



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB
CAMPUS VIII – PROFA. MARIA JOSÉ DA PENHA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE - CCTS
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL - CEC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

RAFAELA SALUSTINO DA COSTA

**DIAGNÓSTICO DE PERDAS DE ÁGUA ATRAVÉS DO MÉTODO DO BALANÇO
HÍDRICO E INDICADORES DE DESEMPENHO NO SISTEMA INTEGRADO DE
ABASTECIMENTO DE GUARABIRA**

**ARARUNA – PB
2020**

RAFAELA SALUSTINO DA COSTA

**DIAGNÓSTICO DE PERDAS DE ÁGUA ATRAVÉS DO MÉTODO DO BALANÇO
HÍDRICO E INDICADORES DE DESEMPENHO NO SISTEMA INTEGRADO DE
ABASTECIMENTO DE GUARABIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Saneamento

Orientador (a): Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro.

**ARARUNA – PB
2020**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C837d Costa, Rafaela Salustino da.
Diagnóstico de perdas de água através do método do balanço hídrico e indicadores de desempenho no Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira [manuscrito] / Rafaela Salustino da Costa. - 2020.
84 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2020.
"Orientação : Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro , Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."
1. Auditoria das águas. 2. Gerenciamento de pressão. 3. Redução de perdas de água. I. Título
21. ed. CDD 628.14

RAFAELA SALUSTINO DA COSTA

DIAGNÓSTICO DE PERDAS DE ÁGUA ATRAVÉS DO MÉTODO DO BALANÇO
HÍDRICO E INDICADORES DE DESEMPENHO NO SISTEMA INTEGRADO DE
ABASTECIMENTO DE GUARABIRA

Trabalho de Conclusão de Curso em
Engenharia Civil da Universidade Estadual
da Paraíba – Campus VIII, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Área de Concentração: Saneamento.

Aprovada em: 11/12/2020.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Ma. Luísa Eduarda Lucena Medeiros
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Enga. Cinthia Maria de Abreu Claudino
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

DEDICATÓRIA

*Dedico esta conquista a Deus, causa primordial
de todas as coisas e a minha família, em especial, ao meu avô
José Pedro Salustino (in memoriam).*

AGRADECIMENTOS

A Deus, o autor e consumidor da minha fé que me conduziu com graça, força e fé, a superar as dificuldades e os obstáculos durante todo trajeto da graduação. A Ti Senhor, seja dada toda honra e toda glória desde agora e para sempre.

À minha querida mãe, Maria Edileuza que sempre esteve ao meu lado em momentos difíceis e felizes da minha vida.

À minha família, em especial, aos meus avós Margarida Salustino e José Pedro Salustino (*in memoriam*), que me serviram de alicerce para as minhas realizações.

Aos meus amigos de longa data, mais que irmãos, Jaciane Alves, Paulo André, Kécia Pereira, Marinilson Torres e Maria Gleicy, pelo carinho e apoio para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Aos amigos, Jandeilson Oliveira, Gisliane Osório e José Elianderson, que me mantiveram motivada durante todo o processo de formação.

Aos amigos do curso de graduação, João Pedro, Brenda Gomes, Wênia, Fagna Silva, Anderson Matheus, Celiane Cabral e Ruan Oliveira, que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo e um sorriso no rosto.

À professora e orientadora, Maria Adriana, pela paciência, compreensão e principalmente, por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa.

Ao funcionário da CAGEPA, Gilzenaldo Paulino, pela paciência e colaboração. Sua disposição foi primordial para o desenvolvimento do meu trabalho de pesquisa.

A todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

As perdas de água ocorrem em todo sistema de abastecimento, variando apenas a quantidade perdida. Dessa forma, o grande desafio das companhias de saneamento é diagnosticar onde e como essas perdas ocorrem, quantificá-las e elencar as ações necessárias para reduzi-las. Neste sentido, este trabalho busca avaliar os tipos de perdas de água através do método do Balanço Hídrico e dos Indicadores de Desempenho, propostos pela *International Water Association (IWA)*, no Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira (SIAG), que atende as cidades de Araçagi, Cuitegi, Guarabira e Pilõezinhos, visando contribuir para a definição de ações de controle e redução de perdas. O processo metodológico iniciou-se com a caracterização do SIAG e das cidades atendidas, a partir do levantamento da série histórica de dados de recursos hídricos e controle operacional. Contudo, para alguns dados de entrada do Balanço Hídrico, foram utilizadas estimativas com base em valores pré-definidos em bibliografias conceituadas, em razão da dificuldade de obtê-los. Posteriormente, foi realizado o cálculo do Balanço Hídrico e dos Indicadores de Desempenho através do *software* gratuito *WB-Easy Calc* (v6.12), apresentando os valores na sua melhor estimativa e margens de erro. Assim, através da metodologia adotada foi possível obter um detalhamento e análise das perdas reais e aparentes de cada município em estudo. Os municípios de Guarabira e Cuitegi apresentaram o perfil de perdas predominantemente reais, com cerca 71,94% para Guarabira e 63,77% para Cuitegi. Já o sistema dos municípios de Araçagi e Pilõezinhos, obtiveram perdas relativamente equilibradas, onde Araçagi apresentou 59,18% de perdas reais e 40,82% de perdas aparentes e Pilõezinhos, cerca de 56,70% de perdas reais e 43,30% de perdas aparentes. Em função dos resultados, a gestão do SIAG deverá desenvolver estratégias e ações de controle e redução de perdas específicas em cada município, observando as características físicas, costumes locais e tecnologia empregada.

Palavras-chave: Auditoria das águas. Gerenciamento de pressão. Redução de perdas de água.

ABSTRACT

Water losses occur in the entire supply system, varying only the amount lost. Thus, the great challenge for sanitation companies is to diagnose where and how these losses occur, quantify them and list the actions necessary to reduce them. In this sense, this work seeks to evaluate the types of water losses using the Water Balance method and Performance Indicators, proposed by the International Water Association (IWA), in the Guarabira Integrated Supply System (SIAG), which serves the cities of Araçagi, Cuitegi, Guarabira and Pilõezinhos, aiming to contribute to the definition of actions to control and reduce losses. The methodological process started with the characterization of the SIAG and the cities served, from the survey of the historical series of data on water resources and operational control. However, for some input data from the Water Balance, estimates were used based on pre-defined values in reputable bibliographies, due to the difficulty of obtaining them. Subsequently, the Water Balance and Performance Indicators were calculated using the free software WB-Easy Calc (v6.12), presenting the values in their best estimate and error margins. Thus, through the adopted methodology it was possible to obtain a detail and analysis of the real and apparent losses of each municipality under study. The municipalities of Guarabira and Cuitegi had a predominantly real loss profile, with around 71.94% for Guarabira and 63.77% for Cuitegi. The system of the municipalities of Araçagi and Pilõezinhos, obtained relatively balanced losses, where Araçagi presented 59.18% of real losses and 40.82% of apparent losses and Pilõezinhos, about 56.70% of real losses and 43.30% apparent losses. Depending on the results, the SIAG management should develop strategies and actions to control and reduce specific losses in each municipality, observing the physical characteristics, local customs and technology used.

Keywords: Water audit. Pressure management. Control of water losses.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição média dos recursos hídricos no planeta	18
Figura 2 – Tipologia das massas d’água do Brasil.	19
Figura 3 – Unidades de um sistema de abastecimento de água (SAA).	22
Figura 4 – Adutoras segundo a energia de movimentação da água	24
Figura 5 - Diagrama de fluxo do processo típico de tratamento de água empregado na coagulação (mistura química) com tratamento convencional, filtração direta ou filtração por contato.....	25
Figura 6 – Tipo de reservatório face a soleira.	25
Figura 7 – Rede de distribuição ramificada e malhada.....	26
Figura 8 – Determinação do nível eficiente de perdas em um sistema de	28
Figura 9 - Crescimento Natural das Perdas.....	29
Figura 10 – <i>Software W-B Easy Calc (v6.12)</i>	34
Figura 11 – Componentes da Vazão Mínima Noturna.....	35
Figura 12 – Visão sistemática do problema das perdas.	42
Figura 13 - Componentes do controle e redução de Perdas Reais	43
Figura 14 – Componentes do controle de Perdas Aparentes.....	44
Figura 15 - Escopo do PNCDA.....	45
Figura 16 – Fluxograma da metodologia.	47
Figura 17 – Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mamaguape.	49
Figura 18 – Diagrama do Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira em blocos.....	51
Figura 19 – Mapa de Localização dos municípios de estudo.	52
Figura 20 – Localização das áreas de influências e dos transmissores de pressão.....	57
Figura 21 - Gráfico de pressão das áreas de influência.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Áreas de Influência do sistema de distribuição de Guarabira.....	57
Tabela 2 – Dados dos municípios estudados para o ano de 2019.....	60
Tabela 3 – Indicadores de Performance de Perdas Reais e Aparentes da cidade de Araçagi.. ..	63
Tabela 4 - Indicadores de Performance de Perdas Reais e Aparentes da cidade de Cuitegi.....	66
Tabela 5 - Indicadores de Performance de Perdas Reais e Aparentes da cidade de Guarabira.	69
Tabela 6 - Indicadores de Performance de Perdas Reais e Aparentes da cidade de Pilõezinhos.....	72
Tabela 7 – Comparativo dos principais resultados obtidos.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Perdas reais.	27
Quadro 2 - Balanço Hídrico proposto pelo IWA.	31
Quadro 3 - Alguns <i>softwares</i> gratuitos para o cálculo do Balanço Hídrico e Indicadores de Performance da IWA.	33
Quadro 4 - Balanço Hídrico com múltiplas opções de Volume de Entrada do Sistema.	38
Quadro 5 - Guia para avaliação do Banco Mundial.	41
Quadro 6 - Balanço Hídrico da cidade de Araçagi.....	62
Quadro 7 - Balanço Hídrico da cidade de Cuitegi.....	65
Quadro 8 - Balanço Hídrico da cidade de Guarabira.....	68
Quadro 9 - Balanço Hídrico da cidade de Pilõezinhos..	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de Perdas de Água de Araçagi.	64
Gráfico 2 - Gráfico comparativo do IIE entre a cidade de Araçagi e os dados internacionais.	64
Gráfico 3 - Gráfico de Perdas de Água de Cuitegi.	67
Gráfico 4 - Gráfico de Perdas de Água de Guarabira.....	70
Gráfico 5 - Gráfico comparativo do IIE entre a cidade de Guarabira e os dados internacionais.	70
Gráfico 6 - Gráfico de Perdas de Água de Pilõezinhos.	73
Gráfico 7 - Gráfico comparativo do IIE entre a cidade de Pilõezinhos e os dados internacionais.	73
Gráfico 8 - Índice Percentual de Perdas reais e aparentes dos municípios em estudo	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental
ADHB	Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil
AESA	Agência Executiva de Águas
AESBE	Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento
ANA	Agência Nacional de Águas
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
BABE	<i>Back Ground and Burts Estimates</i>
CAGEPA	Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
DTA	Documentos Técnicos de Apoio
ETA	Estação Tratamento de Água
EAD	Ensino à Distância
F.E	Fundo de Escala
FUSP	Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEME	Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual
IIE	Índice Infraestrutural de Perdas
IP	Indicador Percentual
IPER	Índice de Perdas por Extensão de Rede
IPL	Indicador de Perdas por Ligação
IWA	<i>International Water Association</i>
MMA	Meio Ambiente
MME	Ministério das Minas e Energia
MPOG	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
ODS 6	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6
PAAI	Perdas Anuais Aparentes Inevitáveis
PRAI	Perdas Reais Anuais Inevitáveis
PIB	Produto Interno Bruto
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAAE	Serviço Autônomo de Água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico de São Paulo

SCADA	<i>Supervisory Control and Data Aquisition</i>
SEPURG	Departamento de Saneamento da Secretaria de Política Urbana
SIAG	Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira
SNIS	Sistema Internacional de Informações de Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento
VES	Volume de Entrada do Sistema

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Oferta e demanda de recursos hídricos	18
3.2	Sistema de Abastecimento de Água	20
3.2.1	<i>Manancial</i>	22
3.2.2	<i>Captação</i>	23
3.2.3	<i>Adução</i>	23
3.2.4	<i>Tratamento</i>	24
3.2.5	<i>Armazenamento</i>	25
3.2.6	<i>Distribuição</i>	26
3.3	Perdas de água	26
3.4	Avaliação de Perdas	30
3.4.1	<i>Balanço Hídrico</i>	30
3.4.1.2	<i>Softwares Disponíveis</i>	33
3.4.2	<i>Avaliação da vazão mínima noturna</i>	34
3.5	Indicadores de Perdas	36
3.5.1	Indicador percentual	37
3.5.2	<i>Indicador de perdas por ramal e por extensão de rede</i>	38
3.5.3	<i>Índice Infraestrutural de Perdas</i>	39
3.6	Estratégias e ações para redução de perdas de água na distribuição ..	42
3.6.1	<i>Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água – PNCDA</i>	45
4	METODOLOGIA.....	47
4.1	Caracterização da Pesquisa	47
4.2	Caracterização da área de estudo.....	48
4.2.1	<i>Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira – SIAG</i>	48
4.2.2	<i>Municípios atendidos pelo SIAG</i>	52
4.2.2.1	<i>Araçagi</i>	52
4.2.2.2	<i>Cuitegi</i>	53
4.2.2.3	<i>Guarabira</i>	53
4.2.2.4	<i>Pilõezinhos</i>	54
4.3	Levantamento dos dados	54

4.3.1	<i>Medição de Pressão</i>	56
4.4	<i>Análise de Dados</i>	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1	Medição de Pressão	59
5.2	Cálculo do Balanço Hídrico, Indicadores de Performance e Gráfico	60
5.2.1	<i>Araçagi</i>	61
5.2.2	<i>Cuitegi</i>	65
5.2.3	<i>Guarabira</i>	67
5.2.4	<i>Pilõezinhos</i>	71
5.3	Resumo dos principais resultados	74
6	CONCLUSÕES	76
7	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

A distribuição das fontes de água doce está relacionada a dinâmica hídrica que compõem cada região do planeta, as demandas econômicas e sociais da humanidade, além das condições de qualidade da água (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA, 2019). Nesta perspectiva, muitos países têm enfrentado severa crise de falta de água.

Devido a necessidade de água para diferentes finalidades coletivas, fez-se necessário ao longo dos anos, o desenvolvimento de tecnologias para a sua distribuição e uso, surgindo assim, os sistemas de abastecimento de água. Segundo Lima (2018), os sistemas de abastecimentos de água (SAAs) foram desenvolvidos com objetivo de fornecer água aos usuários em qualidade, quantidade e pressão adequada. Para isso, é necessária uma boa gestão, de modo a englobar a preservação, conservação, tratamento e uso dos recursos hídricos.

Contudo, com o recorrente crescimento populacional, aumento do consumo industrial e comercial, a demanda de água tende a ser progressivamente maior, ao passo que, a quantidade permanece a mesma e, em consequência, o atendimento é dificultado tanto em suficiência como em padrões normatizados.

Entretanto, para Martins (2012), as perdas e os desperdícios são os fatores que mais contribuem para o comprometimento do abastecimento de água potável no setor de saneamento. Altos índices de perdas possibilitam situações que prejudicam o sistema como um todo. Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto (2019), elaborado pelo Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), em 2018 o Índice de perdas na distribuição do Nordeste brasileiro foi de 46,5%, acima da média nacional de 38,5%, ou seja, cerca de 46,5% do volume de água disponibilizado não foi contabilizado como volume utilizado pelos consumidores, seja por vazamentos, falhas nos sistemas de medição ou ligações clandestinas.

Biwas e Tortajada (2010) enfatiza que, os problemas de recursos hídricos podem ser solucionados com a aplicação do conhecimento, tecnologia e adoção de boas práticas já existentes. De fato, em termos gerais, os menores níveis de perdas na distribuição são vistos nas regiões com maiores níveis de macromedição, hidrometração e atendimento (MIRANDA, 2002). Entretanto, para Melato (2010, p. 19) “o grande desafio é diagnosticar onde e como essas perdas ocorrem, quantificar as parcelas correspondentes as perdas reais e aparentes e elencar as ações necessárias

para reduzi-las”. Por isso, é de fundamental importância o desenvolvimento de ferramentas de gestão que auxiliem as companhias de saneamento na redução e controle de perdas, de modo que possa identificar as principais falhas e melhorar a qualidade dos serviços oferecidos a população (SANTOS *et al.*, 2019).

Assim, o método do balanço hídrico e os indicadores de desempenho de perdas são ferramentas de suma importância para compreender a problemática de perdas de água. Segundo o Guia Prático para a Qualificação de Balanços Hídricos e Indicadores de Desempenho, desenvolvido pela Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE, 2015), o balanço hídrico possui uma abordagem inovadora, que busca quantificar e tipificar as perdas reais e aparentes nos sistemas, diferentemente, dos sistemas tradicionais de informações, como o SNIS, por exemplo, que avaliam os sistemas numa perspectiva comercial e financeira sem a separação adequada das perdas reais e aparentes, o que pode acarretar estratégias equivocadas de combate a perdas.

Os indicadores de desempenho, de modo geral, objetivam mensurar o desempenho dos sistemas de abastecimento, possibilitando extrair informações significativas para o melhoramento da gestão dos serviços ofertados, quando selecionados de forma criteriosa (MEDEIROS, 2017). Além disso, há diversos *softwares* (gratuitos e pagos), específicos para o desenvolvimento dessa tarefa, por exemplo, *AquaLite*, *Fastcalc*, *WB – Easy Calc*, que buscam um diagnóstico adequado, interpretação e entendimento dos resultados.

Neste contexto, dada a disponibilidade de dados para a utilização do método, este trabalho busca avaliar as perdas de água através do método do Balanço Hídrico e dos Indicadores de Desempenho propostos pela *International Water Association (IWA)* e gerados no *software WB – Easy Calc (v6.12)*, no Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira (SIAG), realizando um levantamento de dados da evolução de parâmetros referentes à micromedição e macromedição das cidades atendidas pelo sistema.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os tipos de perdas de água através do Método Balanço Hídrico e dos Indicadores de Desempenho no Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira (SIAG).

2.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento da micro e macromedição de água na região;
- Estimar as perdas no sistema integrado de abastecimento de água dos municípios de Araçagi, Cuitegi, Guarabira e Pilõezinhos;
- Obter os indicadores de desempenho das perdas reais e aparentes;
- Indicar o grupo de performance conforme os parâmetros do Banco Mundial.

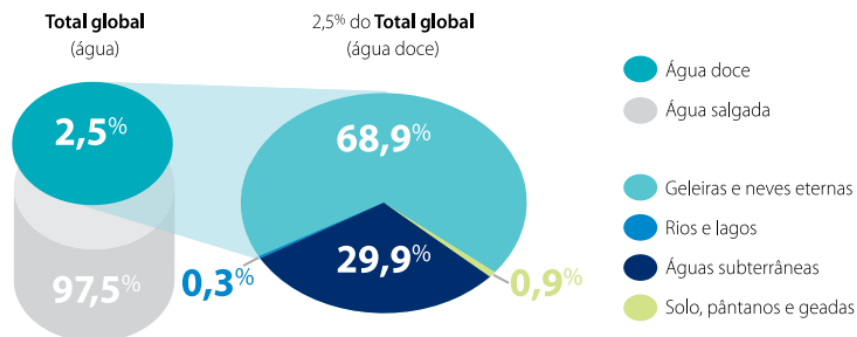
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Oferta e demanda de recursos hídricos

A água é um bem natural, renovável, cujo volume total no globo terrestre é relativamente constante ao longo dos tempos, em consequência do ciclo hidrológico, contudo com uma distribuição variável no tempo e no espaço (HELLER; PÁDUA, 2010a). Logo, há uma permanente tensão referente ao balanço entre a demanda (necessidades) de água para consumo humano e oferta (disponibilidade).

Segundo o Consumo Sustentável (2005), observa-se que cerca de 97,5% da água do planeta é salgada. Da parcela de água doce, 68,9% encontra-se nas geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas, 29,9% em águas subterrâneas, 0,9% compõe a umidade do solo e dos pântanos e apenas 0,3% constitui a porção superficial de água doce presente em rios e lagos (Figura 1).

Figura 1 - Distribuição média dos recursos hídricos no planeta



Fonte: Consumo Sustentável (2005).

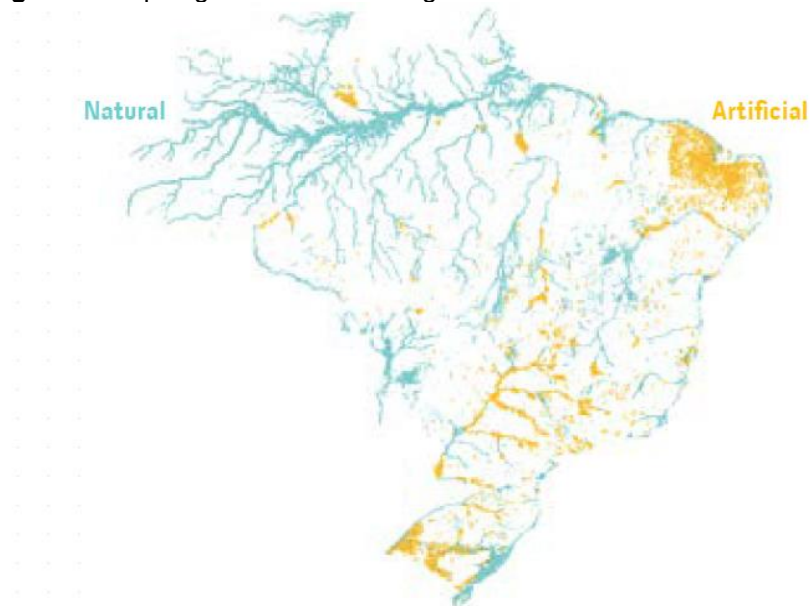
A disponibilidade de água está relacionada à sua quantidade fisicamente disponível, isto é, a forma como ela é armazenada, gerida e destinada a vários usuários e, seu acesso, refere-se a como fisicamente a água é fornecida ou obtida (CONNOR; UHLENBROOK, KONCAGÜL, 2019).

Neste contexto, observa-se que a disponibilidade de água no Brasil não é uniforme nas bacias hidrográficas e, conseqüentemente, nos estados. De acordo com o relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), cerca de 80% da água superficial do país se encontra na Região

Hidrográfica Amazônica, contudo, possui baixa densidade demográfica e pouca demanda por uso de água. Por outro lado, grande parte da região Nordeste pertence ao Semiárido, cerca de 88%, e dispõe de baixa oferta hídrica para seus habitantes.

