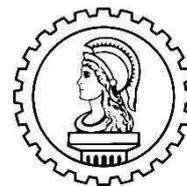




UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



DÉBORA ARRUDA DUARTE

**CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE CARUARU/PE**

Maceió
2023

DÉBORA ARRUDA DUARTE

**CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE CARUARU/PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Professora Dra. Daysy Lira Oliveira Cavalcanti.

Coorientador: Professor Dr. Valmir de Albuquerque Pedrosa

Maceió
2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

D812c Duarte, Débora Arruda.

Caracterização das perdas de água do sistema de abastecimento de Caruaru/pe / Débora Arruda Duarte. – Maceió, 2023.
84 f. : il., grafs. e tabs. color.

Orientadora: Daysy Lira Oliveira Cavalcanti.
Coorientador: Valmir de Albuquerque Pedrosa.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 76-79.
Anexos: f. 80-84.

1. Perdas de água. 2. Pressão na rede (Distribuição de água). 3. Componentes do sistema (Distribuição de água). 4. Hidrômetros. 5. Sistema de Informação Geográfica. I. Título.

CDU: 628.1



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Sugestões de correções:

As sugestões detalhadas estão nos materiais disponibilizados pela banca. A aluna deve revisar a organização de itens no texto e melhorar o texto com as conclusões do trabalho.

Assinaturas:

Documento assinado digitalmente
 **DAYSY LIRA OLIVEIRA CAVALCANTI**
Data: 23/05/2023 15:39:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

A1 _____

Documento assinado digitalmente
 **MARCIO GOMES BARBOZA**
Data: 23/05/2023 11:50:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

A2 _____

Documento assinado digitalmente
 **MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS DA**
Data: 23/05/2023 15:18:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

A3 _____



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Parecer:

Deverão ser dadas notas ao trabalho (de zero a 10) considerando o desempenho da aluna nas 3 áreas de análise (Monografia, Apresentação oral do trabalho e Arguição).

A nota final de cada avaliador, denominada NFA_n , será calculada da seguinte forma:

$$NFA_n = (0,6 \times \text{Monografia} + 0,2 \times \text{Apresentação oral do trabalho} + 0,2 \times \text{Arguição})$$

$$A_1: NFA_1 = (0,6 \times \underline{9,5} + 0,2 \times \underline{9,5} + 0,2 \times \underline{9,5}) = \underline{9,5}$$

$$A_2: NFA_2 = (0,6 \times \underline{9,5} + 0,2 \times \underline{9,5} + 0,2 \times \underline{9,5}) = \underline{9,5}$$

$$A_3: NFA_3 = (0,6 \times \underline{9,0} + 0,2 \times \underline{9,5} + 0,2 \times \underline{10}) = \underline{9,3}$$

A nota final da aluna será a média aritmética das notas atribuídas pelos avaliadores:

$$\text{Nota Final} = (NFA_1 + NFA_2 + NFA_3) / 3$$

$$\text{Nota Final} = \underline{9,4}$$

Assinaturas:

A₁ _____

Documento assinado digitalmente
gov.br DAYSY LIRA OLIVEIRA CAVALCANTI
Data: 23/05/2023 15:38:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

A₂ _____

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCIO GOMES BARBOZA
Data: 23/05/2023 11:52:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

A₃ _____

Documento assinado digitalmente
gov.br MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS DA
Data: 23/05/2023 15:17:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 09 horas e 30 minutos do dia 16 de maio de 2023, na sala de reuniões do Centro de Tecnologia, reuniu-se a banca examinadora para avaliação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da aluna Débora Arruda Duarte, sob o título “Caracterização das perdas de água do Sistema de Abastecimento de Caruaru/PE”, composta pelos seguintes participantes:

Orientador (A₁): Prof.^a Daysy Lira Oliveira Cavalcanti

Coorientador: Prof. Valmir de Albuquerque Pedrosa

Prof. Avaliador (A₂): Marcio Gomes Barboza

Prof. Avaliador (A₃): Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves

A apresentação oral do aluno foi realizada em 30 minutos, findos os quais foi iniciado o debate, perfazendo um tempo total de defesa de 1 hora e 30 minutos. O aluno obteve média final 9,4 (nove inteiros e quatro décimos). Abaixo, assinatura do orientador, seguida dos membros da banca, de acordo com a ordem listada acima, todos seguidos da respectiva nota, a assinatura do aluno e a assinatura do Coordenador do TCC.

Documento assinado digitalmente
gov.br DAYSY LIRA OLIVEIRA CAVALCANTI
Data: 23/05/2023 15:37:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a (A₁) _____, nota final 9,5

Documento assinado digitalmente
gov.br VALMIR DE ALBUQUERQUE PEDROSA
Data: 17/05/2023 09:07:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coorientador _____

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCIO GOMES BARBOZA
Data: 23/05/2023 11:53:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. (A₂) _____, nota final 9,5

Documento assinado digitalmente
gov.br MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS DA
Data: 23/05/2023 15:14:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. (A₃) _____, nota final 9,3

Documento assinado digitalmente
gov.br DEBORA ARRUDA DUARTE
Data: 24/05/2023 11:53:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Aluno: _____

Coordenador do TCC: _____

AGRADECIMENTOS

Dedico esse Trabalho de Conclusão de Curso, bem como toda a minha trajetória acadêmica no curso de Engenharia Civil e direciono meus agradecimentos:

Primeiramente, aos meus pais Alexandra e Raimundo, pelo esforço e dedicação para garantir o acesso a uma educação de qualidade, bem como pelo apoio e incentivo diário a seguir meus objetivos.

Aos meus irmãos, André, Juliana, Bárbara e Luana, por todo apoio, incentivo, suporte e companheirismo, e por estarem sempre presentes.

À Tiago, por todo carinho e companheirismo. Por todo apoio e incentivo, durante toda a graduação e sempre.

A todos os tios, primos e demais familiares que se fizeram presentes e me deram apoio para que tudo isto se tornasse possível.

Aos meus amigos de curso, que compartilharam os momentos bons e os mais difíceis neste curso, que forneceram apoio e compartilharam a rotina da Universidade, tornando a graduação mais leve. Em especial ao João Gabriel e Heitor, por toda parceria durante todo curso, bem como por todas as trocas, ideias e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

E a todos os meus outros amigos, que se mantêm presentes e compartilharam muitos momentos comigo.

Aos meus colegas de trabalho, que dividem a rotina do escritório, compartilhando ideias e conhecimentos, que contribuem para que me torne uma profissional melhor. Pela compreensão e todo suporte para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus orientadores, professores Daysy Lira e Valmir Pedrosa, pelas orientações e ideias essenciais para a realização deste trabalho.

À COMPESA e a Enops Engenharia, pela disponibilidade e fornecimento de dados. E ao CTEC e a UFAL por fornecerem ensino gratuito e de qualidade.

E sobretudo, a Deus.

DUARTE, D. A. Caracterização Das Perdas De Água Do Sistema De Abastecimento De Caruaru/PE. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

RESUMO

A água é um bem finito e essencial para os seres humanos. Desta forma, com a crescente da demanda hídrica mundial, o Novo Marco do Saneamento estabelece diretrizes para fiscalizar o cumprimento de regras de uso da água, assegurando a gestão dos recursos hídricos diante da situação crítica de escassez atual. Consciente a isso, a incidência de perdas de água nos sistemas de abastecimento influi diretamente no acesso à água, além de prejudicar a qualidade do serviço concedido pelas companhias. As perdas de água subdividem-se em reais e aparentes, em que as perdas reais são consideradas perdas físicas e estão relacionadas a incidência de vazamentos nas redes de distribuição e adutoras. No que tange as perdas aparentes ou comerciais, pode-se citar a deficiência no sistema de medição de água, a ocorrência de consumo não autorizado e falhas no cadastro comercial. Essas perdas são inerentes aos sistemas e estão relacionadas a sua eficiência e controle. Portanto, faz-se essencial o monitoramento desses índices, para promover a gestão correta deste recurso e garantir o acesso à água para toda a população, além de incrementar o faturamento das companhias. Desta forma, este estudo busca caracterizar as perdas reais e aparentes do sistema de abastecimento de água do município de Caruaru, em Pernambuco, a partir de dados fornecidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA e ferramentas computacionais. Através da análise dos aspectos gerais do município e sua influência em suas condições de abastecimento, juntamente da avaliação de dados técnicos e comerciais fornecidos pela COMPESA e dados de medição de pressão obtidos. Com o auxílio de ferramentas como Balanço Hídrico e Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Palavras-chave: Indicadores de perda. Pressão na rede. Componentes do sistema. Hidrômetros. Sistema de Informação Geográfica (SIG).

ABSTRACT

Water is a finite and essential natural resource for human beings. With the growing demand for water worldwide, the New Sanitation Framework has established guidelines to monitor compliance with water use rules, ensuring the proper management of water resources in the face of the current critical situation of scarcity. The incidence of water losses in supply systems directly influences access to water and harms the quality of service provided by companies. Water losses are subdivided into real and apparent losses. Real losses are physical losses related to the incidence of leaks in distribution networks and water mains. Apparent or commercial losses are related to the efficiency and control of the systems and can be caused by deficiencies in the water metering system, unauthorized consumption, and failures in the commercial register. Therefore, it is essential to monitor these indices to promote the correct management of this resource and guarantee access to water for the entire population, as well as increase the revenue of companies. This study aims to characterize the real and apparent losses of the water supply system in the municipality of Caruaru, Pernambuco, based on data provided by the Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA and computational tools. The analysis includes general aspects of the municipality and its influence on its supply conditions, together with the evaluation of technical and commercial data provided by COMPESA and pressure measurement data obtained, using tools such as the Water Balance and Geographic Information System (GIS).

Keywords: Loss indicators. Network pressure. System components. Water meters. Geographic Information System (GIS).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de um sistema de abastecimento de água.....	15
Figura 2: Perdas no Abastecimento de Água.....	17
Figura 3: Balanço Hídrico – Modelo IWA.....	20
Figura 4: Elementos do SAA de Caruaru inseridos no QGIS.....	22
Figura 5: Hidrômetro Invertido.....	26
Figura 6: Ligação direta antes do cavalete (01), ligação direta com interligação na parte inferior do cavalete (02) e ligação direta com retirada de cavalete (03).....	26
Figura 7: Ligação by pass no ramal de água.....	27
Figura 8: Eficiência da medição em função do tempo em medidores velocimétricos	28
Figura 9: Mapa de localização de Caruaru/PE.....	31
Figura 10: Modelo Digital de Elevação (MDE) de Caruaru.....	34
Figura 11: Modelo Digital de Elevação (MDE) de Caruaru.....	35
Figura 12: Recursos Hídricos de Caruaru.....	36
Figura 13: Mapa de IDHM de Caruaru.....	37
Figura 14: Localização das adutoras e redes de distribuição de Caruaru.....	40
Figura 15: Localização das ETAs de Caruaru.....	42
Figura 16: Esquema de Abastecimento de Caruaru.....	42
Figura 17: Localização dos Reservatórios de Caruaru.....	44
Figura 18: Localização das Estações Elevatórias de Água Tratada de Caruaru.....	45
Figura 19: Redes de distribuição de Caruaru - Material.....	47
Figura 20: Redes de distribuição de Caruaru - Diâmetro.....	47
Figura 21: Incidência de RAs de vazamento em Caruaru.....	49
Figura 22: Distribuição de RAs de falta d'água em Caruaru.....	50
Figura 23: Pontos de pressão de Caruaru.....	57
Figura 24: Mapa de Calor – Pressões de Caruaru.....	59
Figura 25: Disposição geográfica de clientes por situação da ligação.....	63
Figura 26: Disposição geográfica de clientes por perfil de consumidor.....	64
Figura 27: Hidrômetros de Caruaru.....	68
Figura 28: Disposição em quadras dos hidrômetros de Caruaru.....	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Indicador Percentual de Perdas	19
Tabela 2: Precipitações médias e temperaturas médias de Caruaru	33
Tabela 3: Reservatórios de Caruaru.....	43
Tabela 4: Boosters e Estações Elevatórias de Caruaru	45
Tabela 5: Extensão das redes de distribuição de Caruaru (km).....	46
Tabela 6: Macromedidores na área de abastecimento da ETA Salgado.....	48
Tabela 7: Macromedidores na área de abastecimento da ETA Petrópolis.....	48
Tabela 8: Ocorrência de vazamentos, por local, em 2020.	49
Tabela 9: Localização dos pontos de pressão	56
Tabela 10: Panorama Geral das Ligações - Caruaru	60
Tabela 11: Anormalidades de leitura identificadas nas ligações totais.....	65
Tabela 12: Balanço Hídrico – Caruaru	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Precipitações médias e temperaturas médias de Caruaru.....	33
Gráfico 2: Levantamento de Pressão - Ponto 01.....	58
Gráfico 3: Ligações totais por categoria	61
Gráfico 4: Ligações totais por situação da ligação	62
Gráfico 5: Ligações totais por perfil da ligação.....	64
Gráfico 6: Anormalidades de leitura identificadas nas ligações totais	65
Gráfico 7: Anormalidades de consumo identificadas nas ligações totais	66
Gráfico 8: Ligações ativas por categoria	67
Gráfico 9: Ligações ativas por perfil	67
Gráfico 10: Ligações Totais Micromedidas.....	69
Gráfico 11: Ligações Ativas Micromedidas.....	70
Gráfico 12: Comparativo de Perdas de Água.....	72
Gráfico 13: Levantamento de Pressão - Pontos 01 e 02.....	81
Gráfico 14: Levantamento de Pressão - Pontos 03 e 04.....	81
Gráfico 15: Levantamento de Pressão - Pontos 05 e 06.....	81
Gráfico 16: Levantamento de Pressão - Pontos 07 e 08.....	81
Gráfico 17: Levantamento de Pressão - Pontos 09 e 10.....	82
Gráfico 18: Levantamento de Pressão - Pontos 11 e 12.....	82
Gráfico 19: Levantamento de Pressão - Pontos 13 e 14.....	82
Gráfico 20: Levantamento de Pressão - Pontos 15 e 16.....	82
Gráfico 21: Levantamento de Pressão - Pontos 17 e 18.....	83
Gráfico 22: Levantamento de Pressão - Pontos 19 e 20.....	83
Gráfico 23: Levantamento de Pressão - Pontos 21 e 22.....	83
Gráfico 24: Levantamento de Pressão - Pontos 23 e 24.....	83
Gráfico 25: Levantamento de Pressão - Pontos 25 e 26.....	84
Gráfico 26: Levantamento de Pressão - Pontos 27 e 28.....	84
Gráfico 27: Levantamento de Pressão - Pontos 29 e 30.....	84
Gráfico 28: Levantamento de Pressão – Ponto 31.....	84

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AL	Alagoas
ANA	Agência Nacional de Águas
CA	Cimento Amianto
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CTEC	Centro de Tecnologia
DN	Diâmetro Nominal
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA	Estação de Tratamento de Água
FoFo	Ferro Fundido
HD	Hidrômetro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IWA	Internacional Water Association
MDE	Modelo Digital de Elevação
PE	Pernambuco
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinila
REL	Reservatório Elevado
RAP	Reservatório Apoiado
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VRP	Válvulas Redutoras de Pressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVO.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 Sistemas de Abastecimento de Água	15
3.2 Consumo/demanda per capita.....	16
3.3 Perdas de Água.....	16
3.3.1 Indicadores de Perdas	18
3.4 Balanço Hídrico	20
3.5 Sistema de Informação Geográfica (SIG)	21
3.6 Cadastro Comercial das Companhias de Abastecimento	22
3.6.1 Tipo de Ligação	23
3.6.2 Situação da Ligação	24
3.6.3 Categoria da Ligação.....	24
3.6.4 Número de economias.....	25
3.7 Fraudes e Irregularidades das Ligações.....	25
3.8 Python.....	28
3.9 Google Colaboratory.....	29
4. METODOLOGIA.....	30
4.1 Caracterização da população e local do estudo.....	30
4.1.1 Aspectos Históricos	31
4.1.2 Localização e Acessos.....	32
4.1.3 Aspectos Demográficos	32
4.1.4 Aspectos Climatológicos	32
4.1.5 Vegetação e Solos	33
4.1.6 Aspectos Topográficos.....	34
4.1.7 Aspectos Geológicos	35
4.1.8 Recursos Hídricos	36
4.1.9 Aspectos Socioeconômicos	37
4.1.10 Aspectos Industriais.....	37
4.2 Levantamento de dados do sistema de abastecimento de água.....	38
4.3 Diagnóstico do Sistema de Abastecimento Existente	38
4.3.1 Abrangência do Sistema.....	38

4.3.2	Captação e Mananciais.....	39
4.3.3	Aduoras de Água Bruta (AAB)	39
4.3.4	Estações Elevatórias de Água Bruta (EEAB)	40
4.3.5	Estações de Tratamento de Água (ETA)	40
4.3.6	Reservação	43
4.3.7	Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT)	44
4.3.8	Redes de Distribuição.....	46
4.3.9	Macromedição	48
4.3.10	Redução de Pressão	49
4.3.11	Vazamentos.....	49
4.3.12	Falta D'água	50
4.3	Análise do cadastro técnico e adequação de informações pela ferramenta SIG	51
4.4	Análise do cadastro comercial da companhia	51
4.5	Caracterização das perdas de água	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
5.3	Influência dos Aspectos Gerais nas Condições de Abastecimento e Perdas Reais	53
5.4	Levantamento de Pressão	56
5.5	Síntese do Cadastro Comercial	60
5.5.1	Caraterização das Ligações.....	60
5.5.2	Micromedição	68
5.6	Balanço Hídrico – SNIS	71
6	CONCLUSÕES.....	73
7	REFERÊNCIAS	76
8	ANEXOS.....	80
8.3	Autorização de Uso de Dados	80
8.4	Gráficos de Pressão	81

1. INTRODUÇÃO

A água corresponde a um bem finito e indispensável à sobrevivência humana. Sendo assim, com a crescente da demanda hídrica mundial, a problemática das perdas nos sistemas de abastecimento influi diretamente no acesso à água e na qualidade do serviço concedido pelas companhias. De acordo com dados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos do Brasil (SNIS, 2020), o valor médio das perdas na distribuição de água nos sistemas brasileiros no ano de 2020 atingiu um total de 40,1%, com o estado de Pernambuco superando o índice nacional totalizando 49,9%, ou seja, metade da água distribuída para a população.

Portanto, para gerenciar de maneira eficaz as perdas de um sistema, deve-se analisar diversos fatores como infraestrutura, disponibilidade de recursos financeiros, aspectos culturais e geográficos, entre outros. Em síntese, as perdas de água de um sistema de abastecimento podem ser caracterizadas como a diferença entre o volume de água que entra no sistema e o consumo de água autorizado. Essas perdas subdividem-se em reais ou aparentes, onde correspondem a um volume de água que não é convertido em receita para as companhias (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

As perdas reais ou físicas são inerentes aos sistemas existentes, não sendo possível extingui-las por completo. Sendo elas decorrentes de vazamentos em adutoras, redes de distribuição e ramais, bem como do extravasamento de reservatórios. As perdas não físicas ou aparentes, por sua vez, são reflexo da medição imprecisa do volume de água consumido ou da ocorrência de consumo não autorizado, tais como a prática de ligações clandestinas, desvios, fraudes nos hidrômetros e por falhas no cadastro comercial (BÁGGIO, 2014).

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) correspondem às infraestruturas responsáveis pela distribuição de água potável à população. Um sistema convencional apresenta uma unidade de captação, estação elevatória, estação de tratamento de água (ETA), adução de água, reservação e setor de distribuição. Por conseguinte, para garantir a qualidade da distribuição, a Lei Federal nº 14.026/2020 atualiza o marco legal do saneamento básico e defende que os serviços públicos de abastecimento devem ser prestados com eficiência e sustentabilidade econômica. Desta forma, é ponderado como essencial que a concepção, operação e manutenção dos sistemas sejam realizados de maneira adequada e criteriosa.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Tem-se como objetivo geral caracterizar as perdas reais e aparentes do sistema de abastecimento do município de Caruaru/PE.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar os aspectos físicos e socioeconômicos do município, identificando sua influência nas condições de abastecimento e no surgimento de perdas reais no sistema;
- Utilizar o Sistema de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta para a gestão de sistemas de distribuição de água, voltada para o controle de perdas;
- Verificar a suscetibilidade a perdas reais através de dados de pressão coletados;
- Processamento de dados comerciais e identificação de indicativos de perdas aparentes no sistema;
- Realizar o Balanço Hídrico do município a partir de dados do SNIS e comparar os índices de perda obtidos com o panorama estadual, regional e nacional.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com os objetivos expostos, neste tópico serão abordados conceitos importantes para a compreensão dos métodos utilizados para o desenvolvimento do estudo.

3.1 Sistemas de Abastecimento de Água

A Lei nº 11.445/2007 define abastecimento de água potável como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação, até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição. De modo que, em um sistema convencional de abastecimento de água são encontradas unidades de captação, estação elevatória, estação de tratamento de água, adução de água, reservação e setor de distribuição. Na Figura 1 estão ilustrados os principais elementos de um sistema de abastecimento de água.

Figura 1: Componentes de um sistema de abastecimento de água



Fonte: BEZERRA e CHEUNG (2013).

A captação é um conjunto de estruturas, construídos próximos a um manancial, para a obtenção de água destinada a um sistema de abastecimento de água. As estações elevatórias, por sua vez, fornecem energia para o transporte da água quando a distribuição por gravidade é impossibilitada. As estações de tratamento de água (ETA) podem ser definidas como um conjunto de unidades destinadas a realizar o tratamento da água para o consumo humano. No que tange o sistema de adução, são todas às tubulações, conexões e peças destinadas a transportar água entre as unidades dos sistemas de abastecimento. Em relação à reservação, a utilização de reservatórios é feita para armazenar água e manter a regularidade do abastecimento. E por fim, as redes de distribuição são unidades do SAA constituídas por um conjunto de conexões, peças e condutos assentados nas vias públicas ou nos passeios, ligados

aos ramais domiciliares, cuja função é conduzir as águas tratadas aos pontos de consumo (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

3.2 Consumo/demanda per capita

O aumento da demanda por água é consequência direta do crescimento populacional e da expansão dos níveis de consumo (BRASIL, 2016). A estimativa do consumo per capita é muito utilizada para análise de perdas de água, em que é comum adotar como perda a diferença entre o consumo estimado com base no consumo per capita e o medido (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

Ao serem dimensionados, os sistemas de abastecimento de água devem levar em conta o fator de projeção populacional. Pois, esses sistemas atenderão a população atual e a sua projeção futura de crescimento, de modo que seja garantido o abastecimento em um determinado período de projeto (TSUTYIA, 2006).

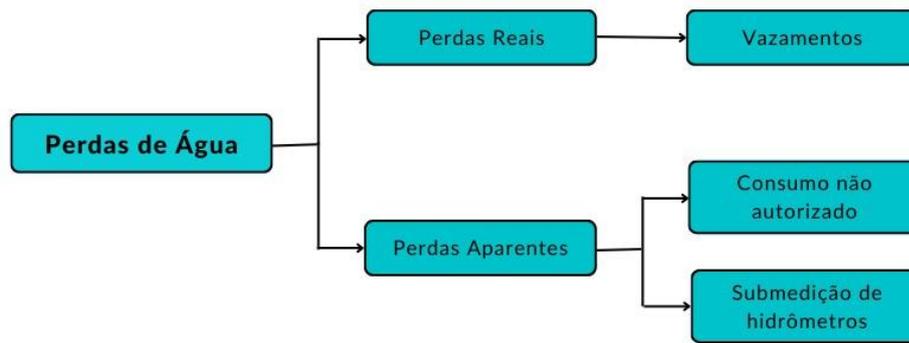
O consumo per capita é a quantidade média de água utilizada por um habitante em um determinado tempo, na unidade litros/habitante/dia. Segundo o SNIS (2020), o consumo per capita de água (l/hab.dia), volume médio por estado em 2020, atribui ao estado de Pernambuco um consumo médio de 103 l/hab.dia.

Portanto, necessário determinar o alcance de projeto, que corresponde ao período de atendimento da estrutura. No Brasil, é adotado um tempo de atendimento de 10 a 30 anos, a depender da tendência de crescimento da população, desenvolvimento da região e vida útil dos equipamentos (GOMES, 2010).

3.3 Perdas de Água

Em sistemas de abastecimento, desde o processo inicial de captação da água até a distribuição para o consumidor final ocorrem perdas, sejam elas físicas ou não físicas. Em sua maioria, decorrem de problemas operacionais ou de manutenção escassa das tubulações, além de problemas de gestão nas companhias. Sendo assim, a efetivação de ações que promovam a redução de perdas favorece a performance econômica das companhias. Essas perdas estão divididas em perdas reais (físicas) e perdas aparentes (não físicas ou comerciais) (TSUTYIA, 2006). Como pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2: Perdas no Abastecimento de Água



Fonte: Adaptado de BÁGGIO (2014).

As perdas reais caracterizam-se como perdas inerentes aos sistemas de abastecimento, que não podem ser totalmente extintas. São conhecidas também como perdas físicas e são provenientes de vazamentos e extravasamentos de reservatórios. Esses vazamentos podem ser classificados como visíveis, não visíveis (detectáveis) e inerentes (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

De acordo com Tsutiya (2006), os vazamentos visíveis são oriundos de rupturas das tubulações de rede e acessórios, ocasionados por problemas como pressões ou sobrecargas excessivas no pavimento e defeitos estruturais, sendo eles em grande maioria identificados e sinalizados pela própria população. Os vazamentos não visíveis ou ocultos são identificados apenas por equipamentos de detecção acústica, por não aflorarem na superfície. Por conta disso, levam um tempo maior para serem reparados, provocando perdas de grandes volumes de água.

Os vazamentos inerentes, por sua vez, são vazamentos não visíveis e em grande parte não detectáveis, de pequena vazão, retratados como a água perdida nos pequenos orifícios das tubulações e juntas de conexões. Os vazamentos em geral, são reflexo das condições de uso e conservação das redes de distribuição e demais componentes do sistema, influenciados por fatores como qualidade do material, problemas de instalação e idade das redes de abastecimento (TSUTIYA, 2006).

