao-127-2019/> Acesso em: 24/10/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Resolução No 154, de 28 de junho de 2021**. Disponível em: <https://www.arsae.mg.gov.br/2021/06/28/resolucao-arsae-mg-no-154-de-28-de-junho-de-2021/> Acesso em: 22/10/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Resolução No 82, de 17 de outubro de 2016** (Revogada). Disponível em: [https://arsae.mg.gov.br/images/documentos/10\\_2016/ResoluC3A7C3A3o\\_82\\_Revisao\\_Copas\\_a\\_2016.pdf](https://arsae.mg.gov.br/images/documentos/10_2016/ResoluC3A7C3A3o_82_Revisao_Copas_a_2016.pdf) Acesso em: 12/12/2024

ARSAE-MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Resolução No 96, de 29 de junho de 2017** (Revogada). Disponível em: <https://www.arsae.mg.gov.br/2017/06/29/resolucao-096-2017/> Acesso em: 18/11/2024

ASSIS, Janilson Pinheiro de; SOUSA, Roberto Pequeno de; LINHARES, Paulo César Ferreira. **Testes de Hipóteses Estatísticas**. Universidade Federal Rural Do Semi-Árido (Ufersa). Testes de Hipóteses Estatísticas. 2020. 184 p. Disponível em: <https://livraria.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/165/2020/08/testes-de-hipoteses-estatisticas-edufersa.pdf>. Acesso em: 08/12/2024

AVERSA, Marcelo. Relações intergovernamentais e trajetórias dependentes na implementação da Lei Nacional de Saneamento Básico na Região Metropolitana de São Paulo. In: **XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional**, 2017, São Paulo. Disponível em: [https://xviienanpur.anpur.org.br/publicacoes/XVII.ENANPUR\\_Anais/ST\\_Sessoes\\_Tematicas/ST202/ST202.5/ST202.5-05.pdf](https://xviienanpur.anpur.org.br/publicacoes/XVII.ENANPUR_Anais/ST_Sessoes_Tematicas/ST202/ST202.5/ST202.5-05.pdf). Acesso em: 10/12/2024

BARBOSA, Marcos Antônio. **Estatística**. Instituto Federal de Educação, Ciência E Tecnologia – Paraná – Educação A Distância. Curitiba - Paraná, 2012. 168 p.

BASTOS, Mayara Milaneze Altoé; MONTE-MOR, Roberto César de Almeida. A Regulação dos Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário para a Ampliação da Resiliência Hídrica: Experiências de Agências Infranacionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, 2022. 2398-2413 p. Artigo científico. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/253112/41856>. Acesso em: 20/10/2024

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 25/10/2024

BRASIL. **Lei n. 14.600, de 4 de julho de 2023**. Dispõe sobre o Marco Legal das Garantias e altera as Leis nos 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 9.514, de 20 de novembro de 1997, 10.931, de 2 de agosto de 2004, e 13.476, de 28 de agosto de 2017. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jul. 2023. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2023-2026/2023/Lei/L14600.htm#art64](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14600.htm#art64). Acesso em: 08/11/2024

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos; cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso em: 08/11/2024

BRASIL. **Lei n. 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 jul. 2000. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9984.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9984.htm). Acesso em: 08/11/2024

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm). Acesso em: 25/10/2024

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984, de 17 de julho de 2000, nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/14026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/14026.htm). Acesso em: 25/10/2024

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico - SINISA: Indicadores do Módulo Água**. [2024?]. Disponível em: [https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/sinisa-1/INDICADORES\\_SINISA\\_ABASTECIMENTO\\_DE\\_AGUA2.pdf](https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/sinisa-1/INDICADORES_SINISA_ABASTECIMENTO_DE_AGUA2.pdf). Acesso em: 22/12/2024

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento** (SNIS). [2024?]. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis> Acesso em: 22/10/2024

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Portaria n. 490, de 22 de março de 2021**. Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4º do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 mar. 2021. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2021/03/PORTARIA-AN-490-Estabelece-os-procedimentos-gerais-para-o-cumprimento....pdf>. Acesso em: 08/11/2024

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Portaria No 490, de 22 de março de 2021**. Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4o do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2021/03/PORTARIA-AN-490-Estabelece-os-procedimentos-gerais-para-o-cumprimento....pdf> Acesso em: 26/12/2024

BUSSAB, Wilton de Oliveira; MORETTIN, Pedro Alberto. **Estatística básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. ISBN 978-85-02-08177-2.