Assim, se fez necessário ao longo dos anos, a construção de reservatórios para potencializar a disponibilidade hídrica superficial, que depende da capacidade de regularização da própria bacia, da precipitação e da conformação topográfica. A Figura 2, representa espacialmente as áreas ocupadas por massas de água do Brasil. Nota-se, que há uma grande concentração de reservatórios artificiais na região do Nordeste, devido as suas características geoambientais.

Figura 2 – Tipologia das massas d'água do Brasil.



Fonte: ANA, 2017

No tocante à demanda, o uso desse recurso está relacionado aos fatores sociais, econômicos e culturais. Por isso, é necessário gerenciá-los e defini-los de maneira igualitária no atendimento aos usuários (BITTENCOURT; PAULA, 2014). Para Collischonn e Dornelles (2013, p. 14), “os principais usos humanos da água são: o abastecimento humano; irrigação; dessedentação animal; geração de energia elétrica; navegação; diluição de efluentes; pesca; recreação e paisagismo”. No entanto, de acordo com a Lei das Águas nº 9.433/1997, a prioridade do uso dos recursos hídricos é do abastecimento público e dessedentação animal.

No Brasil, a demanda de água para o consumo humano tem crescido, em decorrência do aumento acelerado da população nas últimas décadas, como também,

pelo incremento da industrialização e aumento do volume de perdas de água, que ocorre em muitos sistemas de abastecimento, devido a obsolescências de redes e baixos investimentos (HELLER; PÁDUA, 2010a).

3.2 Sistema de Abastecimento de Água

O Marco regulatório estabelecido pela Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (LDNSB) – Lei nº 11.445/2007, define o saneamento básico como: “o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: a) abastecimento de água potável; b) esgotamento sanitário; c) Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; d) drenagem e manejo de águas pluviais.”

Quanto ao abastecimento de água potável, a Portaria nº 5 do Ministério da Saúde, de 28 de setembro de 2017, define o sistema de abastecimento de água (SAA) para consumo humano como quaisquer instalações compostas por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, que vai desde a zona de captação até as ligações prediais, tendo como finalidade a produção e o fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição.

Para Heller e Pádua (2010a), enquanto serviço necessário à vida das pessoas, o conceito de abastecimento de água, insere-se em um conceito mais amplo de saneamento, que corresponde a um conjunto de ações sobre o meio ambiente no qual vivem as populações, visando garantir a elas condições de salubridade, que protejam a sua saúde (bem-estar físico, mental ou social).

Em decorrência disso, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 da Agenda 2030, plano de ação organizado pelas Nações Unidas, constituiu o compromisso em garantir a universalização até 2030 ao acesso à água potável e ao saneamento básico. Esse é o contexto em que se insere o Novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil (Lei nº 14.026/2020) com intuito de viabilizar a universalização dos serviços até 31/12/2033, assegurando o atendimento de 99% da população com água potável (ANA, 2019).

Contudo, para implementação de um SAA é necessário estudos técnicos de concepção, dimensionamento e execução de acordo com as normas vigentes. Para que a população venha ser atendida de forma eficaz é necessário que essas etapas do SAA sejam cumpridas e estabelecidas desde a etapa de projeto até a sua operação (SANTOS, 2017).

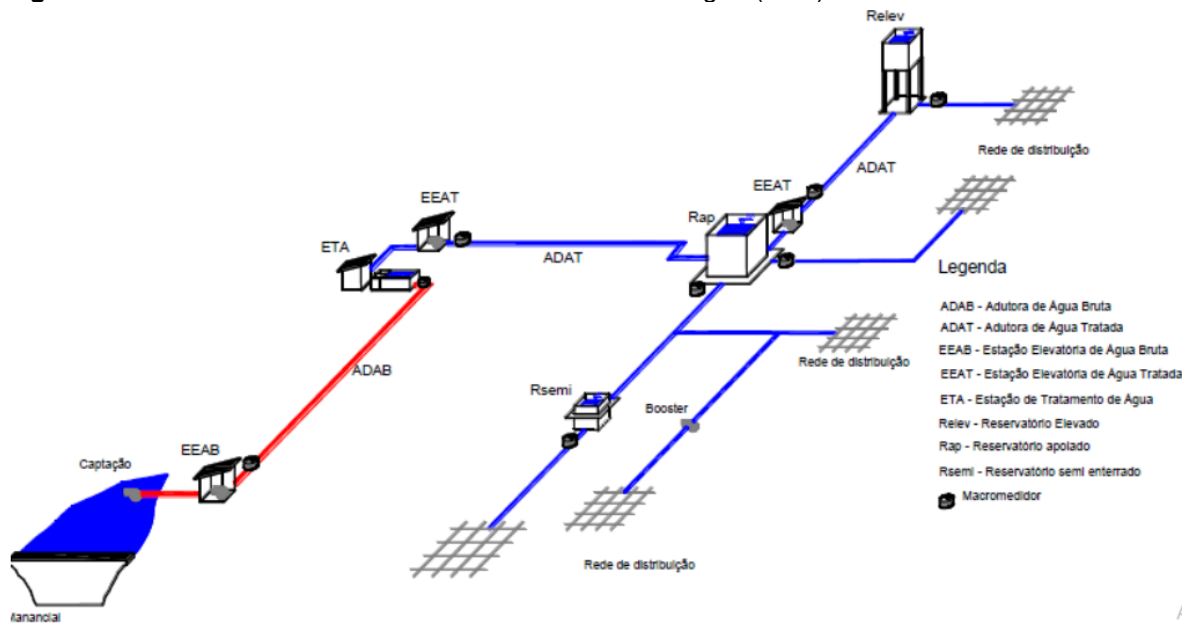
Para Tsutiya (2006), as concepções de um SAA estão ligadas ao tipo de manancial, da topografia da área e da população a ser atendida. Segundo Carvalho (2014), o SAA é constituído de elementos hidrológicos e hidráulicos, tais como a bacia de captação de água, reservatórios para armazenamento, estruturas de transporte, e quando preciso, estruturas de bombeamento de água como mostra a Figura 3.

De modo geral, as etapas constitutivas de um SAA são:

- Manancial: Nada mais é que a fonte de onde se extrai a água para o abastecimento da população.
- Captação: Conjunto de equipamentos e instalações que tem por objetivo a retirada de água do manancial.
- Adução: Constituída de tubulações que liga à captação às unidades de tratamento, e/ou, do tratamento ao armazenamento.
- Tratamento: Local onde a água bruta passa por procedimentos, deixando-a em padrões adequados para o consumo humano.
- Armazenamento: Instalações reservatórias que tem por finalidade o armazenamento de água para a regularização da distribuição, assegurando pressões mínimas e constantes na rede.
- Distribuição: é a unidade do sistema que transporta a água do reservatório para os consumidores.

Essas etapas, são definidas para que o fornecimento de água ocorra de forma ininterrupta aos consumidores, por isso, estes têm de funcionar de forma eficiente e em conjunto (SILVA, 2015).

Figura 3– Unidades de um sistema de abastecimento de água (SAA).



Fonte: Meneses (2011).

3.2.1 Manancial

Segundo Macêdo (2016, p. 30), “a escolha e determinação de um manancial para abastecimento de água é um fator relevante e decisivo para o sucesso do projeto implantado”. Em vista disso, deve-se estar atento as características essenciais que são: vazão, qualidade e características físico-químicas do manancial.

Os mananciais normalmente utilizados em um sistema abastecimento de água podem advir de águas superficiais e subterrâneas. As águas superficiais são aquelas em que se encontram presentes na superfície e apresenta potencial explorável, bem como, garanta a sua vazão mínima exigível (LIMA, 2018). Estes mananciais superficiais são geralmente constituídos de rios, córregos, represas ou lagos.

Segundo o Estudo de Águas Subterrâneas do Trata Brasil (2019), as águas subterrâneas ocorrem em zonas profundas saturadas, ou seja, elas ocupam completamente os poros das rochas e sedimentos, constituindo assim os aquíferos.

A intensidade das recargas dos aquíferos depende da infiltrabilidade do solo, para aquíferos livres, onde a água se encontra sob pressão atmosférica, essas condições são mais rápidas e abundantes, já para os aquíferos confinados, as condições são lentas e limitadas. (GIAMPÁ; GONÇALVES, 2013).

3.2.2 Captação

De acordo com Tsutiya (2006), as obras de captação devem ser projetadas e construídas de modo a funcionar ininterruptamente em qualquer época do ano, permitindo a retirada de água para o sistema de abastecimento em quantidade suficiente, melhor qualidade possível, e com acesso fácil para a operação e manutenção.

Para os mananciais superficiais, as características existentes nos tipos de captação são definidas tanto pelo porte e conformação do leito desses mananciais (topografia e geologia locais), como pela velocidade, qualidade e variação do nível de água (PINHO *et al.*, 2018). A captação direta desses mananciais, geralmente, possui barragem, vertedor ou enrocamento para a regularização de vazões ou elevação do nível de água. (HELLER; PÁDUA, 2010a).

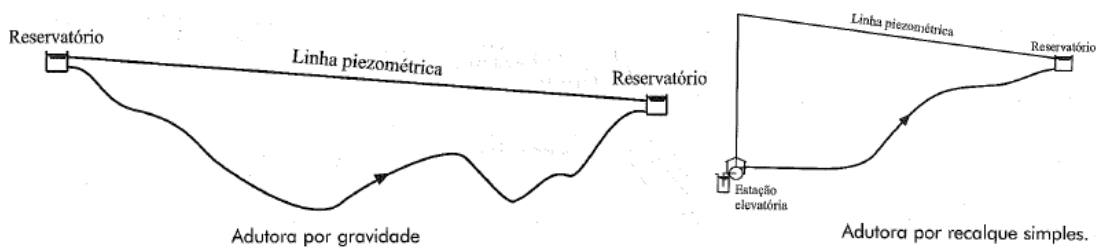
Já na captação de água subterrânea podem ser utilizados drenos, galerias filtrantes, poços escavados (rasos) e poços perfurados (profundos), sendo este último o mais utilizado para o sistema de abastecimento de água (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007). Além disso, há situações em que ocorre o afloramento superficial do aquífero, a partir de nascentes ou realização de furos artesianos.

3.2.3 Adução

As adutoras são as principais unidades de um SAA, necessitando de atenção na elaboração do projeto e implantação das obras, que vai desde a análise no traçado até a planta e perfil, de modo que garanta uma boa ancoragem de seus acessórios, evitando o deslocamento das peças (TSUTIYA, 2006).

Conforme Heller e Pádua (2010b), as adutoras podem ser classificadas quanto a energia de movimentação da água (por gravidade ou por recalque) e, quanto a natureza da água transportada (bruta ou tratada). As adutoras por gravidade são aquelas onde existe um desnível suficiente para conduzir, por gravidade, a vazão necessária entre os pontos interligados. Quando não há esse desnível suficiente são necessárias estações elevatórias, compostas com motobombas e acessórios que promovem o escoamento da água. A Figura 4 apresenta adutoras por gravidade e por recalque simples.

Figura 4 – Adutoras segundo a energia de movimentação da água



Fonte: Tsutiya (2006, com adaptações).

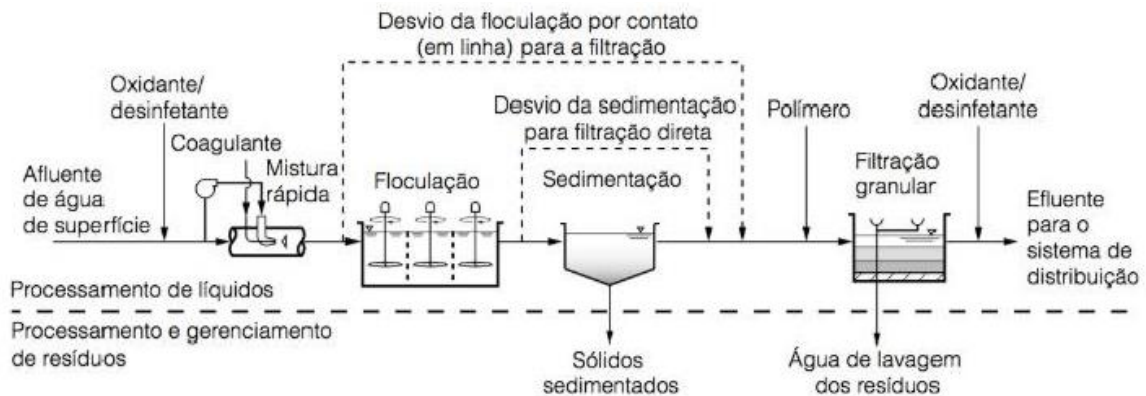
3.2.4 Tratamento

Tendo em vista os riscos sanitários possíveis decorrentes da distribuição de água ao consumo humano, foram desenvolvidas técnicas de tratamento da água bruta captada no manancial, que podem ser divididas em tratamento convencional e não convencional (BITTENCOURT; PAULA, 2014). A escolha do tipo de tratamento a ser utilizado depende das características da água a ser tratada, dos aspectos técnicos, culturais, socioeconômicos e ambientais (HELLER E PÁDUA, 2010b).

As Estações de Tratamento de Água (ETAs), são os locais responsáveis pelo tratamento convencional da água bruta, cujas etapas básicas são: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, que condiciona as características da água aos padrões de potabilidade, estabelecidos pelo Ministério da Saúde na Portaria 5/2017 (MEDEIROS, 2017).

Quando não há viabilidade de implantação do sistema de tratamento convencional de água, há outras possibilidades de tratamento que são chamadas de tratamento não convencional. Os principais métodos utilizados para o tratamento não convencional são: clarificador de contato, ETA's compactas (pressurizadas ou não), filtragem rápida, flotação (SAAE, 2006).

Figura 5 - Diagrama de fluxo do processo típico de tratamento de água empregado na coagulação (mistura química) com tratamento convencional, filtração direta ou filtração por contato.



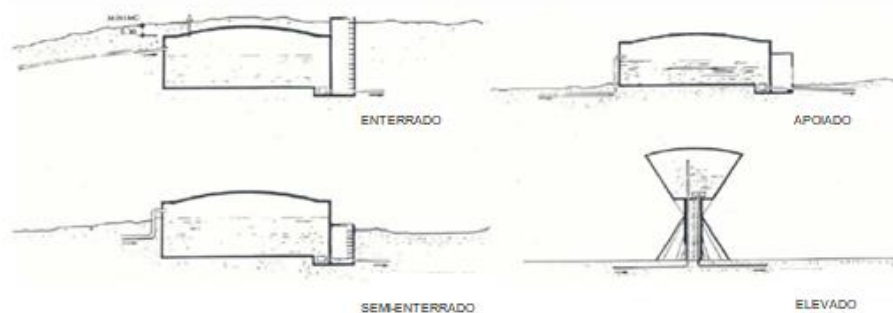
Fonte: Howe, *et al.* (2016).

3.2.5 Armazenamento

A construção de um reservatório de armazenamento de água, tem por objetivo evitar a falta de água para as populações, devido as variações de consumo de água ao longo do dia, como também, garantir a segurança e a economia do SAA (reserva de emergência, regularização dos caudais afluentes e dos caudais abastecidos à rede) (SILVA, 2015).

De modo geral, os reservatórios são classificados de acordo com a sua capacidade e sua localização relativa à superfície. Quanto a localização, os reservatórios podem ser enterrados, semienterrados, apoiados e elevados (Figura 6). Quanto a capacidade de armazenamento, estes podem ser classificados em grandes, com volume acima de 5000 m³; médios, entre 500m³ e 5000m³; e pequenos, com volume inferior a 500 m³ (CARVALHO, 2014).

Figura 6 – Tipo de reservatório face a soleira.



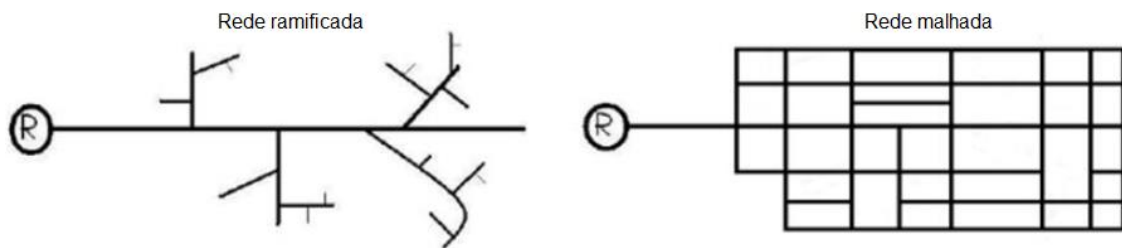
Fonte: Silva (2015).

3.2.6 Distribuição

Conforme Silva (2015), uma rede de distribuição de água é formada por um sistema de elementos e acessórios (condutores, ramais e equipamentos mecânicos), que tem como finalidade levar a água armazenada nos reservatórios até ao consumidor final. As redes de abastecimento são classificadas em ramificadas e malhadas (Figura 7).

Segundo Lima (2018), as redes ramificadas possuem um único caminho a ser percorrido pela água, que vai desde a saída do reservatório até à chegada ao consumidor final e as redes malhadas são definidas pela existência de diversos caminhos possíveis da água percorrer, criando assim um leque de opções que dependerão das solicitações impostas pela rede.

Figura 7 – Rede de distribuição ramificada e malhada



Fonte: Melo (2018, com adaptações).

3.3 Perdas de água

As perdas acontecem em todo e qualquer sistema de abastecimento de água, e um dos grandes desafios das companhias de saneamento existentes nos países, principalmente em desenvolvimento, é diminuir as perdas de água em todas as etapas do processo de seu fornecimento (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2013).

Para Alegre *et al.* (2016), as perdas de água correspondem ao volume referente à diferença entre a água fornecida ao sistema de abastecimento e os consumos autorizados (medidos e não-medidos, faturados ou não faturados), ofertados aos consumidores cadastrados. Dessa forma, em um sistema de abastecimento, estas perdas podem ser divididas em dois tipos: perdas reais ou físicas e aparentes ou comerciais.

As perdas reais correspondem ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final devido à ocorrência de vazamentos no sistema, envolvendo todas as etapas do sistema de abastecimento, que vai desde a captação até a distribuição (Quadro 1), além de procedimentos operacionais como lavagem de filtros e descargas na rede, quando estes provocam consumos superiores ao necessário para operação (SILVA *et al.*, 2004).

De acordo com Soares (2010), as perdas reais refletem a incapacidade da infraestrutura dos sistemas de cumprirem a sua função técnica, isto é, a função de entregar água aos consumidores. Dessa forma, acabam onerando diretamente a capacidade de oferta dos sistemas, que independente do conhecimento de quanta água está sendo perdida, tenderá a combater qualquer falta de água com oferta de mais água.

Quadro 1 – Perdas reais.

Perdas Reais	Parte do Sistema	Origem da Perda	Magnitude
	Captação	Vazamento na adução Limpeza poço de sucção	Variável, função do estado das instalações
	Estação de tratamento	Vazamento na estrutura Lavagem de filtros Descarga de lodo	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Reservação	Vazamentos na estrutura Extravazamentos Limpeza	Variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Adução	Vazamentos nas tubulações Descargas	Variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Distribuição	Vazamentos na rede Vazamento em ramais Descarga	Significativa, função do estado das tubulações e principalmente das pressões

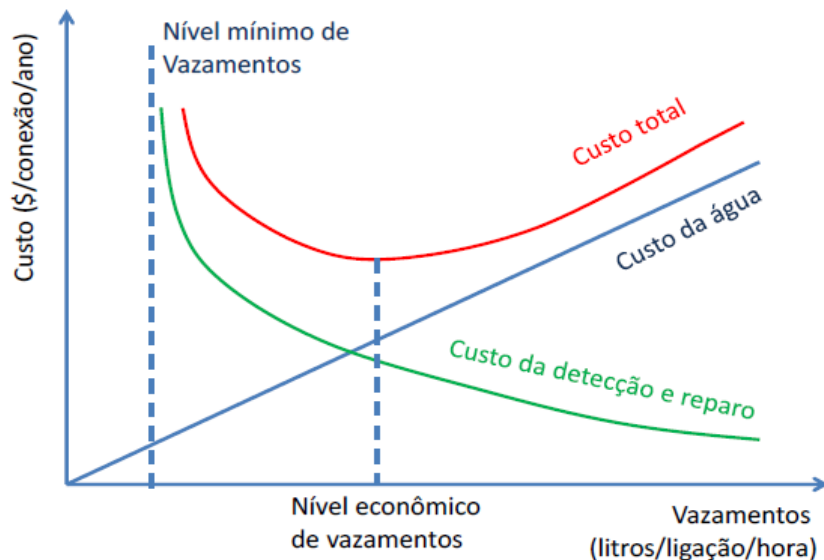
Fonte: Silva *et al.* (2004, com adaptações).

Sabe-se ainda que sempre haverá algum tipo de perda, por exemplo, um vazamento que demandará um tempo infinitesimal para ser reparado, deterioramento de tubos etc. Em vista disso, a IWA definiu dois limites de volumes de perdas em um

sistema de abastecimento de acordo com os níveis de vazamentos: **limite técnico** que consiste em perdas inevitáveis, ou seja, aquelas que correspondem ao mínimo aceitável para um sistema ideal e **limite econômico**, que são perdas a partir das quais se pode gastar mais por tentar reduzi-las, do que o valor inerente do volume recuperado (varia de cidade para cidade, em função das disponibilidades hídricas, dos custos de produção, etc.) (ABES, 2013).

A Figura 8 mostra tanto o “nível econômico ótimo de vazamentos” quanto o “nível mínimo de vazamentos”.

Figura 8– Determinação do nível eficiente de perdas em um sistema de abastecimento de água.



Fonte: *United States Environmental Protection Agency* (2010, com adaptações).

Já as perdas aparentes, segundo Silva *et al.* (2004), correspondem aos volumes decorrentes do uso por ligações clandestinas (não cadastradas), mais os volumes não contabilizados devido a hidrômetros parados ou com submedição, fraudes em hidrômetros, erros de leitura etc. São também conhecidas como “perdas de faturamento”, pois seu principal indicador é a relação entre o volume disponibilizado e o volume não faturado (MELATO, 2010).