As perdas aparentes são as perdas não físicas que ocorrem quando a água é entregue ao consumidor final, contudo não é medida ou registrada com precisão. As perdas aparentes ou não físicas refletem a parcela causada por ligações clandestinas, roubo ou uso ilegal de água. Dentre elas estão os desvios de água, falhas no cadastro comercial, fraudes e erros de leitura nos hidrômetros. Esse tipo de perda promove maiores prejuízos ao faturamento da companhia, pois estão agregados o custo de

produção e distribuição da água. Outrossim, dentre os principais fatores de ocorrência de perdas aparentes estão a submedição nos hidrômetros, erros cadastrais e consumo não autorizado (BÁGGIO, 2014).

O erro na medição de hidrômetros pode ser influenciado pela qualidade da água e do medidor, pela instalação incorreta e falta de manutenção, além do tempo de funcionamento, fraudes e adulteração dos medidores. Os problemas cadastrais, por sua vez, decorrem de cadastros desatualizados e da empregabilidade de mão-de-obra não qualificada. Ademais, o consumo não autorizado está atrelado a questões sociais, como falta de implementação de tarifas sociais para população de baixa renda, bem como a áreas de vulnerabilidade social. Ocorrem geralmente por meio de ligações clandestinas e desvios (by-pass) nos hidrômetros, em que são feitos desvios para que a água não passe pelo medidor (THORNTON, 2002).

3.3.1 Indicadores de Perdas

De acordo com Tsutiya (2006), os indicadores de perdas são utilizados para expressar a situação a atual conjuntura das perdas e permitir seu gerenciamento de maneira mais eficaz. Além de favorecer o acompanhamento dos volumes perdidos e possibilitar uma comparação entre diferentes sistemas de abastecimento, tornando possível padronizar os fragmentos que compõe as perdas e sistematizar critérios para estimar os volumes não-medidos.

- Indicador Percentual (IP)

De maneira geral, o indicador percentual (IP) corresponde a relação entre volume total produzido ou fornecido ao sistema com o volume perdido, que é oriundo do somatório entre perdas reais e aparentes do sistema. Em que a expressão básica pode ser descrita na Equação 1 e a expressão oriunda do Balanço Hídrico é dada na Equação 2.

$$IP = \frac{\text{Volume Perdido Total}}{\text{Volume Fornecido}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

$$IP = \frac{V.\text{Fornecido} - V.\text{Autorizado Medido} - V.\text{Autor. Não Medido}}{\text{Volume Fornecido}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

De modo que, da interpretação deste índice tem-se a classificação disponibilizada na Tabela 1.

Tabela 1: Indicador Percentual de Perdas

Índice Percentual de Perdas (%)	Classificação do Sistema
Menor do que 25	Bom
Entre 25 e 40	Regular
Maior do que 40	Ruim

Fonte: Adaptado de TSUTIYA (2006)

- Índice de Perdas Por Ramal (IPR)

O indicador de perdas por ramal relaciona o volume perdido total anual com o número de ramais existentes na rede de distribuição de água. E para possibilitar uma comparação mais efetiva de sistemas distintos fornece um “fator de escala”, dependente da densidade de ramais presentes. Não levando em consideração a pressão de operação do sistema. Conforme descrito na Equação 3.

$$IPR = \frac{\text{Volume Perdido Anual}}{(\text{N}^{\circ} \text{ de Ramais} \times 365)} \text{ (m}^3 \text{ / (ramal. dia))} \quad (3)$$

- Índice de Perdas Por Extensão de Rede (IPER)

O indicador de perdas por extensão de rede (IPER) relaciona o volume perdido total anual com o comprimento da rede de distribuição de água do sistema em estudo. Fornecendo também um fator de escala, distribuindo as perdas no decorrer da extensão de rede. Segundo descrito na Equação 4.

$$IPER = \frac{\text{Volume Perdido Anual}}{(\text{Extensão da Rede} \times 365)} \text{ (m}^3 \text{ / (km. dia))} \quad (4)$$

- Índice Infra-Estrutural de Perdas (IIEP)

O indicador infra-estrutural de perdas (IIEP) fornece um valor adimensional que relaciona o nível de perdas atual com o mínimo (inevitável) esperado para um sistema determinado. Corresponde a um bom método de comparação entre sistemas diferentes, levando em comparação a pressão de operação da rede. Conforme explicitado na Equação 5.

$$IIEP = \frac{\text{Volume Perdido Anual}}{(\text{Volume Perdido Total Inevitável Anual})} \text{ (adimensional)} \quad (5)$$

3.4 Balanço Hídrico

O Balanço Hídrico é um processo que permite o conhecimento da utilização da água em um sistema, sendo uma importante ferramenta de auditoria da água, auxiliando na identificação do volume de água faturado e perdido, como pode ser visto na Figura 3. Foi criado pelos especialistas do IWA - International Water Association, com objetivo de criar um método para padronizar a avaliação das perdas de água. A International Water Association é uma organização sem fins lucrativos que reúne diversos profissionais do setor de água de 140 países, para encontrar soluções para a gestão de água e efluentes. A partir desta metodologia, são utilizadas hipóteses para determinar as perdas aparentes e, pela diferença, obter o índice de perdas reais (BÁGGIO, 2014).

Figura 3: Balanço Hídrico – Modelo IWA

Volume de entrada no sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (incluir água exportada) Consumo faturado não medido (estimados)	Água faturada
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido (usos próprios, caminhão pipa etc.) Consumo não faturado não medido (combate a incêndios, favelas etc.)	
	Perda de água	Perdas aparentes	Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)	Água não faturada
			Erros de medição (micromedição)	
		Perdas reais	Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
			Vazamentos e extravasamentos em reservatórios Vazamentos em ramais prediais (a montante do ponto de medição)	

Fonte: BEZERRA (2013).

Para compreender o funcionamento do balanço hídrico, é importante conhecer o significado dos principais termos citados, conceituados de acordo Thornton (2002). Desta forma, o volume de entrada no sistema é o total de volume proveniente das fontes de captação, juntamente do volume de água importado. O consumo autorizado trata-se do consumo de água medido e/ou não medido utilizado pelos consumidores cadastrados na companhia, somados aos demais consumos autorizados pela mesma (como o destinado a fontes públicas e limpeza urbana). O consumo faturado medido

é o volume de água que gera receita para a companhia anualmente, através das contas de água geradas, e medido pelos hidrômetros.

O consumo faturado não medido é a estimativa de todo volume que não é micromedido, de clientes que não possuem hidrômetro e geralmente são cobrados com taxa mínima. Em relação ao consumo não faturado medido, tem-se o consumo interno medido da companhia, em que não são pagas faturas de água. O consumo não faturado não medido trata-se do volume não medido e destinado aos clientes que a empresa também não efetua cobrança da conta de água.

O uso não autorizado corresponde ao volume que não gera receita para companhia, ocasionado por fraudes e ligações clandestinas. Ademais, os erros de medição ocorrem devido a falhas nos hidrômetros, seja por problemas de fábrica, instalação ou dimensionamento.

3.5 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

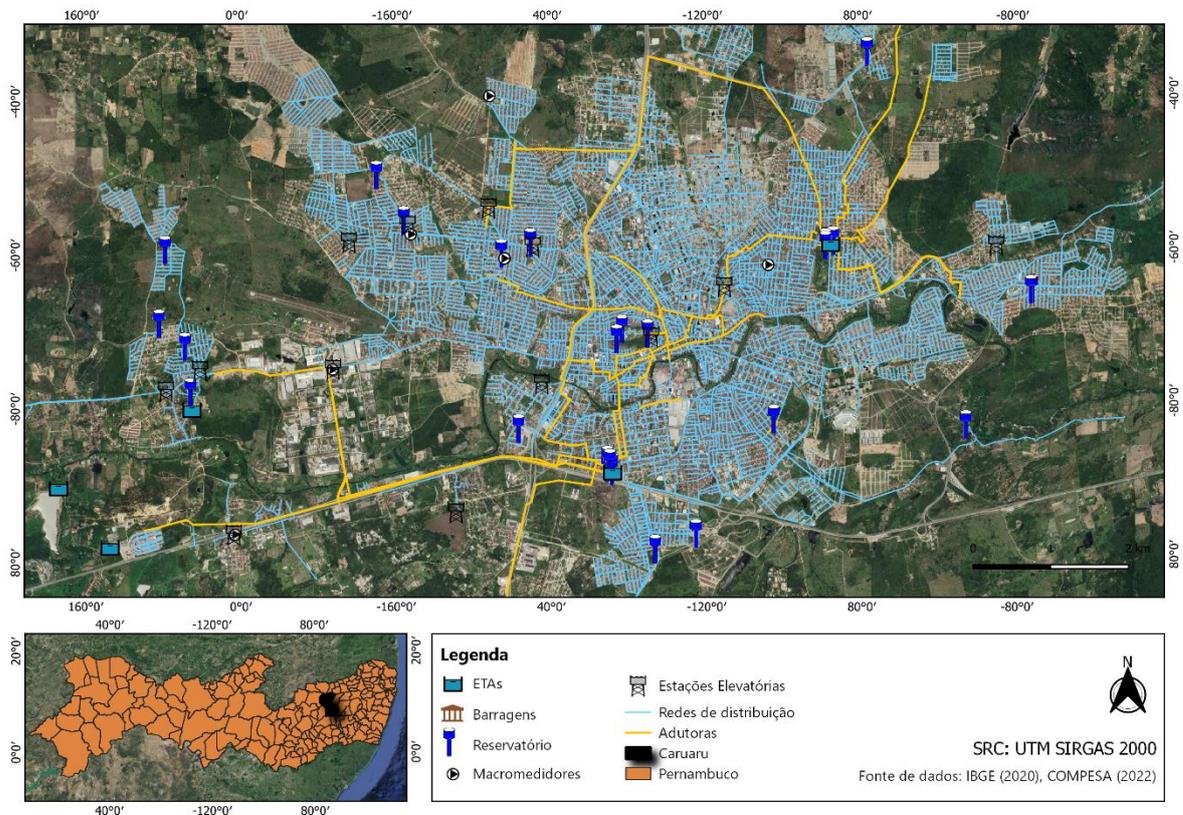
Ao analisar um sistema de abastecimento de água são utilizados diversos arquivos de dados e informações, para avaliação do desempenho hidráulico e para gestão dos dados comerciais. As companhias de saneamento utilizam um banco de dados com informações de clientes e possuem um cadastro técnico com os componentes dos sistemas. Dentre esses dados, estão os componentes do sistema de distribuição de água, dados comerciais dos consumidores (matrícula do imóvel, categoria, número de economias) e informações espaciais (georreferenciadas) dos elementos do sistema. De modo que a junção desses dados promove diversos benefícios à gestão dos SAA, permitindo a integração e processamento de informações de acordo com a necessidade do usuário (TSUTYIA, 2006).

Portanto, com o surgimento de novas tecnologias, a utilização de Sistema de Informação Geográfica – SIG (ou GIS, Geographic Information System) passou a ser difundida entre as companhias, por simplificar o mapeamento e manipulação de grandes quantidades de dados de um determinado local de estudo. Com o intuito de possibilitar a vinculação de dados geográficos (ou espaciais) com dados alfanuméricos, além da atualização por meio de uma interface gráfica adequada (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

Sendo assim, caracteriza-se como uma base de dados georreferenciada, em que dados são associados por meio de coordenadas geográficas. De tal modo que as companhias podem inserir informações acerca de elementos como redes de

distribuição, reservatórios, estações de tratamento de água, válvulas, etc. Com finalidade de unificar todas as informações presentes do SAA em uma base comum, favorecendo procedimentos como modelagens hidráulicas. Como exemplificado na Figura 4, em que se expõe parte do SAA do município de Caruaru em base georreferenciada. Logo, trata-se de uma ferramenta de extrema importância para a gestão de sistemas de distribuição de água. Por fim, dentre os softwares disponíveis, destaca-se a utilização do QGIS, por se tratar de um software de código aberto e gratuito, que permite o gerenciamento de dados vetoriais e raster.

Figura 4: Elementos do SAA de Caruaru inseridos no QGIS



Fonte: Autor (2022)

3.6 Cadastro Comercial das Companhias de Abastecimento

Segundo Bovo et al. (2008), o cadastro comercial de uma companhia de abastecimento corresponde a um banco de dados dos imóveis presentes no município atendido pela companhia. Nesse banco de dados estão contidas informações como:

- Localização do imóvel (logradouro, número, bairro e cep);
- Tipo de ligação;
- Situação da ligação (ligada, cortada, suprimida, factível, potencial);

- Categoria (residencial, comercial, industrial, pública ou mista);
- Número de economias (número de imóveis por ligação);
- Data de execução das ligações de água e esgoto;
- Dados do hidrômetro instalado e as possíveis substituições;
- Histórico de leituras e consumo;
- Média de consumo;
- Histórico dos serviços executados;
- Setor comercial e operacional;
- Zona de pressão;
- Tipo de reservação;
- Fonte alternativa (poço, etc) e outras informações adicionais.

3.6.1 Tipo de Ligação

Ao contrário do que se pode imaginar, dentro do cadastro técnico devem constar todos os imóveis presentes no município atendido pela companhia. Além da determinação do tipo de serviço prestado – abastecimento de água, coleta de esgoto ou ambos. Sendo assim, de acordo com Bovo et al. (2008), as ligações de água podem ser classificadas como:

- Imóveis com ligações ativas ou inativas, cadastradas no sistema comercial;
- Factíveis: Imóveis que estejam localizados em logradouros que possuem redes de distribuição cadastrada, mas não possuem ligações no cadastro comercial;
- Potenciais: Imóveis cujo logradouro não apresenta redes de distribuição da companhia, não possuindo ligação no cadastro comercial;
- Além de ligações de provisórias (circos, etc...), imóveis de utilização da própria companhia, imóveis de domínio público (praças, etc...) e hidrantes.

3.6.2 Situação da Ligação

De acordo com GSAN (2023), a situação da ligação reflete a condição atual da ligação na companhia, podendo ser classificada como:

- Ligados: Imóvel com ramal conectado à rede de distribuição da companhia, que está sendo abastecido pela mesma;
- Cortados: Imóvel com ramal conectado à rede de distribuição da companhia, que temporariamente não está sendo abastecido pela mesma;
- Suprimido: Imóvel com ramal conectado à rede de distribuição da companhia, mas que não está sendo abastecido pela mesma, podendo ter a tubulação parcial ou totalmente removida;
- Factível: Imóveis localizados em local dotado de redes de distribuição, mas que nunca possuíram seu ramal conectado a elas;
- Potencial: Imóveis localizados em local não dotado de redes de distribuição.

3.6.3 Categoria da Ligação

A categoria de uma ligação de água reflete o tipo de ocupação desenvolvida no imóvel. De modo a permitir que a companhia de abastecimento realize cobranças de tarifas diferenciadas para cada categoria. Portanto, de acordo com Tsutiya (2006), essas categorias podem ser classificadas como:

- Residencial: Água dirigida ao uso doméstico;
- Comercial: Água para uso de economias destinadas a atividades comerciais, de pequenos a grandes consumidores (padarias, restaurantes, hotéis, etc...);
- Industrial: Água para uso de indústrias e construções, ou seja, utilizada em processos construtivos, incorporada à produtos, processos de produção e outros usos não convencionais;
- Pública: Água destinada a locais de domínio público, ou seja, para irrigação de parques, lavagem de ruas, fontes e chafarizes, combate à incêndio, dentre outros;
- Mista: Água atribuída a imóveis que possuam economias com mais de uma natureza de ocupação.

3.6.4 Número de economias

A economia constitui todo imóvel ou sua subdivisão que é considerada ocupável, que possua entrada própria, razão social distinta e instalação para o abastecimento de água ou coleta de esgoto (GSAN, 2023). Sendo assim, o número de economias exprime a identificação da quantidade de imóveis que utilizam uma mesma ligação (BOVO et al, 2008).

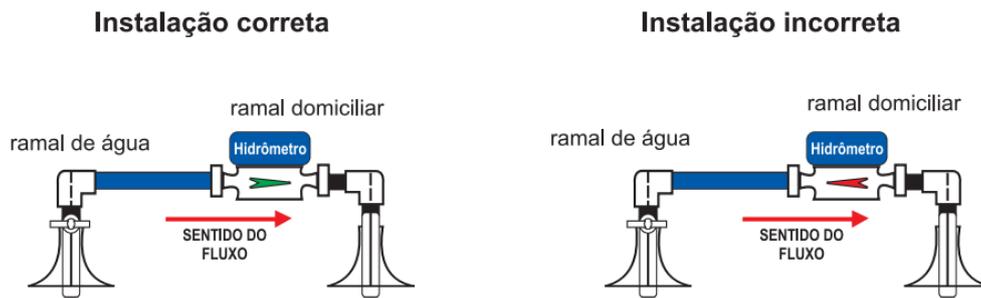
3.7 Fraudes e Irregularidades das Ligações

As irregularidades nas ligações de água estão associadas ao uso não autorizado de água pela população. De maneira geral, podem ser caracterizadas como *by pass* (desvios), ligações clandestinas, hidrômetros violados (furo no visor do hidrômetro), inclinação do medidor, inversão do hidrômetro, etc. De modo que a existência de políticas de controle de uso não autorizado como fiscalizações e atualização cadastral, aliada a campanhas educacionais e a aplicação de sanções severas aos clientes fraudulentos, são essenciais para mitigar a incidência fraudes e proporcionar um incremento nas receitas das companhias, além da implantação de alternativas como a tarifa social, em que a população de baixa renda custeia menores valores pelo serviço prestado, pois a incidência de fraudes muitas vezes está associada a áreas de poder aquisitivo reduzido e de baixa segurança. (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

Segundo Bovo et al. (2008), as irregularidades nas ligações podem ser definidas como:

- Hidrômetro danificado: Caracteriza-se pela presença de avarias visíveis ao medidor, como cúpula riscada; cúpula danificada; cúpula pintada;
- Hidrômetro invertido: Tem a função de reverter o rolete numérico do hidrômetro para reduzir o volume consumido real, invertendo o sentido do fluxo. Conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5: Hidrômetro Invertido

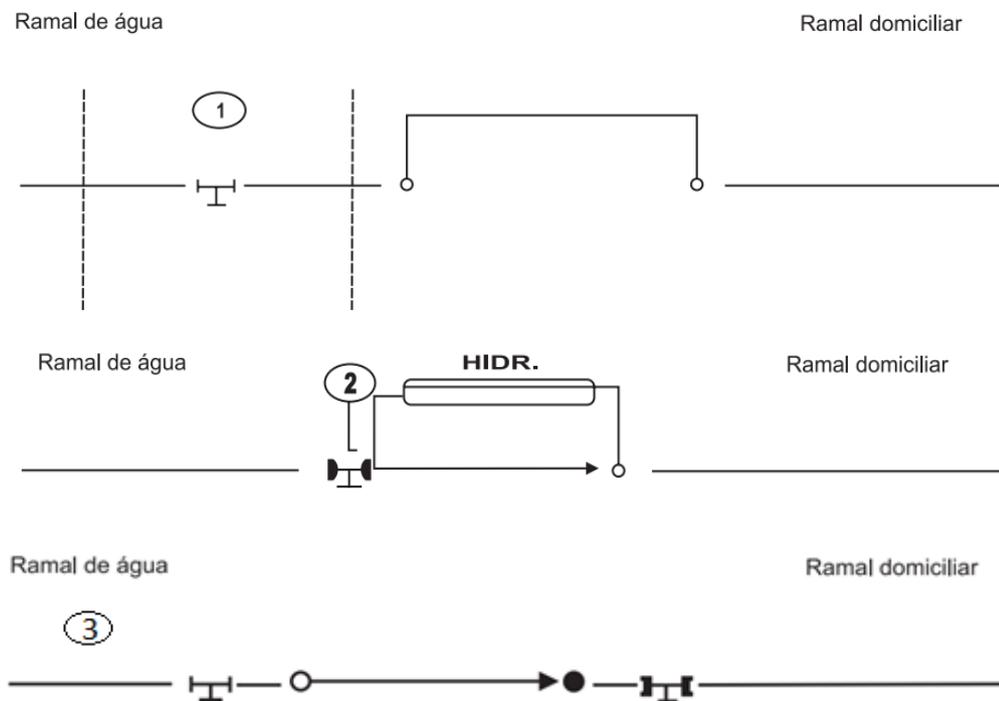


Fonte: Bovo et al. (2008)

- Hidrômetro violado: Gerado através de danos de mínima percepção visual, como furo na cúpula e impurezas na turbina;

- Ligação direta: Ligações efetuadas de maneira direta pelo consumidor, sem efetuar cadastro na companhia. Além disso, podem ocorrer também em ligações ativas, por meio da retirada não autorizada do hidrômetro ou instalação de tubulação no cavalete. Conforme ilustrado na Figura 6;

Figura 6: Ligação direta antes do cavalete (01), ligação direta com interligação na parte inferior do cavalete (02) e ligação direta com retirada de cavalete (03).

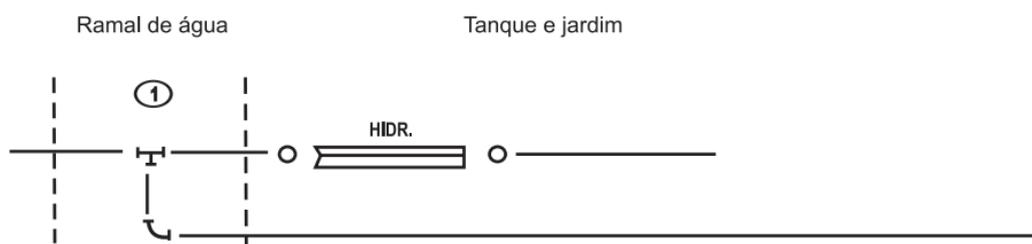


Fonte: Bovo et al. (2008)

- Ligação clandestina: Ocorre pela ligação do imóvel a rede de água sem registro da ligação no cadastro comercial da companhia;

- *By pass*: Este tipo de irregularidade está presente em imóveis que possuem ligações ativas, caracterizando-se pela instalação de uma rede que desvia do medidor, com objetivo de reduzir o volume registrado no hidrômetro. Seja esse desvio efetuado no ramal de água (Figura 7), no cavalete ou na própria rede de distribuição de água.

Figura 7: Ligação by pass no ramal de água



Fonte: Bovo et al. (2008)

Entretanto, além da não medição de água, outro problema relacionado com a micromedição que pode incidir sobre a ocorrência de perdas em um sistema de abastecimento é a submedição dos hidrômetros. Segundo Tsutiya (2006), dentre os principais fatores de erro nas medições dos hidrômetros, que se trata da medição inferior do volume que foi de fato consumido, estão:

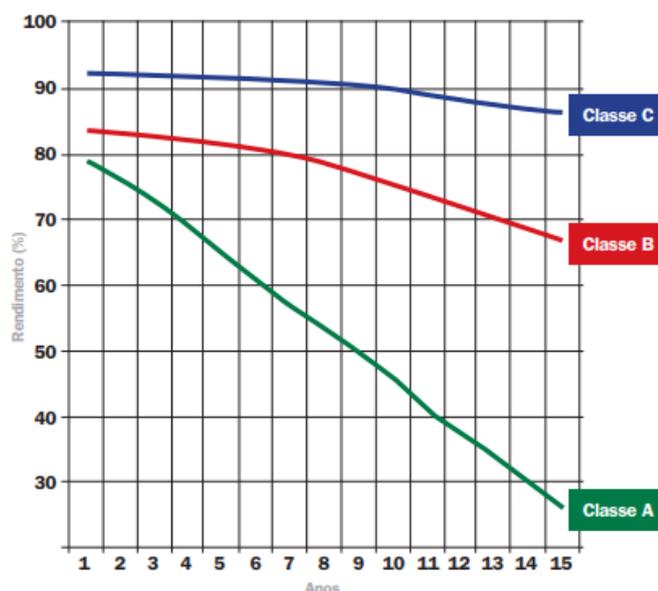
- O envelhecimento do hidrômetro, que promove o desgaste nas engrenagens internas, que impossibilita o medidor de atender as condições especificadas em projeto;
- A qualidade da água distribuída, que gera corrosão dos tubos e incrustação;
- A inclinação lateral do hidrômetro.

Desta forma, deve-se considerar a idade do parque de hidrômetros instalados, pois com o passar do tempo, o desempenho do medidor é reduzido, provocando problemas como submedição do volume de água, o que prejudica o faturamento da companhia. Uma vez que o volume entregue ao consumidor é submedido, ou seja, não é contabilizado em sua totalidade. Por isso, é recomendada a substituição dos medidores com idade superior a 5 anos, considerando o panorama ideal de troca dos HDs (BRK AMBIENTAL, 2023).

De acordo com a AESBE (2015), para realizar estimativa fiel da submedição do parque de hidrômetros, é recomendada a estratificação dos hidrômetros em grupos, de acordo com o tempo de instalação (idade do hidrômetro). Portanto, um dos métodos utiliza-se do Índice de Desempenho da Medição – IDM para a idade, que avalia a eficiência dos medidores em ensaios de laboratório a partir do descrito na norma ABNT NBR 15.538 (2018).

O que pode ser visualizado na Figura 8, com curvas do desempenho em função do tempo de instalação para hidrômetros classe A (alta precisão), B (precisão intermediária) e C (baixa precisão), baseado em levantamentos de campo e laboratório, em ligações de água com consumos mensais de 0 até 30 m³.

Figura 8: Eficiência da medição em função do tempo em medidores velocimétricos



Fonte: AESBE (2015)

A partir do gráfico presente na Figura 8, é possível visualizar o decréscimo na eficiência dos medidores ao longo de 15 anos de instalação, reforçando a necessidade de substituição de hidrômetros antigos, principalmente nos medidores Classe A.

3.8 Python

Por conta da extensão do banco de dados disponibilizado pela companhia responsável pelo abastecimento do município, fez-se necessário utilizar a linguagem de programação Python para o processamento e tratamento dos dados comerciais, possibilitando a extração de dados e elaboração de gráficos que auxiliem o estudo.