CIRILO, José Almir. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, São Paulo, n. 106, p. 45–58, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110102>. Acesso em: 08/11/2024

CLP, Centro de Liderança Pública. **Saneamento Básico e Eleições: o que você precisa saber para desenvolver o seu estado?**. [s. d.]. Disponível em: <https://conteudo.clp.org.br/saneamento-basico-e-eleicoes-minas-gerais>. Acesso em: 16/02/2025.

COCHRAN, William G.; COX, Gertrude M. **Experimental Designs**. 2. ed. New York: Wiley, 1957.

COSTA, Ilton Garcia da; PIEROBON, Flávio; SOARES, Eliane Cristina. A efetivação do direito ao saneamento básico no Brasil: do PLANASA ao PLANSAB. **Meritum**, Belo Horizonte, v. 13, n. 2, p. 335-358, jul./dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.46560/meritum.v13i2.6185>. Acesso em: 21/12/2024

CRESPO, Antônio Arnot. **Estatística fácil**. 19. ed. São Paulo: Saraiva, 2009. 218 p. ISBN 978-85-0208-106-2.

DAG, Osman; KASIKCI, Merve; DOLGUN, Anil; KONAR, N. Meric; WEERAHANDI, Sam; ANANDA, Malwane; SULEKLI, H. Erkin. **onewaytests: One-Way Tests in**

**Independent Groups Designs.** Versão 3.0. 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/onewaytests/index.html>. Acesso em: 22/12/2024

DÍAZ, Rafael Rodrigo Licheski; NUNES, Larissa dos Reis. A evolução do saneamento básico na história e o debate de sua privatização no Brasil. **Revista de Direito da Faculdade Guanambi**, Guanambi, v. 7, n. 02, e292. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.29293/rdfg.v7i02.292>. Acesso em: 08/11/2024

FENZL, Nobert; MENDES, Ronaldo Lopes Rodrigues; FERNANDES, Lindemberg Lima. **A Sustentabilidade do Sistema de Abastecimento de Água: da captação ao consumo de água e Belém.** 2018 Disponível em: [https://livroaberto.ufpa.br/jspui/bitstream/prefix/518/1/Livro\\_SustentabilidadeSistemaAbastecimento.pdf](https://livroaberto.ufpa.br/jspui/bitstream/prefix/518/1/Livro_SustentabilidadeSistemaAbastecimento.pdf). Acesso em: 16/12/2024

FERREIRA, José Gomes; GOMES, Matheus Fortunato Barbosa; DANTAS, Maria Wagna de Araújo. Desafios e controvérsias do novo marco legal do saneamento básico no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 7, p. 65449-65468, jul. 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/32258>. Acesso em: 25/10/2024

FERREIRA, Pedro Lopes. **Estatística descritiva e inferencial: breves notas.** Coimbra: Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, 2005. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10316/9961>. Acesso em: 08/11/2024

FRITZ, Rodrigo Tenório; GIMENES, Julia de Carvalho; PINA FILHO, Armando Carlos de. Um estudo da automação para redução de perdas na rede de distribuição de água. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 56408-56416, ago. 2020. ISSN 2525-8761. DOI: 10.34117/bjdv6n8-161. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/14736>. Acesso em: 25/01/2025

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. **Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água.** 2. ed. Brasília: Funasa, 2014. 172 p. Disponível em: [https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/reducao\\_de\\_perdas\\_em\\_saa74.pdf](https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf). Acesso em: 08/11/2024

GONÇALVES, Sergio Antonio. **A Política Pública de saneamento no Brasil: da Lei 11.445/2007 aos movimentos político-institucionais para sua revisão.** 2019. 101 f. Monografia (Especialização) - Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, Curso de Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/40168>. Acesso em: 15/10/2024