Dependendo dos aspectos técnicos, como critério de dimensionamento e manutenção preventiva de hidrômetros e de procedimentos comerciais e de faturamento, as perdas aparentes podem representar 50% ou mais do percentual de água não faturada, necessitando assim, de um gerenciamento integrado (DINIZ,

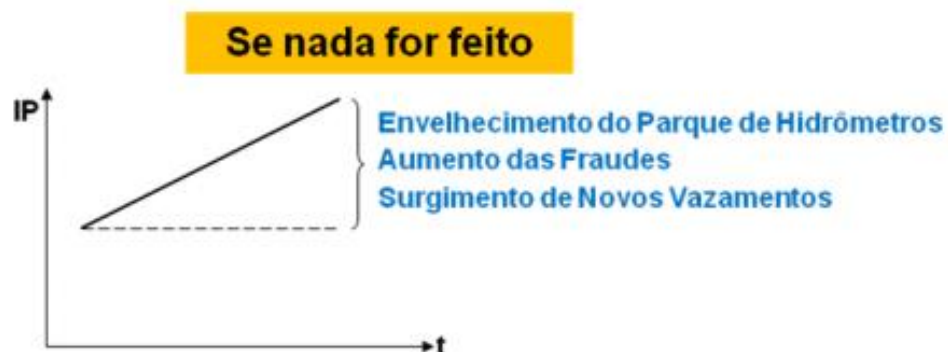
2012). Além disso, a redução destas perdas permite aumentar a receita tarifária, bem como, o aumento da oferta efetiva da água (ABES, 2015).

Nos SAAs do Brasil, onde grande parte dos consumidores faz uso de reservatórios domiciliares, situação do Brasil, há um aumento de, no mínimo de 10%, das perdas aparentes, devido parte do consumo passar pelos hidrômetros com vazões menores que a mínima especificada para o aparelho, muitas vezes ao longo do dia, quando a válvula controladora de nível (boia) se encontra próxima do fechamento, ou seja, nível máximo (OLIVEIRA, 2016).

Para Arregui *et al.* (2006), a submedição causada por caixas d'água com boias comuns pode chegar a 20% para hidrômetros com tempos de funcionamento até oito anos e de 30% para hidrômetros mais antigos. De fato, segundo os estudos de Mutikanga (2011) desenvolvido na cidade de Kampala, capital da Uganda, foi detectado um valor de submedição de 25% nos hidrômetros das residências que possuíam caixas d'água e de 7% nas demais.

Em síntese, “perdas reais recaem os custos de produção e na distribuição de água, e sobre as perdas aparentes, os custos de venda da água no varejo, acrescidos dos eventuais custos da coleta de esgotos” (ABES, 2013, p. 9). Se nada for feito para o combate dessas perdas, haverá um crescimento natural dos volumes perdidos, conforme mostra a Figura 9, decorrente de envelhecimento do parque de hidrômetros, aumento das fraudes e surgimento de novos vazamentos.

Figura 9 - Crescimento Natural das Perdas.



Fonte: ABES (2015).

3.4 Avaliação de Perdas

A avaliação de perdas consiste, basicamente, numa auditoria das águas onde são detectados o volume de água perdido e o custo desse volume para a empresa prestadora de serviço. À vista disso, “a auditoria tem como objetivo subsidiar a empresa com dados e resultados de medições e sistemas de controle, na seleção e implementação de programas para a redução de perdas no sistema de abastecimento de água” (MELATO 2010, p. 44).

Os métodos comumente utilizados para a avaliação geral de águas são:

- Top-down: mais conhecido como balanço hídrico;
- Bottom-up: conhecido como avaliação da vazão mínima noturna.

Além desses dois métodos que serão detalhados a seguir, há um método conhecido como BABE – *Background and Bursts Estimates*, que busca analisar os componentes de perdas reais gerados a partir de vários eventos de vazamentos (inerentes, não visíveis e visíveis), dependentes das condições de infraestrutura e pressão média da rede (LAMBERT, 1994). Para Tardelli Filho (2004), esse método deve ser aplicado apenas em áreas pequenas e representativas do SAA, em razão da sua aplicabilidade exigir uma grande quantidade de dados, hipóteses e estimativas.

3.4.1 Balanço Hídrico

O método do balanço hídrico, realiza uma avaliação das perdas de “cima para baixo” (*top-down*), ou seja, o seu cálculo obtém as perdas a partir do volume de água que entra no sistema menos o volume de água consumido. Nesse método, “são feitas hipóteses para determinar as perdas aparentes e, pela diferença, chega-se às perdas reais” (BEZERRA E CHEUNG, 2013). Logo, é recomendado que esse método seja aplicado no período de um ano para avaliação dos volumes, com o intuito de absorver as sazonalidades (SANTOS, 2013). A partir dessa ferramenta, podem ser gerados diversos indicadores de desempenho, possibilitando o acompanhamento das ações necessárias a serem tomadas pelo setor de gestão.

Conforme a ABES (2015), até alguns anos atrás, cada país possuía uma avaliação de perdas distinta. Em vista disso, a IWA constituiu um grupo de

especialistas e forças tarefas para estudar, discutir e propor uma padronização dos componentes dos usos de água através de uma matriz de balanço hídrico, como também, a terminologia, conceitos e indicadores de perdas em um sistema público de abastecimento de água, que serão discutidos posteriormente.

O Quadro 2 apresenta o Balanço Hídrico, desenvolvido pela IWA, esquematiza os processos pelos quais a água pode passar desde o momento em que entra no sistema.

Quadro 2 – Balanço Hídrico proposto pelo IWA.

VOLUME PRODUZIDO OU DISPONIBILIZADO	CONSUMOS AUTORIZADOS	Consumos Autorizados Faturados	Consumos medidos faturados (inclui água exportada) Consumos não medidos faturados (estimados)	AGUAS FATURADAS
		Consumos Autorizados Não Faturados	Consumos medidos não faturados (usos próprios, caminhões-pipa)	ÁGUAS NÃO FATURADAS
	Consumos não medidos não faturados (combate a incêndios, suprimento de água em áreas irregulares)			
	PERDAS	Perdas Aparentes (Comerciais)	Consumos não autorizados (fraudes)	
			Falhas do sistema comercial	
			Submedição dos hidrômetros	
		Perdas Reais (Físicas)	Vazamentos nas adutoras e rede de distribuição	
			Vazamentos nos ramais prediais	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios setoriais e aquedutos	

Fonte: ABES (2015, com adaptações).

Os componentes do balanço hídrico proposto pela IWA, podem ser definidos como:

- Água que entra no sistema: corresponde ao volume de água que é introduzido no sistema de abastecimento;
- Consumos autorizados: refere-se ao volume de água fornecido aos consumidores cadastrados, podendo ser faturado ou não faturado, incluindo o volume de água utilizado para serviços operacionais da própria empresa de saneamento, assim como, outros volumes que podem estar implícitos ou explicitamente autorizados;

- Perdas de água: volume obtido pela diferença entre o volume que entra no sistema e o consumo autorizado. Essas perdas podem ser físicas (reais) que correspondem aos volumes de água que foi produzido, mas não foi consumido, em decorrência de vazamentos e, aparentes (comerciais) que representa o volume consumido, mas não contabilizado, conseqüentemente, esse volume não gerou receita a empresa;
- Consumo faturado medido: corresponde ao volume de água que gera receita a empresa prestadora de serviço, ou seja, são os volumes obtidos a partir de contas de água emitidas aos consumidores, com base nos dados medidos nos hidrômetros;
- Consumo faturado não medido: refere-se ao volume de água estimado pela empresa prestadora de serviço, correspondente as economias que não possuem hidrômetros, bem como, aos consumidores ou não de baixa renda;
- Consumo não faturado medido: corresponde ao volume de água destinado ao consumo interno medido pela empresa de saneamento, além do consumo de clientes que estão isentos de pagamento;
- Consumo não faturado não medido: é o volume de água não medido destinado para usos como combate à incêndio, irrigação de praças, fornecimento a núcleos urbanos em áreas irregulares, entre outros serviços, onde esses consumidores estão dispensados de pagamento;
- Uso não autorizado: é o volume decorrido de fraudes, ligações clandestinas, entre outros hábitos, que não geram receita para a empresa;
- Erros de medição: refere-se ao volume de água decorrente dos erros apresentados pelos dispositivos de medição volumétrica, em razão de falhas de fabricação, de instalação, etc.;
- Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição: correspondem aos volumes de água ocorridos ao longo das adutoras e/ou redes de distribuição, geralmente, ocorrem em grandes proporções;
- Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição: são os volumes de água oriundas do extravasamento que ocorrem em reservatórios.

É importante ressaltar, que em virtude da falta de pessoal, ou até mesmo, de equipamentos apropriados que façam o monitoramento de alguns dados que alimentam as planilhas do balanço, sempre haverá certa faixa de erro nesses componentes. Portanto, é de suma importância, a confiabilidade dos dados para a interpretação e entendimento dos resultados (LAMBERT, 1994).

A confiabilidade dos dados está associada à qualidade dos registros, se são baseados em registros saudáveis e procedimentos corretamente documentados, e se são amostras parciais ou completas. Ainda não há parâmetros e padrões específicos, para o enquadramento da confiabilidade, ficando a cargo das companhias desenvolver os próprios critérios (MIRANDA, 2002).

3.4.1.2 Softwares Disponíveis

Nos últimos anos, foram desenvolvidos diversos *softwares* gratuitos e pagos que se encontram disponíveis no mercado para o auxílio do cálculo do Balanço Hídrico e Indicadores de Desempenho, conforme o padrão da IWA. Os principais *softwares* que estão disponíveis para download gratuito na internet se encontram no Quadro 3.

Quadro 3 – Alguns *softwares* gratuitos para o cálculo do Balanço Hídrico e Indicadores de Performance da IWA.

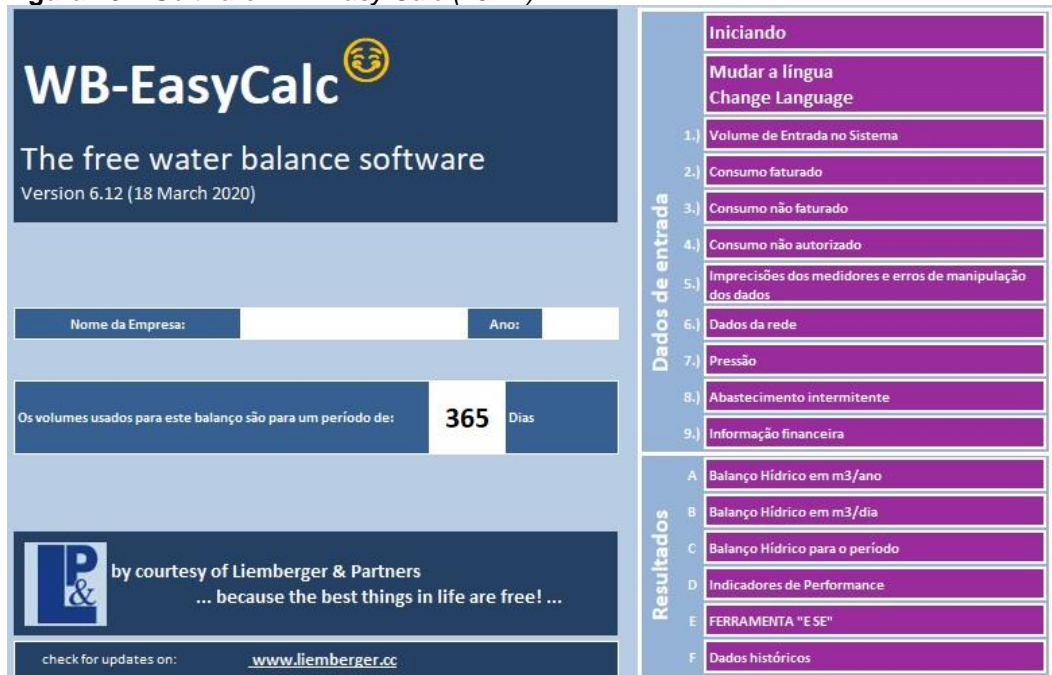
Software grátis	Informações complementares	Disponibilidade	e-mail ou página da internet
AquaLite	Aguardando conclusão	Internacional	RonnieM@wrp.co.za
Benchleak	Disponível	África do Sul	
CheckCalcs	Aloca os valores de IIE para as faixas do sistema do Banco Mundial, e identifica ações prioritárias. Também identifica as possibilidades e benefícios do gerenciamento de pressão	Europa	www.studiomarcofantozzi.it
		Oriente	mfarley@alvescot.demon.co.uk
		Austrália e Nova Zelândia	sammiep@widebaywater.com.au
		Canadá e Estados Unidos	veritec@sympatico.ca
		Todos os outros países	www.leakssuite.com
Leakage CheckUp	Software não pode ser baixado, cálculos realizados na própria página da internet	Europa	www.waterportal.com
WaterAudit	Versões no sistema métrico e americano, customizadas para a terminologia americana	América do Norte	www.awwa.org/Water/waterloss/Documents/WaterAuditSoftware.cfm
W-B Easy Calc	Aloca os valores de IEE para as faixas do sistema do Banco Mundial	Internacional	www.liemberger.cc

Fonte: Melato (2010).

Dentre vários outros *softwares* pagos, pode-se destacar como exemplo, o *software Fastcalc*, que é amplamente utilizado pelas empresas companhias de saneamento nos países como Austrália e Nova Zelândia, como também, pela

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) (MELATO, 2010). Para o desenvolvimento da proposta deste trabalho foi utilizado o *software WB Easy Calc* (v6.12) desenvolvido pelo Banco Mundial em 2006, para servir de guia geral na aplicação adequada da metodologia proposta pelos especialistas da IWA, cuja última versão, foi lançada em março de 2020 (Figura 10).

Figura 10 – *Software W-B Easy Calc* (v6.12).



Fonte: *Software WB-Easy Calc* (WB, 2020)

O *software WB – Easy Calc* é gratuito e está disponível em 10 línguas, incluindo o português. O seu idealizador, Liemberger & Partners, trabalha exclusivamente para o líder global de gerenciamento de Perdas de Água Não Faturada, o Grupo Miya, líder mundial voltado para à eficiência, com vasta experiência e uma oferta completa para concessionárias de água, incluindo eficiência hídrica, gestão comercial e tratamento de água (LIEMBERGER & PARTNERS, 2020).

3.4.2 Avaliação da vazão mínima noturna

A avaliação mínima noturna é um método que consiste em avaliar as perdas de “baixo para cima” (*bottom-up*), a partir de um monitoramento contínuo em campo, onde é medido as variações dos consumos no sistema ao longo do dia, para a

determinação das perdas reais e pela diferença com o volume de entrada, chega-se ao valor das perdas aparentes (SOARES 2013).

Geralmente, os horários de pico de consumo estão compreendidos entre 11 e 14h, e o mínimo entre 3 e 4h da madrugada (ARIKAWA, 2005). A vazão correspondente ao consumo neste último intervalo é conhecida como “vazão mínima noturna” e ocorre em razão da grande parte dos consumidores estarem dormindo, e os reservatórios domiciliares estarem cheios. Dessa forma, a parcela significativa dos valores obtidos nas inspeções e testes de campo, são decorrentes de vazões de vazamentos, o que possibilita, a determinação das perdas reais (MELATO, 2010).

A vazão mínima noturna, apresentada na Figura 11, é composta de: perdas até o hidrômetro que representam os vazamentos no sistema de distribuição (vazamentos inerentes, arrebatamentos); consumos após hidrômetros que compreendem o uso noturno residencial, não residencial (comércios e indústrias), e perdas internas prediais (nas boias das caixas d’águas e tubulações).

Figura 11 – Componentes da Vazão Mínima Noturna.



Fonte: Arikawa (2005).

Em função da avaliação da vazão mínima noturna se tratar de um método que é fundamentado em dados encontrados em campo, pode-se dizer que é um método mais confiável que o método do balanço hídrico, contudo é mais trabalhoso e envolve custos com equipes e equipamentos para a realização do ensaio (SANTOS, 2013).

3.5 Indicadores de Perdas

Os indicadores de desempenho são instrumentos que possibilitam avaliar a eficiência, eficácia, confiabilidade e custo do SAA, a partir do resultado da combinação de várias variáveis (ALEGRE *et al.*, 2016; GANJIDOOST *et al.*, 2018). Para Berg (2010), a eficácia do sistema acontece quando a prestadora de serviço atinge seus objetivos e a eficiência é quando ela se encontra nos padrões estabelecidos (estado de eficiência).

Segundo Alegre *et al.* (2016), o objetivo geral dos indicadores de desempenho é fornecer informações que não visam simplesmente medidas quantitativas, mas todos os elementos necessários para tomada de decisões (qualidade dos dados, fatores explicativos, contexto). Dessa forma, os indicadores de desempenho simplificam uma avaliação, que de outra forma seria mais complexa.

Neste contexto, a IWA em 2000 lançou a padronização das terminologias e definições dos indicadores de desempenho, através da publicação *Performance Indicators for Water Supply Services – Manual of Best Practice*, cuja 2ª edição foi revisada em 2006 e a 3ª edição em 2016. Essa padronização teve bom êxito, sendo adotada por diversos países, possibilitando assim, a comparação dos indicadores de desempenho de diferentes companhias de saneamento (MELATO, 2010).

Os indicadores de desempenho são estruturados de acordo com as necessidades de aplicação da gestão das companhias de saneamento. Basicamente, a IWA propôs seis grupos de indicadores que se consideram aplicáveis independentemente da estrutura organizacional da prestadora de serviço:

- Indicadores de recursos hídricos;
- Indicadores de recursos humanos;
- Indicadores infraestruturas;
- Indicadores operacionais;
- Indicadores de qualidade de serviço;
- Indicadores econômico-financeiro.

Os indicadores de desempenho relacionados a perdas estão distribuídos nos grupos de indicadores operacionais, recursos hídricos e econômico-financeiro, os

quais, objetivam retratar a situação das perdas, permitindo redirecionar ações de controle no gerenciamento dos volumes perdidos e comparar SAA's distintos (TARDELLI FILHO, 2004).

Dentre os indicadores de perdas de água propostos pela IWA, pode-se destacar os quatro principais que serão detalhados a seguir:

- Indicador percentual;
- Indicador de perdas por ramal;
- Indicador de perdas por extensão de rede;
- Índice infraestrutural de perdas.

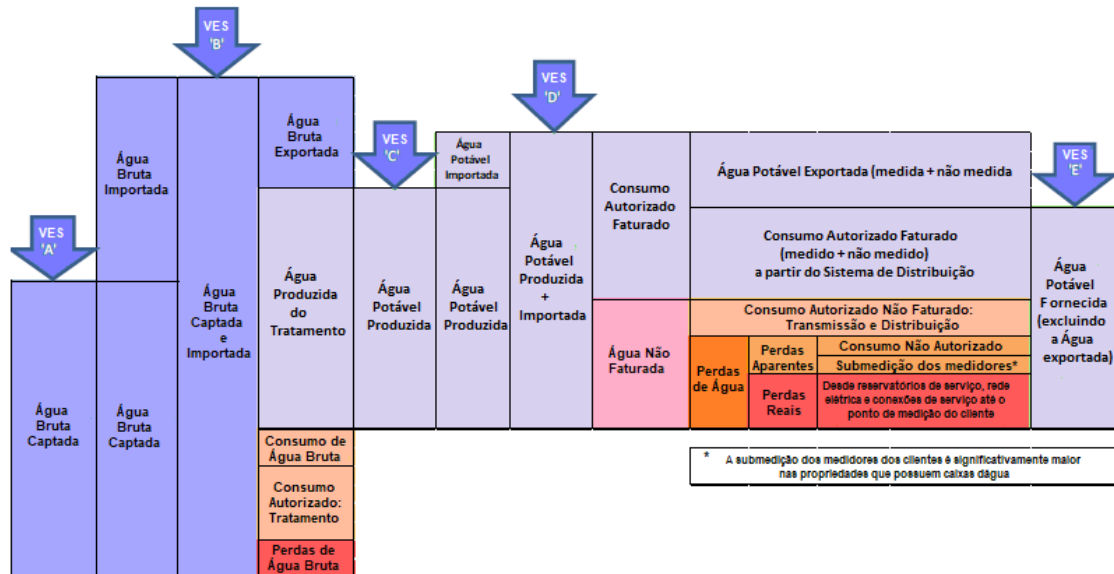
3.5.1 Indicador percentual

O indicador percentual é o clássico indicador de perdas em sistemas distribuição de água. Devido a sua fácil compreensão, é amplamente utilizado pelas prestadoras de serviço de saneamento. Este relaciona o volume total perdido com o volume total produzido ou disponibilizado pelo sistema, em bases anuais, de acordo com a equação (1):

$$\text{Indicador Percentual (IP)} = \frac{\text{volume perdido total} \times 100}{\text{volume disponibilizado}} \quad (1)$$

Contudo, há restrições de seu uso como indicador de perdas para comparações entre sistemas ou mesmo para avaliação de perdas pela IWA. Isso se deve, ao fato de que o indicador agregar parcelas distintas (perdas reais e aparentes), favorecer companhias com alto consumo, como também, um único sistema poder produzir uma ampla faixa de porcentagem, dependendo da escolha do Volume de Entrada do Sistema (VES) usado no denominador (Quadro 4).

Diante disso, este índice é normalmente aplicado para uma avaliação financeira das perdas, onde no numerador do índice, utiliza-se o volume de água não faturado, obtendo assim, o conceito de perdas de faturamento. (LAMBERT *et al.*, 2014).

Quadro 4 – Balanço Hídrico com múltiplas opções de Volume de Entrada do Sistema.

Fonte: LAMBERT *et al.* (2014, com adaptações).

3.5.2 Indicador de perdas por ramal e por extensão de rede

O cálculo dos indicadores de perdas por ramal e por extensão de rede consistem, respectivamente, na relação entre o volume total anual com a quantidade de ramais de ligação e com o comprimento da rede de distribuição de água. Tem como objetivo principal, avaliar o nível de perdas da água consumida em termos unitários, expressos em (L/ramal/dia e/ou m³/km/ano).

Para Alegre *et. al* (2016), na utilização destes indicadores deve-se levar em consideração a densidade de ramais por quilômetro. Para ramais com densidade superior a 20 ramais/km (áreas urbanas), é indicado o índice de perdas por ramal (IPR), expresso pela equação (2):

$$IPR = \frac{\text{volume de perdas anual}}{n^{\circ} \text{ de ramais} \times 365} \times \frac{T}{100} \text{ (L/ramal/dia)} \quad (2)$$

Onde:

T = Percentual do ano em que o sistema está pressurizado (%).

Já para sistemas onde a densidade de ramais é inferior a 20 ramais/km (áreas rurais), o indicado é o índice de perdas por extensão de rede (IPER), expresso pela equação 3:

$$IPER = \frac{\text{volume de perdas anual}}{\text{extensão de rede}} \times \frac{T}{100} \text{ (m}^3\text{/km/ano)} \quad (3)$$

Onde:

T = Percentual do ano em que o sistema está pressurizado (%).