O Python corresponde a uma linguagem de programação interpretada, orientada a objetos, com semântica dinâmica, que permite a utilização de módulos e bibliotecas, sendo considerada uma linguagem legível e de fácil compreensão, muito popular para análise de dados. As bibliotecas Python são um conjunto de módulos e funções com diversas finalidades, que buscam reduzir o uso de código no programa (ALURA, 2023). Dentre as principais bibliotecas utilizadas para a análise de dados no Python, podem ser descritas:

- Pandas: Fornece estruturas de dados adicionais para trabalhar com conjuntos de dados em Python e sua abstração primária é o DataFrame – objetos de duas dimensões, utilizados para armazenar bases de dados. Possibilita analisar, dividir, agrupar ou manipular conjuntos de dados, sejam eles dados tabulares (planilha Excel), matrizes, dados temporais, etc (HARVE, 2023).

- Plotly: É uma biblioteca de visualização de dados em Python, que possibilita a criação de gráficos interativos e personalizados, com uma grande variedade de opções. Permite o traçado de vários tipos de gráficos e diagramas, como gráficos de pizza, de linha e de barras (PLOTLY, 2023).

3.9 Google Colaboratory

Por conta da praticidade e por não necessitar da instalação de outros programas, foi utilizado o Google Colaboratory como ferramenta auxiliar para o processamento de dados em Python. O Google Colaboratory, também chamado de Colab, é um serviço de nuvem gratuito fornecido pelo próprio Google para utilização de ferramentas de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial, possibilitando a utilização de código fonte (Python) e texto rico, configurando uma técnica denominada *notebook* (caderno) (ALURA, 2023).

Os *notebooks* permitem a criação e execução de códigos em Python, diretamente no navegador, não sendo necessária a instalação de software em uma máquina. De modo que os códigos ficam salvos no próprio Google Drive do usuário, com as modificações salvas automaticamente.

4. METODOLOGIA

4.1 Caracterização da população e local do estudo

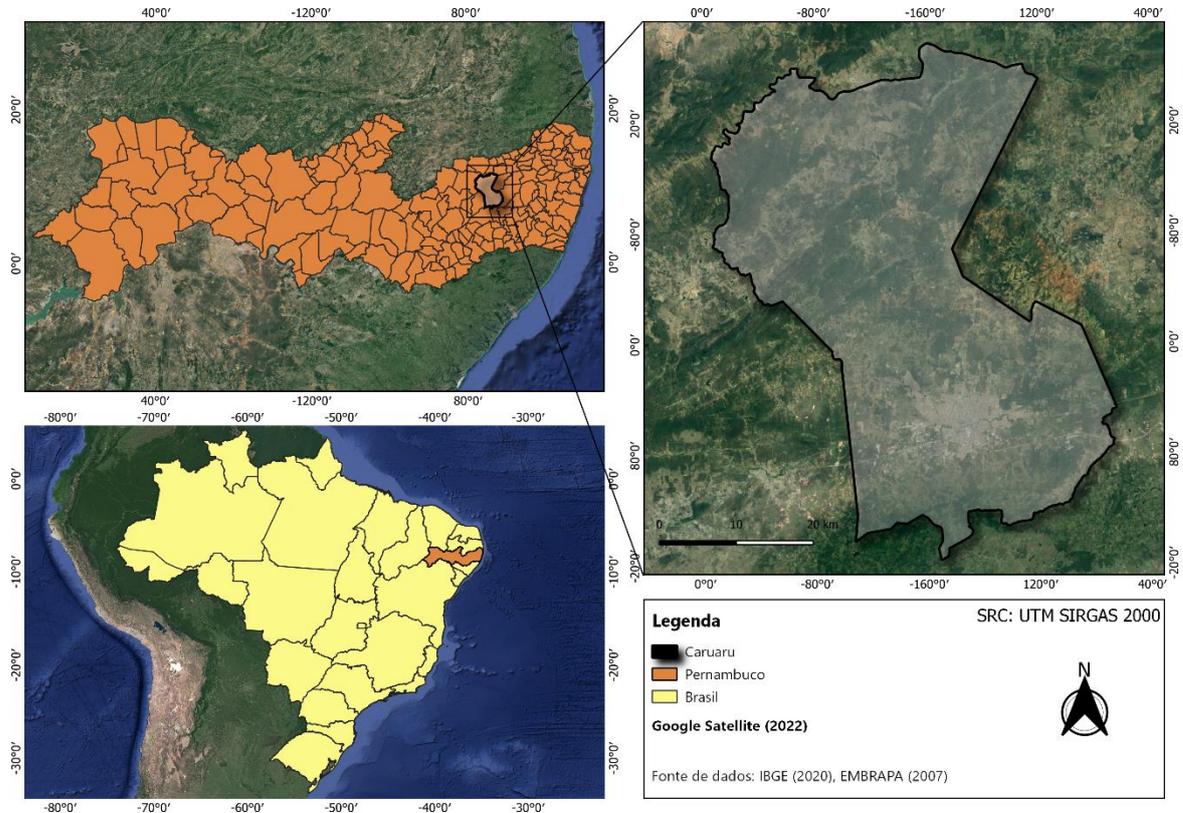
Para compreensão do sistema de abastecimento de uma região em estudo, faz-se necessária a verificação de aspectos gerais da localidade que possam vir a influenciar nas características de abastecimento. Desta forma, foram analisados os aspectos gerais de Caruaru/PE, cujos dados foram obtidos com auxílio da bibliografia disponível.

Dentre os fatores importantes que foram utilizados para a análise inicial, estão as características físicas como: localização, principais vias e acessos, relevo, topografia, clima, vegetação predominante, além de componentes hídricos como bacias hidrográficas. Além da incidência de chuvas, existência de áreas de proteção ambiental (APA), uso e ocupação do solo. Ademais, foram identificados aspectos econômicos como principais atividades econômicas desenvolvidas, distribuição de renda, índice de desenvolvimento humano da região, consumo *per capita* e outros indicadores socioeconômicos.

Desta forma, cada fator foi analisado individual e coletivamente, de modo a verificar seu poder de influência nas condições de abastecimento da região e na incidência de perdas. Como exemplo, pode-se mencionar regiões com altas elevações e desníveis no terreno, o que ocasionará ao sistema a incidência de pressões elevadas, que favorecem o surgimento de vazamentos nas tubulações e por conseguinte, perdas reais.

O local de estudo é o município de Caruaru, situado na região Nordeste do Brasil, no estado de Pernambuco, conforme ilustrado na Figura 9. O município apresenta uma população de cerca de 370 mil pessoas, sendo considerado a 4^o mais populoso de Pernambuco (IBGE, 2021). Caruaru é abastecido pela Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, e seu sistema de abastecimento abrange todos os 81 bairros da cidade, além da Zona Rural.

Figura 9: Mapa de localização de Caruaru/PE



Fonte: Autor (2022).

4.1.1 Aspectos Históricos

O município de Caruaru surgiu a partir da concessão de terras para o desenvolvimento de agricultura e criação de gado, à família Rodrigues de Sá, em 1681. As terras passaram a ser denominadas de Fazenda Caruru, e após alguns anos abandonada, em 1776, a fazenda ganhou uma capela em homenagem a Nossa Senhora da Conceição, o que propiciou o surgimento de um pequeno povoado ao seu redor. Então, em 1857, a partir do projeto nº 20 do deputado provincial Francisco de Paula Baptista, Caruaru se tornou uma das primeiras cidades do Agreste pernambucano (CARUARU, 2022).

A cidade está situada no Vale do Ipojuca, passando a receber várias denominações, dentre elas de “Princesa do Agreste”, “Capital do Agreste” e a “Capital do Forró”. Atualmente sedia um dos maiores polos comerciais da região Nordeste e é detentora do Maior Centro de Artes Figurativas da América Latina no Alto do Moura (CARUARU, 2022).

4.1.2 Localização e Acessos

Situado na mesorregião Agreste de Pernambuco e microrregião do Vale do Ipojuca, possui elevação média de 554 metros. Está limitado ao Norte com as cidades de Toritama, Taquaritinga do Norte, Vertentes e Frei Miguelinho; ao Sul com Altinho e Agrestina; a Leste com Bezerros e Riacho das Almas e a Oeste com São Caetano e Brejo da Madre de Deus. Locado nas coordenadas geográficas: latitude 08° 17' 00" S e longitude 35° 58' 34" W (VISITE CARUARU, 2022).

Os principais acessos para a cidade são: BR 232 – Rodovia Luiz Gonzaga (Leste-Oeste); BR 104 – Rodovia federal Norte-Sul; PE 095 – Rodovia estadual que liga o município a Riacho das Almas, Cumaru, Passira e Limoeiro, e PE 145 - Rodovia Wilson Campos, que a conectam a Brejo da Madre de Deus e Jataúba (VISITE CARUARU, 2022).

4.1.3 Aspectos Demográficos

Caruaru está situado na região Nordeste do Brasil, no estado de Pernambuco, a cerca de 130 km da capital Recife. O município ocupa um território de cerca de 923 km² (estimada para o ano de 2022), com população de 369.343 mil (estimativa para o ano de 2021) pessoas, sendo considerada a 4^a cidade mais populosa de Pernambuco (IBGE, 2010).

Segundo dados do IBGE (2010), a cidade tem uma densidade demográfica de 342,07 hab/km² e uma taxa de urbanização de 96,3%. O PIB per capita corresponde a R\$ 20.582,25, com salário médio mensal dos trabalhadores formais de 1,6 salários-mínimos (estimativa para o ano de 2020).

4.1.4 Aspectos Climatológicos

A partir da classificação de Köppen (1920), o clima de Caruaru é definido como semiárido (BSh), com a ocorrência verões quentes e secos e invernos amenos e chuvosos. A quadra chuvosa tem início em fevereiro com chuvas de pré-estação (que acontecem antes da quadra chuvosa), com término no final do mês de agosto e podendo se prolongar até a metade de setembro. O período com maior incidência de chuvas ocorre nos meses de maio, junho e julho, e o período mais seco compreendido entre outubro, novembro e dezembro (MEDEIROS, 2018).

De acordo com os dados fornecidos pela Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC (2022), as temperaturas mínimas de Caruaru estão em torno de 20°C

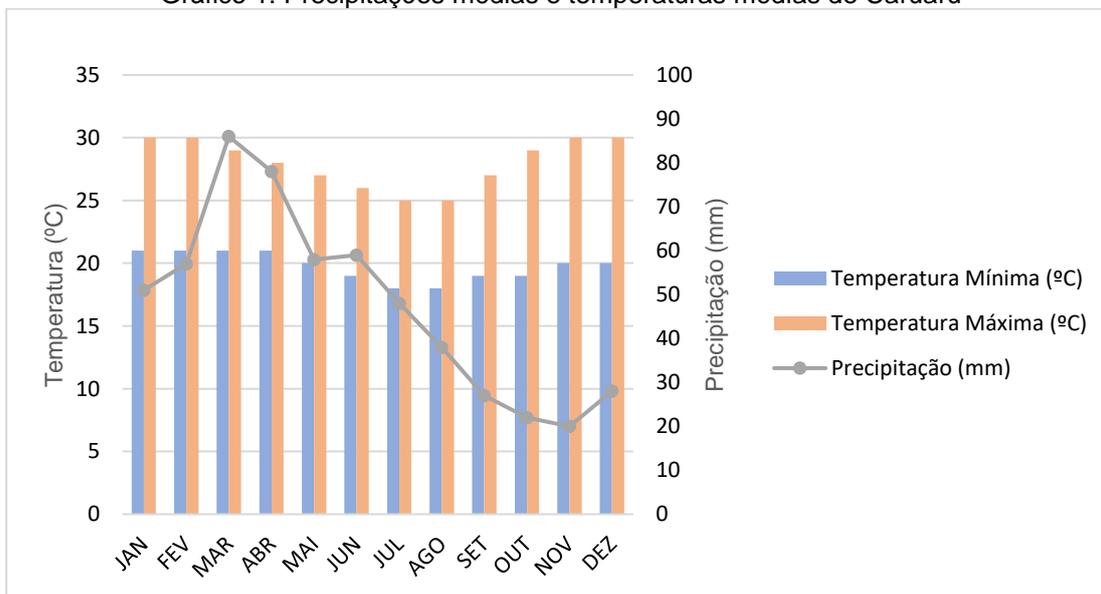
e as máximas atingem cerca de 28°C. Abaixo, expostos na Tabela 2 e Gráfico 1, estão os dados pluviométricos e de temperatura média ao longo de um ano, calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados.

Tabela 2: Precipitações médias e temperaturas médias de Caruaru

Mês	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	21	30	51
Fevereiro	21	30	57
Março	21	29	86
Abril	21	28	78
Mai	20	27	58
Junho	19	26	59
Julho	18	25	48
Agosto	18	25	38
Setembro	19	27	27
Outubro	19	29	22
Novembro	20	30	20
Dezembro	20	30	28

Fonte: Adaptado de Clima Tempo (2022)

Gráfico 1: Precipitações médias e temperaturas médias de Caruaru



Fonte: Adaptado de Clima Tempo (2022)

4.1.5 Vegetação e Solos

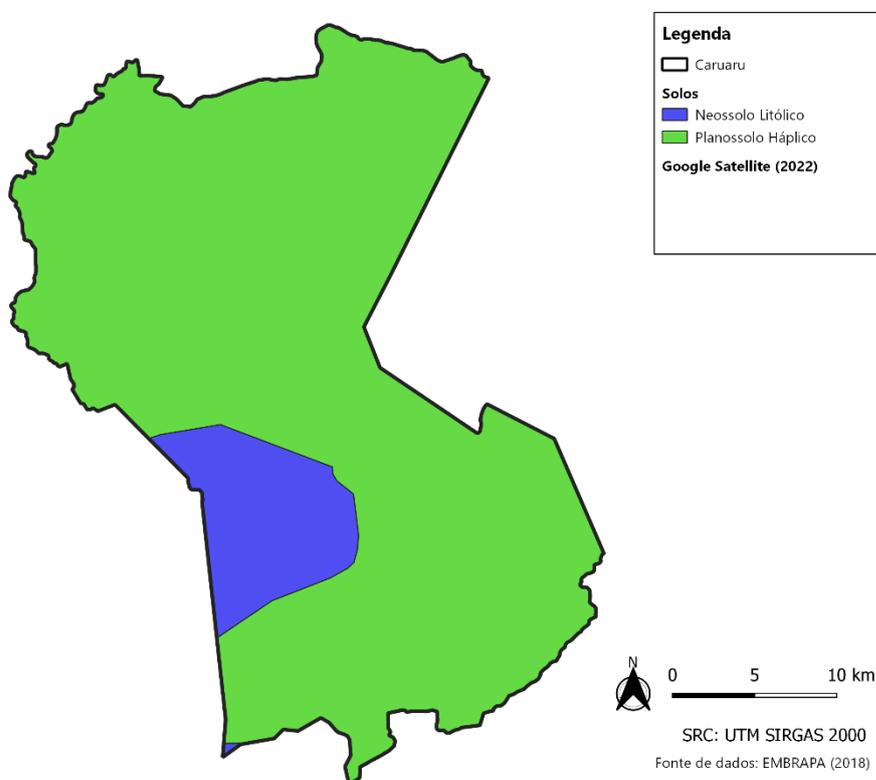
A vegetação da cidade de Caruaru é formada pelas Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, características do agreste (CPRM, 2005). Na porção norte do território está situada a zona de domínio da caatinga xerófila, com território maior e mais seco,

e, ao sul estão situados os brejos, com chuvas contínuas, ocasionando em uma vegetação mais exuberante e por onde corta o Rio Ipojuca (VISITE CARUARU, 2022).

Na porção agreste do município as areias quartzozas ocorrem em menores proporções, material originado das rochas gnáissicas, graníticas, migmatíticas e quartzíticas do Pré-Cambriano, onde normalmente estão associadas com Regossolos, nas áreas das folhas de Garanhuns, Surubim, Venturosa e Caruaru (FILHO et al, 2000).

A composição de solos de Caruaru, de acordo com Santos (2018), se dá pela presença de Neossolo Litólico e Planossolo Háptico. Conforme exposto na Figura 10.

Figura 10: Modelo Digital de Elevação (MDE) de Caruaru



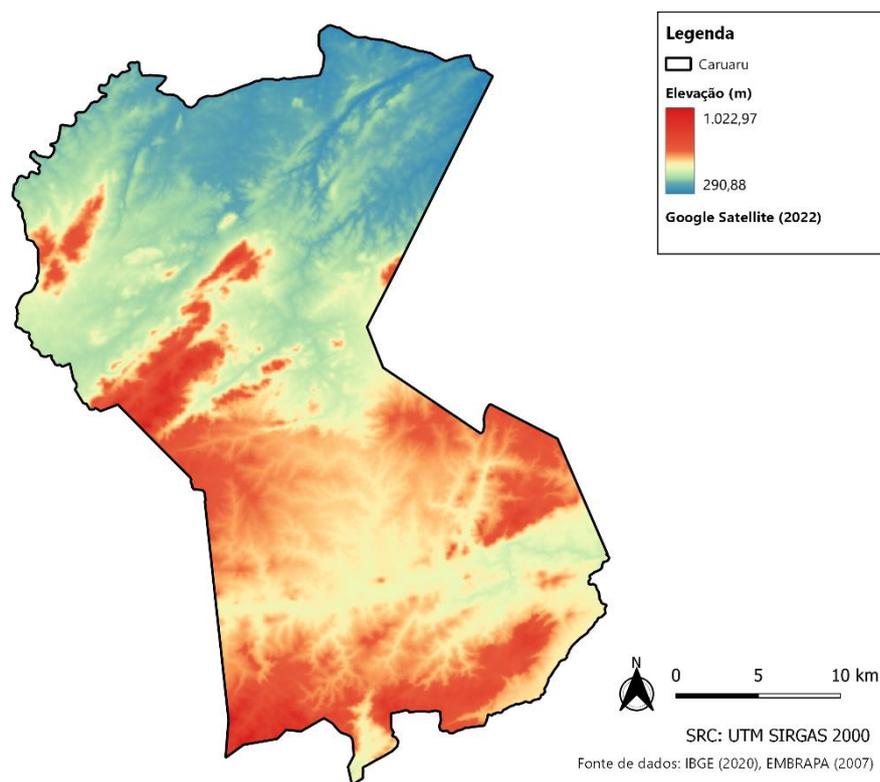
Fonte: Autor (2023)

4.1.6 Aspectos Topográficos

O município de Caruaru está locado na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 e 1.000 metros. O relevo é dotado de vales profundos e estreitos dissecados, com solos de fertilidade média para alta. A região é recortada por rios perenes de vazão reduzida, com baixo potencial de água subterrânea (CPRM, 2005).

Está situado na mesorregião Agreste de Pernambuco e microrregião do Vale do Ipojuca, com elevação média de 554 metros (VISITE CARUARU, 2022). Conforme exposto na Figura 11, no Modelo Digital de Elevação (MDE), Caruaru apresenta altitude variando entre 290 e 1022 metros, de acordo com dados obtidos pela EMBRAPA (2007).

Figura 11: Modelo Digital de Elevação (MDE) de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

4.1.7 Aspectos Geológicos

O município de Caruaru insere-se geologicamente na Província Borborema, formado pelos litotipos da Suíte Serra de Taquaritinga, dos Complexos Belém do São Francisco e Vertentes, de Granitóides Indiscriminados, do Complexo Surubim-Caroalina e das suítes Peraluminosa Xingó, Calcicalcina de Médio a Alto Potássio Itaporanga e Shoshonítica Salgueiro/Terra Nova (CPRM, 2005).

Nas superfícies suaves são identificados Planossolos, de média profundidade, muito drenados, com acidez média a moderada e fertilidade natural média. Além disso, estão presentes os Podzólicos, que possuem textura argilosa, grande profundidade e fertilidade natural média a alta. Ademais, em regiões elevadas ocorrem os solos Litólicos, que se caracterizam como rasos, textura argilosa e fertilidade natural média.

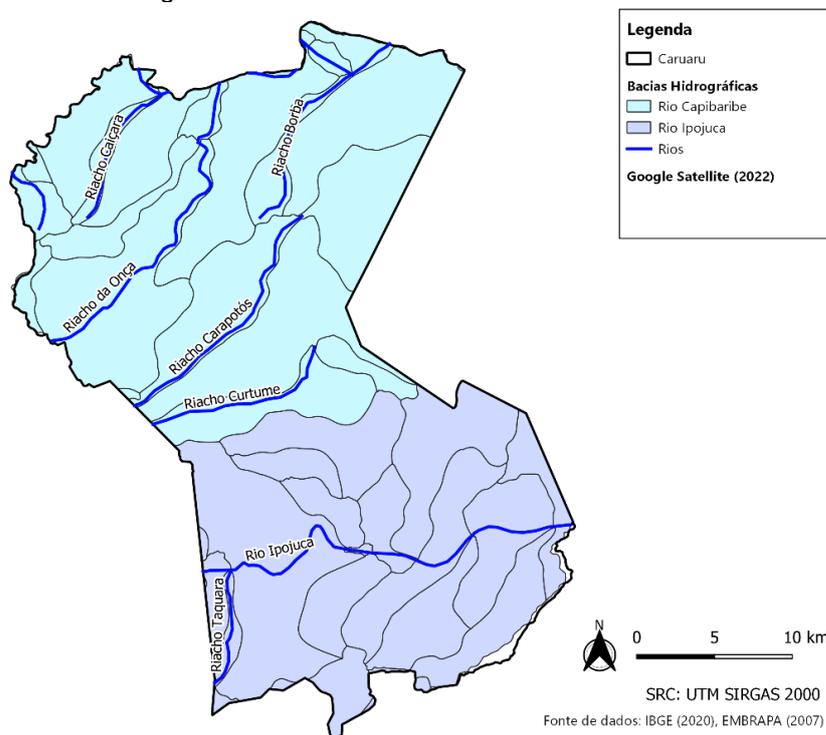
Por fim, nos vales dos rios e riachos estão presentes os Planossolos, de média profundidade, drenagem imperfeita, textura média/argilosa, acidez moderada, boa fertilidade natural, problemas de sais e afloramento de rochas. (CPRM, 2005).

4.1.8 Recursos Hídricos

Caruaru está inserido nas Bacias Hidrográficas dos Rios Ipojuca e Capibaribe. O percurso do rio Ipojuca é de cerca de 320 km, tornando-se perene nas proximidades da cidade de Caruaru, onde corta a sede municipal. A bacia do rio Ipojuca possui reservatórios com capacidade máxima superior a 1 milhão de m³ (APAC, 2022).

Os principais afluentes são o Rio Capibaribe e os seguintes riachos: Tabocas, Caiçara, Borba, da Onça, Olho D'água, Mandacaru do Norte, Carapotós, São Bento, Curtume e Taquara. Ademais, os principais açudes são: Eng^o. Gercino de Pontes, Taquara, Guilherme, Serra dos Cavalos e Jaime Nejaim. Todos os cursos d'água no município têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico (CPRM, 2005). Conforme pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12: Recursos Hídricos de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

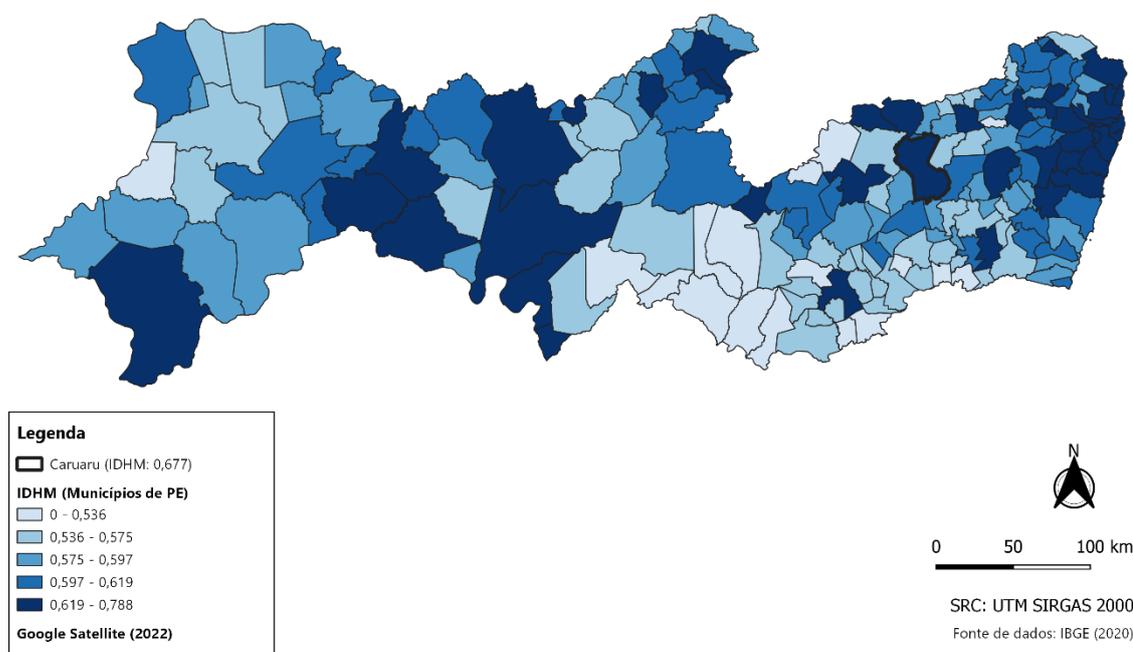
A partir do levantamento realizado pelo CPRM (2005), foram identificados 136 pontos d'água, sendo eles: 5 fontes naturais, 2 fontes indefinidas, 2 poços escavados e 127 poços tubulares.

4.1.9 Aspectos Socioeconômicos

Caruaru apresenta quatro distritos jurídico-administrativos: Carapotós, Gonçalves Ferreira, Lajedo do Cedro e a cidade de Caruaru (sede), que possui vinte e sete bairros (IPHAN, 2020). Dentre as principais atividades econômicas de município, destacam-se: Comércio (confecção e artesanato), Prestação de Serviços, Indústria e Educação. (VISITE CARUARU, 2022).

De acordo com o IBGE (2020), Caruaru possui uma densidade demográfica de 342,07 hab/km² e índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) de 0,677, conforme exposto na Figura 13. O PIB *per capita* é de R\$ 20.582,25, com salário médio mensal dos trabalhadores formais (2020) de 1,6 salários-mínimos. Cerca de 81,3% dos domicílios possuem esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2010).

Figura 13: Mapa de IDHM de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

4.1.10 Aspectos Industriais

O município possui um Distrito Industrial dividido em três módulos, totalizando 398 hectares, representando grande potencial econômico. A renda da região corresponde a 12% do PIB da cidade, apresentando empresas dos ramos: alimentício, metal mecânico, logístico, de louças sanitárias, etc. O Distrito está situado entre as BRs 104 e 232, porém com o principal acesso com problemas estruturais (UOL, 2019).