GUIMARÃES SANTOS, Rosidelma Francisca; DAMBROS, Ildisneya Velasco; COSTA, Rafaela de Araújo; D'ÁVALOS DOS SANTOS, Caroline Alves. ARSEC. **Melhoria da Qualidade Regulatória a Partir da Compatibilização de Indicadores e Aplicabilidade da Metodologia Acertar**. Agência Municipal de Regulação dos Serviços Públicos Delegados de Cuiabá (Arsec). 2020. Disponível em: <https://arsec.cuiaba.mt.gov.br/artigo/10/1630/Artigo-Melhoria-da-Qualidade-Regulatoria-a-partir-da-Compatibilizacao-de-Indicadores-e-Aplicabilidade-da-Metodologia-Acertar/>. Acesso em: 07/12/2024

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859 p.

HUGHES, Michael. **Introduction to Nonparametric Statistics Using R**. Oxford, Ohio: Miami University, 2012. 252 p.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de água 2020 (ano base 2018): desafios à disponibilidade hídrica e necessidade de avanço na eficiência do saneamento**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2020. Disponível em: [https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Release\\_-\\_Estudo\\_Perdas\\_de\\_Agua\\_JUNHO\\_2020.pdf](https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Release_-_Estudo_Perdas_de_Agua_JUNHO_2020.pdf). Acesso em: 08/11/2024

MERKS, Cor; LAMBERT, Allan; FANTOZZI, Marco; SHEPHERD, Mark. **Reliable Operational Performance Indicators Are Critical to Address Water Losses**. IWA (International Water Association), 2018. Disponível em: <https://iwa-network.org/reliable-operational-performance-indicators-are-critical-to-address-water-losses/>. Acesso em: 08/11/2024

JORGE, Wilson Edson. A Avaliação da Política Nacional de Saneamento Pós-64. **PosFAUUSP**, v. 1, n. 2, p. 21-34, 1992. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/136178>. Acesso em: 25/10/2024

JUSTO, Manoel Carlos Duarte de Mello. **Financiamento do saneamento básico no Brasil: uma análise comparativa da gestão pública e privada**. 2004. 165 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1600307>. Acesso em: 11 jan. 2025.

KOTTEGODA, N. T.; ROSSO, R. **Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers**. 2nd ed. 736 p. Hoboken: Wiley, 2009.

LEITE, Carlos Henrique Pereira; MOITA NETO, José Machado; BEZERRA, Ana Keuly Luz. Novo marco legal do saneamento básico: alterações e perspectivas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 5, p. 1041-1047, set./out. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/c9q3cL4bMT4L4KP7zCMxzCP/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 25/10/2024

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; PRADO, Eliana Leão do; OIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista De Administração Pública**, Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-76122011000200003>. Acesso em: 15/10/2024

LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 245–258, set. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/DLtJG9yFQ89CBxKpMpDSyMC/?lang=pt>. Acesso em: 08/11/2024

LIEMBERGER, Roland. After Two Decades of Water Loss Progress, Why Are Leakage Levels Still So High?. **IWA (International Water Association)**, 2016. Disponível em: <https://iwa-network.org/two-decades-water-loss-progress-leakage-levels-still-high/> Acesso em: 04/12/2024

LIEMBERGER, Roland; WYATT, Alan. Quantifying the global non-revenue water problem. **Water Supply**, v. 19, n. 3, p. 831–837, 2019. DOI: 10.2166/ws.2018.129. Disponível em: <https://iwaponline.com/ws/article/19/3/831/41417/Quantifying-the-global-non-revenue-water-problem>. Acesso em: 29 jan. 2025.