Segundo Melato (2010), estes indicadores apesar de serem melhores que o indicador percentual, ainda possuem limitações. Pois, mesmo levando em consideração o tamanho do sistema e o tempo pressurizado, não consideram a pressão de operação do sistema, o que afeta diretamente nas perdas reais.

3.5.3 Índice Infraestrutural de Perdas

O Índice Infraestrutural de Perdas (IIE) é o indicador mais adequado para comparações de perdas reais entre sistemas distintos. Seu cálculo se dá a partir da relação do nível atual de perdas do sistema com as perdas inevitáveis (nível mínimo aceitável), definido com base nos estudos feitos das condições de sistemas bem operados da Europa (MELATO, 2010).

Logo, o resultado obtido desse cálculo é um valor adimensional anual (equação 4), que traduz o quanto o sistema está distante do volume de perdas que é tecnicamente, possível de ser atingido (TARDELLI FILHO, 2016). Dessa forma, quanto mais distante do valor unitário, pior a condição de perdas do sistema.

$$IIE = \frac{\text{Perdas reais anuais (m}^3\text{/lig. dia)}}{\text{Perdas reais anuais inevitáveis (m}^3\text{/lig. dia)}} \quad (4)$$

Segundo Miranda (2010), a partir de dados pesquisados internacionalmente, foi possível a obtenção de parâmetros empíricos para cada elemento de cálculo das

perdas reais, possibilitando assim, a determinação de uma equação para o cálculo das Perdas Reais Anuais Inevitáveis (PRAI), calculadas a partir da equação (5):

$$PRAI = (18 \times Lm + 0,8 \times Nc + 25 \times Lp) \times P \quad (5)$$

Onde:

Lm = comprimento de rede (km);

Nc = número de ramais;

Lp = extensão entre a testada do hidrômetro e o imóvel (m);

P = pressão média de operação (mca).

Segundo Tardelli Filho (2004), como normalmente as instalações dos hidrômetros são junto a testada dos imóveis, no Brasil o valor de Lp é considerado nulo.

O Banco Mundial, através do *software WB-EasyCalc*, apresentou valores de IIE e perdas reais em L/ligação/dia para sistemas de países desenvolvidos e em desenvolvimento, com diferentes faixas de pressão de operação que estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Guia para avaliação do Banco Mundial.

Categoria de performance técnica	IIE	litros/ligação/dia (quando o sistema está pressurizado) numa pressão média					
		10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	
País Desenvolvido	A1	< 1.5		< 25	< 40	< 50	< 60
	A2	1.5 - 2		25-50	40-75	50-100	60-125
	B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
País em Desenvolvimento	A1	< 2	< 25	< 50	< 75	< 100	< 125
	A2	2-4	25-50	50-100	75-150	100-200	125-250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

A1	Desempenho de gerenciamento de vazamento de classe mundial; apenas reduções marginais adicionais teoricamente possíveis
A2	Redução adicional de perda pode não ser econômica, ao menos que haja insuficiência de abastecimento; são necessárias análises mais criteriosas para identificar o custo de melhoria efetiva
B	Potencial para melhorias significativas; considerar o gerenciamento de pressão; práticas melhores de controle ativo de vazamentos, e uma melhor manutenção da rede
C	Registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água é abundante e barata; mesmo assim, analise o nível e a natureza dos vazamentos e intensifique os esforços para redução de vazamentos
D	Uso muito ineficiente dos recursos; programa de redução de vazamentos é imperativo e altamente prioritário

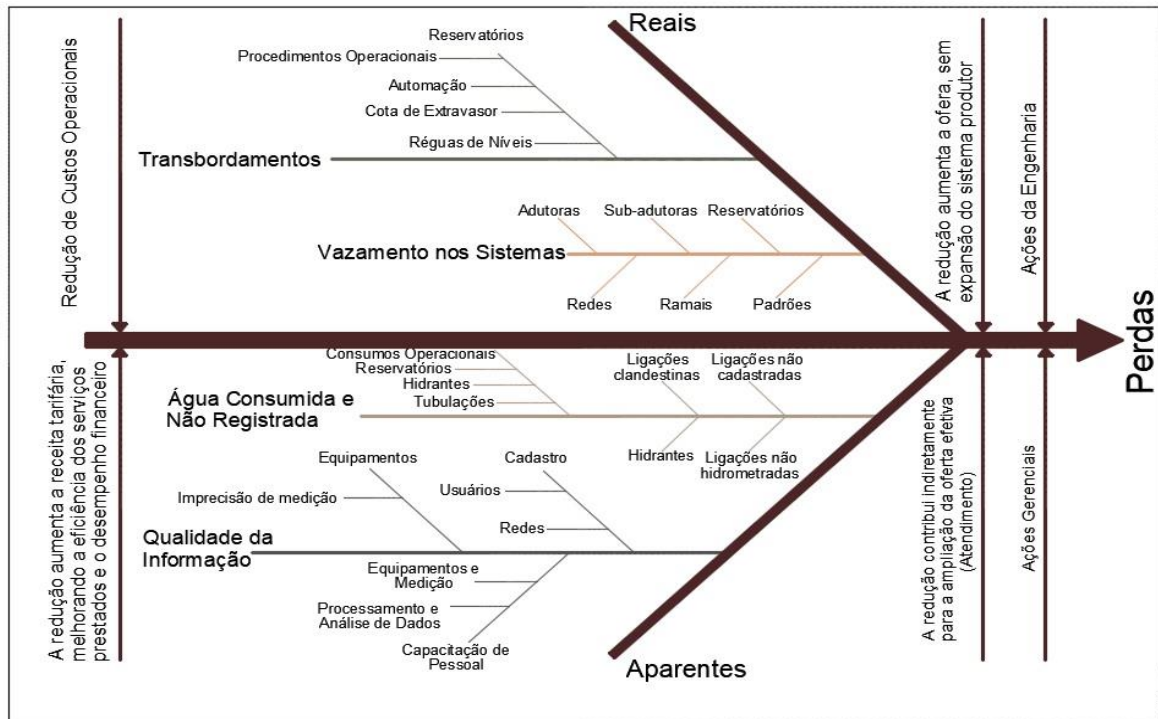
Fonte: Software WB-Easy Calc (2020)

É importante salientar, que não há nenhum indicador perfeito. Segundo ABES (2015), há diversos relatos de problemas verificados na aplicação do IIE, por exemplo, em casos de pressões muito baixas (inferiores a 10 mca) ou nos casos em que há intermitência de abastecimento. Dessa forma, é necessário ser diligente na apuração das variáveis dos indicadores e avaliar aqueles que melhor se adequam a aplicação em questão.

3.6 Estratégias e ações para redução de perdas de água na distribuição

As causas e a magnitude das perdas, como também as estratégias e a natureza das ações para seu controle, podem ser sutilmente diferentes nos diversos componentes de um sistema de abastecimento de água conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 – Visão sistemática do problema das perdas.



Fonte: Soares (2010, com adaptações).

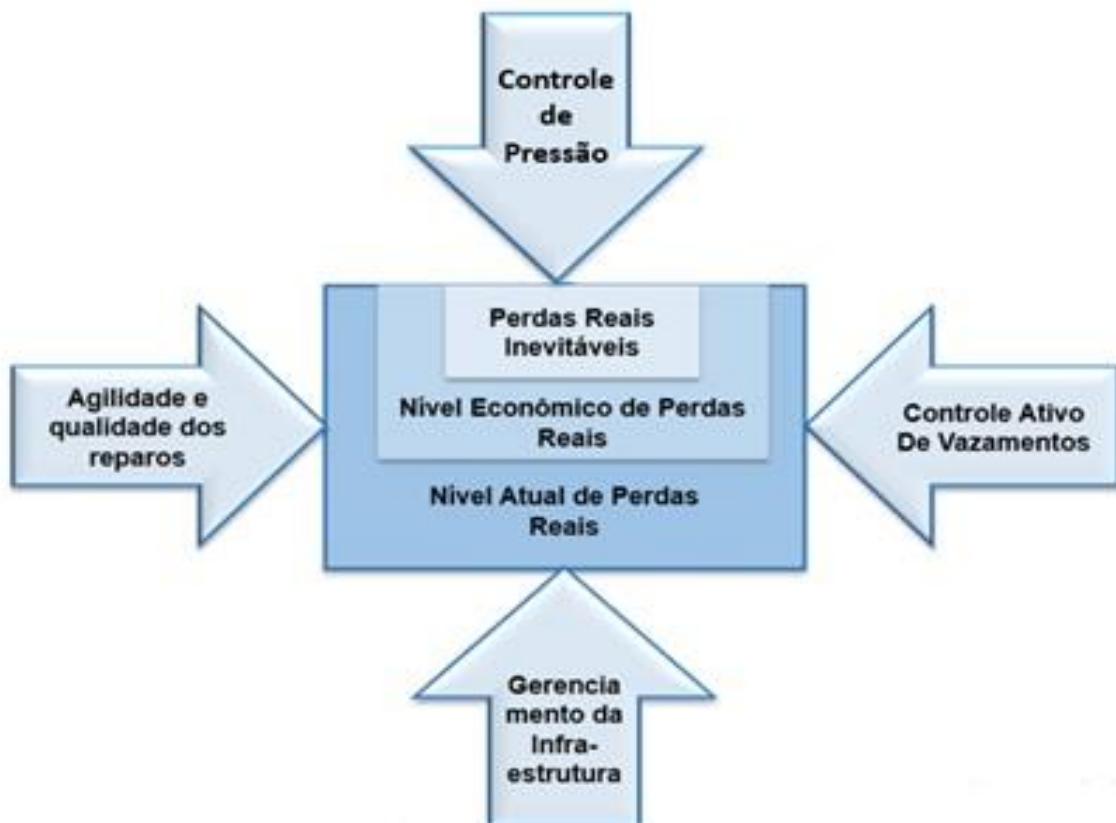
Para Farley e Trow (2003), a estratégia ideal para o gerenciamento de perdas consiste nas seguintes etapas:

- **Preparação:** Etapa onde faz-se um levantamento dos níveis de perdas afim de diagnosticar suas causas e efeitos;
- **Definição de metas:** Conforme o plano de investimentos da empresa, busca-se definir as metas de curto e longo prazo para a redução de perdas, além de definir o nível econômico de perdas do sistema;
- **Implantação das ações:** Execução das intervenções de combate a perdas;
- **Gerenciamento:** Procura-se gerenciar tanto as ações implementadas quanto as que estão em andamento;

- Monitoramento: Consiste no *efetivo* monitoramento e controle para que os níveis de perdas não aumentem.

A IWA propôs e disseminou mundo afora quatro principais ações de controle e redução de perdas, as quais ao serem executadas têm como resposta a obtenção dos resultados almejados. Ao que tange as perdas reais as ações estão representadas através da Figura 13, onde o quadro interno representa as Perdas Reais Anuais Inevitáveis (PRAI), o intermediário representa o nível econômico de perdas reais e o quadro externo o nível atual de perdas.

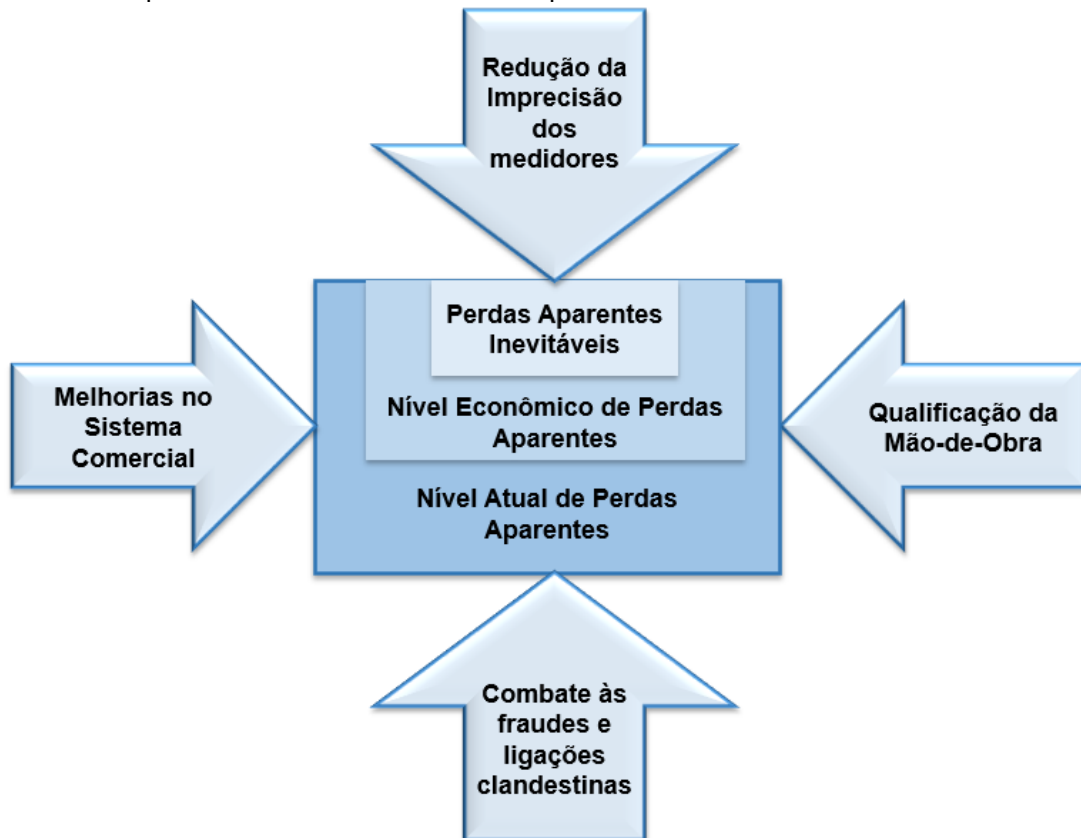
Figura 13 - Componentes do controle e redução de Perdas Reais



Fonte: TARDELLI FILHO (2004, com adaptações).

Da mesma forma que as perdas reais, as perdas aparentes possuem quatro ações de controle e redução conforme a Figura 14, contudo distintas, onde o quadro central representa as Pernas Anuais Aparentes Inevitáveis (PAAI), o intermediário representa o nível econômico de perdas aparentes e o quadro externo o nível atual de perdas aparentes.

Figura 14 – Componentes do controle de Perdas Aparentes.



Fonte: TARDELLI FILHO (2004, com adaptações).

As quatro setas orientadas para cada uma das faces do quadro maior nas duas figuras, representam as ações para controle e redução de perdas. Conforme as ações forem desencadeadas simultaneamente, haverá redução efetiva de perdas, ou seja, o alcance do nível econômico de perdas que é o volume recuperável a partir dessas ações.

As ações para que o nível de perdas reais possa ser reduzido são: gerenciamento de pressões, pesquisas de vazamentos, agilidade e qualidade dos reparos e gerenciamento da infraestrutura. Já as ações para combate de perdas aparentes são: redução em erros de medição, combate às fraudes e ligações clandestinas, qualificação da mão-de-obra e melhorias no sistema comercial.

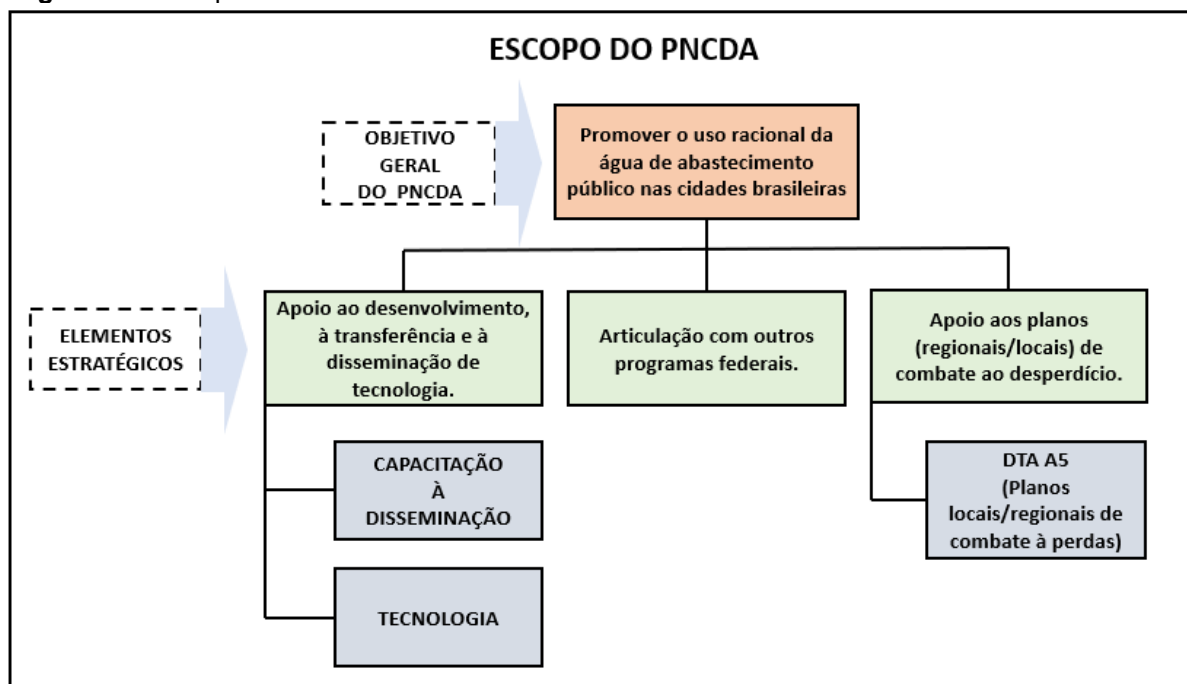
É importante ressaltar, que essas ações de controle e redução de perdas devem ser continuamente empregadas fazendo parte da 'cultura' da entidade responsável pela operação de serviço.

3.6.1 Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água – PNCDA

O Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água - PNCDA, foi instituído em abril de 1997 pelo Governo Federal através da articulação do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal – MMA, com o Ministério das Minas e Energia - MME, e com o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - MPOG, por meio do Departamento de Saneamento da Secretaria de Política Urbana (SEPURB).

Segundo Silva *et al.* (2004), este programa tem por objetivo geral promover o uso racional da água de abastecimento público, gerando benefícios a saúde pública, saneamento ambiental e aos serviços prestados, a partir da implementação de um conjunto de ações e instrumentos normativos (Figura 15).

Figura 15 - Escopo do PNCDA.



Fonte: Cerqueira (2013, com adaptações).

Segundo Cerqueira (2013), o PNCDA foi desenvolvido até a Fase IV. Na Fase I realizada em 1997, foram elaborados 16 DTA's (Documentos Técnicos de Apoio), que mostraram a retomada de estudos na área e refletiram a importância do combate ao desperdício de água. Em 1998 foi desenvolvido a Fase II do Programa, que incluiu a produção de mais 4 DTA's, e a realização em 1999 do 1º Curso Básico de Combate ao Desperdício de Água na cidade de Brasília.

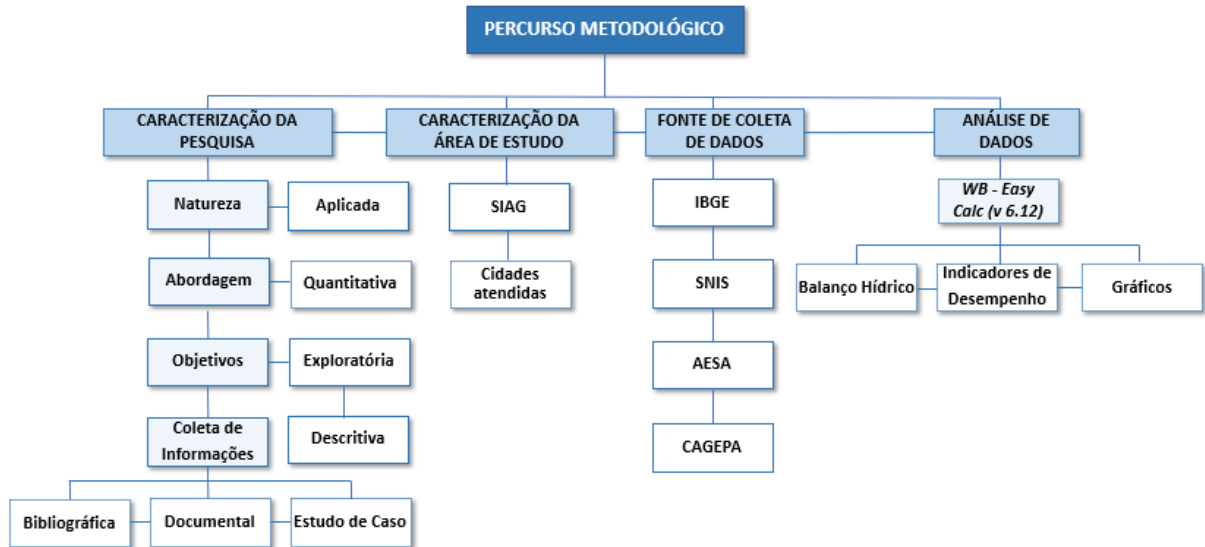
Na Fase III foram previstas diversas atividades, além de revisão e elaboração de novos documentos técnicos. Além disso, foi desenvolvido um Curso de Ensino a Distância (EAD) voltado para a capacitação de profissionais do setor saneamento. Conforme Cerqueira (2013), em sua Fase IV foram desenvolvidos Guias Práticos, acrescentando assim, mais seis DTA's. A série de "Guias Práticos" está vinculada às seguintes questões:

- Macromedição;
- Ensaio Pitométrico;
- Pesquisa e Combate de Vazamentos não Visíveis;
- Controle de Pressão e Operação de Válvulas Reguladoras de Pressão;
- A Conta de Energia Elétrica no Saneamento;
- Controle e Redução de Perdas Aparentes – Processo Comercial

4 METODOLOGIA

Este item apresenta o percurso metodológico desta pesquisa. As etapas utilizadas estão apresentadas na Figura 16, seguidamente, das suas respectivas descrições.

Figura 16 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

4.1 Caracterização da Pesquisa

A pesquisa científica é caracterizada pelo conjunto de processos metódicos de investigação, os quais o pesquisador utiliza para o desenvolvimento do estudo. Neste contexto, esta pesquisa é classificada quanto à natureza, aos métodos (ou abordagens metodológicas), quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos para coleta de informações (NASCIMENTO, 2016).