4.2 Levantamento de dados do sistema de abastecimento de água

Nesta etapa de desenvolvimento das atividades foram levantados dados acerca do sistema de abastecimento de água do município, através da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, responsável pelo atendimento da área de estudo.

Foram obtidos dados comerciais de consumo de água por ligações existentes (série de 12 meses). Juntamente de dados de cada ligação, como matrícula, situação da ligação (ativa, inativa, factível, entre outras), categoria (residencial, comercial, industrial ou pública), código do hidrômetro, data de instalação do hidrômetro, quantidade de economias e bairro/localização em que está inserida.

Ademais, foram requeridos dados de cadastro técnico das ligações existentes, redes de água e demais componentes do sistema de abastecimento atual, bem como informações de setorização em formato DWG ou *shapefile*. Além de materiais disponíveis acerca de mapeamento de vazamentos existentes, falta d'água, ocorrência de intermitência e calendário de abastecimento. E demais dados existentes que possam auxiliar na caracterização de perdas reais e aparentes do sistema, tais como anormalidades de leitura e ligações fraudulentas.

4.3 Diagnóstico do Sistema de Abastecimento Existente

A partir desta fase do estudo, foi realizado o diagnóstico do SAA atual, em que são avaliados dados de índice cobertura do sistema, condições de infraestrutura e conservação, número de ligações e consumo por categoria, qualidade da água bruta e tratada disponível, mananciais utilizados e nível de atendimento da população.

Além de verificar as informações acerca dos componentes do sistema, como reservatórios, estações elevatórias de água bruta e tratada, boosters, estações de tratamento de água bruta e poços profundos. Assim como material, diâmetro e idade de redes de distribuição e adutoras.

4.3.1 Abrangência do Sistema

O sistema de abastecimento de água de Caruaru abrange todos os 81 bairros da cidade (Agamenon Magalhães, Alto do Moura, Boa Vista, Cidade Alta, Cidade Jardim, Deputado José Antônio Liberato, Jardim Panorama, João Mota, José Carlos de Oliveira, Maurício de Nassau, Morro do Bom Jesus, Nossa Senhora das Dores,

Riachão, Salgado, Santa Rosa, Vassoural e outros), além da Zona Rural (COMPESA, 2022).

4.3.2 Captação e Mananciais

O sistema de captação de Caruaru é oriundo do Rio da Prata, afluente do Rio Uma, através da Barragem do Prata e do Rio Capibaribe, a partir da Barragem de Jucazinho. Existe também uma pequena contribuição da Barragem Taquara que faz a contenção de águas pluviais (COMPESA, 2020).

A Barragem do Prata está localizada na cidade de Bonito, no Agreste de Pernambuco. O Manancial tem capacidade para armazenar 42 milhões m³ de água, abastecendo as cidades Caruaru, Agrestina, Altinho, Ibirajuba e Cachoeirinha (NE 10 Interior, 2020).

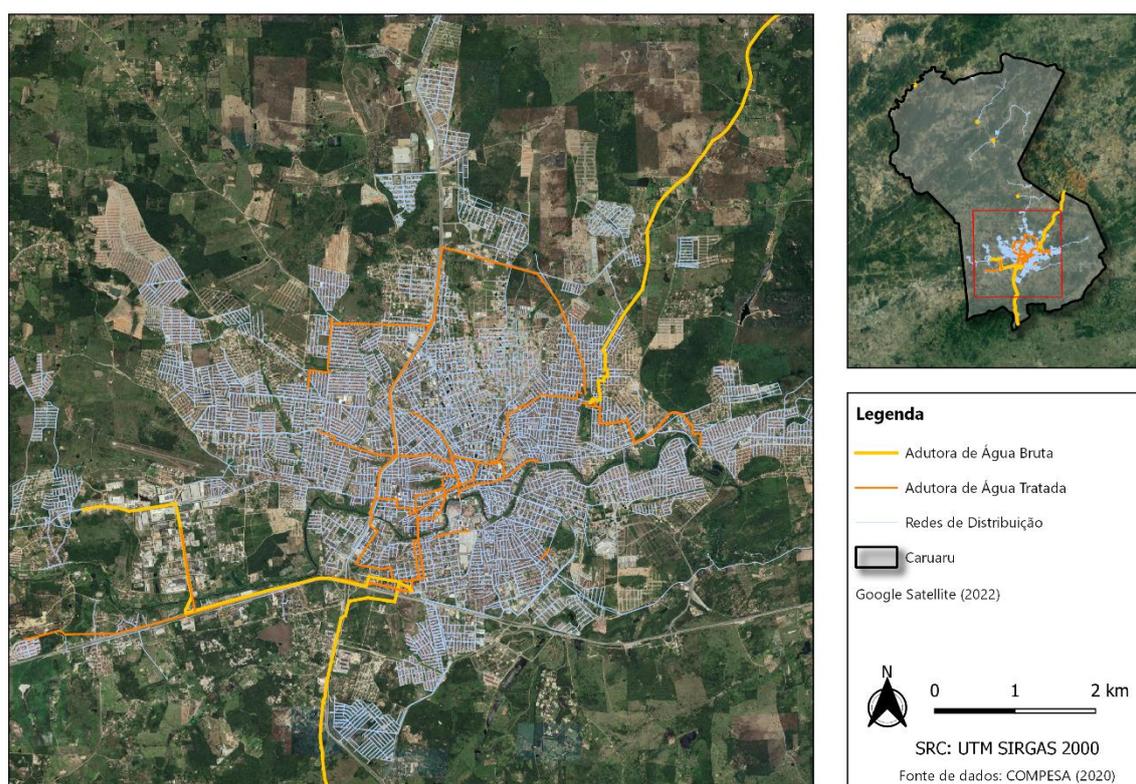
A Barragem de Jucazinho está localizada no município de Surubim, em Pernambuco, às margens do Rio Capibaribe. Apresenta capacidade de armazenamento superior a 327 milhões de metros cúbicos de água, sendo considerado o maior reservatório para abastecimento humano do Agreste (COMPESA, 2018).

A Barragem Taquara está situada na cidade de Caruaru, no Agreste de Pernambuco, com capacidade de aproximadamente 1,29 milhões de m³ (Agência Brasil, 2017).

4.3.3 Adutoras de Água Bruta (AAB)

O sistema de abastecimento de Caruaru apresenta três adutoras de água bruta principais, sendo cada uma responsável por captar diretamente em uma das barragens descritas anteriormente. A água captada é conduzida até as ETA's Petrópolis, Salgado e Taquara. Ademais, as ETA's Alto do Moura, Murici e Terra Vermelha recebem água bruta através de derivações nas adutoras (COMPESA, 2020). Na Figura 14 é possível ver a localização das AAB de Caruaru.

Figura 14: Localização das adutoras e redes de distribuição de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

4.3.4 Estações Elevatórias de Água Bruta (EEAB)

O SAA de Caruaru apresenta 8 Estações Elevatórias de Água Bruta (EEAB), sendo 3 responsáveis pelo transporte da água captada no Sistema do Prata e 5 responsáveis pelo recalque a partir do Sistema Jucazinho. Na captação da Barragem Taquara não existem EEAB, uma vez que o transporte da água até a ETA é feito por gravidade (COMPESA, 2020).

4.3.5 Estações de Tratamento de Água (ETA)

De acordo com os dados fornecidos pela COMPESA (2020), o sistema de abastecimento de água de Caruaru apresenta 7 Estações de Tratamento de Água, sendo elas: ETA Salgado, ETA Petrópolis, ETA Taquara, ETA Alto do Moura, ETA Murici, ETA Terra Vermelha e ETA Juá. Conforme exposto na Figura 15.

A ETA Salgado trata cerca de 380 L/s e possui três reservatórios: dois reservatórios apoiados (RAP) e um reservatório elevado (REL). Com um volume anual produzido em torno de 7,78 milhões de m³, a ETA atende as regiões de: Antônio Liberato,

Rendeiras, São João da Escócia, Lagoa do Algodão, Luiz Gonzaga, UFPE e Nova Caruaru, distribuindo cerca de 6,82 milhões de m³ de água (COMPESA, 2020).

A ETA Petrópolis, por sua vez, realiza o tratamento de cerca de 750 L/s e possui 5 reservatórios: três reservatórios apoiados (RAP's) e dois reservatórios elevados (REL's). Ademais, a ETA possui Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT's), que abastecem por rodízio as regiões atendidas. A ETA abastece as regiões de: Santa Rosa, Vassoral, Indianópolis, Jardim dos Pinheiros, José Liberato, INOCOOP, Campo Novo, Malhado das Caveiras, Capivara e toda a região central de Caruaru (COMPESA, 2020).

A ETA Taquara trata cerca de 5 L/s e todo o volume tratado segue diretamente para o abastecimento da zona rural, que funciona em sistema de rodízio nas regiões de Taquara de cima (1 semana) e Taquara de baixo (1 semana). A ETA apresenta uma produção anual em torno de 136 mil m³ e distribuição de 129,5 mil m³ (COMPESA, 2020).

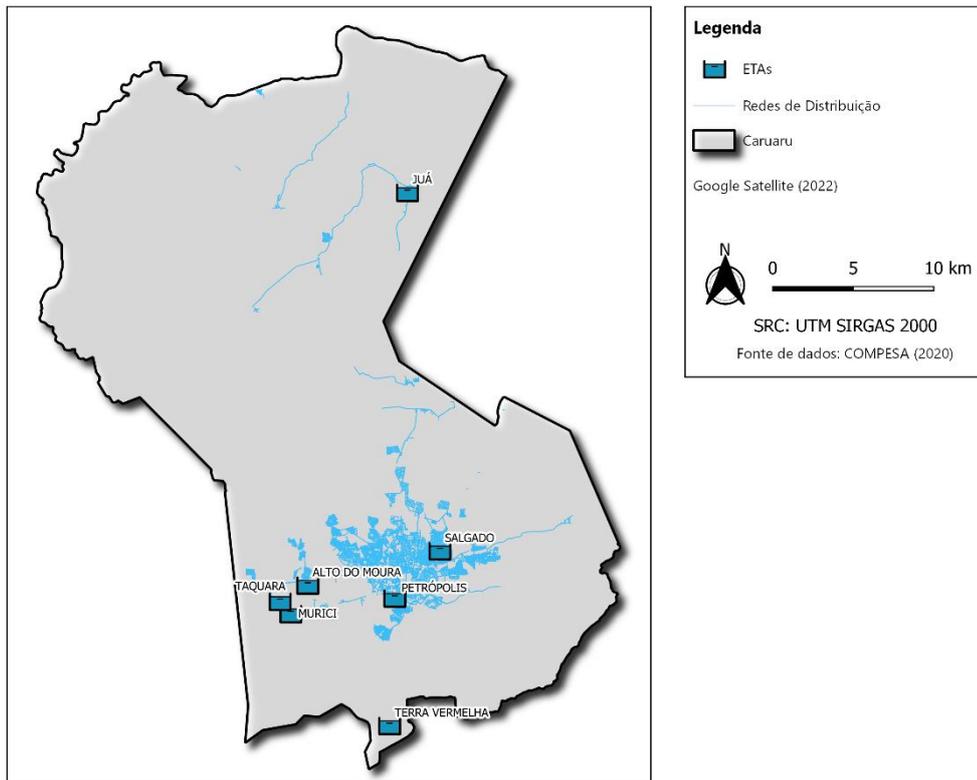
A ETA Alto do Moura possui um reservatório apoiado (RAP) e trata por filtração cerca de 10 L/s, com uma produção e distribuição anual de 164 mil m³ e 156,2 mil m³, respectivamente (COMPESA, 2020).

A ETA Murici possui uma produção e distribuição anual de 68 mil m³. Não possui projeto de ampliação das suas estruturas físicas (COMPESA, 2020).

A ETA Terra Vermelha é abastecida a partir de derivação na adutora que capta na barragem do Prata, tratando cerca de 12 L/s (capacidade máxima) através de filtração e possuindo um reservatório elevado (REL) (COMPESA, 2020).

A ETA Juá possui dois reservatórios elevados (REL) e está desativada, operando apenas como reserva para distribuição. Está situada na Vila Juá – Caruaru (COMPESA, 2020).

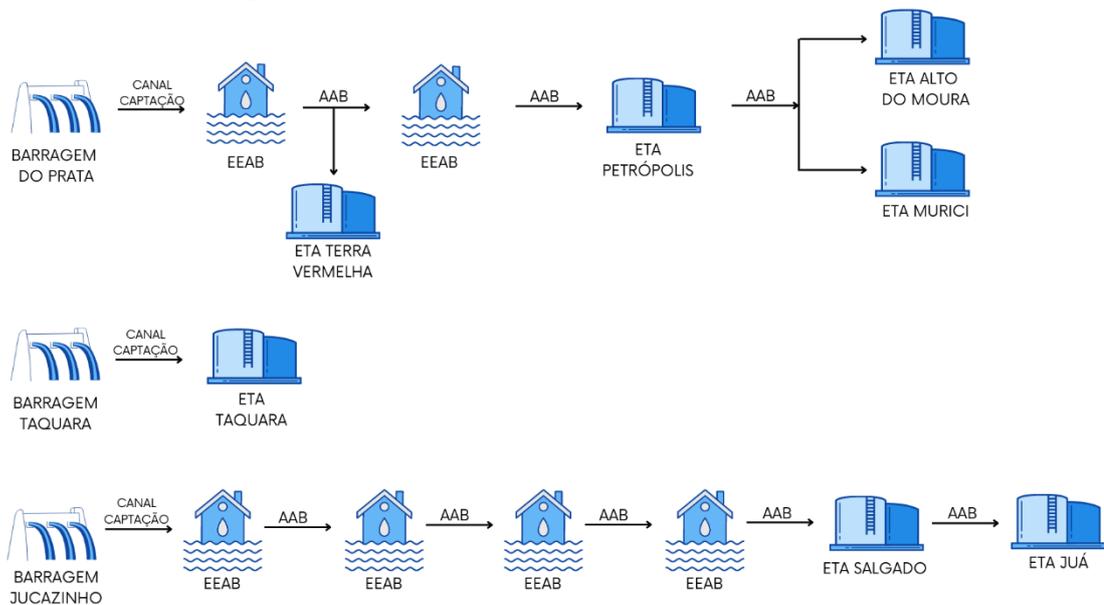
Figura 15: Localização das ETAs de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

De maneira geral, o esquema de abastecimento de Caruaru pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16: Esquema de Abastecimento de Caruaru



Fonte: Adaptado de COMPESA (2021)

4.3.6 Reservação

No SAA estão locados 23 reservatórios para armazenamento e distribuição de água tratada (COMPESA, 2020). Conforme listado na Tabela 3, abaixo. A localização dos reservatórios está disposta na Figura 17.

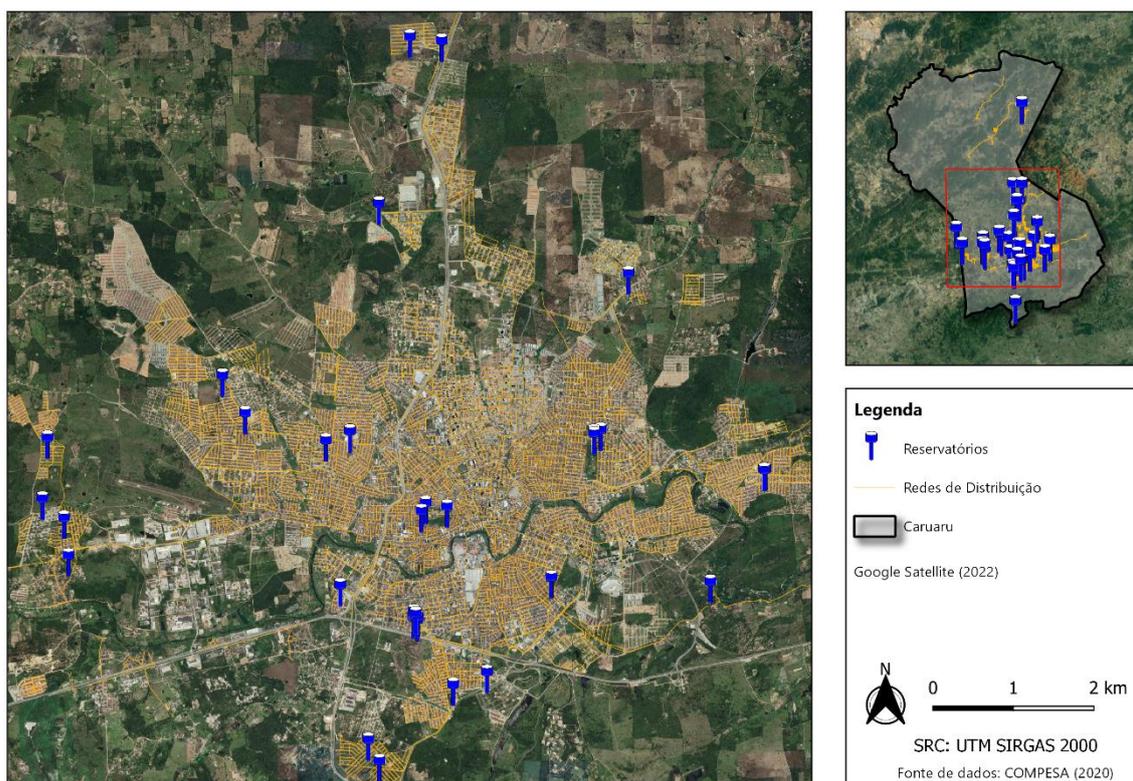
A ETA Alto do Moura apresenta um reservatório apoiado, para armazenamento e distribuição, cujo volume é de 400m³. No caso da ETA Terra Vermelha, está presente um reservatório elevado. Na ETA Juá está contido um reservatório elevado com capacidade de 50m³. Ademais, a ETA Petrópolis possui cinco reservatórios, três apoiados e dois elevados. A ETA Salgado detém dois reservatórios, um principal apoiado (RAP EQ04) e um elevado, com capacidades de 5.000 m³ e 250 m³, respectivamente.

Tabela 3: Reservatórios de Caruaru

RESERVATÓRIO	VOLUME (m ³)	COTA TERRENO	COTA NÍVEL DE ÁGUA		ALTURA ÚTIL (m)	FORMATO
			MÁX.	MÍN.		
RAP Distribuição Alto do Moura	400	590	594	590	4,0	CIRCULAR
REL José Carlos de Oliveira	30	578	592	588	4,0	CIRCULAR
ETA Petrópolis (REL Lav. Filtro. Distribuição)	600	591	615	611	4,0	CIRCULAR
ETA Petrópolis (REL. Distribuição)	100	591	605	601	4,0	CIRCULAR
Rede (Santa Rosa)	200	612	616	612	4,0	CIRCULAR
Rede de Distribuição (Cohab I e II)	150	558	562	558	4,0	CIRCULAR
Rede de distribuição (Cohab III)	30	557	571	567	4,0	CIRCULAR
Rede de distribuição (Cohab III)	450	557	571	567	4,0	CIRCULAR
Reservatório/ETA Juá	200	364	378	374	4,0	CIRCULAR
ELO Rede de Distribuição	4000	576	580	576	4,0	QUADRADO
ELO Rede de Distribuição	1500	576	580	576	4,0	QUADRADO
ELO Rede de Distribuição	125	606	610	606	4,0	QUADRADO
(RAP Distribuição) EQ03	5000	649	653	649	4,0	RETANGULAR
ETA Salgado (RAP Distribuição) EQ04	5000	592	596	592	4,0	RETANGULAR
ETA Salgado (REL Lav. Filtro)	250	590	604	600	4,0	RETANGULAR
ETA Petrópolis (RAP Distribuição)	2500	591	595	591	4,0	RETANGULAR
ETA Petrópolis (RAP Distribuição)	2500	591	595	591	4,0	RETANGULAR
ETA Petrópolis (RAP Inversão)	2500	591	595	591	4,0	RETANGULAR

Fonte: COMPESA (2020)

Figura 17: Localização dos Reservatórios de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

4.3.7 Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT)

Em Caruaru existem 22 Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT) e 3 “Booster’s”, responsáveis pela distribuição de água para as regiões próximas as ETAs. Conforme listado na Tabela 4, abaixo. Ademais, a localização das EEATs está disposta na Figura 18.

A EEAT Alto do Moura recebe água através de recalque pela ETA Petrópolis, atendendo as regiões do Alto do Moura, Lagoa de Pedra e o REL Luiz Bezerra Torres. Da mesma forma, a EEAT Bom Jesus recebe por recalque da ETA Petrópolis, abastecendo o RAP Bom Jesus, abastecendo por gravidade a região do Centro e Riachão (COMPESA, 2020).

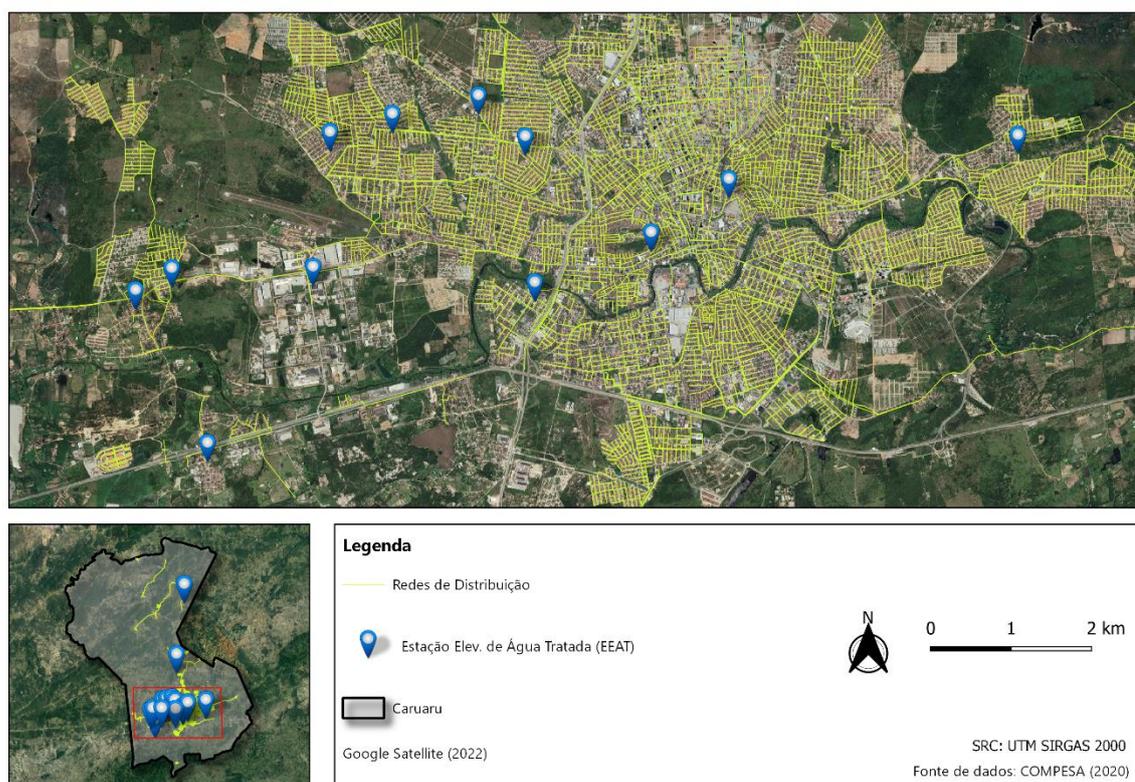
A EEAT Boa Vista, por sua vez, abastece o Residencial Vitória e a rede que fornece à EEAT do Multirão. O Booster do Sesi abastece a região da Vila Andorinha e José Carlos de Oliveira. A EEAT Riacho Doce é abastecida pela ETA Salgado, abastecendo as regiões de Cachoeira Seca e Riacho Doce. A EEAT Carapotós também recebe água vinda da ETA Salgado, abastecendo a região de Carapotós (COMPESA, 2020).

Tabela 4: Boosters e Estações Elevatórias de Caruaru

ELEVATÓRIA	VAZÃO (L/s)	ALTURA MANOMÉTRICA (mca)	POTÊNCIA (cv)
EEAT XIQUE XIQUE	65,27	82,16	100
EEAT COHAB I E II	-	-	60
EEAT MULTIRÃO	-	-	12,5
EEAT ALTO DO MOURA	50	-	125
BOOSTER ALTO DO MOURA	-	-	20
EEAT MORRO DO BOM JESUS	-	-	20
EEAT PETRÓPOLIS 1	100	-	60
EEAT PETRÓPOLIS 2	55,55	25	150
EEAT PETRÓPOLIS 3	-	-	100
EEAT PETRÓPOLIS 4	-	-	50
EEAT PETRÓPOLIS 5	-	-	12,5
INVERSÃO (PETRÓPOLIS PARA SALGADO)	250	72	350
EEAT PETRÓPOLIS 6	66,6	18	25
EEAT PETRÓPOLIS (LAVAGEM DOS FILTROS)	200	15	60
EEAT COHAB III	62,86	-	30
EEAT SALGADO (LAVAGEM DOS FILTROS)	27,77	18	15
EEAT SALGADO (DISTRIBUIÇÃO)	-	-	4
EEAT SALGADO (PARA EQ4)	-	-	100
EEAT SALGADO (INVERSÃO)	-	-	350
BOOSTER SÃO JOSÉ	-	-	20

Fonte: COMPESA (2020)

Figura 18: Localização das Estações Elevatórias de Água Tratada de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

4.3.8 Redes de Distribuição

De acordo com o cadastro de redes da COMPESA (2020), as redes de distribuição do SAA de Caruaru são, em grande maioria, de Policloreto de Vinil (PVC), seguido de Ferro Fundido (FoFo) e DEFoFo. No entanto, é possível encontrar redes nos seguintes materiais: Cimento Amianto (CA), DEFoFo, Ferro Fundido (FoFo), Fibra de Vidro (FV), Ferro Dúctil (FD), Policloreto de Vinil (PVC), Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e Polipropileno (PP). Conforme exposto na Figura 19.

Em relação ao diâmetro das redes, uma quantidade expressiva de redes possui 50 e 75 mm. Conforme quantitativos expostos na Tabela 5 e distribuição de redes disposta na Figura 20.