LIEMBERGER, Roland. Water Utilities Must Adopt a “We Can” Attitude to Water Loss Management. **IWA (International Water Association)**, 2017. Disponível em: <https://iwa-network.org/water-utilities-must-adopt-a-we-can-attitude-to-water-loss-management/>. Acesso em: 08/10/2024

LIRA, RODRIGO ANIDO; SOARES, LUCÍLIA RODRIGUES PEREIRA. O novo marco regulatório do saneamento básico: análise das principais mudanças – Lei n.o 14.026. **Petróleo Royalties e Região**, [S. l.], v. 19, n. 70, 2023. Disponível em: <https://boletimpetroleoroyaltieseregiao.ucam-campos.br/index.php/bpr/article/view/104>. Acesso em: 30/11/2024

LUSTOSA, Pâmella Bárbara; SILVA, Elaine Aparecida da. Transparência na regulação do reajuste tarifário dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)**, São Paulo, 2020. Disponível em: [https://abes-dn.org.br/anaiselétronicos/45\\_Download/TrabalhosCompletosPDF/V-007.pdf](https://abes-dn.org.br/anaiselétronicos/45_Download/TrabalhosCompletosPDF/V-007.pdf). Acesso em: 08/11/2024

MACHADO, Ricardo Röver. A crise hídrica e a redução dos índices de perdas. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)**, 15 fev. 2017. Disponível em: <https://abes-dn.org.br/artigo-a-crise-hidrica-e-a-reducao-dos-indices-de-perdas-de-ricardo-rover-machado/>. Acesso em: 08/11/2024

MACHADO, Rodrigo Nery. **O novo marco legal do saneamento básico: uma análise crítica**. 2021. 155 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/3455>. Acesso em: 29/10/2024

MADEIRA, Rodrigo Ferreira. O setor de saneamento básico no Brasil e as implicações do marco regulatório para universalização do acesso. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, n. 33, p. 123-154, jun. 2010. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4782>. Acesso em: 02/11/2024

MARCON, Adriano Marcos; WESZ JUNIOR, Valdemar João. Informações sobre os serviços de saneamento básico: a realidade do déficit no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente (RAMA)**, v. 17, n. 2, e11521, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/11521/7703>. Acesso em: 10/12/2024

MARTINS, Maria Eugénia Graça. Coeficiente de determinação, **Revista Ciência Elementar**, v.6, n.1), 2018. Disponível em: [doi.org/10.24927/rce2018.024](https://doi.org/10.24927/rce2018.024). Acesso em: 16/02/2025.

MATTOS, Paulo Todescan Lessa. A formação do estado regulador. **Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 76, p. 139-156, nov. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/nec/a/LBhmSzWzZXByZK7P5bkMRFg/#ModalDownloads>. Acesso em: 08/11/2024

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental; Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n. 01**, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <https://www.siawise.com/docs.pdf/BRE4553.pdf>. Acesso em: 08/11/2024

MINAS GERAIS. **Lei n. 18.309, de 3 de agosto de 2009**. Estabelece normas relativas aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, cria a Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais – ARSAE-MG – e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 4 ago. 2009. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/18309/2009/?cons=1>. Acesso em: 08/11/2024

MIRANDA, Ernani Ciríaco de. Gerenciamento de perdas de água. IN: HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 789-809.

MOTTA, Paulo Roberto Ferreira. Agências reguladoras. Editora Manole Ltda, 2003. 441 p.

OLIVEIRA, Gesner; SCAZUFCA, Pedro; SAYON, Pedro Levy. **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**. São Paulo: Instituto Trata 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: 05/11/2024

PAIXÃO, Erick Franck Nogueira da. Direitos Humanos e o Saneamento Básico como Condição para a Dignidade Humana. **Revista de Direito da Unigranrio**, v. 13, n. 1, p. 61-83, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.unigranrio.edu.br/rdugr/article/view/8056>. Acesso em: 29/10/2024

PERTEL, Monica; AZEVEDO, José Paulo Soares de; VOLSCHAN JUNIOR, Isaac. Uso de indicadores de perdas para seleção de um benchmarking entre as companhias estaduais de serviço de distribuição de água no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 47-60, jan./mar. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/GGwh37gQFrF8JN3QgM47nP/?lang=pt>. Acesso em: 08/11/2024

PIECHNICKI, Ademir Stefano; KOVALESKI, João Luiz; SOUZA, Michelle Vasconcelos de; PIECHNICKI, Flavio; BARAN, Leandro Roberto. utilização da metodologia de análise e solução de problemas na redução das perdas de água: um estudo de caso na Sanepar. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa (Paraná), v. 3, n. 2, 2011. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11423/209209209393>. Acesso em: 16/02/2025.