De acordo com a abordagem de Gil (2008), esta pesquisa classifica-se quanto a sua natureza como *aplicada*, em virtude da formulação de problemas ou hipóteses para o método de análise adotado, buscando auxiliar as tomadas de decisões para as ações de controle e redução das perdas de água nos SAAs. No tocante à abordagem da pesquisa, este trabalho é categorizado em pesquisa *quantitativa*, por ter sido utilizada técnicas e ferramentas estatísticas para quantificação e análise final dos dados através do *software WB-EasyCalc* (GUNTHER, 2006).

Quanto aos objetivos gerais, classificou-se em uma pesquisa exploratória e descritiva. *Exploratória*, devido a necessidade de esclarecimento e delimitação inicial da problemática das perdas de água, bem como, a familiaridade e aprimoramento das ideias (PRODANOV; FREITAS, 2013). *Descritiva*, em razão do estabelecimento de relações entre as variáveis obtidas do balanço hídrico, os tipos de perdas de água e seus respectivos indicadores de performance no sistema integrado de abastecimento dos municípios de Araçagi, Cuitegi, Guarabira e Pilõezinhos (GIL, 2008).

Por fim, para o delineamento da pesquisa ou procedimentos técnicos para a coleta de informações, utilizou-se a pesquisa *bibliográfica, documental e estudo de caso*. *Bibliográfica*, por ter sido desenvolvida com base em livros, artigos científicos, teses e manuais (FLICK, 2013). Pesquisa *documental*, levando em consideração o levantamento e coleta de dados junto a bases de dados do órgão responsável pelo abastecimento de água na região. Pesquisa como *estudo de caso*, considerando a análise da temática de perdas de água no dos municípios que compõem o Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira (SIAG).

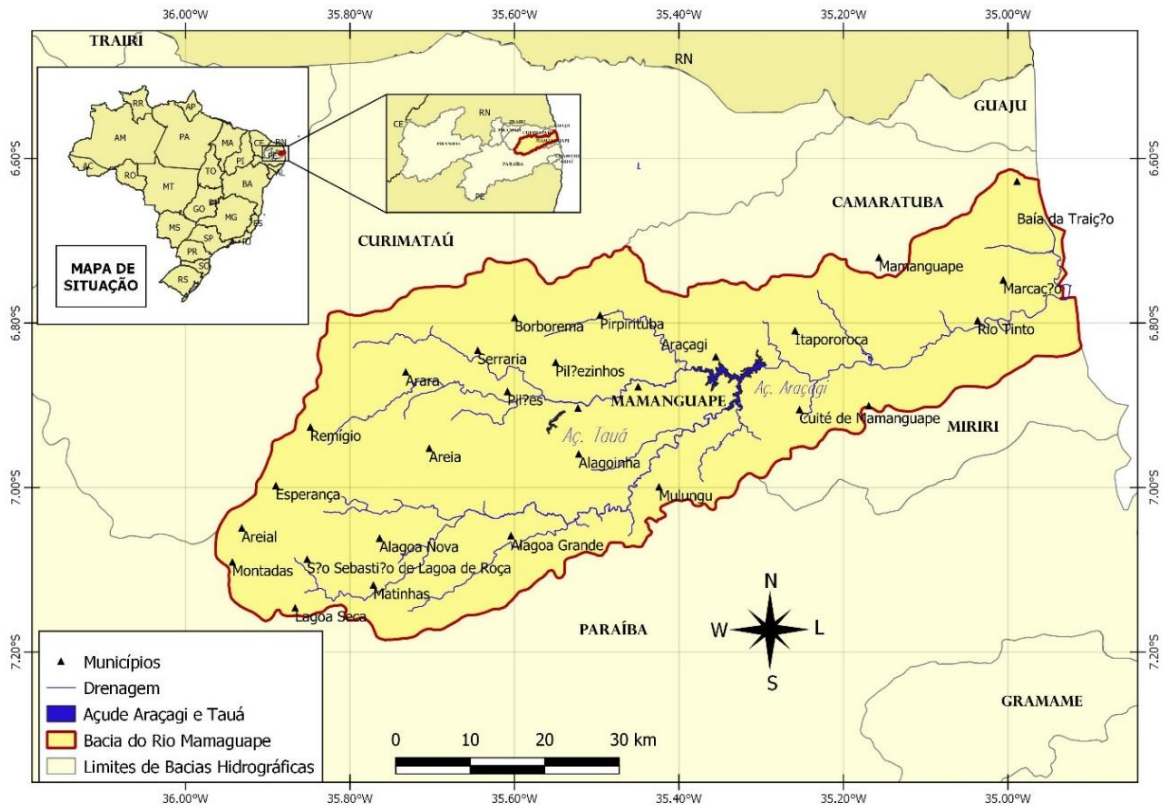
4.2 Caracterização da área de estudo

4.2.1 Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira – SIAG

O sistema de abastecimento de água dos municípios de Araçagi, Cuitegi, Guarabira e Pilõezinhos é do tipo integrado, denominado de Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira (SIAG). Segundo a Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA, 2020), o projeto inicial implementado em 1969 e a ampliação realizada em 1983, só contemplava as cidades de Guarabira e Cuitegi. As outras cidades vieram compor o sistema na década de 90 por decisão política.

No ano de 2014, o sistema sofreu a última ampliação e hoje é formado por dois mananciais: o açude Tauá, localizado na zona rural do município de Cuitegi, e o açude Araçagi que está situado na divisa entre os municípios de Araçagi e Itapororoca, sendo este último responsável por 80% do abastecimento de água (CAGEPA, 2020). Os dois açudes se encontram localizados na bacia hidrográfica do Rio Mamanguape, situada ao extremo leste do Estado da Paraíba como mostra Figura 17.

Figura 17 – Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Conforme a Agência Executiva de Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2020), o açude de Tauá possui uma capacidade máxima de 8.573.500 m³ e seu volume atual é de 80,63% do seu volume total, correspondendo a 6.912.479 m³. Já o açude Araçagi, possui uma capacidade máxima de 63.289.037 m³ e seu volume atual é de 60.162.436 m³, correspondendo a 95,06% da sua capacidade total.

De acordo com a CAGEPA (2020), as águas do açude Tauá são tratadas por meio de duas ETAs localizadas no município de Cuité, possuindo as seguintes unidades: mistura rápida, mistura lenta (floculação), decantação, filtração e desinfecção, com capacidade total de tratamento 597,6 m³/h.

Já a adução do açude Araçagi é do tipo recalque e o tratamento das suas águas é realizado por meio de uma ETA localizada próximo ao manancial, com capacidade de tratamento de 600 m³/h, dispondo das seguintes unidades: mistura rápida, mistura lenta (floculação mecânica), decantação, filtração e desinfecção. A ETA de Araçagi conta ainda, com tanques de equalização e de adensamento de lodo produzido pelos decantadores (CAGEPA, 2020).

Quanto as principais adutoras de água tratada, de acordo com a Figura 18, da ETA de Tauá provém quatro adutoras, sendo uma para a cidade de Cuitegi e três adutoras para a cidade de Guarabira. A adutora que parte para Cuitegi é constituída de Policloreto de Vinila (PVC) e Ferro Fundido (FoFo), com Diâmetro Nominal (DN) de 150 mm e vazão de 72 m³/h, abastecendo dois reservatórios elevados.

A primeira adutora que parte para Guarabira é constituída de Cimento Amianto (CA) com DN de 200 mm e abastece apenas o reservatório R01-A. Sua vazão de projeto era de 108 m³/h, mas foi reduzida em 2018 para 35 m³/h em virtude de sua caducidade e vazamentos.

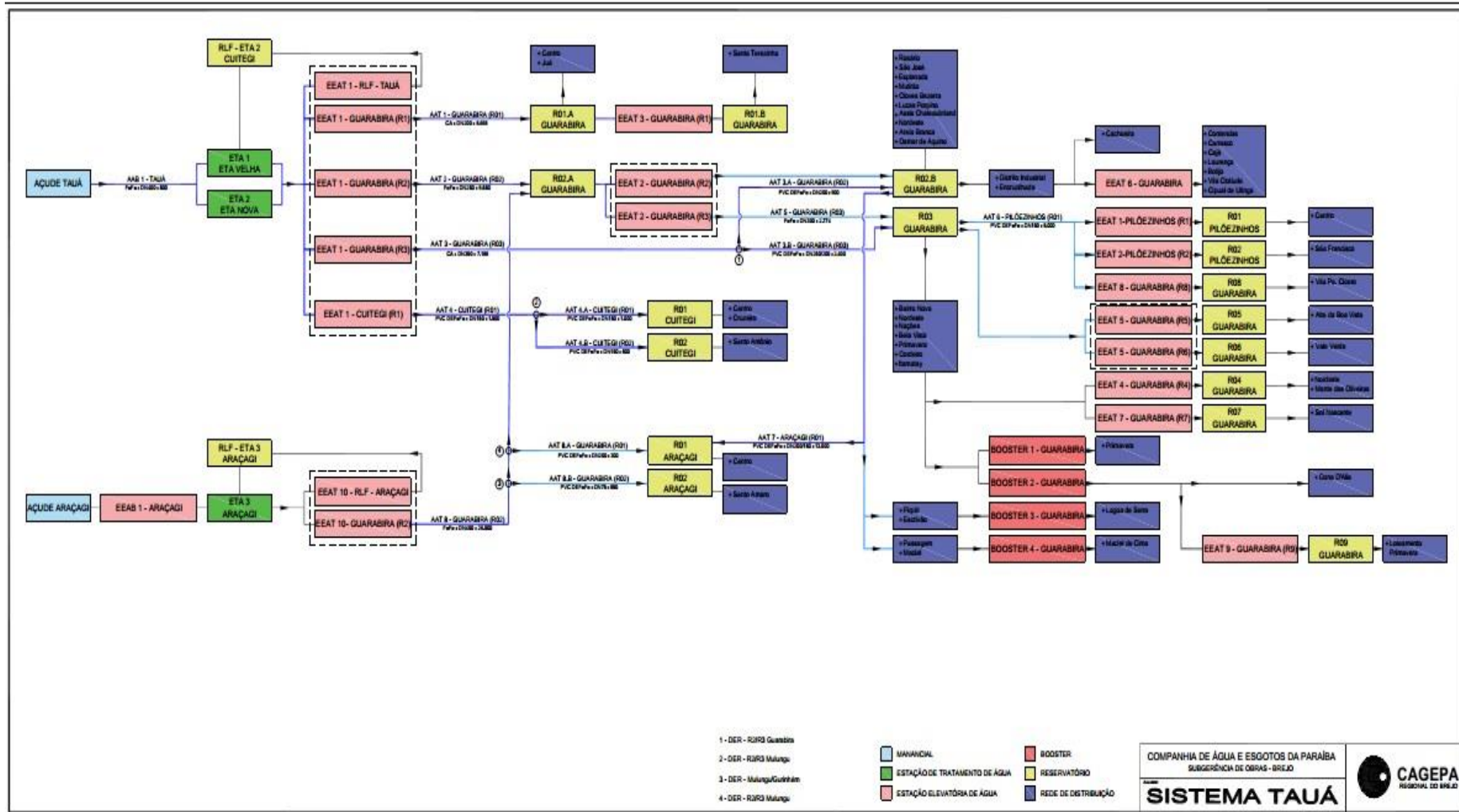
A segunda adutora é formada também de CA com DN de 350 mm, que ao chegar à cidade de Guarabira, bifurca-se em duas adutoras de DN de 200 mm do mesmo material, abastecendo os reservatórios R02-B e R03. A vazão projeto da adutora que parte da ETA de Cuitegi correspondia a 306 m³/h, contudo devido as mesmas razões da adutora anterior, sua vazão foi reduzida em 2014 para 90 m³/h.

A terceira adutora que parte para Guarabira é constituída de FoFo com DN de 200 mm e vazão de 223 m³/h e alimenta o reservatório apoiado de acumulação R02-A, de onde saem duas adutoras recalçadas, uma para o R02-B e outra para o R03. Do reservatório R03, parte uma adutora para a cidade de Pilõezinhos constituída de PVC e FoFo com DN de 150 mm.

Do reservatório de acumulação R02-A, saem duas adutoras formadas de FoFo com DN de 300 mm. Uma adutora abastece o reservatório de R02-B com vazão de 529,3 m³/h e a outra, abastece o reservatório R03 com vazão 226,68 m³/h. Cabe ressaltar, que do reservatório R02-B parte uma adutora formada de PVC e FoFo responsável por alimentar o reservatório da cidade de Araçagi.

Da ETA de Araçagi, provém uma adutora para Guarabira constituída de FoFo com DN de 450 mm e vazão de 500 m³/h, a qual possui uma bifurcação constituída de PVC e FoFo com DN de 150 mm que auxilia no abastecimento de Araçagi.

Figura 18 – Diagrama do Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira em blocos

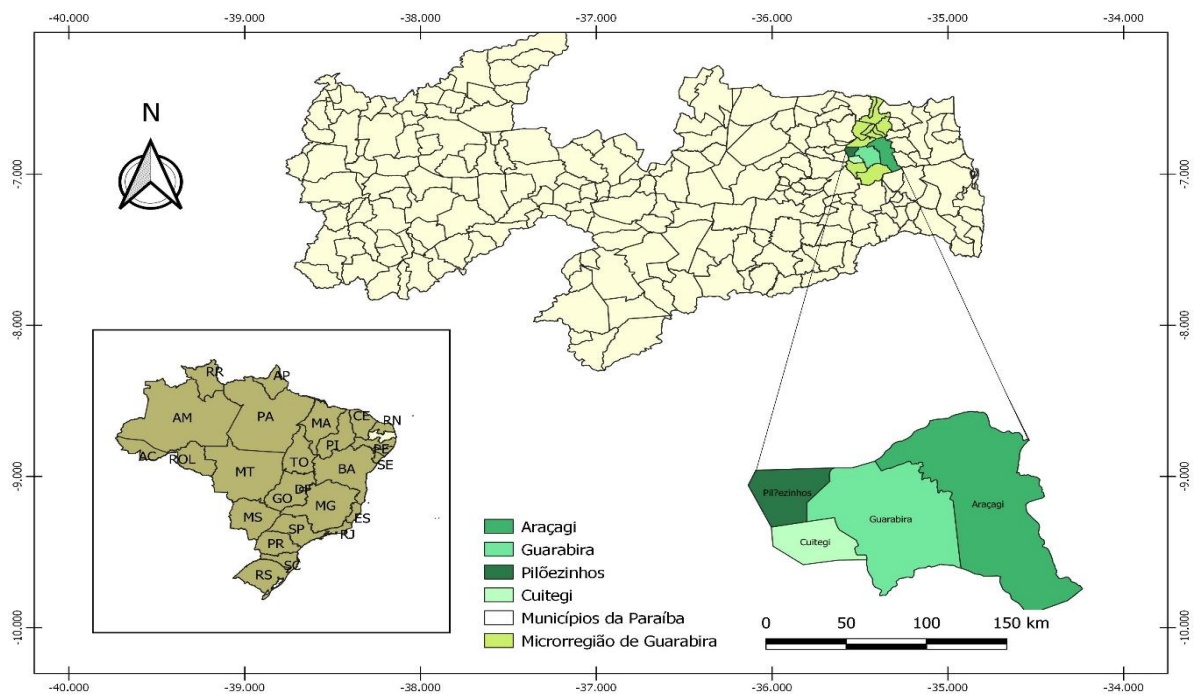


Fonte: CAGEPA (2020).

4.2.2 Municípios atendidos pelo SIAG

O Sistema Integrado de Abastecimento de Guarabira (SIAG), localizado na Microrregião de Guarabira, abastece quatro cidades: Araçagi, Cuitegi, Guarabira e Pilõezinhos. A Microrregião de Guarabira é integrada por quatorze municípios (Figura 19), com uma população total estimada para 2020 de 171.651 habitantes e possuindo uma área de 1297,3 km² (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2020)

Figura 19 – Mapa de Localização dos municípios de estudo.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2020.

4.2.2.1 Araçagi

O município de Araçagi de acordo com o IBGE, possui uma população estimada para 2020 de 16.921 habitantes. Sua área territorial de 232,18 km² e densidade demográfica de 74,51 hab./km². Araçagi faz limite com os seguintes municípios: ao Norte com os municípios de Duas Estradas, Curral de Cima e Sertãozinho; ao Sul com os municípios de Mulungu, Marí, Sapé e Capim; a Leste com os municípios de Cuité, Mamanguape e Itapororoca; a Oeste com os municípios de Guarabira e Píripituba.

O PIB total municipal foi de R\$ 126,009 milhões segundo o IDEME (2014). Já o IDMH do município apresentou em 2010 o valor de 0,549, de acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ADHB, 2013), valor inferior ao índice estadual. Quanto aos dados gerais de abastecimento, em 2018, a população total atendida era de 8.258 habitantes e índice de perdas na distribuição apresentou o valor de 25,84% (SNIS, 2019).

4.2.2.2 *Cuitegi*

Segundo o IBGE, a população estimada para 2020 do município de Cuitegi é de 6.775 habitantes, possuindo com uma área territorial de 42,10 km², resultando assim, em uma densidade demográfica de 175,28 hab./km². Dispõe dos seguintes municípios limítrofes: ao Norte com o município de Pilõezinhos, ao Sul com o município de Alagoinha, a Leste com o município de Guarabira, a Oeste com o município de Pilões.

O PIB total municipal foi de R\$ 43,968 milhões segundo o IDEME (2014). Já o IDMH do município apresentou em 2010 o valor de 0,570, de acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ADHB, 2013), também inferior ao índice estadual. Quanto aos dados gerais de abastecimento, em 2018, a população total atendida era de 6.820 habitantes e índice de perdas na distribuição apresentou o valor de 34,24% (SNIS, 2019).

4.2.2.3 *Guarabira*

O município de Guarabira é considerado o nono município mais populoso do Estado da Paraíba com cerca de 59,115 habitantes, segundo a estimativa do IBGE para 2020. Possui uma área de 162,39 km² e densidade demográfica de 333,80 hab./km². Situa-se a 98 km da capital do Estado, limitando-se ao Norte com o município de Pirpirituba, ao Sul com os municípios de Alagoinha e Mulungu, a Oeste com os municípios de Cuitegi e Pilõezinhos e a Leste com o município de Araçagi

Segundo o Instituto de Desenvolvimento Estadual e Municipal (IDEME, 2014), o Produto Interno Bruto (PIB) total do município atingiu R\$ 788,890 milhões em 2014, sendo responsável por 1,49% do PIB Estadual. Além disso, o município apresentou

em 2010 um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,673, de acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ADHB, 2013), salientando estar superior ao índice da Paraíba de 0,658.

Guarabira constitui um centro urbano de grande importância e com característica polarizadora, exercendo grande influência comercial, oferta de serviços educacionais, de saúde, administrativos e financeiros, possibilitando, uma dinâmica de emprego. Conseqüentemente, Guarabira é a maior detentora da demanda de água consumida pelo SIAG, cerca de 82% (SILVA, J.; SILVA, L., 2010; SANTOS *et al.*, 2019). Além disso, em 2018, a população total atendida era de 58.489 habitantes e índice de perdas na distribuição apresentou o valor de 46,89% (SNIS, 2019).

4.2.2.4 Pilõezinhos

Segundo o IBGE, a população estimada para 2020 do município de Pilõezinhos é de 4.955 habitantes, com uma área territorial de 40,91 km², resultando assim, numa densidade demográfica de 117,42 hab/km². Possui os seguintes municípios limítrofes: ao Norte com o município de Pirpirituba, ao Sul com o município de Cuitegi, a Leste com o município de Guarabira, a Oeste com os municípios de Pilões e Serraria.

O PIB total municipal foi de R\$ 34,463 milhões segundo o IDEME (2014). Já o IDMH do município apresentou em 2010 o valor de 0,564, de acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ADHB, 2013), também inferior ao índice estadual. Quanto aos dados gerais de abastecimento, em 2018, a população total atendida era de 3.244 habitantes e índice de perdas na distribuição apresentou o valor de 48,12% (SNIS, 2019).

4.3 Levantamento dos dados

As informações e os dados utilizados neste trabalho foram obtidos dos órgãos responsáveis por dados históricos operacionais e recursos hídricos como: IBGE, AESA, SNIS e CAGEPA. A maior parte destes dados foram obtidos diretamente da base de dados da Gerência Regional do Brejo da CAGEPA, com sede localizada em Guarabira, a qual o SIAG está sob responsabilidade. O período dos registros levantados foi de 12 meses, referente ao ano de 2019, para cada município.

Para a obtenção sintetizada do quadro de perdas e dos indicadores de performance, os dados foram reunidos, tratados e ordenados, para o lançamento no *software W-B Easy Calc (v6.12)* que segue o padrão de cálculo da IWA. Importante salientar que nos resultados e discussão deste trabalho, utilizou-se a terminologia preferencial do Banco Mundial, de indicadores de performance, ao invés de indicadores de desempenho como é usualmente utilizado e L/ligação/dia, ao contrário de L/ramal/dia. Os dados necessários para a utilização do *software* são:

- *Volume de entrada no sistema*: refere-se ao volume disponibilizado, para o setor de estudo, macromedido ou estimado, estimando-se uma margem erro;
- *Consumo faturado*: refere-se ao volume autorizado faturado, medido ou não medido (estimando-se uma margem de erro), mais o envio de exportações a outros setores de abastecimento;
- *Consumo não faturado*: refere-se ao volume autorizado, medidos ou não, como: volumes para usos operacionais e sociais. Também é necessário estimar uma margem de erro para esses volumes;
- *Consumo não autorizado*: refere-se ao volume de fraudes e ligações e ligações clandestinas;
- *Imprecisões e erros de medição*: refere-se às imprecisões dos medidores (submedição) e erros de manipulação dos dados, obtidos a partir de ensaios ou estimativas. Também, estima-se uma margem de erro para esses valores;
- *Dados de rede*: extensão de rede; número de ligações de água (ativas e inativas), comprimento médio do ramal predial do limite da propriedade até o hidrômetro. Faz-se necessário estimar uma margem de erro também;
- *Pressão média*: por área e pelo número de ligações. Estima-se também sua margem de erro;
- *Abastecimento intermitente*: refere-se ao período em que o sistema de fato foi abastecido. Com isso, informa-se o número de ligações e o tempo de abastecimento, estimando-se também, uma margem de erro para esses valores;
- *Informações financeiras*: tarifa média praticada e o custo variável de produção e distribuição.

Quanto aos dados que não foram possíveis obter da própria Companhia, em função da dificuldade de medição dessas variáveis, foram estimados com base em trabalhos reconhecidos e desenvolvidos anteriormente, os quais foram: *Consumo autorizado não faturado*, *Consumo não autorizado* e *Imprecisões e erros de medição*.