Tabela 5: Extensão das redes de distribuição de Caruaru (km)

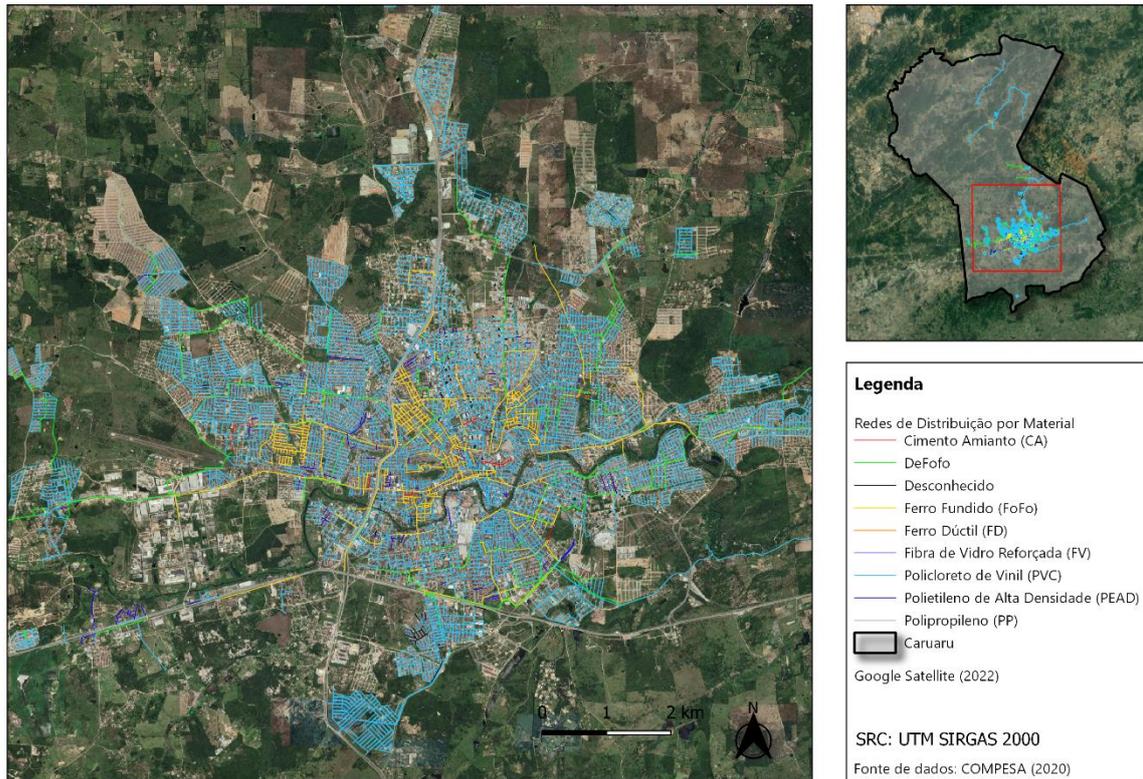
MATERIAL/DIÂMETRO	<50	50	75	100	150	200	250	Desconhecido	TOTAL
Cimento Amianto	0,0	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,5	0,0	2,6
DeFoFo	0,0	3,1	1,9	4,9	39,4	30,2	11,0	0,0	90,5
FoFo	0,0	0,5	34,4	13,2	14,0	13,3	7,7	2,4	85,5
Fibra de Vidro Reforçada	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5
PVC	4,4	455,4	216,7	71,2	31,7	5,7	1,1	0,0	786,2
PEAD	14,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6
Polipropileno	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Desconhecido	0,0	2,8	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0	1,1	4,7
TOTAL	18,7	462,9	253,7	90,1	85,8	49,7	20,3	3,5	984,7

Fonte: Autor (2023)

Nos dados cedidos pela COMPESA não foram localizadas informações acerca da idade das redes de distribuição, impedindo a formação de conclusões concretas acerca da possível influência da idade das redes na incidência de perdas reais no sistema.

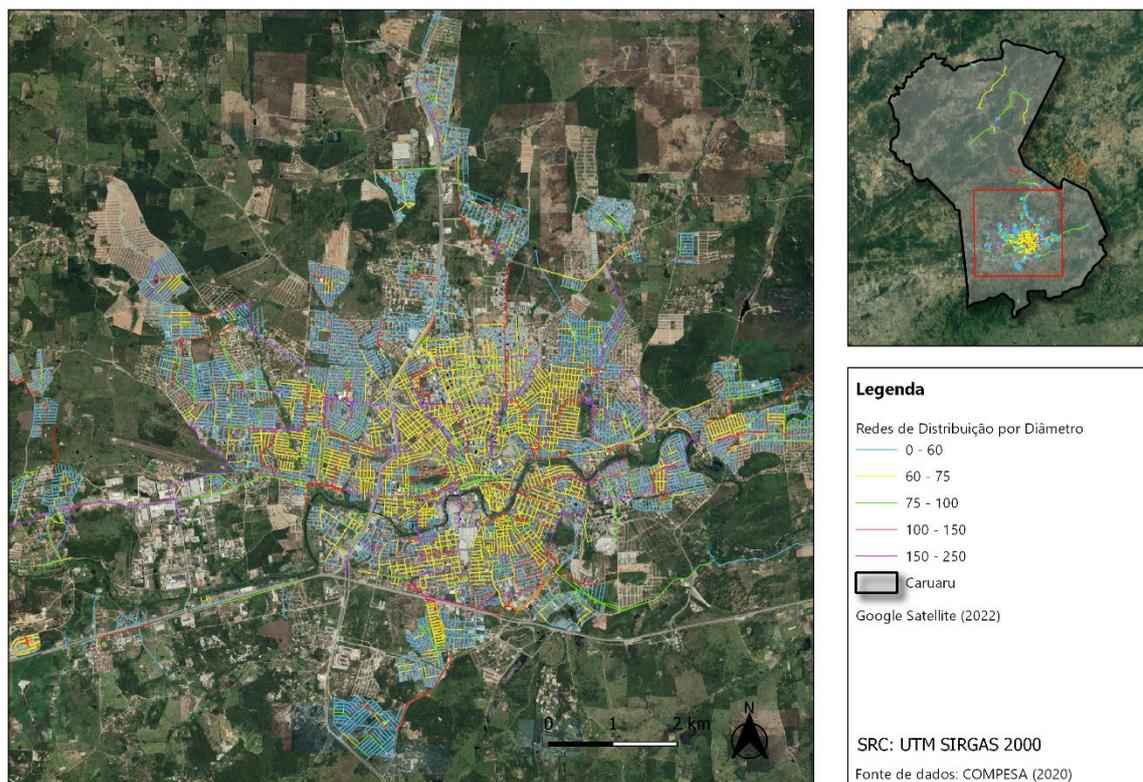
Entretanto, observa-se que o SAA ainda apresenta resquícios de rede em Cimento Amianto, material frágil, característico de redes mais antigas, que pode ocasionar vazamentos. Além de apresentar uma quantidade considerável em Ferro Fundido (FoFo), que em caso de redes de idade avançada pode enferrujar tanto na parte externa quanto na parte interna, o que pode deteriorar a rede e provocar vazamentos.

Figura 19: Redes de distribuição de Caruaru - Material



Fonte: Autor (2023)

Figura 20: Redes de distribuição de Caruaru - Diâmetro



Fonte: Autor (2023)

4.3.9 Macromedição

Nas Tabela 6 e Tabela 7 estão apresentadas as especificações dos macromedidores existentes nas áreas de abastecimento da ETA Salgado e ETA Petrópolis respectivamente, em Caruaru.

Tabela 6: Macromedidores na área de abastecimento da ETA Salgado

LOCALIZAÇÃO	DN (mm)	TIPO	FABRICANTE	STATUS
José Liberato	300	-	Siemens	Ativo
Salgado Rede Nova	200	-	Siemens	Ativo
Salgado Rede Velha	200	-	Siemens	Ativo
Rede Anel Nova Caruaru	450	-	Siemens	Ativo
Rede São João da Escócia	250	-	Siemens	Ativo
Rede do INOCOP	250	-	Conaut	Ativo
Rede das Rendeiras	300	-	Siemens	Ativo
Zona Alta Cidade Jardim	150	-	Siemens	Ativo
Saída dos Filtros	600	Eletromagnético de Inserção	Signet	Ativo
Cidade Jardim	200	-	Siemens	Ativo
Chegada na ETA Salgado	500	-	Siemens	Ativo
Zona Rural/Tabocas	450	-	-	Inativo
Inversão	300	Eletromagnético de Inserção	Signet	Ativo
Chegada no EQ4 (Prata)	500	-	Siemens	Ativo

Fonte: COMPESA (2020)

Tabela 7: Macromedidores na área de abastecimento da ETA Petrópolis

LOCALIZAÇÃO	DN (mm)	TIPO	FABRICANTE	STATUS
Rede do Anel Oeste	400	-	Conaut	Ativo
Rede do Alto da Banana	300	-	Siemens	Defeito
Rede do Morro Bom Jesus (Fibra)	500	-	Conaut	Ativo
Rede do Morro Bom Jesus (Velha)	500	-	Siemens	Ativo
Rede Alto Santa Rosa	200	-	Siemens	Ativo
Rede Carro Pipa	200	-	Siemens	Ativo
Rede Zona Alta Petrópolis	150	-	Siemens	Ativo
Distrito Industrial	300	-	Siemens	Ativo
Chegada na ETA Petrópolis (Prata)	500	-	Siemens	Ativo
Chegada Na ETA Petrópolis (Camevô)	600	-	Siemens	Ativo
Saída da Bomba de Inversão	400	-	Signet	Ativo

Fonte: COMPESA (2020)

4.3.10 Redução de Pressão

De acordo com os dados fornecidos pela COMPESA (2020), o sistema de distribuição de Caruaru apresenta apenas uma Válvula Redutora de Pressão (VRP) instalada, situada na Reserva Indianópolis, no bairro Campo Novo, sem mais informações acerca do equipamento e suas especificações.

4.3.11 Vazamentos

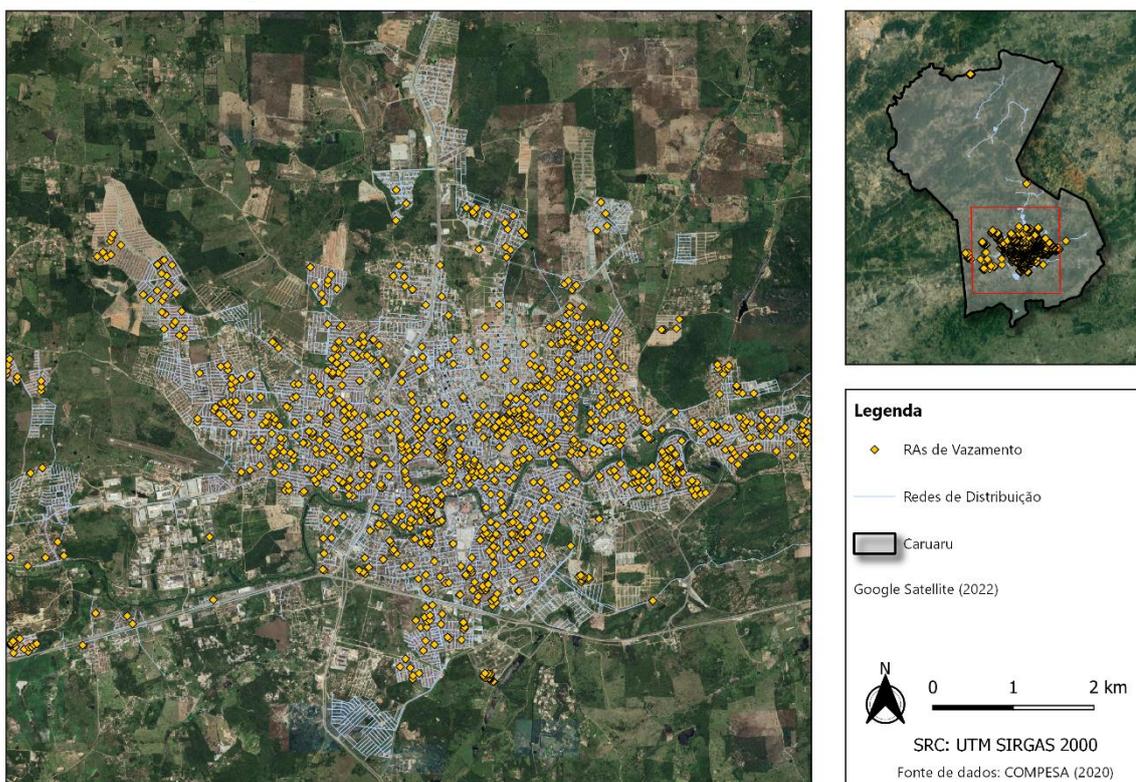
Segundo dados técnicos cedidos pela COMPESA (2020), foi possível visualizar a distribuição de Registros de Atendimento (RA) abertos para retirada de vazamento em toda região do município em 2020, como pode ser visto na Figura 21. A incidência de vazamentos no município ocorre tanto em ramais e cavaletes quanto nas redes de distribuição, com maior ocorrência em ramais, conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Ocorrência de vazamentos, por local, em 2020.

LOCAL	QUANTIDADE (un)
Rede	94
Ramal	2630
Cavalete	1006
TOTAL	3730

Fonte: COMPESA (2020)

Figura 21: Incidência de RAs de vazamento em Caruaru



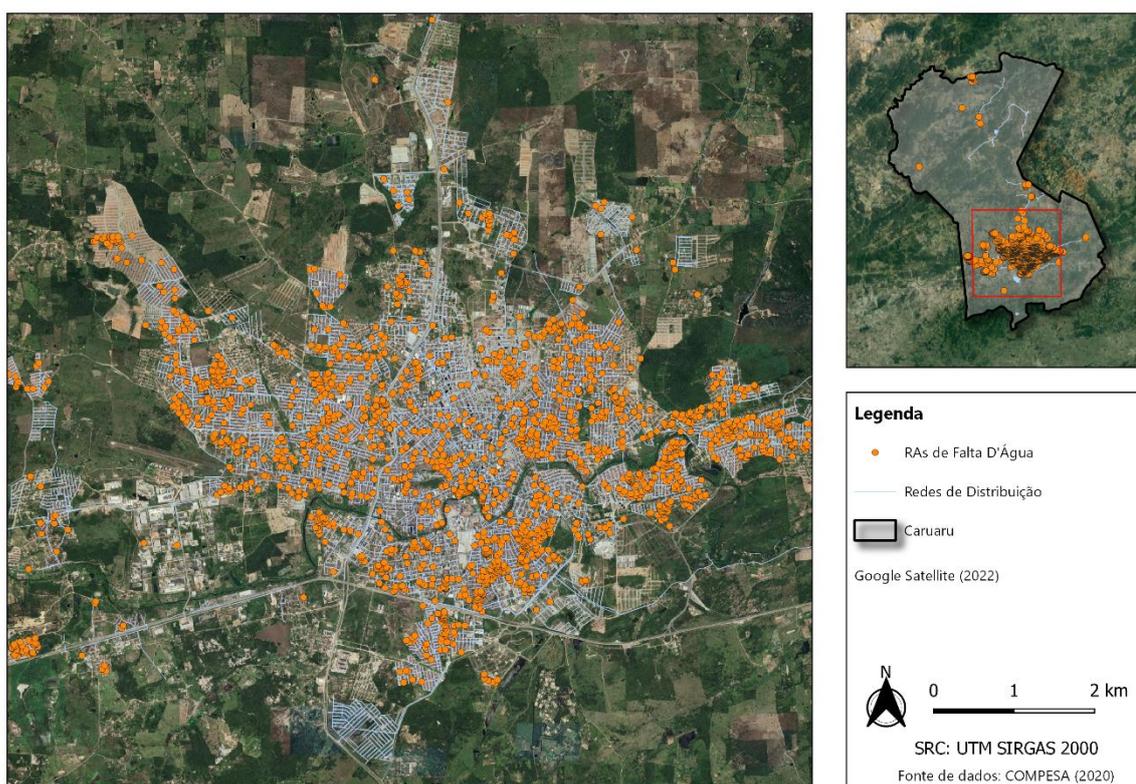
Fonte: Autor (2023)

4.3.12 Falta D'água

De acordo com a COMPESA (2020), o município apresenta um calendário de abastecimento, com a presença de rodízio em alguns setores, o que promove a incidência de falta d'água de maneira intercalada nessas regiões. Desta forma, na Figura 22 estão distribuídos os Registros de Atendimento de falta d'água em Caruaru.

Através do SIG, foram georreferenciadas as ocorrências de falta d'água, para possibilitar a visualização da distribuição geográfica dos pontos registrados. O que demonstra que todo sistema de abastecimento já apresentou falta d'água, cujos registros estão distribuídos de forma uniforme por toda área atendida pelo SAA do município. Um resultado esperado diante da presença de rodízio de abastecimento em boa parte do município.

Figura 22: Distribuição de RAs de falta d'água em Caruaru



Fonte: Autor (2023)

4.3 Análise do cadastro técnico e adequação de informações pela ferramenta SIG

A ferramenta SIG promove a conciliação dos setores comerciais com a setorização da rede, desafio para o controle de perdas. Associando o georreferenciamento e a digitalização das informações, promovendo a confecção de mapas temáticos. Permitindo a análise facilitada de sistemas com elevado volume de informações (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

Portanto, a partir dos dados de cadastro técnico fornecidos pela companhia, foi feita a compatibilização e transferência para o software QGIS para realização das análises. Em que foram locados componentes como válvulas, registros, bombas, macro medidores, reservatórios, elevatórias, ETAs, base de clientes georreferenciada, redes de distribuição, adutoras, mananciais, poços, entre outros.

No QGIS foram adicionadas outras informações essenciais como curvas de nível, modelos digitais de elevação (MDE), localização de bacias hidrográficas e vias de acesso. Elementos que estão disponíveis por órgãos conceituados como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

4.4 Análise do cadastro comercial da companhia

Por meio do cadastro comercial disponibilizado pela concessionária de abastecimento foram examinados dados de consumo e distribuição por categoria (residencial, comercial, pública e industrial), consumo por economia e incidência de anormalidades de leitura. Informações acerca da localização e frequência de vazamentos, índice de hidrometração, idade dos medidores e situação das ligações (ligada, cortada, factível, suprimida).

Por conta da extensão do cadastro comercial, foi utilizado o software Google Colaboratory, através da linguagem Python, como ferramenta empregada para realizar o processamento e tratamento da base de dados, e para avaliação dos resultados. Com auxílio das bibliotecas do Python como Pandas e Plotly. Possibilitando a realização de análises estatísticas e elaboração de gráficos para sintetização do cadastro comercial da companhia, identificando fatores que promovam perdas aparentes no sistema.

4.5 Caracterização das perdas de água

A partir dos dados levantados e compatibilizados foi realizada a caracterização das perdas reais e aparentes do sistema de abastecimento de Caruaru. Por meio da utilização das ferramentas citadas anteriormente e dos softwares AutoCAD, QGIS e Google Colaboratory.

Em conjunto, foi realizada a verificação dos dados de pressão registrados por meio de *dataloggers* em alguns pontos estratégicos do município, e sua influência na ocorrência de vazamentos. E por fim, foi realizado o cálculo do balanço hídrico através de dados fornecidos do SNIS (indicadores de perdas) e foram comparados os índices de perda obtidos com o panorama estadual, regional e nacional.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3 Influência dos Aspectos Gerais nas Condições de Abastecimento e Perdas Reais

O tamanho da cidade (correlacionado ao número de habitantes) e seu grau de industrialização influenciam os tipos de consumo de água (doméstico, industrial, comercial, público) e a promoção de perdas. A associação das características do município, ou aspectos gerais, também afeta o consumo de água. Ademais, a topografia do município pode condicionar a rede de distribuição de água a maiores pressões, o que pode promover uma crescente no consumo pela possibilidade de elevação das perdas físicas (HELLER e PÁDUA, 2010).

Segundo Bezerra e Cheung (2013), dentre os principais fatores locais que afetam o nível econômico de perdas reais estão a localização da rede, topografia da região, pressão de serviço, idade e estado de conservação da infraestrutura. Portanto, a topografia da região se relaciona com a pressão de serviço, que é a pressão máxima que se pode submeter um tubo ou dispositivo hidráulico.

A partir das suas características topográficas, verifica-se que Caruaru apresenta uma superfície com elevações variadas, com seu sistema de abastecimento posicionado na porção mais elevada do município. Sendo assim, em regiões de topografia mais acidentada, torna-se necessária a utilização de reservatórios e válvulas. Pois, além de provocar grandes variações de pressão, pode favorecer a incidência de vazamentos (BEZERRA e CHEUNG 2013).

Deste modo, reflete-se uma tendência natural a ocorrência de vazamentos, e conseqüentemente perdas reais. Uma vez que, de acordo com Heller e Pádua (2010), a topografia da cidade e a idade das tubulações constituem fatores determinantes na intensidade das perdas reais por vazamentos.

Além disso, segundo Bezerra e Cheung (2013), o uso da água é influenciado por fatores demográficos, econômicos e climáticos. Portanto, faz-se essencial conhecer as características da população, das atividades econômicas e dos padrões climáticos na área de serviço para a análise das demandas de água da área em estudo.

Sendo assim, em relação a demografia do município, verifica-se que a densidade demográfica de Caruaru é de 395,7 hab/km², classificando-o como a 4ª cidade mais populosa de Pernambuco. O que, dentro do panorama estadual

condiciona o município a uma população considerada elevada. O que demanda uma maior infraestrutura e volume de água para suprir o atendimento de toda população em seu sistema de abastecimento.

Entretanto, para Thornton (2002), apesar de dados de demanda genéricos poderem ser desenvolvidos para vários grupos de clientes com base em informações demográficas e de tipo de negócio, o custo de coletar dados de demanda específicos da região é mínimo quando comparado aos benefícios no incremento de receita das companhias associado ao aumento da precisão do medidor e da responsabilidade pelo uso da água, reduzindo as perdas no sistema.

No que diz respeito aos aspectos climatológicos, Caruaru apresenta um clima considerado como semiárido (BSh), a partir da classificação Köppen (1920), ou seja, localiza-se em uma região considerada quente, onde as chuvas são poucas e mal distribuídas, ocorrendo, periodicamente, o fenômeno das secas. Diante disso, segundo Thornton (2002), propriedades residenciais em climas quentes geralmente geram um aumento sazonal significativo no consumo de água que reflete o clima quente e as necessidades de irrigação de paisagens residenciais.

Além disso, para Heller e Pádua (2010), além de relacionar às regiões quentes e secas um consumo de água mais elevado, em comparação às regiões mais frias, deve-se considerar fatores como disponibilidade hídrica na região. Pois as vazões de uma bacia dependem de fatores climáticos e geomorfológicos, como: intensidade, a duração, a distribuição espaço-temporal da precipitação sobre uma bacia e a evapotranspiração.

Portanto, a partir da precipitação média de Caruaru, aproximadamente 572 mm anuais, verifica-se que o município apresenta uma baixa incidência de chuvas, comprometendo a recarga dos corpos d'água da região, e conseqüentemente a disponibilidade hídrica. À respeito dos recursos hídricos da região, destaca-se o Rio Capibaribe, que apresenta um regime fluvial intermitente nos seus alto e médio cursos, com 240 quilômetros de extensão e sua bacia de aproximadamente 5.880 quilômetros quadrados (IBGE, 2023). Apesar do Rio Capibaribe ter um regime fluvial intermitente em seus cursos alto e médio, em certos períodos ele pode secar parcial ou totalmente. Essa característica pode prejudicar a disponibilidade hídrica, pois afeta a recarga dos corpos d'água da região.

No que tange as características geológicas e geotécnicas, pode-se inferir sua influência nas condições do subsolo que as tubulações e estruturas (captações,

estações de tratamento, elevatórias, reservatórios) são assentadas (HELLER e PÁDUA, 2010). Que, quando em condições consideradas não ideais, podem gerar vazamentos nas redes de distribuição. Em Caruaru, as superfícies são em sua maioria consideradas suaves, com solo predominantemente argiloso, de modo que não são oferecidos grandes riscos as tubulações instaladas.

De acordo com os dados socioeconômicos e industriais de Caruaru, seu índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) é de 0,677, caracterizando-o como médio, apesar de um dos maiores do estado de Pernambuco. Ademais, apresenta um Distrito Industrial com grande potencial econômico.

Segundo Thornton (2002), em regiões com mudanças demográficas e econômicas, os padrões de consumo do cliente podem mudar significativamente e isso pode afetar a precisão do medidor de água. Pois tendências de consumo e faturamento dos clientes devem ser avaliadas regularmente para discernir tendências específicas e gerais nos padrões de consumo e perdas relacionadas à conservação, programas de controle de perdas ou tendências demográficas, como crescimento no setor industrial.

A presença de um polo industrial em Caruaru geralmente atrai trabalhadores de outras regiões, o que pode levar a um aumento temporário na população da cidade. Essa população adicional demandará recursos hídricos para suas necessidades diárias, como consumo humano, atividades industriais e serviços. Portanto, por apresentar um polo industrial significativo, Caruaru pode ter um fluxo de população flutuante expressivo, o que pode resultar em um aumento na demanda hídrica da região. Esse aumento na demanda pode sobrecarregar o sistema de abastecimento de água local, especialmente se não houver um planejamento adequado para lidar com essa variação populacional.