R CODER. **Shapiro Wilk Normality Test in R [shapiro.test()]**. Disponível em: <https://r-coder.com/shapiro-wilk-test-r/>. Acesso em: 22/12/2024

R CORE TEAM. **cor.test: Test for Association/Correlation Between Paired Samples**. R Documentation. Disponível em: <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.2/topics/cor.test>. Acesso em: 24/01/2025

R CORE TEAM. **data.frame function documentation**. R Documentation, versão 3.6.2. Disponível em: <https://www.rdocumentation.org/packages/base/versions/3.6.2/topics/data.frame>. Acesso em: 25/01/2025

REIS, Gustavo Mello; RIBEIRO JÚNIOR, José Ivo. Comparação de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais. **III SAEPRO – Seminário de Estatística Aplicada à Pesquisa Agropecuária**, Universidade Federal de Viçosa, 2007. Disponível em: <http://euler.mat.ufrgs.br/~viali/estatistica/mat2282/material/textos/SA03.pdf>. Acesso em: 08/11/2024

RSTUDIO TEAM. RStudio: **Integrated Development Environment for R**. Boston: Posit Software, PBC, 2023. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio/>. Acesso em: 22/01/2025.

SALLES, Maria José. **Política nacional de saneamento: percorrendo caminhos em busca da universalização**. 2009. 185 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/2605>. Acesso em: 02/11/2024

SILVEIRA, Luciene Santos; MATOS, Silvia Maria Santos. Saneamento básico como direito humano fundamental. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 11, n. 3, 2022. Disponível em: <https://sou.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/10690>. Acesso em: 02/11/2024

SANTI; Aline Doria de; CETRULO, Tiago Balieiro; MALHEIROS, Tadeu Fabrício Malheiros. Water Loss Control Practices in Developing Countries: A Case Study of a Brazilian Region. **Water Supply**. v. 21, n. 2. p. 848-855. Disponível em: <https://iwaponline.com/ws/article/21/2/848/78550/Water-loss-control-practices-in-developing>. Acesso em: 15/10/2024

SANTOS, Cristina de Saboya Gouveia. **Agências reguladoras de saneamento básico: uma análise à luz dos princípios regulatórios da Lei 11.445/2007**. 2013. 156 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/36380>. Acesso em: 08/11/2024

SANTOS, Victor Zanardi Rodrigues dos; OLIVEIRA, Jefferson Nascimento de. **Aplicação de políticas compensatórias para controle e redução de perdas: guia orientativo para Comitês de Bacia Hidrográfica, agentes técnicos e prestadores de serviços de saneamento**. RiMa Editora, 2023. Disponível em: [https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/santos-vzr.-guiaorientativo\\_.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/santos-vzr.-guiaorientativo_.pdf). Acesso em: 08/11/2024

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Abastecimento de Água. Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento**. Guia do profissional em treinamento. Disponível em: [https://ct.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/livros-lenhs/livro-1/livro\\_gerenciamento\\_perdas.pdf](https://ct.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/livros-lenhs/livro-1/livro_gerenciamento_perdas.pdf). Acesso em: 08/10/2024

SILVA, Elmo Rodrigues da. **O curso da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos**. 1998. 185 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: [https://www.pick-upau.org.br/mundo/curso\\_agua/O20Curso20da20C1gua20na20HistF3ria.pdf](https://www.pick-upau.org.br/mundo/curso_agua/O20Curso20da20C1gua20na20HistF3ria.pdf). Acesso em: 08/11/2024

SILVA, Fábio Garcia; LEDO, Bruno César Aurichio. Aspectos regulatórios e seus efeitos no setor de água e esgoto do Brasil. **Revista de Defesa da Concorrência**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 127-148, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.52896/rdc.v11i1.1045>. Acesso em: 08/11/2024

SILVA JUNIOR, João Ferreira da. **Detecção de perdas em sistemas de distribuição de água através de rede de sensores sem fio**. 2017. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29444>. Acesso em: 25/01/2025