Para o *consumo autorizado não faturado*, fez-se uma estimativa considerando o valor de 1,25% do volume de entrada do sistema de acordo com a Análise do Comitê de Controle de Perdas de Água (2007) da *American Water Works Association* (AWWA). Já para o *Consumo não autorizado* utilizou-se o valor de 1,00% do volume que entra no sistema, conforme utilizado por Lambert e Taylor (2010), para países em desenvolvimento. Além disso, para os *erros das medições*, utilizou-se 14% do consumo medido, com base no estudo desenvolvido por Silva (2008), considerando a utilização de caixas d'águas nas economias.

4.3.1 Medição de Pressão

Segundo a CAGEPA (2020), a distribuição de água no município de Guarabira está definida em três áreas de influência. Cada área de influência com seu reservatório de distribuição geral e zona de pressão distinta. Além disso, a rede de distribuição de Guarabira, conta com alguns *Boosters* que são pressurizadores que auxiliam no controle da vazão em determinados pontos da cidade, possibilitando o abastecimento de forma integral na cidade.

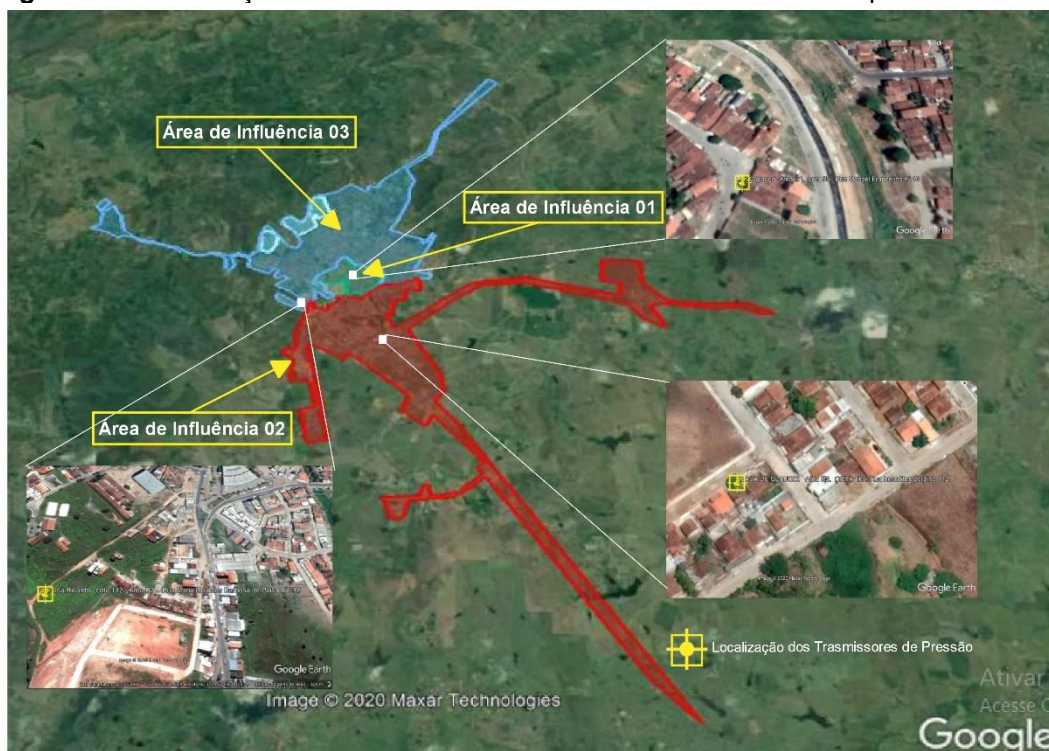
Importante destacar, que além da cidade e de algumas localidades rurais compõem as áreas de influência de Guarabira, também, estão inseridas as cidades de Araçagi (Área de Influência 02) e Pilõezinhos (Área de Influência 03) como apresentado abaixo na Tabela 2.

Tabela 1 – Áreas de Influência do sistema de distribuição de Guarabira.

Reservatório	Volume m ³	Área de Influência	Bairros
R1 apoiado	1000	01	Santa Terezinha e Centro
R2 EL	500	02	Areia Branca, Assis Chateaubriand, Clóvis Bezerra, Distrito Industrial, Esplanada, Lucas Porpino, Multirão, Rosário, São José, “ARAÇAGI cidade”, “SÍTIOS de Botija, Cachoeirinha, Contendas, Carrasco, Cipoal de Utinga, Encruzilhada, Lourenço, Maciel, Piripiri, Vila Clotilde, Sítio Boqueirão”.
R2 AP	3600	-	-
R3 EL	500	03	Alto da Boa Vista Bairro Novo, Bairro das Nações, Bela Vista, Cordeiro, Centro, Dona Dália, Edwaro Rocha, João Cassimiro, Juá, Monte das Oliveiras, Nordeste I, Nordeste II, Nsa Aparecida, Primavera, Sol Nascente, Sítio Itamatay, Vila Padre Cícero e “Pilõezinhos cidade”.

Fonte: CAGEPA (2020).

Segundo a CAGEPA (2020), no início do segundo semestre de 2019 foram instalados na rede de distribuição de Guarabira registradores de pressão, um em cada área de influência e pontos estratégicos conforme mostra a Figura 20.

Figura 20 – Localização das áreas de influências e dos transmissores de pressão.

Fonte: CAGEPA (2020, com adaptações).

Os registradores são transmissores de pressão de 0/5 BAR, com precisão de 025% F.E. O monitoramento é feito através de um software próprio no SCADA LTS, que apresenta os valores registrados, através de gráficos e planilhas, da pressão

diária da rede. Melato (2010), recomenda que a medição da pressão para o cálculo dos indicadores de performance, seja num período mínimo de 7 dias, com o intervalo mínimo possível que o equipamento permitir, não ultrapassando o intervalo máximo de 15 min, de modo que seja possível verificar se houve variações abruptas da pressão para a obtenção da pressão média da rede.

4.4 Análise de Dados

Ao alimentar as planilhas do *software*, deve-se estimar uma margem de erro para cada variável. Após uma breve análise de confiabilidade, e tomando como base, trabalhos desenvolvidos anteriormente: Miranda (2002), Melato (2010) e Lima (2018), adotou-se uma margem de erro de $\pm 5\%$ para os dados que foram medidos e se tem mais confiabilidade, e para os dados que foram estimados e cuja confiabilidade é menor, adotou-se uma margem de erro de $\pm 10\%$.

Após o levantamento dos dados citados no item anterior para cada município, foram calculados os balanços hídricos, apresentando a desagregação das parcelas de perdas do sistema, bem como, os indicadores de performance de perdas físicas e aparentes, apresentando a melhor estimativa, margem de erro calculada, limite superior e inferior, extraídos do *software WB-Easy Calc*. Por fim, foi gerado gráficos comparativos dos respectivos municípios, para facilitar a visualização dos resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Medição de Pressão

Obteve-se de cada registrador instalado nas áreas de influência da rede de distribuição de Guarabira, os dados de pressão média num período de 7 dias com intervalo de 6 minutos, como mostra a Figura (21).

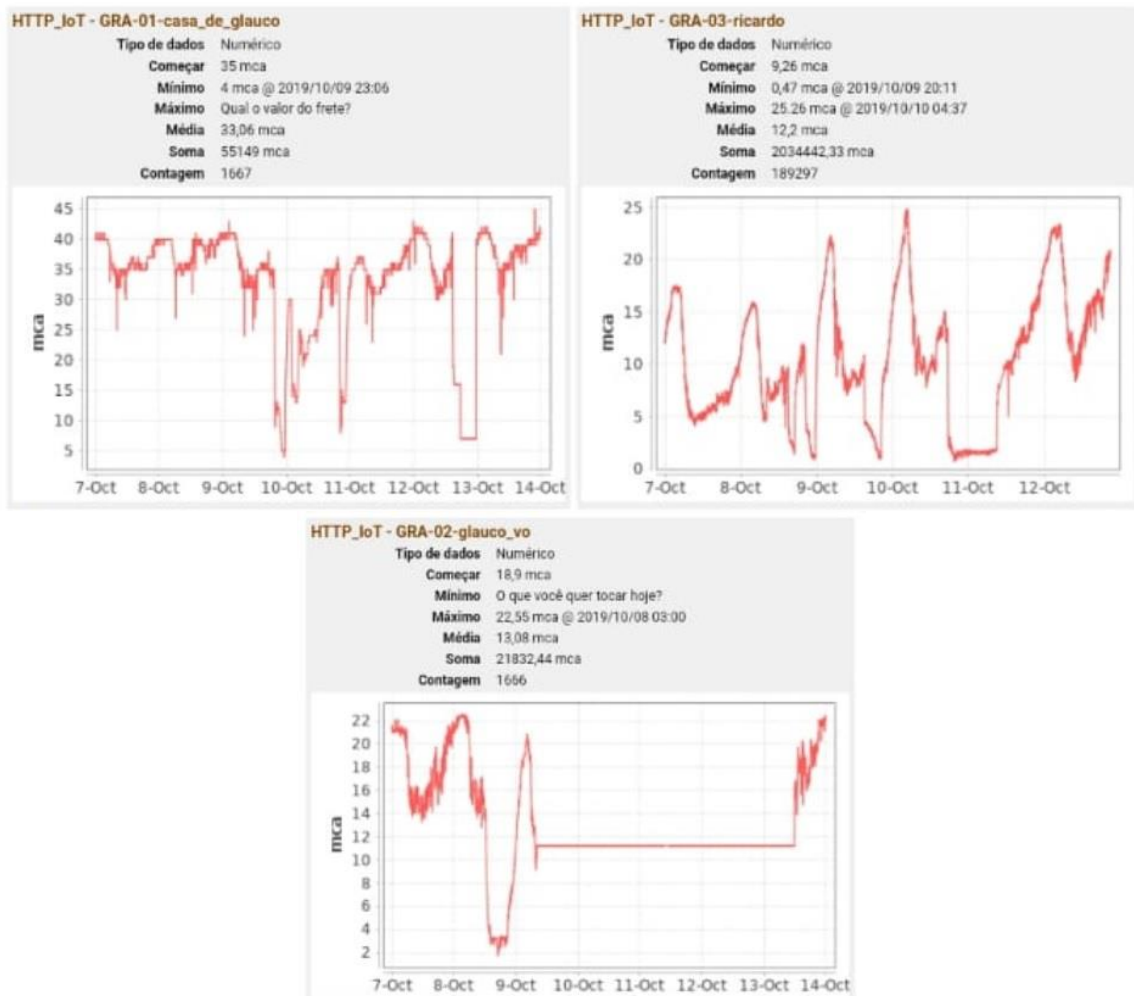
Figura 21 - Gráfico de pressão das áreas de influência.

GUARABIRA REDE DE DISTRIBUIÇÃO 07A14 / 10/2019

SCADA-LTS

Início do tempo de execução 2020/05/04 22:11
 Duração da execução 14.9s
 Período 2019/10/07 00:00 a 14/10/2019 00:00
 Registros 86610

Estatísticas



Fonte: CAGEPA (2020).

Como é possível observar, na área de influência 2 houve problemas no registro das pressões por cerca de três dias. Segundo o setor técnico operacional da Gerência Regional do Brejo, o problema ocorreu no momento da transmissão dos dados que é realizada remotamente via internet. Em vista disso, desprezou-se as medições de pressão nesses dias, obtendo-se uma nova pressão média para a área de influência.

5.2 Cálculo do Balanço Hídrico, Indicadores de Performance e Gráfico

A série de dados levantados e inseridos no *software* para o cálculo do Balanço Hídrico, com suas respectivas margens de erros estimadas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados dos municípios estudados para o ano de 2019.

Dados	Araçagi	Cuitegi	Guarabira	Pilõezinhos	Margem de erro (+/-%)
Volume de Entrada (m ³)	553.546	425.446	4.395.848	181.187	5
Consumo faturado medido (m ³)	314.775	222.751	2.226.178	94.408	-
Consumo faturado não medido (m ³)	92.776	85.559	666.516	44.838	-
Consumo faturado (m ³)	407.551	308.310	2.892.694	139.246	-
Consumo Autorizado NÃO Faturado (1,25%VE) (m ³)	6.919,33	5.318,08	54.948,10	2.264,84	10
Consumo não autorizado (1,00%VE) (m ³)	5.535,46	4.254,46	43.958,48	1.811,87	10
Imprecisões e erros dos medidores (%)	14	14	14	14	10
Extensão da Rede (km)	15,93	7,91	134,10	5,27	5
Pressão média (mca)	14,48	-	15,60*	12,20	10
Abastecimento intermitente (dias/semana)	7	7	7	7	5
Nº de Economias (Clientes) ativos	2.803	2.010	18.574	1.009	5
Nº de ligações ativas	2.790	2.005	18.139	1.009	5
Nº de ligações inativas	390	620	3.848	284	5
Tarifa Média (R\$/m ³)	4,76	4,76	4,76	4,76	-
Custo de Produção (R\$/m ³)	3,53	3,57	6,36	2,30	-

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2020.

(*) A margem de erro estimada foi de $\pm 5\%$.

Para todos os municípios, a coluna do volume não faturado medido da planilha foi deixada em branco, uma vez que o consumo não faturado também não é medido. Além disso, a extensão de rede foi obtida a partir dos dados do SNIS, com ano base de referência de 2018 e tarifa média de R\$ 4,76/m³ em 2019, considerada igual para todos os municípios do estado da Paraíba.

Como a cidade de Araçagi encontra-se inserida na Área de Influência 2 da cidade de Guarabira, utilizou-se para os cálculos dos indicadores de performance a pressão média desta área que através das medições resultou em 14,48 mca, com uma margem de erro estimada de $\pm 10\%$. Contudo, na cidade de Cuitegi não foi possível estimar a pressão média da rede, logo a coluna da planilha correspondente a pressão média foi deixada em branco.

A cidade de Guarabira possui uma topografia consideravelmente irregular, dessa forma, para a obtenção da pressão média da rede de distribuição fez-se uma média ponderada das pressões de cada área de influência que compõe o sistema do município, sendo as ligações ativas das áreas de influência o fator de ponderação, como recomenda Miranda (2002). Portanto, estimou-se uma pressão média de 15,60 mca, com uma margem de erro estimada de $\pm 5\%$.

De modo semelhante a Araçagi, a cidade de Pilõesinhos encontra-se inserida em uma área de influência do município de Guarabira, que corresponde a Área de Influência 3. Por isso, utilizou-se da pressão média desta área influência para o cálculo dos indicadores, que através das medições resultou em 12,20 mca com uma margem de erro estimada de $\pm 10\%$.

5.2.1 Araçagi

Após o preenchimento de todas as planilhas, foi obtido o balanço hídrico do município de Araçagi conforme mostra a Quadro 6. Observa-se que as perdas totais foram de 139.076 m³, subdividindo-se em 56.778 m³ para perdas aparentes (40,82% do total de perdas) e 82.298 m³ para as perdas reais (cerca de 59,18% das perdas totais). Logo, é possível notar que no município de Araçagi, as perdas reais foram relativamente maiores.

Quadro 6 - Balanço Hídrico do município de Araçagi.

Volume de Entrada no 553.546 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 5,0%	Consumo autorizado 414.470 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 0,2%	Consumo autorizado faturado 407.551 m ³ /ano	Consumo medido faturado 314.775 m ³ /ano	Água faturada 407.551 m ³ /ano
			Consumo não medido faturado 92.776 m ³ /ano	
	Perdas de água 139.076 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 19,9%	Consumo autorizado não faturado 6.919 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 10,0%	Consumo medido não faturado 0 m ³ /ano	Água não faturada 145.995 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 19,0%
			Consumo não medido não faturado 6.919 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
		Perdas Aparentes 56.778 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 9,1%	Consumo não autorizado 5.535 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
			Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 51.242 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
	Perdas Reais 82.298 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 34,2%			

Fonte: Software WB-Easy Calc (2020).

Em seguida, foram obtidos os indicadores de performance, enfatizando os de perdas reais e aparentes (Tabela 3): A estimativa para o IIE foi de 6, indicando quantas vezes o sistema está pior que um sistema ideal, e as perdas físicas 71 L/ligação/dia. O município de Araçagi enquadrou-se no grupo de performance B, por estar inserido em um país em desenvolvimento, que segundo o Banco Mundial há potencial para melhorias significativas: gerenciamento de pressão, práticas melhores de controle ativo de vazamentos e, uma melhor manutenção de rede. Quanto as perdas aparentes, foi obtida a estimativa de 14% do consumo autorizado, chegando a 49 L/ligação/dia.

Tabela 3 – Indicadores de Performance de Perdas Reais e Aparentes do município de Araçagi.

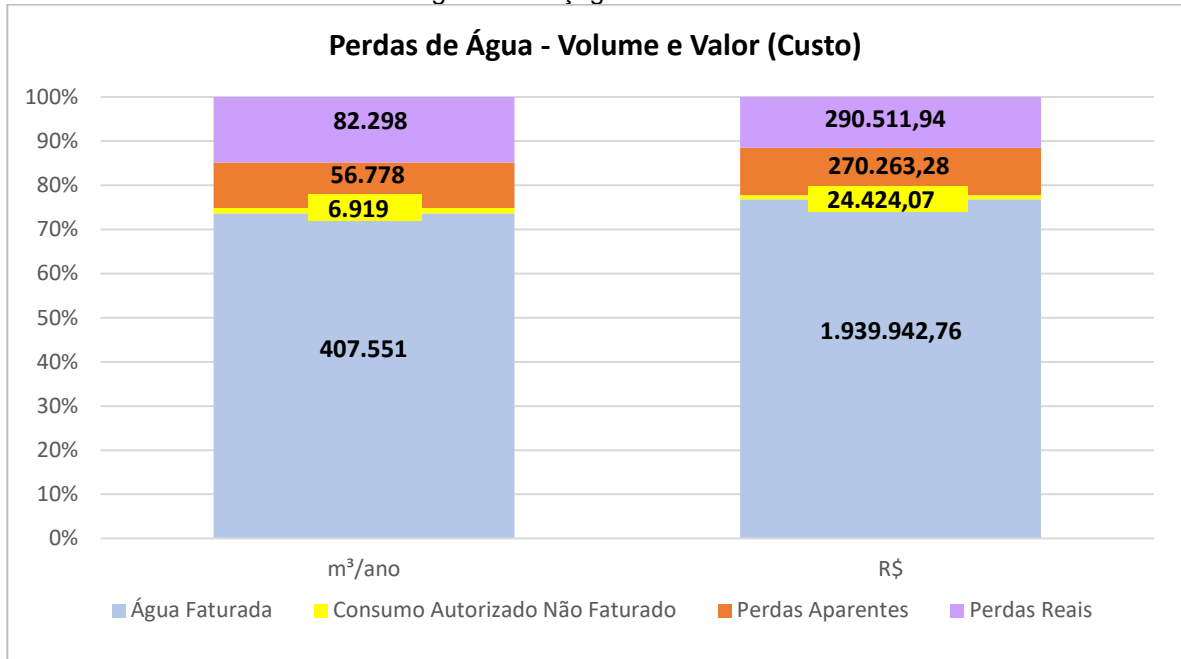
Indicadores de Performance de perdas reais					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior	País Desenvolvido	País em Desenvolvimento
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	6	36%	4	7	C	B
Litros por ligação por dia (q.s.p.)	71	35%	46	95		
q.s.p.: quando o sistema está pressurizado – isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento						
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	5	36%	3	7		
m ³ /km rede por hora (q.s.p.)	0,59	34%	0,39	0,79	Explicações	Explicações
Indicadores de Performance de perdas aparentes						
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior		
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	14%	9%	12%	15%		
litros/ligação/dia	49	10%	44	54		
litros/cliente/dia	55	10%	50	61		

Fonte: Software WB-Easy Calc (2020).

Para uma melhor visualização dos resultados, foram gerados gráficos, onde o primeiro representa as Perdas de Água em volume (m³/ano) e Valor/Custo (R\$), subdividido em parcelas de água faturada, consumo autorizado não faturado, perdas reais e aparentes (Gráfico 1). Observa-se que os custos associados ao volume perdido de água foram em torno de R\$ 560,775 mil, subdividindo-se em cerca de R\$ 270,263 mil para perdas aparentes e cerca de R\$ 290,512 mil para as perdas reais.

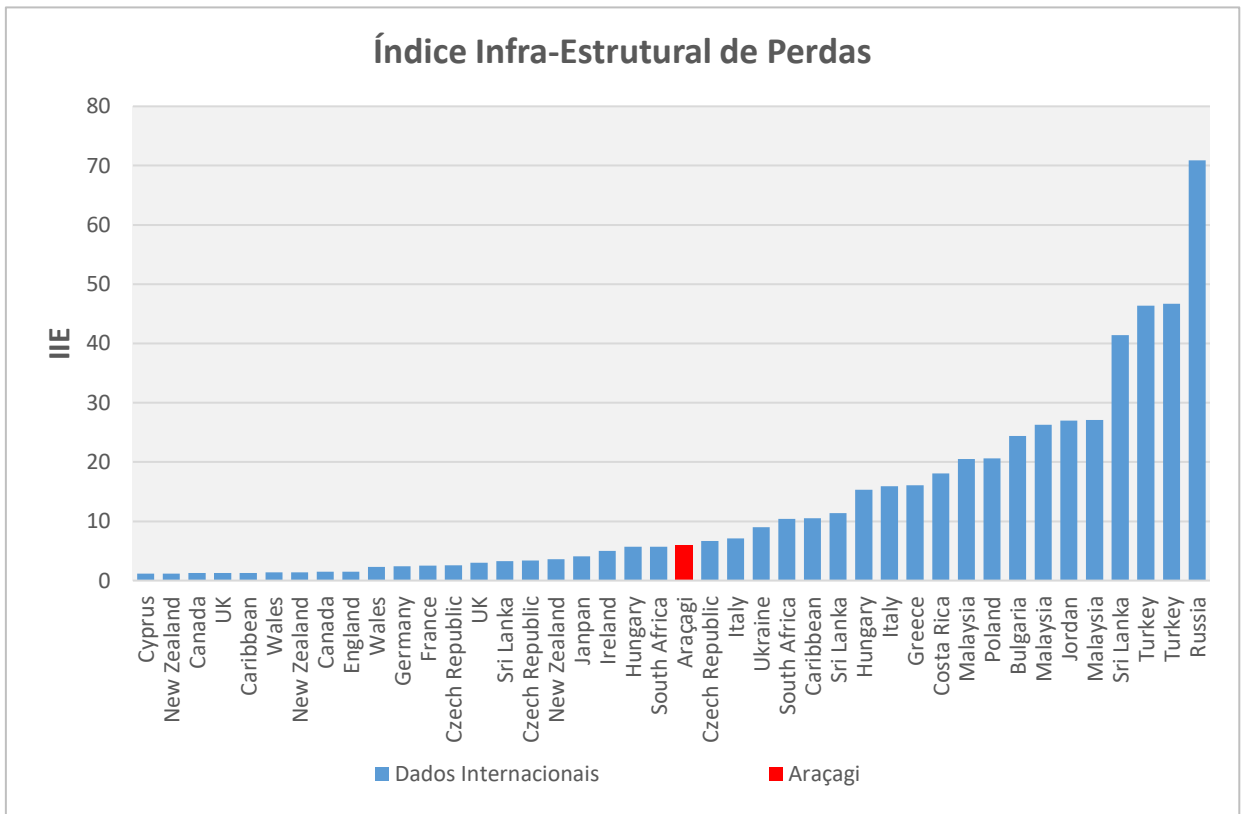
O segundo gráfico, compara o IIE do município de Araçagi com os dados internacionais obtidos de países desenvolvidos e em desenvolvimento, a partir do *Benchmarking* Internacional proposto por Seago *et. al* (2005) (Gráfico 2).