5.4 Levantamento de Pressão

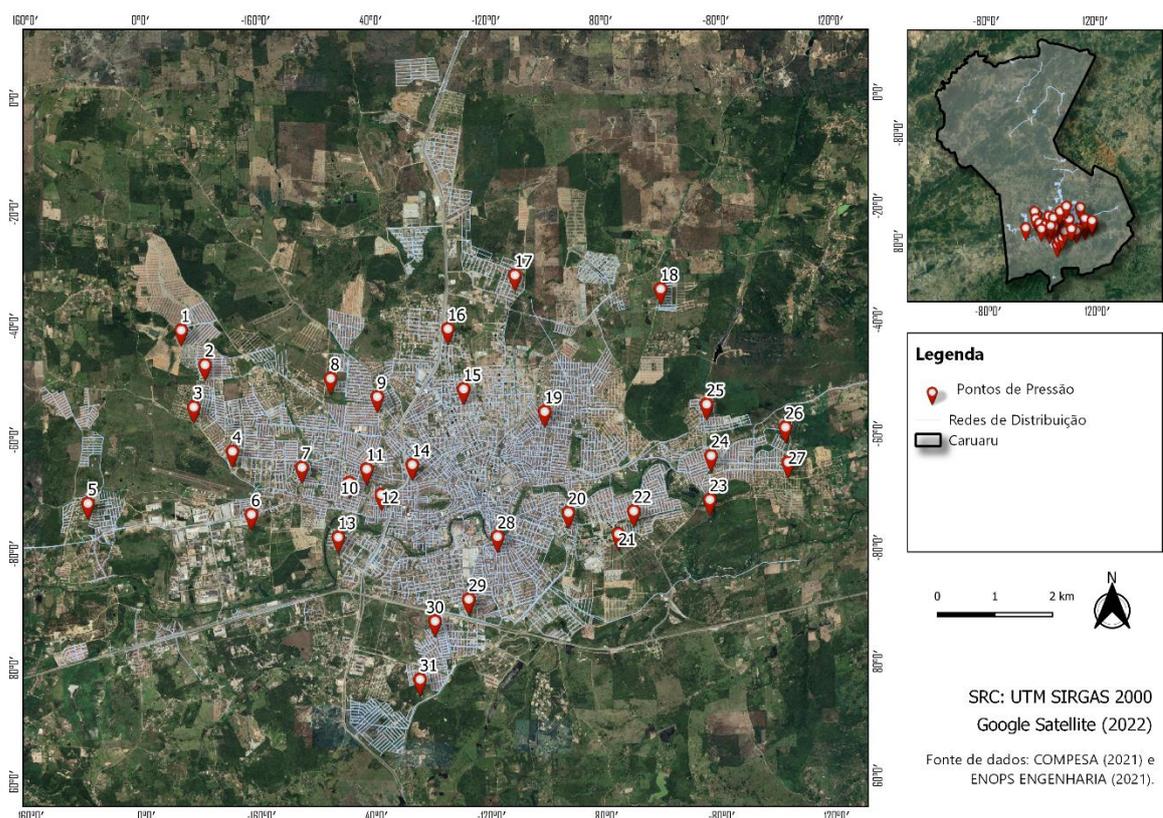
De acordo com dados fornecidos pela ENOPS ENGENHARIA (2021), foram levantados 31 pontos de pressão no município de Caruaru. O posicionamento dos pontos foi escolhido de modo a abranger de forma homogênea toda área correspondente do sistema de abastecimento da cidade. Consoante a isso, a localização dos pontos está disposta na Tabela 9 e sua disposição georreferenciada pode ser visualizada na Figura 23.

Tabela 9: Localização dos pontos de pressão

PONTO	ENDEREÇO	Nº
1	Rua Quitéria Batista de Souza	s/n
2	Rua do Sol	s/n
3	Rua da Mansidão	s/n
4	Rua Carlos Alberto Barbosa	s/n
5	Rua José Francisco de Moura	29
6	Rua da União	s/n
7	Rua E. Oito	21
8	Rua 15	168
9	Rua Renato Russo	s/n
10	Rua Santa Isabel	380
11	Rua Limoeiro, Jardim Boa Vista	385
12	Rua Frei Ricardo do Pilar	s/n
13	Rua Nova, Agamenon Magalhães	s/n
14	Rua Lima Barreto	1029
15	Rua João Teodoro Chaves	175
16	Av. Roraima, Nova Caruaru	858
17	Av. Asa Branca	139-A
18	Rua Luar da Garça Branca	-
19	Rua Esdras de Farias	883
20	Rua José Caetano de Souza	14
21	Rua Manoel Clementino Neto	s/n
22	Rua José de Souza Leite	185
23	Rua Severino César de Albuquerque	186
24	Rua Marinaldo Gomes Cordeiro	126
25	Rua Jorn. Celso Rodrigues	s/n
26	Rendeiras, Caruaru	s/n
27	Rua Noventa e Um Ltm Morada Nova	s/n
28	Rua Gen. Osório	67
29	Rua Profa. Adélia Leal Ferreira	91
30	Rua Daniela Pérez	7
31	Rua Bariloche	83

Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Figura 23: Pontos de pressão de Caruaru

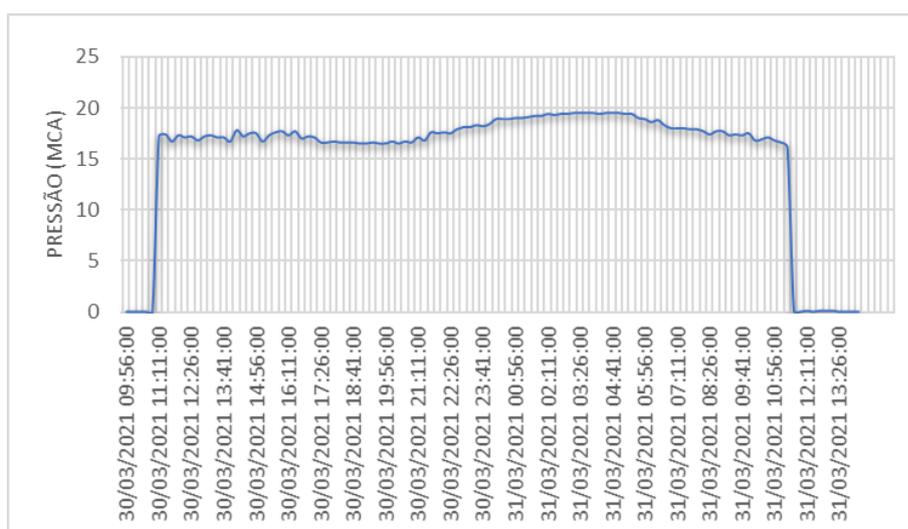


Fonte: Autor (2023)

A pressão na rede de distribuição de água é um parâmetro operacional muito importante na vazão dos vazamentos e na frequência de sua ocorrência. O aumento da pressão de serviço nas redes de distribuição pode aumentar a frequência de arreventamentos e a vazão dos vazamentos, influenciando significativamente nos volumes perdidos (TSUTYIA, 2006), o que torna essencial o mapeamento de pressões de um sistema.

Desta forma, foram levantados 31 pontos de pressão em Caruaru, de modo a abranger quase toda extensão do SAA do município. Em cada ponto foram instalados medidores de pressão com *datalogger* para armazenamento das informações coletadas, e a partir desses dados foram elaborados gráficos de pressão (mca) por hora, conforme o Gráfico 2, a seguir, que apresenta os dados coletados no Ponto 01. Os demais gráficos de pressão, de todos os 31 pontos catalogados, podem ser visualizados no tópico 8.4, nos anexos deste trabalho.

Gráfico 2: Levantamento de Pressão - Ponto 01



Fonte: Autor (2023)

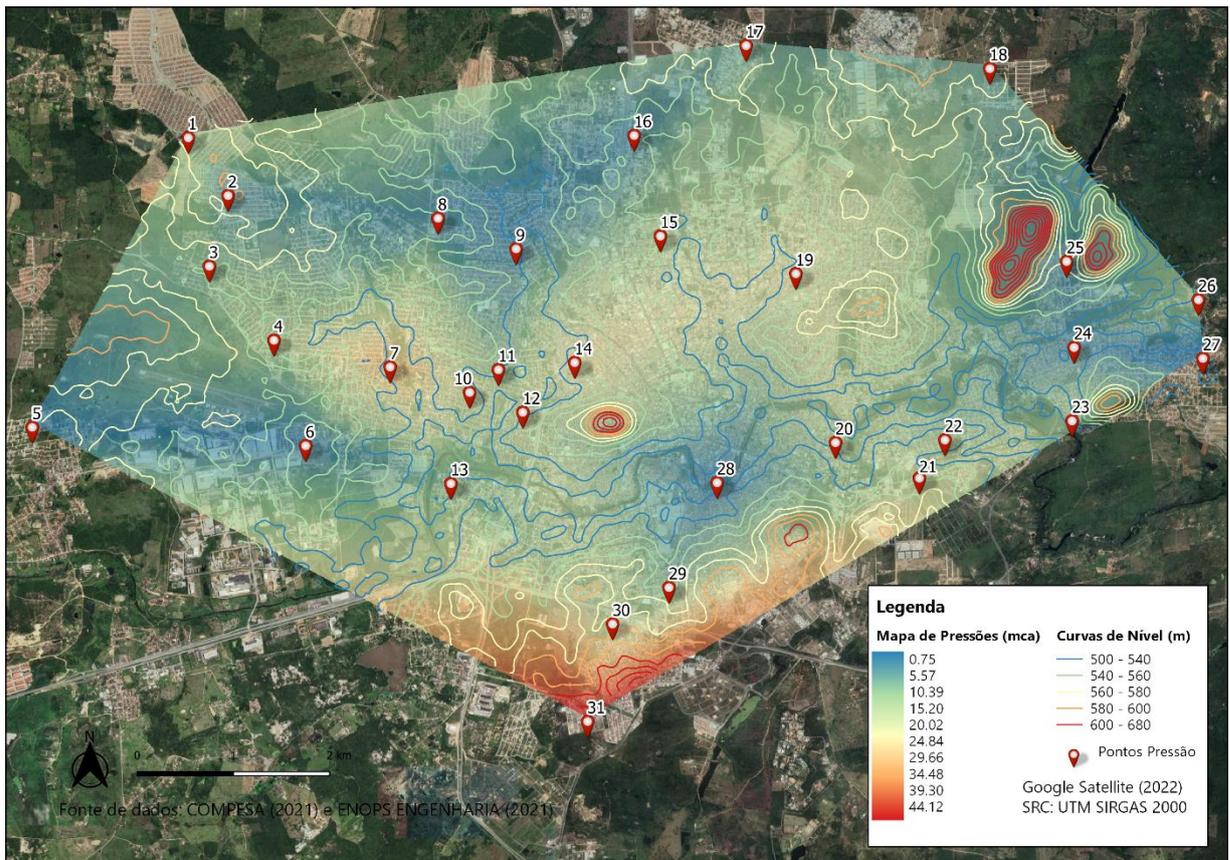
Em relação ao Gráfico 2, verifica-se que em boa parte do período de medição correspondente, as pressões do Ponto 01 se mantiveram entre 15 e 20 mca.

Neste caso, apesar dessa faixa de pressão ser considerada baixa em um sistema de abastecimento de água, ela consegue atender residências e prédios de pequeno porte, onde a demanda de água é menor. Entretanto, a pressão ideal para abastecimento de residências em sistemas de abastecimento varia entre 20 e 40 mca, podendo variar de acordo com regulamentos de região. Pois, segundo a NBR 5626:1998, a pressão estática mínima deve ser de 10 mca e a pressão dinâmica máxima não deve exceder 40 mca em edificações residenciais.

O mapeamento de pressões de um sistema está diretamente relacionado ao controle de perdas físicas, pois o gerenciamento de pressões procura minimizar as pressões do sistema e a faixa de duração de pressões máximas, enquanto garante os padrões mínimos de serviço para os consumidores abastecidos (YOSHIMOTO et al., 2009). Permitindo verificar a necessidade de implantação de mecanismos de controle como válvulas redutoras de pressão (VRP's).

Com os dados de pressão expostos, efetuados nos 31 pontos, é possível conhecer a distribuição de pressão no sistema de abastecimento. Conforme exposto na Figura 24, que possui um mapa de calor confeccionado com as pressões médias levantadas, juntamente das curvas de nível com as elevações correspondentes. A partir disso, é possível comparar os valores de pressão com a elevação do local em que a pressão foi medida.

Figura 24: Mapa de Calor – Pressões de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

A partir da Figura 24, verifica-se que na área próxima aos pontos 29, 30 e 31 obteve-se o índice mais elevado de pressão média, e ao mesmo tempo, esta área está localizada em trechos com uma das maiores elevações do sistema. Com exceção dessa região, no restante do sistema de abastecimento a pressão média obtida está diretamente proporcional com a elevação do ponto.

5.5 Síntese do Cadastro Comercial

5.5.1 Caracterização das Ligações

A partir dos dados fornecidos pela COMPESA, foram extraídos dados do Lote 4 (Caruaru e Vitória de Santo Antão) no período entre 03/2020 e 02/2021, em que foram filtradas apenas informações referentes a Caruaru.

De acordo com o banco de dados comercial fornecido pela COMPESA, foi efetuada uma análise na distribuição dos imóveis de Caruaru por categoria, a partir dos dados referentes ao mês 02/2021, dado que o mês escolhido reflete os dados mais recentes das ligações cadastradas no banco de dados fornecido, a fim de permitir a extração das informações mais atuais acerca de cada ligação. Da mesma forma, para a extração das outras informações de cada matrícula, foi utilizado o mesmo critério para escolha do mês analisado. Na Tabela 10 está disposto o panorama geral das ligações de Caruaru, extraídos a partir do banco de dados fornecido.

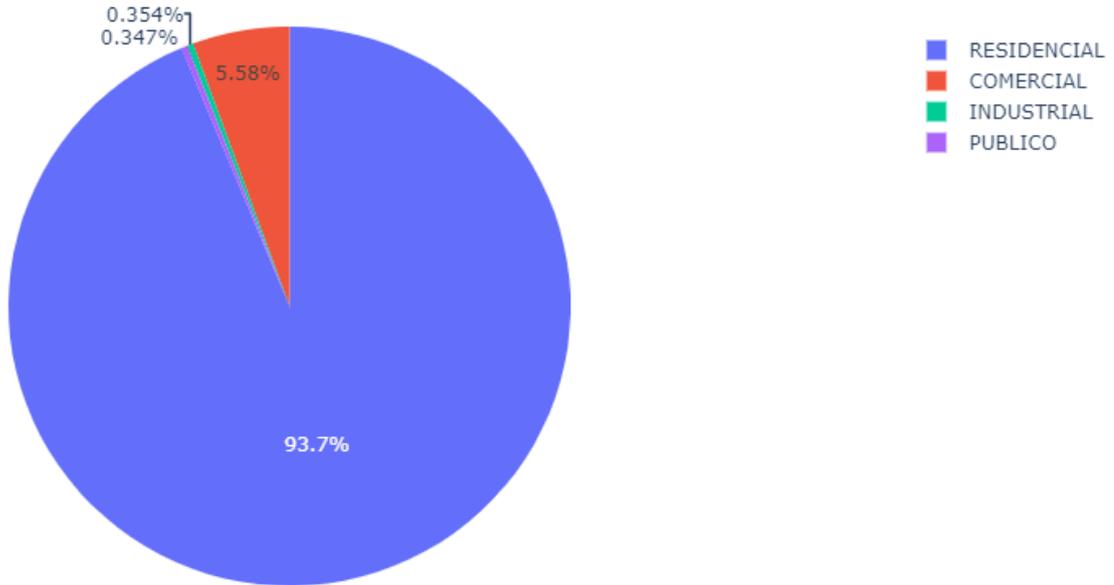
Tabela 10: Panorama Geral das Ligações - Caruaru

DADOS	TOTAL	UNIDADE
Ligações Totais	110.195	ligações
Ligações Ativas	91.926	ligações
Economias Totais	134.203	economias
Economias Ativas	112.019	economias
Volume Consumido (Lig. Totais)	945.327	m ³
Volume Consumido (Lig. Ativas)	785.875	m ³
Média de idade de instalação do parque de hidrômetros (Lig. Ativas)	11,21	anos

Fonte: Autor (2023)

Sendo assim, no Gráfico 3 a seguir estão expostos percentualmente o número de ligações por categoria da ligação de água, em que temos: residenciais (103.274 ligações), comerciais (6.149 ligações), industriais (390 ligações) e públicas (382 ligações), de modo que se observa que mais de 90% das ligações totais do município são da categoria residencial, seguidas das ligações comerciais, totalizando quase 6% das ligações.

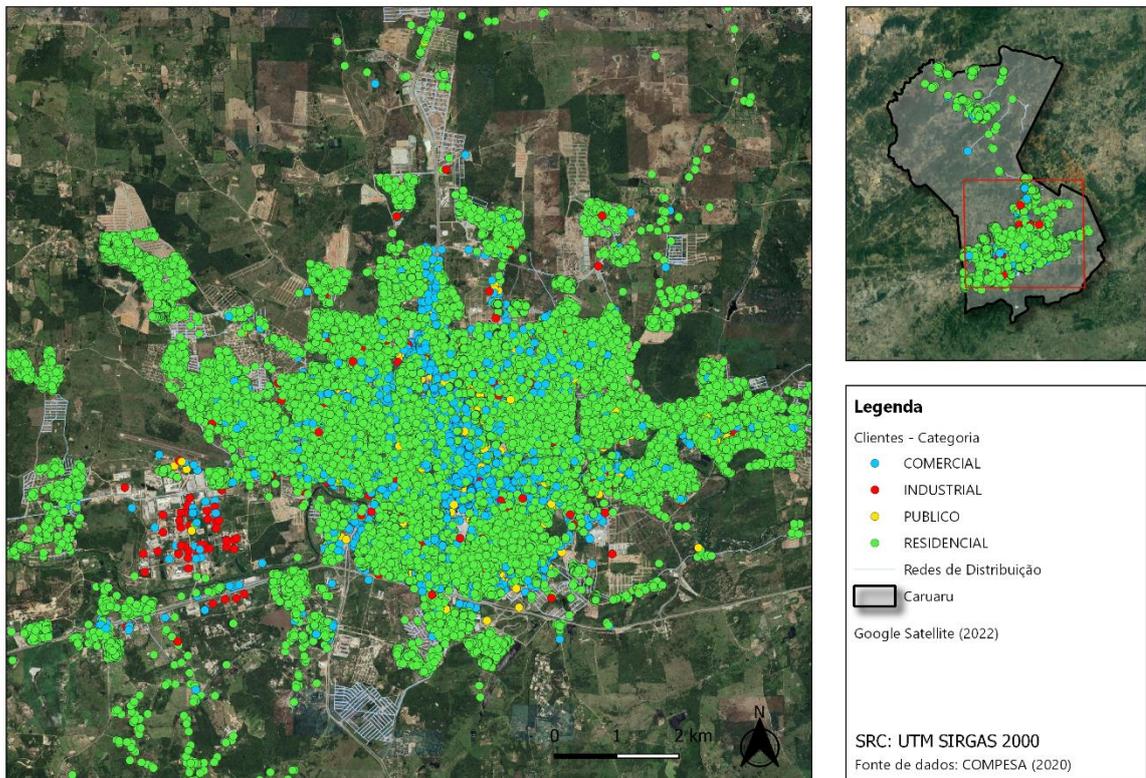
Gráfico 3: Ligações totais por categoria



Fonte: Autor (2023)

As ligações totais da companhia englobam ligações ativas e inativas. Deste modo, no mapa representado na Figura 23, dispõem-se distribuição de ligações totais por categoria ao longo do município.

Figura 23: Disposição geográfica de clientes por categoria



Fonte: Autor (2023)

Consoante a isso, Thornton (2002) afirma que as tendências de consumo e faturamento do cliente devem ser avaliadas regularmente, para discernir tendências nos padrões de consumo e perdas em resposta à conservação, programas de controle de perdas ou tendências demográficas, como crescimento no setor industrial.

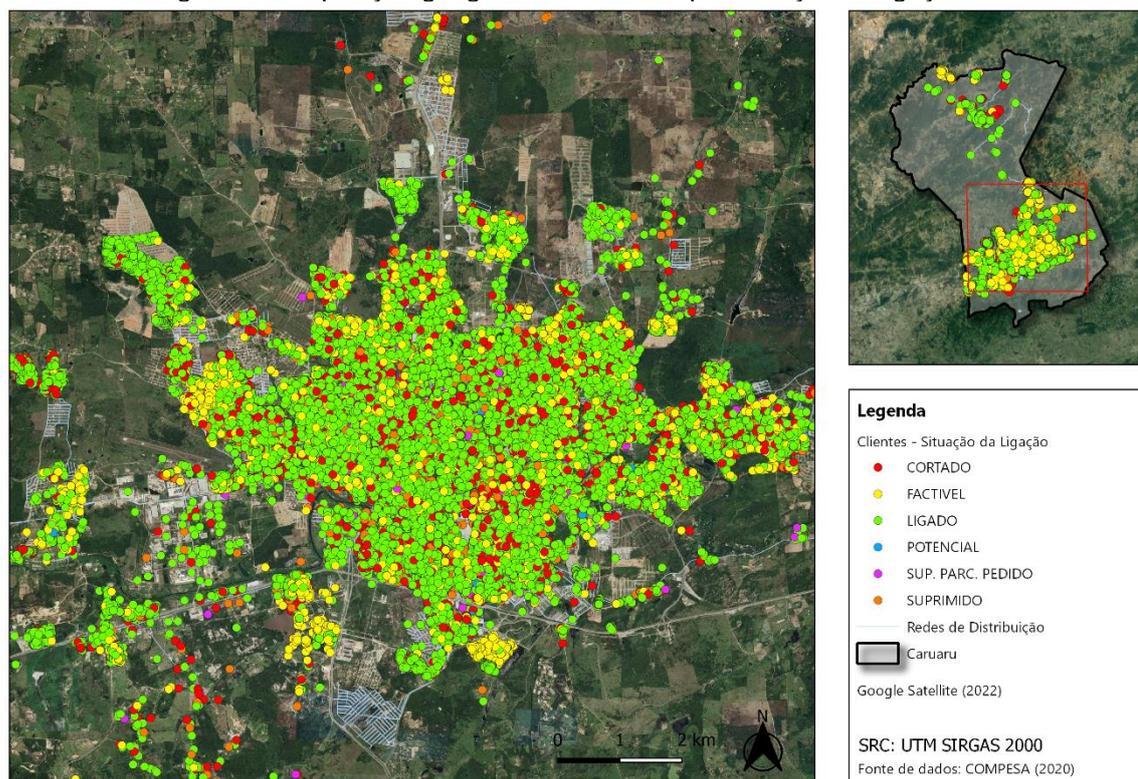
No Gráfico 4, a seguir, estão expostos percentualmente o número de ligações por situação da ligação de água, em que temos: ligado (ligações ativas) (91.926 ligações), cortado (15.816 ligações), suprimido (1437 ligações), sup. parc. pedido (suprimido parcialmente a pedido) (526 ligações) e factível (490 ligações). Deste modo, pode-se observar que 83,4% encontram-se ativas, e em relação ao total das ligações inativas que cerca de 87% delas encontra-se com o status “cortada”.



Fonte: Autor (2023)

No mapa representado na Figura 25 está disposta a distribuição de ligações por categoria no território do município. De modo a identificar traços importantes como áreas com maior índice de ligações cortadas e suprimidas. Bem como de ligações não atendidas pela concessionária mesmo estando locadas em regiões que apresentam redes de distribuição. Além de áreas passíveis de futuras implantações de rede e captação de clientes para companhia, consideradas potenciais.

Figura 25: Disposição geográfica de clientes por situação da ligação



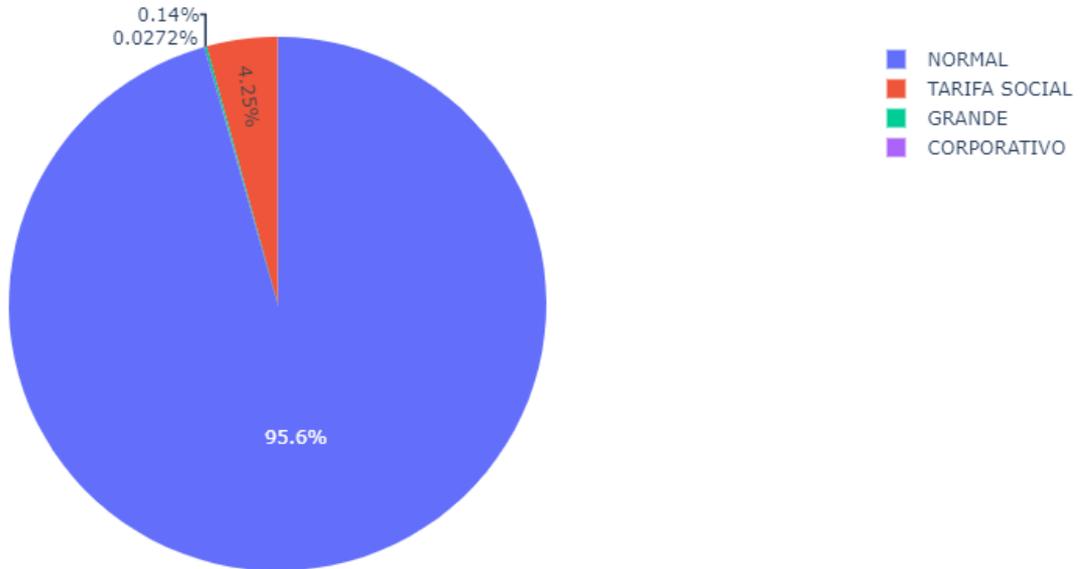
Fonte: Autor (2023)

O consumo das diferentes categorias de consumidores (como doméstico, comercial ou industrial) deve ser extraído do sistema de faturamento da concessionária, analisado e validado. E atenção especial deve ser dada ao grupo de grandes consumidores, por registrarem os maiores volumes consumidos (THORNTON, 2002).

É importante ressaltar que a definição de “grande consumidor” pode variar de acordo com cada companhia, mas segundo a COMPESA (2021), são considerados grandes consumidores todos os imóveis com consumo médio mensal medido ou faturado de água e/ou coleta de esgoto maior que 150m³ e menor ou igual a 999m³.

No Gráfico 5 a seguir estão expostos percentualmente o número de ligações por perfil de consumo, ou seja, relacionado ao tipo de tarifa cobrado pela companhia, em que temos: normal (105.329 ligações), tarifa social (4.682 ligações), grande (grandes consumidores) (154 ligações) e corporativo (30 ligações). Sendo assim, observa-se que mais de 95% do público atendido pela companhia é adepto da tarifa normal de cobrança, com pouco mais de 4% da população atendida pela tarifa social.