SMIDERLE, Juliana Jerônimo. FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Planasa e o novo marco legal do saneamento: semelhanças, diferenças e aprendizado. **Blog do Ibre**, 20 jul. 2020. Disponível em: <https://blogdoibre.fgv.br/posts/planasa-e-o-novo-marco-legal-do-saneamento-semelhanças-diferenças-e-aprendizado>. Acesso em: 25/10/2024

SOARES, Léia Lima; VIANA, Masilene Rocha. A questão hídrica e a gestão dos serviços de abastecimento d'água no Brasil: mudanças institucionais e conflitos face a agenda neoliberal. **Textos & Contextos (Porto Alegre)**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 1-16, jan.-dez. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15448/1677-9509.2022.1.42176>. Acesso em: 08/11/2024

SOUSA, Ana Cristina A. de; COSTA, Nilson do Rosário. Política de saneamento básico no Brasil: discussão de uma trajetória. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 615-634, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702016000300002>. Acesso em: 08/11/2024

SOUTO, Marcos Juruena Villela. Agências reguladoras. **Revista De Direito Administrativo, Rio de Janeiro**, v. 216, p. 125–162, 1999. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rda/article/view/47359>. Acesso em: 16/02/2025.

SOUZA, Rafael Rodrigues de; TOEBE, Marcos; MELLO, Anderson Chuquel; BITTENCOURT, Karina Chertok. Sample size and Shapiro-Wilk test: An analysis for soybean grain yield. **European Journal of Agronomy**, v. 142. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030122002143>. Acesso em: 22 jan. 2025.

STATORIALS. **Teste de Bartlett em R**. Disponível em: <https://statorials.org/pt/teste-de-bartlett-em-r/>. Acesso em: 20/01/2025.

TARDELLY, Jairo Filho. Controle e Redução de Perdas. IN: TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. p. 457-523. ISBN 85-900823-6-9.

TEIXEIRA, Telma Cristina Silva; AZEVEDO, José Paulo Soares; JULIEN, Denis Luc Louis. Cobrança pelo uso da água para o saneamento: mecanismos para incentivo à eficiência e atendimento ao uso mínimo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, p. 447-457, maio/jun. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/NSgBpz4sSqzcsPndtfZ485k/>. Acesso em: 08/11/2024

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p. ISBN 85-900823-6-9.

VIALI, Lorí. **Testes de hipóteses não paramétricos: apostila de análise estatística não paramétrica**. Universidade Estadual de Maringá, 2023. Disponível em: arquivo enviado. Acesso em: 08/11/2024

VILARINHO, Cíntia Maria Ribeiro; COUTO, Eduardo de Aguiar do. Saneamento básico e regulação no Brasil: desvendando o passado para moldar o futuro. **Revista Digital de Direito Administrativo, Ribeirão Preto**, v. 10, n. 2, p. 233-257, 2023. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdda>. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2319-0558.v10i2p233-257>. Acesso em: 25/10/2024

WICKHAM, Hadley. **reshape2: Flexibly Reshape Data: A Reboot of the Reshape Package**. Versão 1.4.4. 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/reshape2/index.html>. Acesso em: 22/12/2024

WICKHAM, Hadley; CHANG, Winston; HENRY, Lionel; PEDERSEN, Thomas Lin; TAKAHASHI, Kohske; WILKE, Claus; WOO, Kara; YUTANI, Hiroaki; DUNNINGTON, Dewey; VAN DEN BRAND, Teun. **ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. Versão 3.5.1**. 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>. Acesso em: 22/12/2024

WICKHAM, Hadley; FRANÇOIS, Romain; HENRY, Lionel; MÜLLER, Kirill; VAUGHAN, Davis. **dplyr: A Grammar of Data Manipulation. Versão 1.1.4**. 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html>. Acesso em: 22/12/2024

WICKHAM, Hadley; VAUGHAN, Davis; GIRLICH, Maximilian. **tidyr: Tidy Messy Data. Versão 1.3.1**. 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/tidyr/index.html>. Acesso em: 22/12/2024