Gráfico 1 – Gráfico de Perdas de Água de Araçagi.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Gráfico 2 - Gráfico comparativo do IIE entre o município de Araçagi e os dados internacionais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

5.2.2 Cuitegi

Com o preenchimento de todas as planilhas, foi obtido o balanço de Cuitegi conforme mostra a Quadro 7. Observa-se que as perdas totais foram de 111.818 m³, subdividindo-se em 40.516 m³ para perdas aparentes (36,23% do total de perdas) e 71.302 m³ para as perdas reais (cerca de 63,77% das perdas totais). Logo, é possível notar que no município de Cuitegi, as perdas foram predominantemente reais.

Quadro 7 - Balanço Hídrico do município de Cuitegi.

Volume de Entrada no 425.446 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 5,0%	Consumo autorizado 313.628 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 0,2%	Consumo autorizado faturado 308.310 m ³ /ano	Consumo medido faturado 222.751 m ³ /ano	Água faturada 308.310 m ³ /ano
			Consumo não medido faturado 85.559 m ³ /ano	
		Consumo autorizado não faturado 5.318 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 10,0%	Consumo medido não faturado 0 m ³ /ano	Água não faturada 117.136 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 18,2%
		Consumo não medido não faturado 5.318 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 10,0%		
	Perdas de água 111.818 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 19,0%	Perdas Aparentes 40.516 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 9,0%	Consumo não autorizado 4.254 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
			Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 36.262 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
Perdas Reais 71.302 m ³ /ano Margem de erro [+/-] 30,3%				

Fonte: Software WB-Easy Calc (2020).

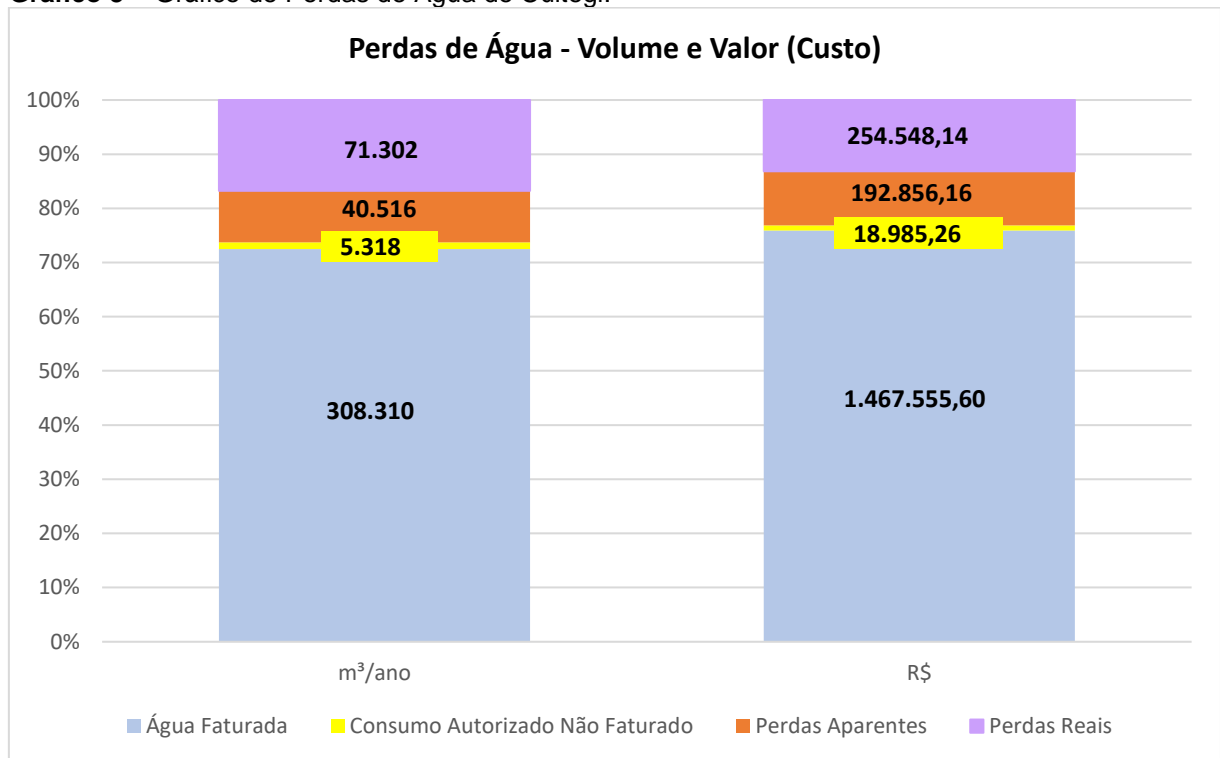
Posteriormente, foram obtidos os indicadores de performance, enfatizando os de perdas reais e aparentes (Tabela 4): Não foi possível obter o indicador do IIE, pois não houve registro de pressão para a estimativa da pressão média, sendo este, um dado crucial para o cálculo do indicador, como também não foi possível enquadrar a cidade em algum grupo de performance. Porém, pode-se obter as perdas físicas, correspondendo a um valor de 74 L/ligação/dia e as perdas aparentes, a estimativa de 13% do consumo autorizado, chegando a 42 L/ligação/dia.

Tabela 4 - Indicadores de Performance de Perdas Reais e Aparentes do município de Cuitegi.

Indicadores de Performance de perdas reais					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior	País Desenvolvido	País em Desenvolvimento
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	0	32%	0	0	Explicações	Explicações
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	74	32%	51	98		
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	0	32%	0	0		
m ³ /km rede por hora (q.s.p.)	1,03	32%	0,70	1,36		
Indicadores de Performance de perdas aparentes						
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior		
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	13%	3%	12%	14%		
litros/ligação/dia	42	10%	38	46		
litros/cliente/dia	55	10%	50	61		

Fonte: Software WB-Easy Calc (2020).

Para uma melhor visualização dos resultados, foi gerado o gráfico das Perdas de Água em Volume (m³/ano) e Valor/Custo (R\$), subdividido em parcelas de água faturada, consumo autorizado não faturado, perdas reais e aparentes (Gráfico 3). Observa-se que os custos associados ao volume perdido de água foram em torno de R\$ 447,404 mil, subdividindo-se em cerca de R\$ 192,856 mil para perdas aparentes e cerca de R\$ 254,548 mil para as perdas reais.

Gráfico 3 – Gráfico de Perdas de Água de Cuitegi.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

5.2.3 Guarabira

Com o preenchimento de todas as planilhas, foi obtido o balanço hídrico do município de Guarabira conforme mostra a Quadro 8. Nota-se que as perdas totais foram de 1.448.206 m³, subdividindo-se em 406.359 m³ para perdas aparentes (28,06% do total de perdas) e 1.041.846 m³ para as perdas reais (cerca de 71,94% das perdas totais). Logo, é possível notar que no município de Guarabira, as perdas foram predominantemente reais.

Quadro 8 - Balanço Hídrico do município de Guarabira.

Volume de Entrada no 4.395.848 m3/ano Margem de erro [+/-] 5,0%	Consumo autorizado 2.947.642 m3/ano Margem de erro [+/-] 0,2%	Consumo autorizado faturado 2.892.694 m3/ano	Consumo medido faturado 2.226.178 m3/ano	Água faturada 2.892.694 m3/ano
			Consumo não medido faturado 666.516 m3/ano	
		Consumo autorizado não faturado 54.948 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	Consumo medido não faturado 0 m3/ano	Água não faturada 1.503.154 m3/ano Margem de erro [+/-] 14,6%
		Consumo não medido não faturado 54.948 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,0%		
	Perdas de água 1.448.206 m3/ano Margem de erro [+/-] 15,2%	Perdas Aparentes 406.359 m3/ano Margem de erro [+/-] 9,0%	Consumo não autorizado 43.958 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
			Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 362.401 m3/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
	Perdas Reais 1.041.846 m3/ano Margem de erro [+/-] 21,4%			

Fonte: Software WB-Easy Calc (2020).

Em seguida, foram obtidos os indicadores de performance, enfatizando os de perdas reais e aparentes (Tabela 5): A estimativa para o IIE foi de 9, indicando quantas vezes o sistema está pior que que um sistema ideal, e as perdas físicas 130 L/ligação/dia. Guarabira enquadrou-se no grupo de performance C, por estar inserida em um país em desenvolvimento, que segundo o Banco Mundial significa que há registro deficiente de vazamentos, tolerável somente se a água for abundante e barata. Quanto as perdas aparentes, foi obtida a estimativa de 14% do consumo autorizado, chegando a 51 L/ligação/dia.

Tabela 5 - Indicadores de Performance de Perdas Reais e Aparentes do município de Guarabira.

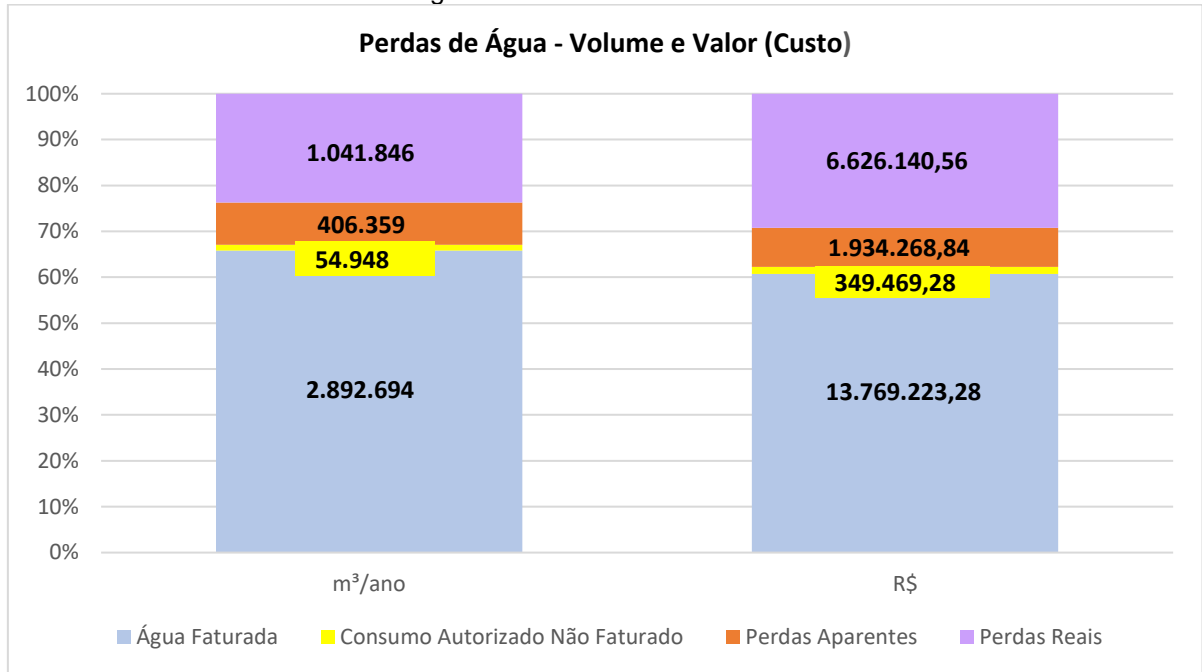
Indicadores de Performance de perdas reais					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior	País Desenvolvido	País em Desenvolvimento
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	9	23%	7	11	D	C
Litros por ligação por dia (q.s.p.)	130	22%	101	159		
q.s.p.: quando o sistema está pressurizado – isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no						
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	8	23%	6	10		
m ³ /km rede por hora (q.s.p.)	0,89	22%	0,69	1,08	Explicações	Explicações
Indicadores de Performance de perdas aparentes						
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior		
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	14%	9%	13%	15%		
litros/ligação/dia	51	10%	46	56		
litros/cliente/dia	60	10%	54	66		

Fonte: Software WB-Easy Calc (2020).

Para uma melhor visualização dos resultados, foram gerados gráficos, onde o primeiro representa as Perdas de Água em volume (m³/ano) e Valor/Custo (R\$), subdividido em parcelas de água faturada, consumo autorizado não faturado, perdas reais e aparentes (Gráfico 4). Observa-se que os custos associados ao volume perdido de água foram em torno de R\$ 8,560 milhões, subdividindo-se em cerca de R\$ 1,934 milhões para perdas aparentes e cerca de R\$ 6,626 milhões para às perdas reais.

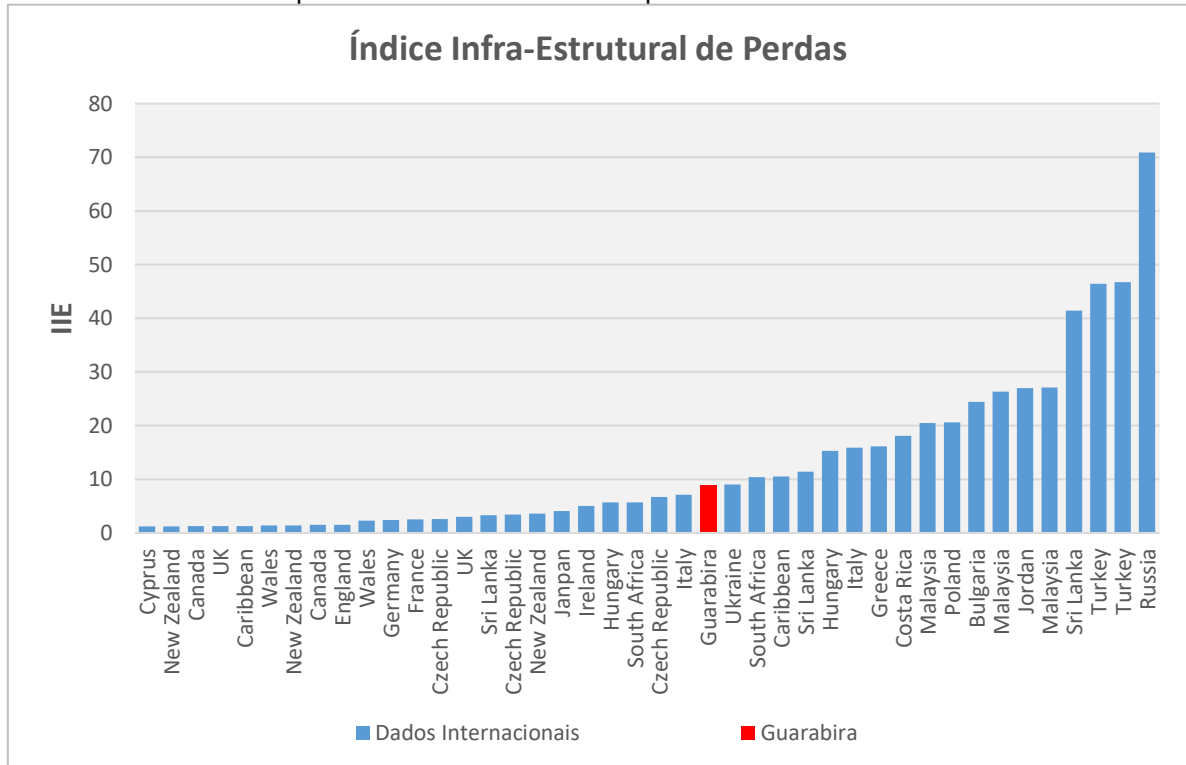
O segundo gráfico, compara o IIE do município de Guarabira com os dados internacionais obtidos de países desenvolvidos e em desenvolvimento, a partir do *Benchmarking* Internacional proposto por Seago *et. al* (2005) (Gráfico 5).

Gráfico 4 – Gráfico de Perdas de Água de Guarabira.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Gráfico 5 – Gráfico comparativo do IIE entre o município de Guarabira e os dados internacionais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

5.2.4 Pilõezinhos

Após o preenchimento de todas as planilhas, foi obtido o balanço hídrico correspondente ao município de Pilõezinhos conforme mostra a Quadro 9. Observa-se que as perdas totais foram de 39.676 m³, subdividindo-se em 17.181 m³ para perdas aparentes (43,30% do total de perdas) e 22.496 m³ para as perdas reais (cerca de 56,70% das perdas totais). Logo, é possível notar que no município de Pilõezinhos, as perdas reais foram relativamente maiores.

Quadro 9 - Balanço Hídrico do município de Pilõezinhos.

Volume de Entrada no 181.187 m³/ano Margem de erro [+/-] 5,0%	Consumo autorizado 141.511 m³/ano Margem de erro [+/-] 0,2%	Consumo autorizado faturado 139.246 m³/ano	Consumo medido faturado 94.408 m³/ano	Água faturada 139.246 m³/ano	
			Consumo não medido faturado 44.838 m³/ano		
	Perdas de água 39.676 m³/ano Margem de erro [+/-] 22,8%	Consumo autorizado não faturado 2.265 m³/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	Perdas Aparentes 17.181 m³/ano Margem de erro [+/-] 9,0%	Consumo medido não faturado 0 m³/ano	Água não faturada 41.941 m³/ano Margem de erro [+/-] 21,6%
				Consumo não medido não faturado 2.265 m³/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	
		Perdas Reais 22.496 m³/ano Margem de erro [+/-] 40,9%	Consumo não autorizado 1.812 m³/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 15.369 m³/ano Margem de erro [+/-] 10,0%	

Fonte: Software WB-Easy Calc (2020).

Em seguida, foram obtidos os indicadores de performance, enfatizando os de perdas reais e aparentes (Tabela 6): A estimativa para o IIE foi de 4, indicando quantas vezes o sistema está pior que que um sistema ideal, e as perdas físicas 48 L/ligação/dia. O sistema de Pilõezinhos enquadrou-se no grupo de performance B, por estar inserido em um país em desenvolvimento, que segundo o Banco Mundial há potencial para melhorias significativas: gerenciamento de pressão, práticas melhores de controle ativo de vazamentos e, uma melhor manutenção de rede. Quanto às perdas aparentes, foi obtida a estimativa de 12% do consumo autorizado, chegando a 36 L/ligação/dia.

Tabela 6 - Indicadores de Performance de Perdas Reais e Aparentes do município de Pilõezinhos.

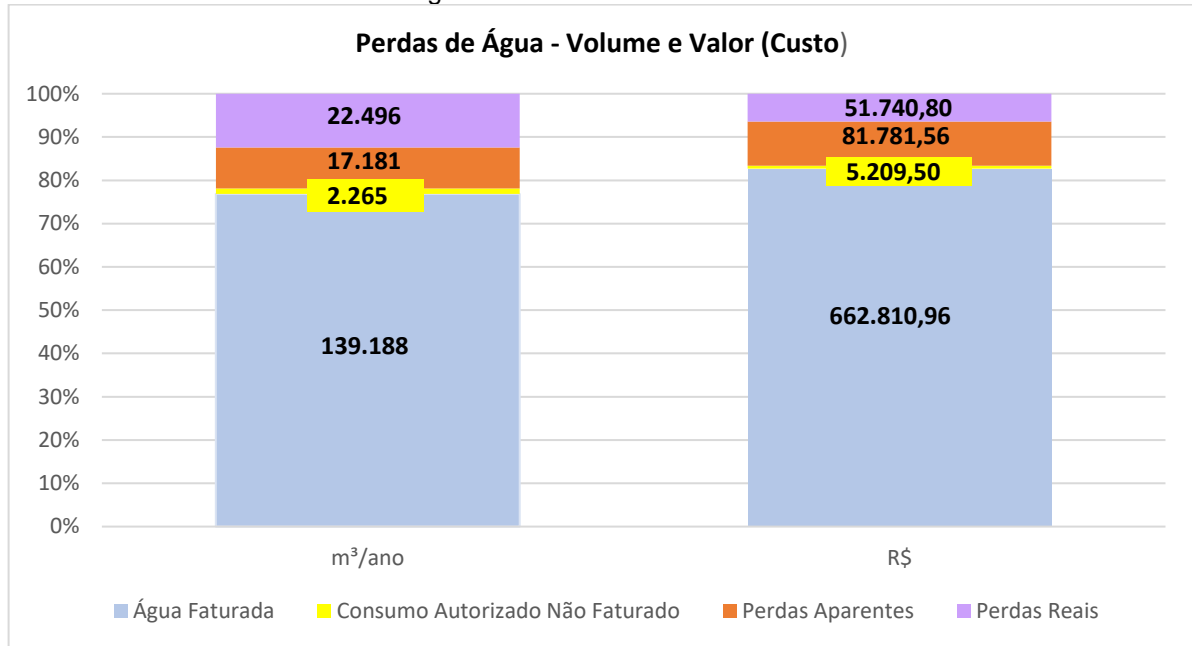
Indicadores de Performance de perdas reais					Grupo de performance	
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior	País Desenvolvido	País em Desenvolvimento
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	4	43%	3	6	C	B
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no	48	41%	28	67		
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	4	43%	2	6		
m ³ /km rede por hora (q.s.p.)	0,49	41%	0,29	0,69		
Indicadores de Performance de perdas aparentes					Explicações	Explicações
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior		
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	12%	9%	11%	13%		
litros/ligação/dia	36	10%	33	40		
litros/cliente/dia	47	10%	42	51		

Fonte: Software WB-Easy Calc (2020).