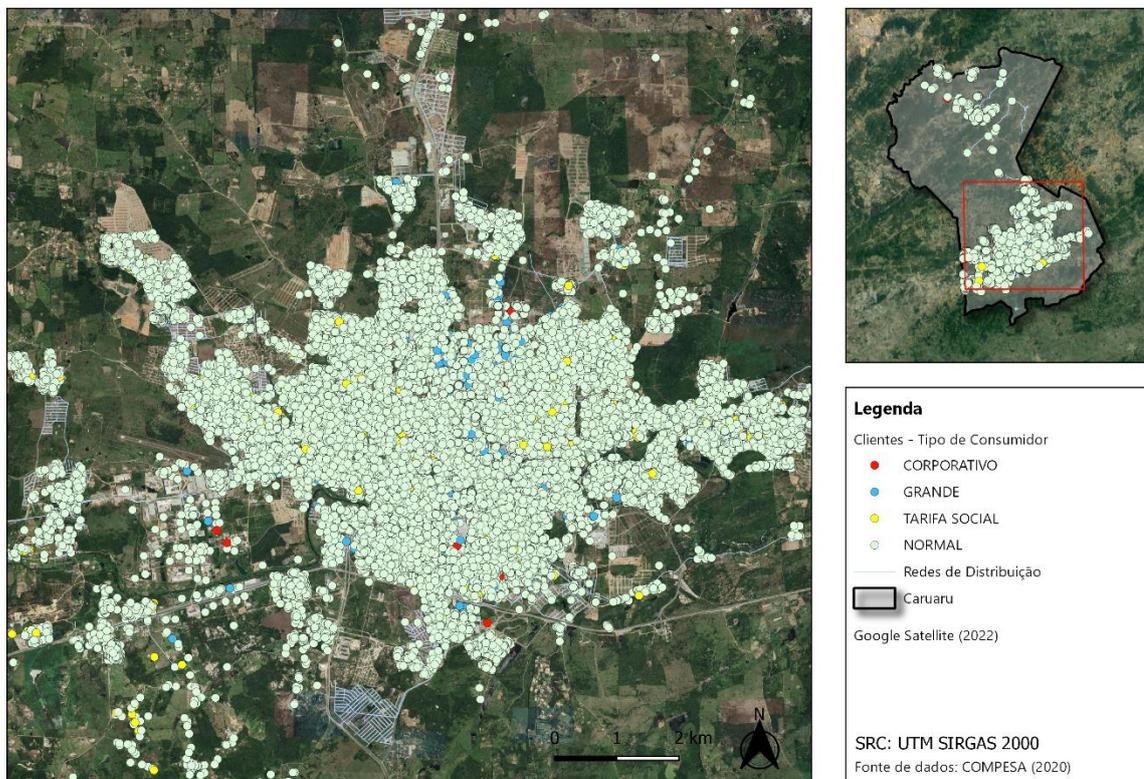
Gráfico 5: Ligações totais por perfil da ligação



Fonte: Autor (2023)

No mapa representado na Figura 26 dispõe-se a distribuição de ligações por categoria no território do município. De modo a identificar as regiões que apresentam, por exemplo, uma maior concentração de imóveis comerciais e industriais.

Figura 26: Disposição geográfica de clientes por perfil de consumidor



Fonte: Autor (2023)

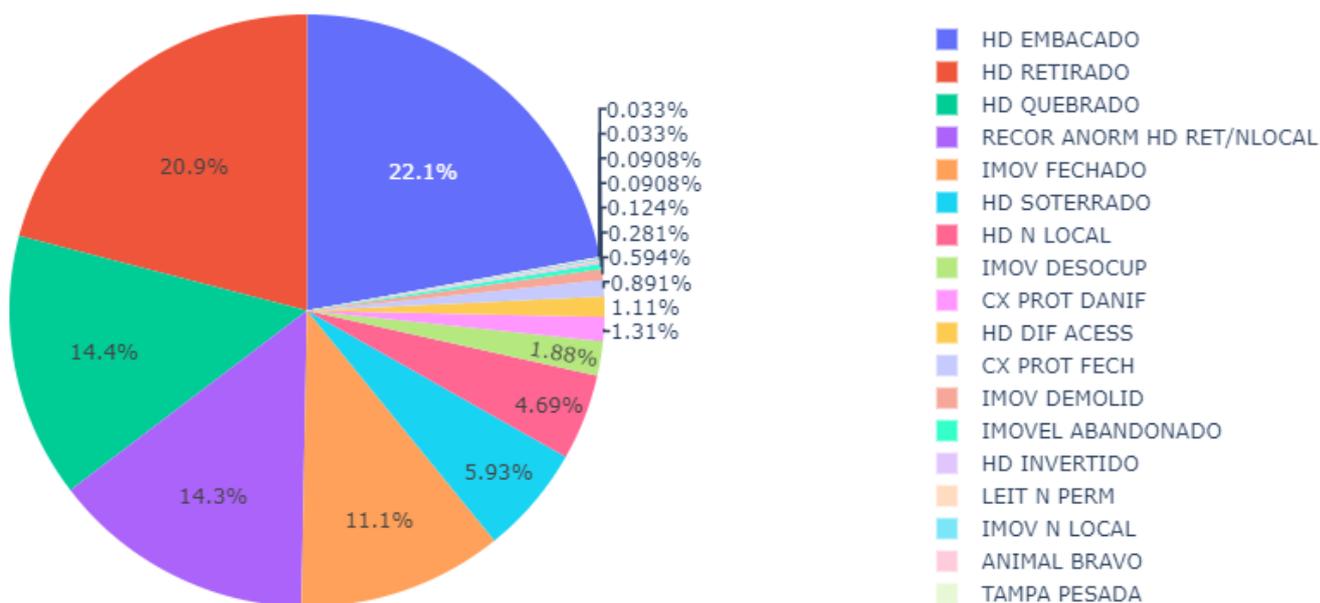
Ainda em relação às ligações totais, na Tabela 11 estão expostos percentualmente a ocorrência de anormalidades de acordo com o tipo. Paralelamente, estes dados podem ser visualizados no Gráfico 6, de modo que temos:

Tabela 11: Anormalidades de leitura identificadas nas ligações totais

TIPO DE ANORMALIDADE	Nº LIGAÇÕES	%
HD EMBACADO (Hidrômetro Embaçado)	2.678	22,10%
HD RETIRADO (Hidrômetro Retirado)	2.537	20,90%
HD QUEBRADO (Hidrômetro Quebrado)	1.749	14,40%
RECOR ANORM HD RET/N LOCAL (Hidrômetro Retirado ou Não Localizado)	1.736	14,30%
IMOV FECHADO (Imóvel Fechado)	1.351	11,10%
HD SOTERRADO (Hidrômetro Soterrado)	719	5,93%
HD N LOCAL (Hidrômetro Não Localizado)	568	4,69%
IMOV DESOCUP (Imóvel Desocupado)	228	1,88%
CX PROT DANIF (Caixa de Proteção Danificada)	159	1,31%
HD DIF ACESS (Hidrômetro de Difícil Acesso)	134	1,11%
CX PROT FECH (Caixa de Proteção Fechada)	108	0,891%
IMOV DEMOLID (Imóvel Demolido)	72	0,594%
IMOVEL ABANDONADO	34	0,281%
HD INVERTIDO (Hidrômetro Invertido)	15	0,124%
LEIT N PERM (Leitura Não Permitida)	11	0,091%
IMOV N LOCAL (Imóvel Não Localizado)	11	0,091%
ANIMAL BRAVO	4	0,033%
TAMPA PESADA	4	0,033%

Fonte: Adaptado de COMPESA (2021)

Gráfico 6: Anormalidades de leitura identificadas nas ligações totais

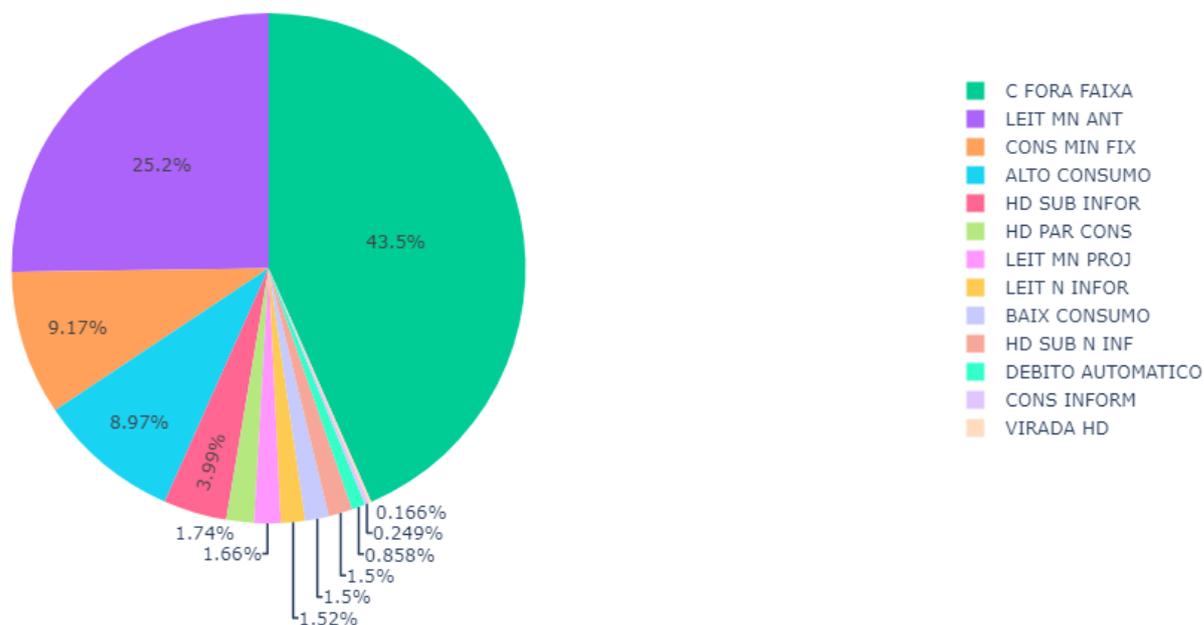


Fonte: Autor (2023)

Através do Gráfico 6, observa-se que a ocorrência principal de anormalidades está relacionada ao mal funcionamento dos hidrômetros ou de problemas como sua localização e conservação.

A seguir, no Gráfico 7 estão dispostas graficamente as principais anormalidades de consumo identificadas pela companhia nos imóveis cadastrados. Com exceção aos relacionados a anormalidades de leitura e HD parado.

Gráfico 7: Anormalidades de consumo identificadas nas ligações totais



Fonte: Autor (2023)

Através dos dados do Gráfico 7 verifica-se que as anormalidades mais registradas são: consumo fora da faixa (C FORA FAIXA), leitura mínima anterior (LEIT MN ANT) e consumo mínimo fixo (CONS MIN FIX). Ou seja, no caso das identificadas como consumo fora da faixa (C FORA FAIXA), estão as ligações que apresentaram alguma alteração no volume consumido, como decréscimo de consumo. As leituras mínimas anteriores se referem a leituras repetidas de meses anteriores, o que pode caracterizar um hidrômetro parado ou violado. Ademais, o consumo mínimo fixo refere-se ao pagamento do consumo considerado mínimo, ou seja, consumo inferior a 10 m³ - no caso da COMPESA.

No Gráfico 8 a seguir estão expostos percentualmente o número de ligações ativas por categoria da ligação de água, em que temos: residenciais (86.953 ligações), comerciais (4.343 ligações), públicas (372 ligações) e industriais (258 ligações). De modo que se observa que mais de 94% das ligações ativas do município são da

categoria residencial, seguidas das ligações comerciais, acumulando quase 5% das ligações.



Fonte: Autor (2023)

No Gráfico 9 a seguir estão expostos percentualmente o número de ligações ativas por perfil de consumo, ou seja, relacionado ao tipo de tarifa cobrado pela companhia, em que temos: normal (87.128 ligações), tarifa social (4.654 ligações), grande (grandes consumidores) (117 ligações) e corporativo (27 ligações). Sendo assim, observa-se que quase 95% do público atendido pela companhia é adepto da tarifa normal de cobrança, com pouco mais de 5% da população atendida pela tarifa social e 117 clientes considerados grandes consumidores.



Fonte: Autor (2023)

5.5.2 Micromedição

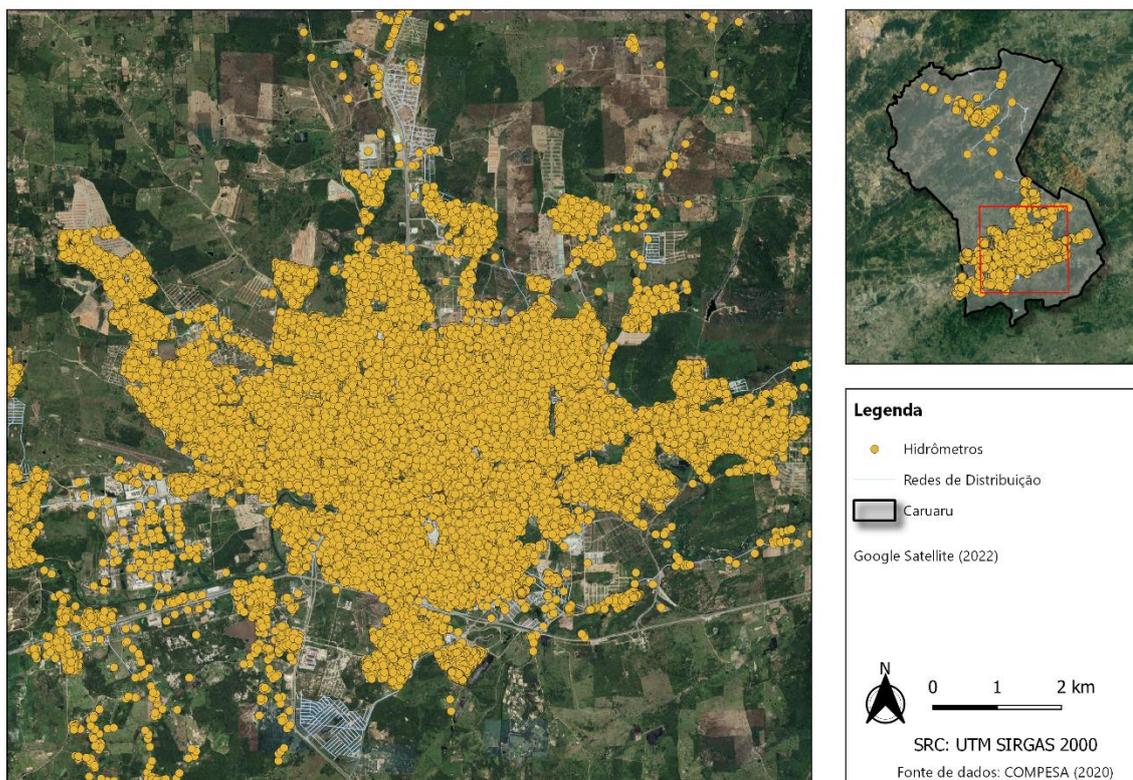
Os hidrômetros são as principais ferramentas utilizadas na micromedição, se tratando de uma das maiores fontes de perda de volumes não-faturados de uma companhia de saneamento (TSUTIYA, 2006).

A gestão de perdas aparentes está intimamente relacionada com a micromedição, de modo que o acompanhamento efetivo do parque de hidrômetros de uma companhia é essencial para impedir a submedição e favorecer a diminuição dos índices de perdas de água (BOVO et al, 2008).

Desta forma, a fim de extrair o perfil do parque de hidrômetros das ligações cadastradas na companhia, foram analisadas as informações presentes no banco de dados disponibilizado pela COMPESA, com mês base utilizado para análise 02/2021 – mês mais atual disponibilizado. De modo que foram extraídas informações como: presença de hidrômetro (HD) e idade do medidor.

Na Figura 27, a seguir, está exposta a distribuição de hidrômetros nas ligações de água do município.

Figura 27: Hidrômetros de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

De maneira semelhante, na Figura 28 observa-se a disposição dos medidores nas quadras dos logradouros atendidos pela COMPESA, ressaltando a organização e correto georreferenciamento dos HDs em cada imóvel correspondente, possibilitado pela utilização da ferramenta SIG, o que facilita a gestão da companhia.

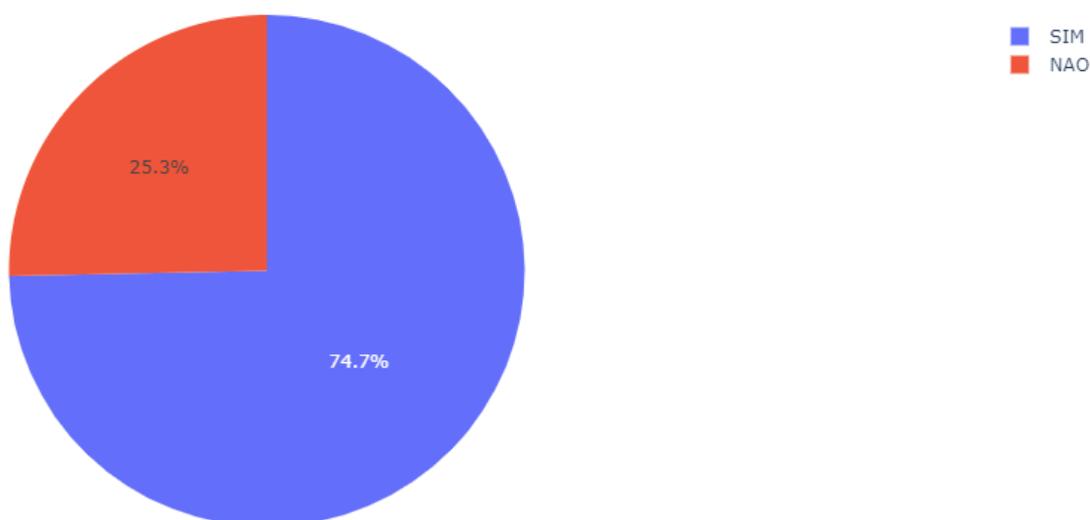
Figura 28: Disposição em quadras dos hidrômetros de Caruaru



Fonte: Autor (2023)

No Gráfico 10 a seguir estão expostos percentualmente o número de ligações totais que são micromedidas, ou seja, que possuem o consumo medido por hidrômetros, em que temos: SIM (possuem hidrômetros) (82.289 ligações) e NÃO (não possuem hidrômetros) (27.906 ligações). Sendo assim, observa-se que apenas cerca de 75% das ligações totais possui hidrômetro para medição do consumo.

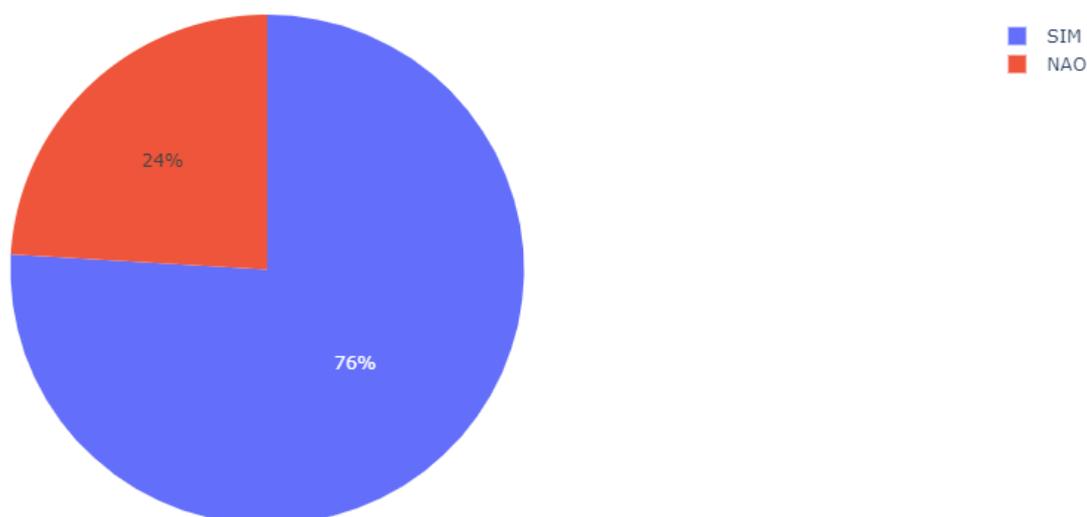
Gráfico 10: Ligações Totais Micromedidas



Fonte: Autor (2023)

No Gráfico 11 a seguir estão expostos percentualmente o número de ligações ativas (ligadas) que são micromedidas, ou seja, que possuem o consumo medido por hidrômetros, em que temos: SIM (possuem hidrômetros) (69.819 ligações) e NÃO (não possuem hidrômetros) (22.107 ligações). Sendo assim, observa-se que apenas 76% das ligações ativas possui hidrômetro para medição do consumo, fator que contribui para um consumo pouco consciente da população, favorecendo as perdas e prejudicando o faturamento da companhia.

Gráfico 11: Ligações Ativas Micromedidas



Fonte: Autor (2023)

O hidrômetro é indispensável para controlar o volume de água que está sendo utilizado pelo consumidor, incentivando o comprometimento com o consumo consciente, com menos desperdício (BRK AMBIENTAL, 2023). Por isso, com cerca de 75% das ligações com HDs, 25% das ligações ativas está realizando um consumo de água não medido, efetuando o pagamento de uma taxa mínima de consumo. Consumo esse que não é controlado pela companhia, o que propicia a incidência de perdas aparentes, uma vez que a população tende a utilizar água sem cautela.

Portanto, a partir da idade média do parque de hidrômetros da companhia de 11,21 anos, verifica-se que boa parte dos HDs existentes já ultrapassou o prazo para substituição, o que pode estar ocasionando a perda de volume de água medido pela companhia por conta do não pleno funcionamento dos medidores.

5.6 Balanço Hídrico – SNIS

Anualmente são enviados dados referentes aos sistemas de abastecimento de água pelas companhias de saneamento prestadoras de serviço no Brasil, para o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que está relacionado ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Esses dados são enviados para compor o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, estudo que visa analisar o panorama atual dos serviços de água e esgotos prestados no país.

Desta forma, foram utilizados dados coletados da versão mais recente Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto (2022), para o cálculo do Balanço Hídrico disposto na Tabela 12. Segundo SNIS (2022), o índice de atendimento total de água (IN055) com redes públicas de abastecimento do SNIS-AE 2021 é de 84,2%, e o índice de atendimento urbano (IN023) é de 93,5%.

Tabela 12: Balanço Hídrico – Caruaru

VOLUME DISTRIBUÍDO 26.466.060 (m ³ /ano)	CONSUMO AUTORIZADO 17.687.268 (m ³ /ano) 66,8%	CONSUMO AUTORIZADO FATURADO 15.333.228 (m ³ /ano) 57,9%	CONSUMO MEDIDO FATURADO 12.295.900 (m ³ /ano) 46,5%	VOLUME FATURADO 15.333.228 (m ³ /ano) 57,9%
			CONSUMO FATURADO NÃO MEDIDO 3.037.328 (m ³ /ano) 11,5%	
		CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO 2.354.040 (m ³ /ano) 8,9%		VOLUME NÃO FATURADO 11.132.832 (m ³ /ano) 42,1%
	PERDAS DE ÁGUA 8.778.792 (m ³ /ano) 33,2%	PERDAS APARENTES 4.389.396 (m ³ /ano) 16,6%	PERDAS REAIS 4.389.396 (m ³ /ano) 16,6%	

Fonte: SNIS (2022)

Portanto, de acordo com a Tabela 12, as perdas de água do município de Caruaru em 2021 totalizaram 33,2%, com 16,6% de perdas reais e 16,6% de perdas aparentes.

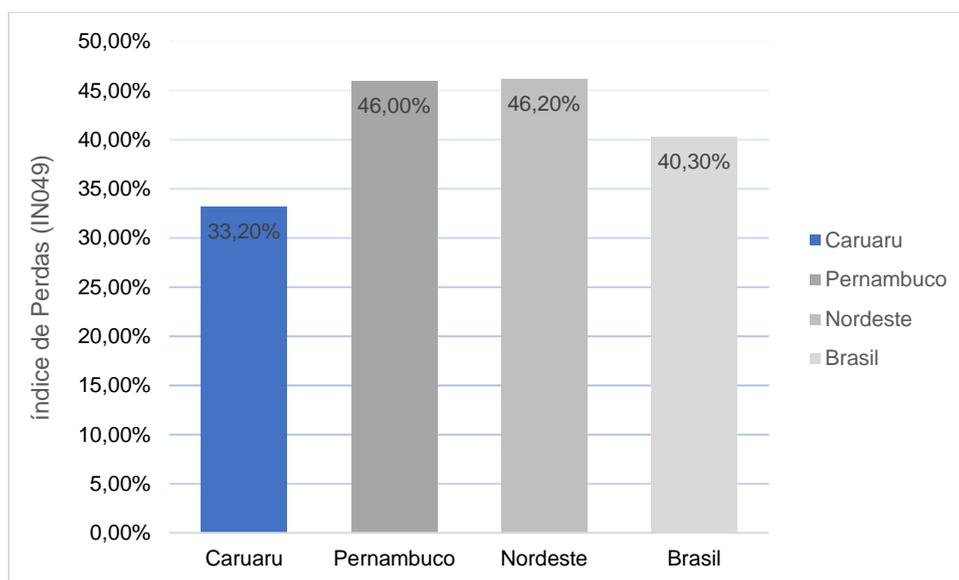
Segundo o SNIS (2022), índice de perdas na sistemas de distribuição de água (IN049) do estado de Pernambuco foi de 46%, de modo que Caruaru obteve um índice de perdas inferior ao registrado no estado.

Em relação ao panorama regional, de acordo com o SNIS (2022), o índice de perdas na região Nordeste foi de 46,2%. Desta forma, o índice de perdas de Caruaru está abaixo do índice registrado no Nordeste.

Ademais, verifica-se que Caruaru também apresentou um índice de perdas de água inferior ao nacional, que totalizou 40,3% (SNIS, 2022).

O comparativo de perdas de água obtido a partir do SNIS (2022) para o município de Caruaru com o panorama estadual, regional e nacional está exposto no Gráfico 12, abaixo.

Gráfico 12: Comparativo de Perdas de Água



Fonte: SNIS (2022)

6 CONCLUSÕES

Diante da análise de todo banco de dados fornecido pela COMPESA, companhia responsável pelo abastecimento do município em estudo, além do auxílio das bibliografias disponíveis para síntese das principais características do local, foi possível caracterizar as perdas no sistema de abastecimento de água de Caruaru, bem como os principais fatores preponderantes em sua ocorrência.