Para uma melhor visualização dos resultados, foram gerados gráficos, onde o primeiro representa as Perdas de Água em volume (m³/ano) e Valor/Custo (R\$), fracionado em parcelas de água faturada, consumo autorizado não faturado, perdas reais e aparentes (Gráfico 6). Nota-se que os custos associados ao volume perdido de água foram de R\$ 133,522 mil, subdividindo-se em cerca de R\$ 51,441 mil para perdas reais e cerca de R\$ 81,782 mil para as aparentes

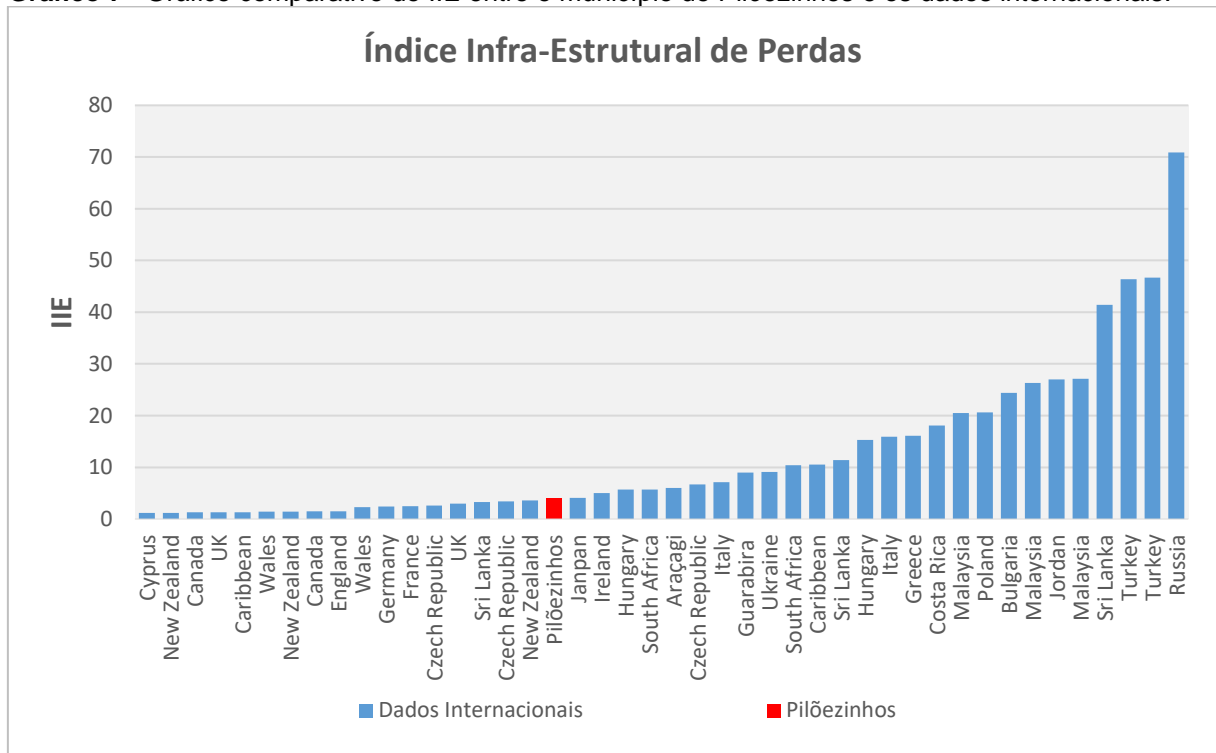
O segundo gráfico, compara o IIE do município de Pilõezinhos com os dados internacionais obtidos de países desenvolvidos e em desenvolvimento, a partir do *Benchmarking* Internacional proposto por Seago *et. al* (2005) (Gráfico 7).

Gráfico 6 – Gráfico de Perdas de Água de Pilõezinhos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Gráfico 7– Gráfico comparativo do IIE entre o município de Pilõezinhos e os dados internacionais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

5.3 Resumo dos principais resultados

A Tabela 7 traz um resumo dos principais resultados obtidos dos municípios em estudo, com a aplicação do método do balanço hídrico utilizando o *software WB - Easy Calc (v6.12)*.

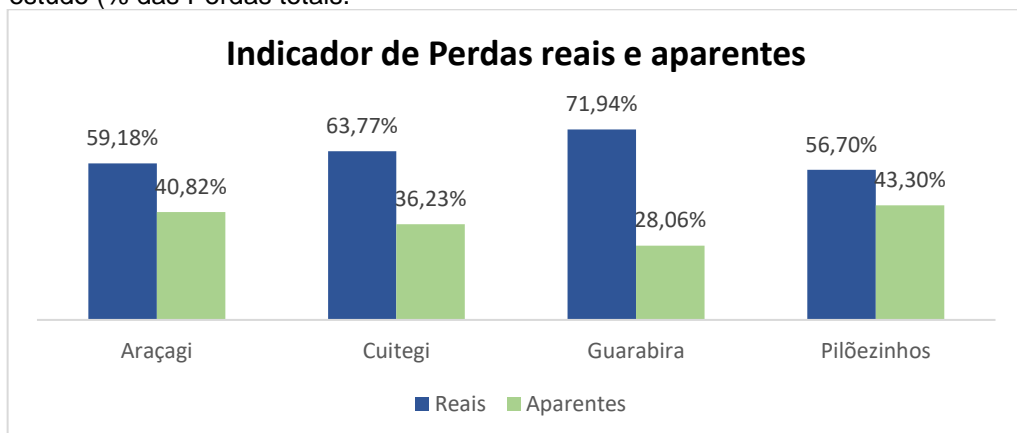
Tabela 7 – Comparativo dos principais resultados obtidos.

Cidade	% das Perdas Totais		IIE	Grupo de Performance	Perdas Reais (L/ligação.dia)	Perdas Aparentes (L/ligação.dia)	Perdas Comerciais (% Consumo Autorizado)
	Reais	Aparentes					
Araçagi	59,18	40,82	6	B	71	49	14
Cuitegi	63,77	36,23	-	-	74	42	13
Guarabira	71,94	28,06	9	C	130	51	14
Pilõesinhos	56,70	43,30	4	B	48	36	12

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Pôde-se notar a partir dos resultados apresentados, que as perdas de águas dos sistemas de Guarabira e Cuitegi foram predominantemente reais. Guarabira apresentou 71,94% de perdas reais e Cuitegi 63,77%. Já os sistemas dos municípios de Araçagi e Pilõesinhos, obtiveram perdas, levemente equilibradas. O sistema de Araçagi obteve 59,18% de perdas reais e 40,82% de perdas aparentes. Já o sistema de Pilõesinhos, obteve 56,70% de perdas reais e 43,30% de perdas aparentes conforme mostra o Gráfico 8.

Gráfico 8 – Indicador Percentual de Perdas reais e aparentes dos municípios em estudo (% das Perdas totais).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Ao analisar o IIE e as perdas reais em L/ligação/dia de todos os municípios, verificou-se que o sistema de Guarabira é o que se encontra na pior condição. O valor IIE do sistema de Guarabira foi 9, indicando que o sistema está 9 vezes pior do que o nível tecnicamente aceitável, enquadrando-se segundo os padrões do Banco Mundial no grupo de performance C, o que indica que há registro deficiente de vazamentos, tolerável somente se a água for abundante e barata.

Quanto às perdas reais, estas foram de 130 L/ligação/dia para o sistema de Guarabira, ao passo que para o sistema de Cuitegi, foram de 74 L/ligação/dia. Porém, devido à ausência de dados de pressão no sistema de Cuitegi, não foi possível obter o IIE e nem o enquadrar em um grupo de performance.

Notou-se a partir da Tabela 7, que apesar dos valores de IIE dos sistemas dos municípios de Araçagi e Pilõezinhos não terem sido iguais, enquadraram-se no grupo de performance B, que segundo o Banco Mundial, significa que há potencial para melhorias significativas para a redução das perdas reais. O valor encontrado para o sistema de Araçagi foi de 6, já para Pilõezinhos resultou num valor de 4, indicando também, quantas vezes esses sistemas estão distantes do nível tecnicamente aceitável.

Quanto as perdas comerciais (aparentes) em % do Consumo Autorizado, todos os sistemas obtiveram valores aproximados, conforme mostrado na Tabela 7.

6 CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos neste trabalho, pôde-se observar que com aplicação do método do Balanço Hídrico e a construção dos principais indicadores de desempenho propostos pela IWA, a partir do *software WB-Easy Calc (v 6.12)*, foi possível obter um detalhamento e análise das perdas reais e aparentes de cada município em estudo. Apesar do tipo de abastecimento das cidades serem do tipo integrado, houve resultados de diagnósticos distintos de perdas, o que leva a estratégias e ações de redução de perdas diferentes.

Conforme os resultados apresentados para cada município, foi observado que os níveis de perdas foram maiores no município de Guarabira, responsável pela maior demanda de água. Além disso, o perfil de perdas para os municípios de Guarabira e Cuitegi foram, predominantemente reais, logo é necessária uma atenção nas ações de redução de perdas reais. Já para os municípios de Araçagi e Pilõezinhos, a tipificação das perdas foram levemente equilibradas. Assim, indica-se observar a viabilidade da aplicação das estratégias e ações básicas para redução dos dois tipos de perdas (reais e aparentes), uma vez pode não ser econômica.

Constatou-se também, que houve pouca variação do indicador percentual das perdas comerciais (% consumo autorizado) entre os quatro municípios, em consequência, da estimativa aplicada nas variáveis inseridas no *software* que não foram possíveis ser obtidas a partir de medições.

Quando não é possível obter esses dados a partir de medições, acaba-se muitas vezes usando valores padrões baixos, normalmente obtidos a partir de sistemas bem gerenciados de países desenvolvidos, o que pode não corresponder aos sistemas de países em desenvolvimento. Por isso, é de suma importância a inspeção dos sistemas operacional e comercial, a partir da atualização do histórico de dados, implantação da setorização e aumento da macromedição. Além disso, realizar ensaios para a avaliação das perdas aparentes, de maneira que confronte os resultados e permita a calibração das variáveis, de forma a buscar resultados mais precisos.

De acordo com os gráficos obtidos de Perdas de Água – Volume/Custo, o município de Guarabira obteve o maior custo associado ao volume de água perdido, com ênfase no volume das perdas reais, enquanto o município de Pilõezinhos, obteve

o menor custo relacionado ao volume de perdas de água, onde o maior custo foi relacionado ao volume de perdas aparentes.

Cabe ressaltar, que o *software WB – Easy Calc* apresenta os resultados na sua melhor estimativa e margem de erro, levando em consideração a margem de erro estimada para cada variável. Contudo, essas estimativas de erros não alteram o resultado da melhor estimativa e sim nos resultados do limite inferior e superior. Sugere-se sempre trabalhar com os resultados da melhor estimativa, uma vez que serão utilizados apenas para definição de estratégias e direcionamento das ações.

Neste sentido, nota-se que o método do Balanço Hídrico é um método simples, prático e acessível para o diagnóstico de perdas e direcionamento da tomada de decisões para reduzi-las. Quando o Balanço Hídrico é combinado com outros métodos como a avaliação mínima noturna, pode trazer resultados ainda mais precisos. Dessa forma, é importante que sua aplicação seja atualizada anualmente, com comprometimento e envolvimento de cada setor da companhia de saneamento.

7 REFERÊNCIAS

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Controle e Redução de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água** – Posicionamento e Construções Técnicas da ABES, 2015.

_____. **Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: Diagnóstico, Potencial de Ganhos com a sua Redução e Propostas de Medidas para Efetivo Combate.** 2013.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DE ÁGUAS DA PARAÍBA – AESA. **Sistema Hídrico e Açudagem da Bacia do rio Mamaguape.** Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Drones – SIG, 2020. Disponível em: <<http://siegrh.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-sig/>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017.** Brasília, 2017.

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019.** Brasília, 2019.

_____. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 e Agenda 2030 são tema do Webinar de Capacitação da ANA.** Notícias. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias.>>. Acesso em: 30 set. 2020.

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M.; PARENA, R. **Performance indicators for water supply services.** 1 ed. London: *Manual of Best Practice Series, IWA Publishing*, ISBN 1 900222 27 2, 2000.

_____. **Performance indicators for water supply services.** 3 ed. London: *Manual of Best Practice Series, IWA Publishing*, 2016.

ARREGUI, F. J.; CABRERA, E.; COBACHO, R.; GARCÍA-SERRA, J. *Reducing apparent losses caused by meters inaccuracies.* **Water Practice and Technology**, v. 1, n. 4, 2006.

ARIKAWA, K. C. O. **Perdas Reais em Sistemas de Distribuição de Água** – Proposta de Metodologia para Avaliação de Perdas Reais e Definição das Ações de Controle. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO BÁSICO - AESBE. **Guia Prático para Quantificação de Balanços Hídricos e Indicadores de Desempenho Operacional.** AESBE, Brasília, 2015.

BRASIL. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil.** Disponível em <http://ideme.pb.gov.br/servicos/perfis-do-hm/atlasidhm2013_perfil_guarabira_pb.pdf>. Acesso: 14 jul. 2020.

_____. **Lei nº 9433/97 de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, D.F. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 05 de abr. 2020.

_____. **Lei nº 11445/07 de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=11445&ano=2007&ato=9bacXWU90MRpWTad7>>. Acesso em: 24 jan. 2020.

_____, **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de Saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, 2017. Disponível em: <<https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>>. Acesso em: 07 de abr. 2020.

_____. **Lei nº 14026/20 de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do Saneamento Básico e altera a Lei 9.984 de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União, 16 de julho de 2020. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2020/lei-14026-15-julho-2020-790419-veto-republicacao-161106-pl.html>>. Acesso em: 01 de ago. 2020.

BISWAS, A. K.; TORTAJADA, C. *Water Crisis: Myth or Reality?*. **Seronica Journal**, v. 1. n. 2, 2010.

BERG, S. **Water utility benchmarking: Measurement, methodologies, and performance incentives**, International Water Association Publishing, London, 2010.

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P.B. **Perdas de água: Tecnologias de controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.

BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. **Tratamento de água e efluentes: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2014.

CARVALHO, Hugo R. Fontes. **Redução de perdas de água em sistemas de abastecimento de água**. Definição de critérios para delimitação de zonas de medição e controle. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, Porto, 2014.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DA PARAÍBA – CAGEPA. **Comunicação pessoal**. 2020.

CERQUEIRA, L. O. **Diagnóstico e proposta de mitigação das perdas reais em sistemas de distribuição de água** – Estudo de caso do SIAA Zona Fumageira – Cruz das Almas – BA. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitarista e Ambiental) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnologias, Cruz das Almas, 2013.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Editora ABRH, 2013.

CONNOR, R.; UHLENBROOK, S.; KONCAGÜL, E. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019**: Não deixar ninguém para trás. Resumo Executivo. Recuperado de *World Water Assessment Programme WWAP, UN-Water*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303_por>. Acesso em: 06 de abr. 2020.

CONSUMO SUSTENTÁVEL. **Manual de educação**. Brasília: *Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC*, 2005.

DINIZ, A. R. S. **Avaliação do controle de perdas físicas em redes de distribuição de água na região metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação do curso de Engenharia Civil, Campinas, 2012.

FARLEY, M.; TROW, S. **Losses in wáter distribution networks, a Practioner's guide to assessment, monitoring and control**, 2003.

FLICK, U. **Introdução à metodologia de pesquisa**: um guia para iniciantes. Porto Alegre: Penso, 2013.

GANJIDOOST, A.; KNIGHT, M. A.; UNGER, A. J. A.; HAAS, C. T. **Benchmark performance indicators for utility water and wastewater pipelines infrastructure**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0000890>>. Acesso em: 09 de abr. 2020.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2 ed. Oficina de Textos, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GUNTHER, H. Pesquisa Qualitativa versus Pesquisa Quantitativa: esta é a questão? *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, v. 22, n. 2, p. 201-210, maio-ago, 2006.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Saneamento básico**. Ago. 2007. Notas de aula IT, v. 179. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Capit%204%20parte%202.pdf>>. Acesso em: 11 de abr. 2020.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010a. 1 v.

_____. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010a. 2 v.

HOWE, K. J., HAND, D. W., CRITTENDEN, J. C., TRUSSELL, R. R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Princípios de tratamento de água**. Tradução Noveritis do Brasil; Revisão técnica Elvis Carissimi. – São Paulo, SP: Cengage, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 31 de mar 2020.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL E ESTADUAL - IDEME. **Produto Interno Bruto dos municípios da Paraíba de 2014**. Governo do Estado da Paraíba. Secretaria de Estado do Planejamento e Gestão, 2014. Disponível em: <http://ideme.pb.gov.br/servicos/pib/nota-tecnica_pib-municipal_2014.pdf/view>. Acesso em: 30 de mar. 2020.

LAMBERT, A. **Managing Leakage - Report E - Interpreting Measured Night Flows**. Water Research Centre. Water Services Association, Water Companies Association, Londres, 1994.

LAMBERT, A.; TAYLOR R. **Water loss guidelines. A guideline for the New Zealand water and wastes association: water New Zealand, New Zealand, 2010.**

LAMBERT, A.; CHARALAMBOUS, B.; FANTOZZI, M.; KOVAC, J.; RIZZO, A.; GALEA ST JOHN, S. **14 Years Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe**. In: *Proceedings of IWA Specialized Conference: Water Loss*. 2014.

LIEMBERGER & PARTNERS. **WB – Easy Calc**. Disponível em: <<http://www.liemberger.cc/>>. Acesso em: 24 de abr. 2020.

LIMA, L. O. **Estimativa dos tipos de perdas de água pelo método balanço hídrico no sistema de abastecimento em cidades da grande João Pessoa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário de João Pessoa, João Pessoa, 2018.

MACÊDO, Jorge Luiz de. **Análise do sistema de abastecimento de água de São Raimundo Nonato - Piauí da companhia de saneamento básico sob o foco do planejamento e controle da produção**. Dissertação (Mestrado em engenharia de Produção) – Universidade Paulista, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, São Paulo, 2016.

MARTINS, V. **Elaboração de plano diretor de combate a perdas de água do sistema de abastecimento do município de Candido Mota**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração de Empresas) – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, 2012.

MEDEIROS, L. E. L. **Utilização dos indicadores convencionais e de satisfação dos usuários para avaliação da qualidade do serviço de abastecimento de água na cidade de Campina Grande/PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação do Curso Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande, 2017.

MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2010.

MELO, C. S. T. **Avaliação da qualidade da água da captação e do sistema de abastecimento de Fagilde, Viseu.** Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Instituto Politécnico de Viseu, Departamento de Ambiente, Viseu, Portugal, 2018.

MENESES, Ronaldo Amâncio. **Diagnóstico Operacional de Sistemas de Abastecimento de Água: o caso de Campina Grande.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação do Curso Civil e Ambiental, Campina Grande, 2011.

MIRANDA, C. M. **Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água: Indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade,** 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília. 2002.

_____. Gerenciamento de perdas de água. In: HELLER, L.; PÁDUA, V.L. (Org). **Abastecimento de água para consumo humano.** 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. cap.17. p 801-828, 2 v.

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. **Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda.** *Water SA*, 2011. 37(4). p. 567-574.

NASCIMENTO, F. P. Classificação da pesquisa. Natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos. In: _____. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática – como elaborar TCC.** Brasília: Thesaurus, 2016. cap. 6.

OLIVEIRA, M. L. **Desenvolvimento de método para avaliação de desempenho de sistemas de abastecimento de água: Aplicação ao Caso da RIDE DF e Entorno.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Distrito Federal, 2016.

PINHO, A.; OLIVEIRA JUNIOR, A.P.O.; VELOSO, C. F.; KAMEDA, O. T.; CEPEDA, R.G. **Gestão e controle de perdas de águas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIFAAT, Atibaia, 2018.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA ESGOTO - SAAE. **Sistema de Tratamento de Água.** Aracruz, 2006. Disponível em:

<https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf>. Acesso em: 11 de abr. 2020.

SANTOS, D. D. **Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em sistema de distribuição no Recife-PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2013.

SANTOS, R. H. C. **Análise da oferta x demanda hídrica no sistema de abastecimento de água da cidade de Guarabira/PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Campina Grande, 2017.

SANTOS, R. H. C.; MEDEIROS, E. L. L.; RAMOS FILHO, R.S.; BARBOSA, D. L.; RODRIGUES, A.C.L. **Elaboração de um índice de qualidade do sistema de abastecimento de água da cidade de Guarabira - pb**. In: CONIMAS, 1., CONIDIS, 3., Campina Grande, 2019. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <<http://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63493>>. Acesso em: 04/07/2020

SILVA, J. P.; SILVA, L. P. G. **Estudo e avaliação do consumidor de carne suína “in natura” e industrializada na microrregião de Guarabira-PB**. Agropecuária Científica no Semiárido, v. 5, n. 1, p. 57-61, 2010.

SILVA, N. R. **Estudo de Metodologias para avaliação de submedição de hidrômetros domiciliares em sistemas de água**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Distrito Federal, 2008.

SILVA, R. F. M. **Desenvolvimento de estratégias de segmentação de redes de abastecimento de água**. Aplicação ao caso de Viana do Castelo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Especialização em Hidráulica) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, Portugal, 2015.

SILVA, R. T.; CONEJO, J.G.L.; MIRANDA, E.C.; ALVES, R.F.F. **Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água – DTA A2**. Programa de Combate ao Desperdício de Água – PNCD, Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria de Política Urbana, Brasília, DF, 2004.

SISTEMA NACIONAL DE INFOMACÃO SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnósticos dos serviços de água e esgoto – 2018**. 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SOARES, T. M. C. **Avaliação das perdas de água no sistema de abastecimento em um bairro do município de Feira de Santana** (Estudo de Caso: expansão do bairro Feira IX). Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Tecnologia, Feira de Santana, 2010.

SEAGO, C.; MCKENZIE, R.; LIEMBERGER, R. *International benchmarking of leakage from water reticulation systems. In: Paper to Leakage 2005 Conference, Halifax.* 2005.

TRATA BRASIL; ASSOCIADOS, G. O. **Estudo de águas subterrâneas - A Revolução das águas subterrâneas no Brasil: Importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento básico.** São Paulo, 2019a. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico/Estudo_aguas_subterraneas_FINAL.pdf>. Acesso em: 10 de abr. 2020.

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de Perdas, *In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água.* Departamento de Engenharia e Estatística e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

_____. **Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água.** Revista Dae, v. 64, n. 201, p. 6-20, 2016.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água** - Departamento de engenharia hidráulica e sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 4^o edição. **São Paulo**, 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Control and Mitigation of Drinking Water Losses in Distribution Systems**, 2010. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1009VCZ.PDF?Dockey=P1009VCZ.PDF>>. Acesso em: 15 de maio 2020.

VICENTINI, L. Pe. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2012.

WATER LOSS COMMITTEE REVIEW – WLCR. **Water audits and loss control programs**, AWWA: M36 Publication Rewrite, 2007.