Verificou-se que, para compreender um sistema de abastecimento e identificar as fontes causadoras de perdas, é essencial analisar todo o contexto físico e socioeconômico em que a área de estudo está inserida. Portanto, para a análise dos aspectos gerais, demonstrou-se a importância da utilização das ferramentas SIG – neste caso o QGIS, na visualização das características físicas do local de estudo, principalmente através da elaboração de mapas para melhor compreensão, bem como da distribuição e conectividade entre os elementos do sistema de abastecimento, como as redes de distribuição de água e reservatórios.

A ferramenta SIG possibilitou o georreferenciamento da infraestrutura do SAA e de todo banco de clientes da companhia, juntamente com o mapeamento homogêneo dos pontos de pressão e a interpretação dos dados obtidos. Adicionalmente, viabilizou a visualização geográfica de informações importantes, como a ocorrência de vazamentos e falta d'água. Assim, a ferramenta se mostrou essencial para o entendimento macro do SAA e para a gestão de perdas de água para as companhias.

No que se refere às perdas reais, as perdas por vazamento são as mais significativas em termos de sua relevância. A análise dessas perdas indica que a incidência de altas pressões no sistema, juntamente com o envelhecimento das redes de distribuição e o tipo de material associado, podem ser os principais fatores responsáveis por sua ocorrência. Em conjunto com o aumento da demanda no sistema de abastecimento de água, decorrente de alterações demográficas como o aumento da população flutuante e também do desenvolvimento industrial do município.

Através da síntese do cadastro comercial da companhia, observaram-se como fatores principais na promoção das perdas aparentes de Caruaru a presença de anormalidades de leitura e a submedição de hidrômetros. Portanto, com base nos

dados fornecidos, verificou-se que cerca de 25% dos imóveis não possuem medidor instalado, e os demais apresentam hidrômetros com idade superior a 5 anos, que é considerada a idade ideal para substituição. De modo que boa parte dos medidores instalados pode estar com o funcionamento comprometido devido a perda de eficiência dos equipamentos.

Em relação as anormalidades de leitura, a micromedição do sistema mais uma vez se mostrou deficiente, uma vez que as anormalidades mais recorrentes identificadas foram: HD embaçado, HD retirado e HD quebrado. Com exceção ao HD retirado pela população sem autorização da companhia, os demais são mais um reflexo da demanda de atualização do parque de hidrômetros da companhia. Demonstrando a necessidade de implantação ou substituição dos medidores, além da padronização das ligações, de modo a garantir o pleno funcionamento dos HDs e o acesso dos funcionários da companhia para a realização de manutenção e registro da leitura de consumo.

Ademais, por meio do balanço hídrico calculado com base nos dados do SNIS (2022), foi possível obter uma perspectiva geral da distribuição das perdas no sistema de abastecimento de Caruaru. Constatou-se que as perdas atingiram um índice de 33,2%, onde as perdas reais e as aparentes do sistema apresentam índices semelhantes, registrando ambas um percentual de 16,6%.

Portanto, apesar do valor global de perdas representar um valor elevado se comparado com o cenário ideal de perdas de um SAA estabelecido pela Lei Federal nº 14.026/2020 – Novo Marco do Saneamento, o índice de 33,2% se manteve abaixo do índice estadual, regional e nacional de perdas, os quais superam 40%. Logo, em conformidade a isso, segundo o Indicador Percentual (IP) de perdas, disponibilizado por Tsutiya (2006), o índice de perdas de Caruaru classifica-se como regular.

Deste modo, de maneira geral, com adequações no sistema de distribuição como substituição de redes antigas e controle de pressão, além do reforço em ações para identificação e retirada de vazamentos, é possível reduzir o índice de perdas reais do sistema.

Paralelamente, em relação às perdas aparentes, é necessário renovar o parque de hidrômetros existente e expandir o número de imóveis micromedidos. Também é preciso implementar programas de fiscalização em imóveis com anormalidades de

consumo para identificação de fraudes, visando garantir a efetividade no consumo medido pela companhia e o controle dos índices de perdas aparentes. Além de ações sociais de conscientização, fortalecendo medidas que visem à regularização de áreas de vulnerabilidade social, reduzindo assim o consumo irregular e promovendo um uso mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

A utilização de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e modelagem hidráulica são indispensáveis para uma gestão eficaz das perdas de água do sistema, possibilitando um melhor entendimento do seu funcionamento e apontando possíveis soluções para redução de perdas. Essas ações são importantes para aumentar o faturamento da companhia e garantir uma utilização mais consciente.

7 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15538: **Medidores de água potável - Ensaio para avaliação de eficiência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

AESBE. Volume 3 - Série Balanço Hídrico: **Guia de Procedimento para Estimativa de Submedição no Parque de Hidrômetro**. Brasília: AESBE, 2015.

ÁGUAS, Agência Nacional de. **Atlas Águas**. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/1d27ae7adb7f4baeb224d5893cc21730>. Acesso em: set. 2022.

AGÊNCIA BRASIL. PE: **Chuva aumenta nível de reservatórios, mas região mais seca não é beneficiada**. 2017. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-05/pe-chuva-aumenta-nivel-de-reservatorios-mas-regiao-mais-seca-nao-e-beneficiada>. Acesso em: jan. 2023.

ALURA. **Google Colab: o que é, tutorial de como usar e criar códigos**. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/google-colab-o-que-e-e-como-usar>. Acesso em: 17 fev. 2023.

ALURA. **Matplotlib uma biblioteca Python para gerar gráficos interessantes**. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/criando-graficos-no-python-com-a-matplotlib>. Acesso em: fev. 2023.

ALURA. Python e orientação a objetos. **O que é Python**. Disponível em: <https://www.alura.com.br/apostila-python-orientacao-a-objetos/o-que-e-python>. Acesso em: fev. 2023.

ALVIM, Paulo Roberto Ambrósio; GONÇALVES, Elton. **Guia prático para pesquisa e combate a vazamentos não visíveis**. Brasília: ABES, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: **Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 2017.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Bacias Hidrográficas**. Disponível em: http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=17. Acesso em: dez. 2022.

BÁGGIO, Mário Augusto. **Redução de Perdas em Sistemas de Abastecimento**. Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf. Acesso em: set. 2022.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de Água: Tecnologias de Controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.

BRASIL. **Lei nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Brasília, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: set. 2022.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde (org.). Universidade Federal Fluminense (UFF). Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM). **Plano Municipal de Saneamento Básico: Cadernos Temáticos Saneamento Básico – Abastecimento de Água Potável**. Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Abastecimento+de+%C3%81gua+Pot%C3%A1vel.pdf/c42e2752-7de2-4a0b-a751-fa352f1bdbc3?version=1.0>. Acesso em: set. 2022.

BRK AMBIENTAL. **Qual a importância dos hidrômetros? A BRK Ambiental explica**. Disponível em: <https://www.brkambiental.com.br/cacador/qual-a-importancia-dos-hidrometros-a-brk-ambiental-explica>. Acesso em: fev. 2022.

BOVO, Alberto et al. **Guia prático para controle e redução de perdas aparentes**. São Paulo: [s.n.], 2008.

CARUARU. Prefeitura de. **História sobre Caruaru**. Disponível em: <https://caruaru.pe.gov.br/historia/>. Acesso em: dez. 2022.

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Caruaru, BR**. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/764/caruaru-pe>. Acesso em: dez. 2022.

COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. **Calendário de Abastecimento da Gerência de Negócios Regional do Agreste Central – Caruaru**. 2021. Disponível em: http://giscomp.compesa.com.br/calendario/GNR_AGRESTE_CENTRAL.pdf. Acesso em: jan. 2023.

COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. **LOTE 04 - 002.2020 – Volume e Pressão - Caruaru**. Planilha Eletrônica. Caruaru – PE, 2020.

COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. **LOTE 04 - 002.2020 - Levantamento de Dados Operacionais PMI – Caruaru**. Planilha Eletrônica. Caruaru –PE, 2020.

COMPESA. **História e perfil**. Pernambuco. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/historia-e-perfil/>. Acesso em: dez. 2022.

COMPESA. Serviços Compesa. **Barragem de Jucazinho volta a acumular água**. Pernambuco: COMPESA, 2018. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/barragem-de-jucazinho-volta-a-acumular-agua/>. Acesso em jan. 2023.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Caruaru**. Recife: CPRM, 2005.

EMBRAPA. **Brasil em Relevô**. 2007. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/index.htm>. Acesso em: jan. 2023.

ENOPS. **A Enops**. Disponível em: <https://enops.com.br/a-enops/>. Acesso em: dez. 2022.

FILHO, José Coelho de Araújo. et al. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.

GSAN, Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento. **Base de conhecimento de gestão comercial de Saneamento – Tabela de Conteúdos**. Disponível em: <https://www.gsan.com.br/doku.php?id=ajuda:i>. Acesso em: jan. 2023.

HARVE. **Pandas Python: vantagens e como começar**. Disponível em: <https://harve.com.br/blog/programacao-python-blog/pandas-python-vantagens-e-como-comecar/>. Acesso em: jan. 2023.

HELLER, L.; PÁDUA V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama. Cidades e Estados. **Caruaru**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caruaru/panorama>. Acesso em: set. 2022.

MEDEIROS, Raimundo Mainar de. **Balanço hídrico e o aquecimento no município de Caruaru–PE, Brasil**. Revista Equador, v. 7, n. 2, p. 126-146, 2018.

NE10 INTERIOR. Portal do Sistema Jornal do Comércio e Comunicação. **Barragem do Prata atinge 100% da capacidade e começa a sangrar**. 2020. Disponível em: <https://interior.ne10.uol.com.br/noticias/2020/06/23/barragem-do-prata-atinge-100porcento-da-capacidade-e-comeca-a-sangrar-veja-video-190531/index.html>. Acesso em: jan. 2023.

OUL. Portal do Sistema Jornal do Comércio e Comunicação. **Distrito Industrial de Caruaru: potencial econômico e problemas estruturais**. 2019. Disponível em: <https://interior.ne10.uol.com.br/noticias/2019/08/07/distritoindustrial-de-caruaru-potencial-economico-e-problemas-estruturais-174105>. Acesso em: dez. 2022.

PLOTLY. Python. Plotly Graphing Library. **Plotly Open Source Graphing Library for Python**. Disponível em: <https://plotly.com/python/>. Acesso em: fev. 2023.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SNIS, Secretaria Nacional de Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Brasília: Ministério do Desenvolvimento, 2022**. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: set. 2022.

THORNTON, J. **Water Loss Control**. McGraw-Hill. New York, 2002.

TSUTYIA, M.T. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VISITE CARUARU. **Dados Geográficos**. Disponível em:
<https://visitecaruaru.com.br/site/caracteristicas>. Acesso em: dez. 2022.

VISITE CARUARU. **Como Chegar**. Disponível em:
<https://visitecaruaru.com.br/site/como-chegar>. Acesso em: dez. 2022.

YOSHIMOTO, Paulo Massato; TARDELLI FILHO, Jairo; SARZEDAS, Guaraci Loreiro. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA: Controle de Pressão na Rede**. São Paulo: Sabesp, 2009.

8 ANEXOS

8.3 Autorização de Uso de Dados

09/11/2022 14:57

SEI/GOVPE - 30326614 - GOVPE - Despacho



COMPESA -

Processo nº 0060500614.000117/2022-80

Despacho: 242

Destinatário: GPD

Considerando SEI nº [30232603](#) e SEI nº [30254221](#), apresento concordância no que se refere ao fornecimento de dados para pesquisa de trabalho de conclusão de curso.

Atenciosamente,

FLÁVIO COUTINHO CAVALCANTE

Diretor de Negócios e Eficiência



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Coutinho Cavalcante**, em 09/11/2022, às 10:24, conforme horário oficial de Recife, com fundamento no art. 10º, do [Decreto nº 45.157, de 23 de outubro de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.pe.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **30326614** e o código CRC **C6BF7023**.

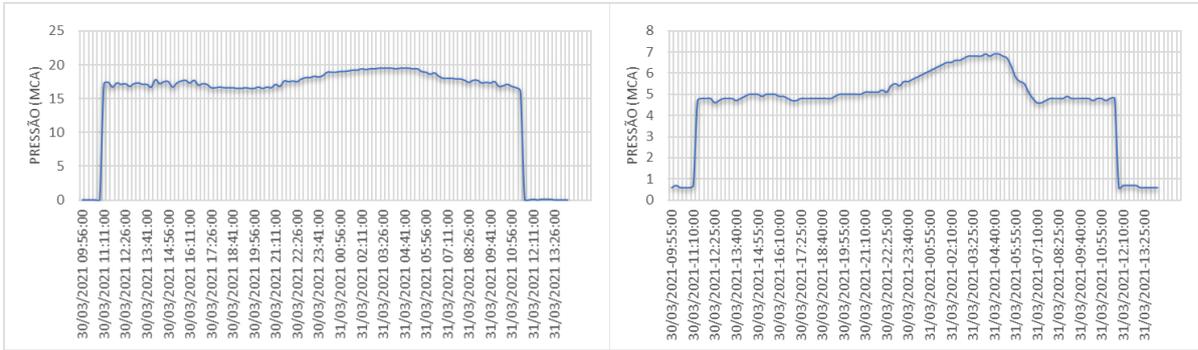
COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO

Av. Cruz Cabugá, 1387, - Bairro Santo Amaro, Recife/PE - CEP 50040-000, Telefone:

Criado por [rodrigofalcao](#), versão 4 por [rodrigofalcao](#) em 09/11/2022 10:24:04.

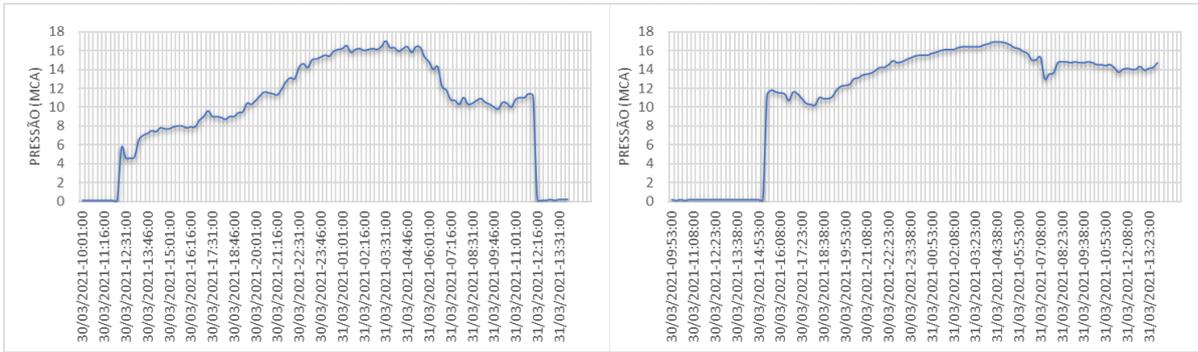
8.4 Gráficos de Pressão

Gráfico 13: Levantamento de Pressão - Pontos 01 e 02



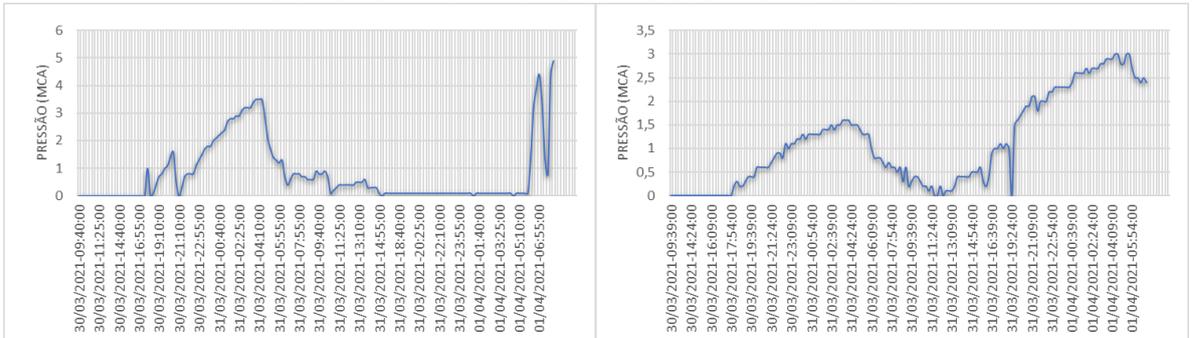
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 14: Levantamento de Pressão - Pontos 03 e 04



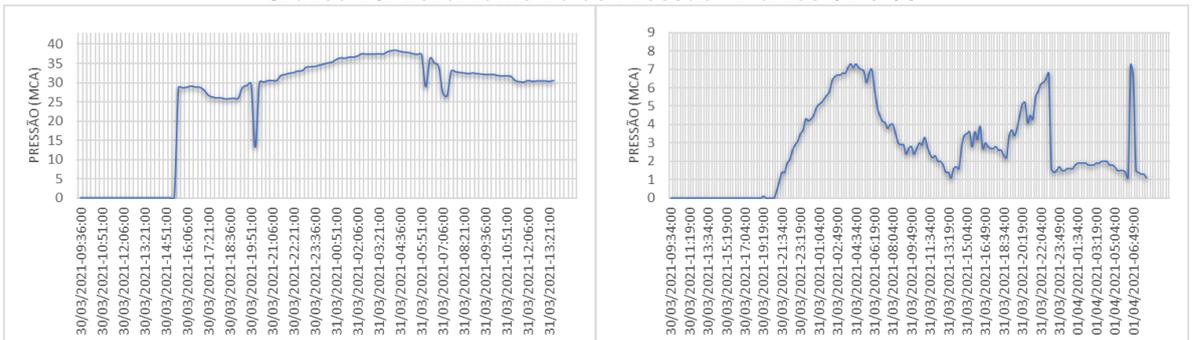
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 15: Levantamento de Pressão - Pontos 05 e 06



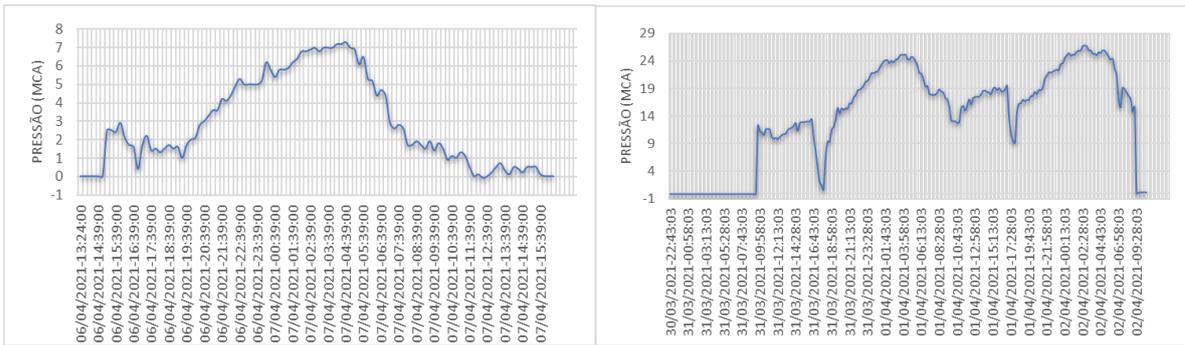
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 16: Levantamento de Pressão - Pontos 07 e 08



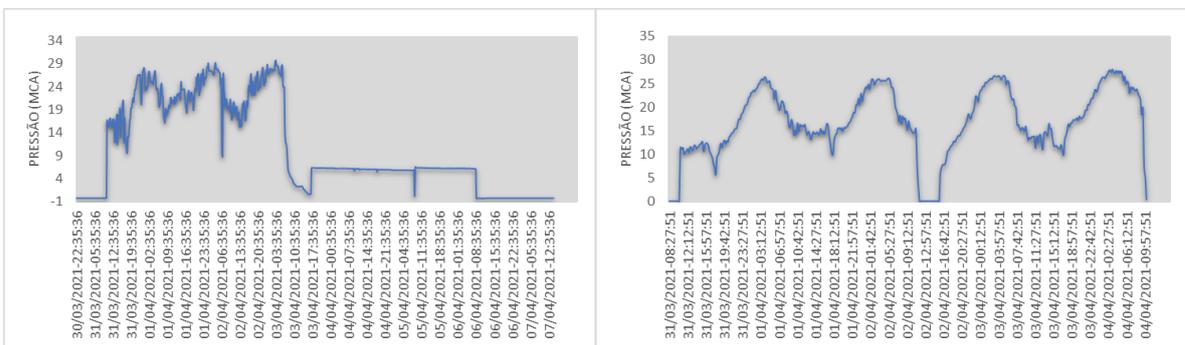
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 17: Levantamento de Pressão - Pontos 09 e 10



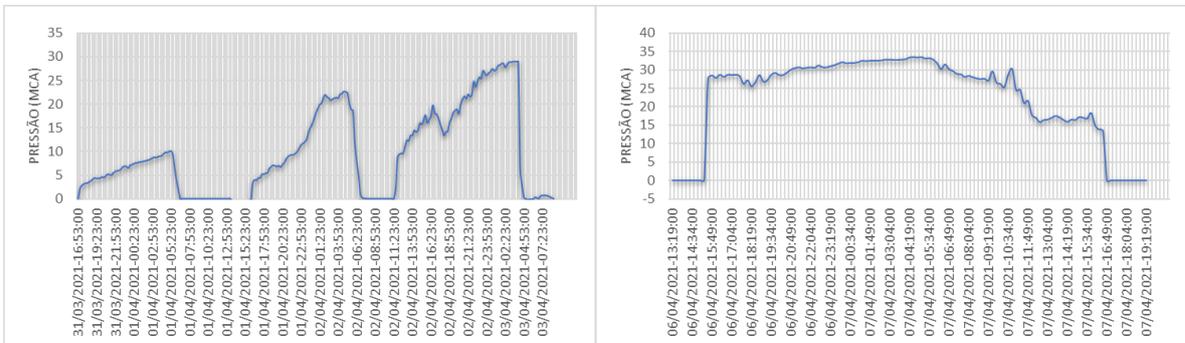
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 18: Levantamento de Pressão - Pontos 11 e 12



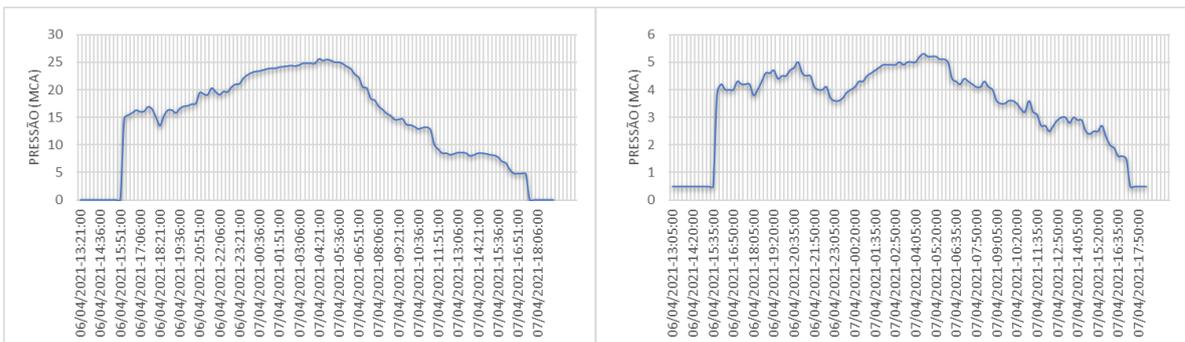
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 19: Levantamento de Pressão - Pontos 13 e 14



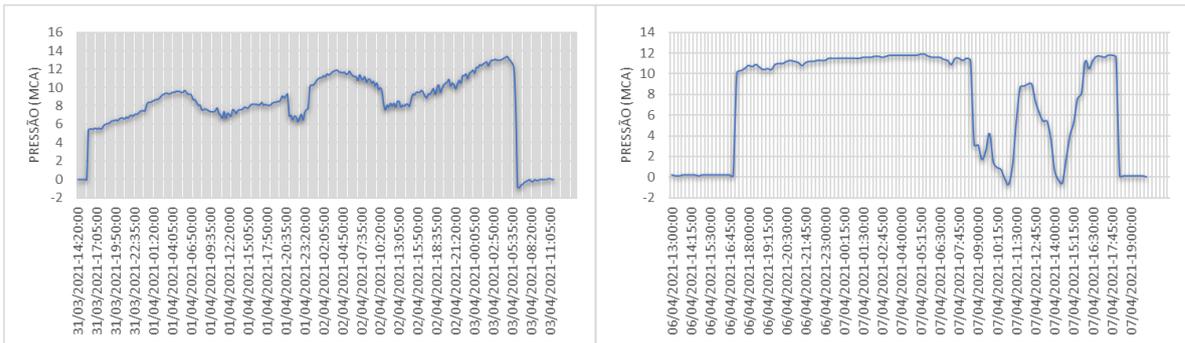
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 20: Levantamento de Pressão - Pontos 15 e 16



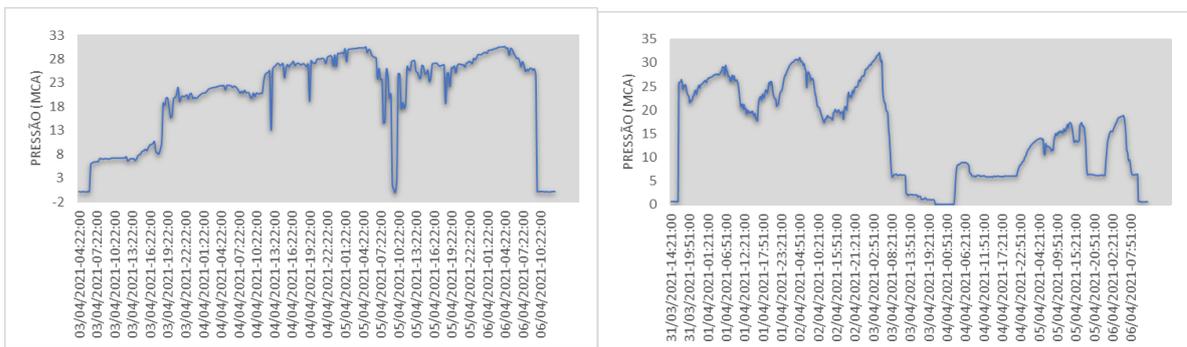
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 21: Levantamento de Pressão - Pontos 17 e 18



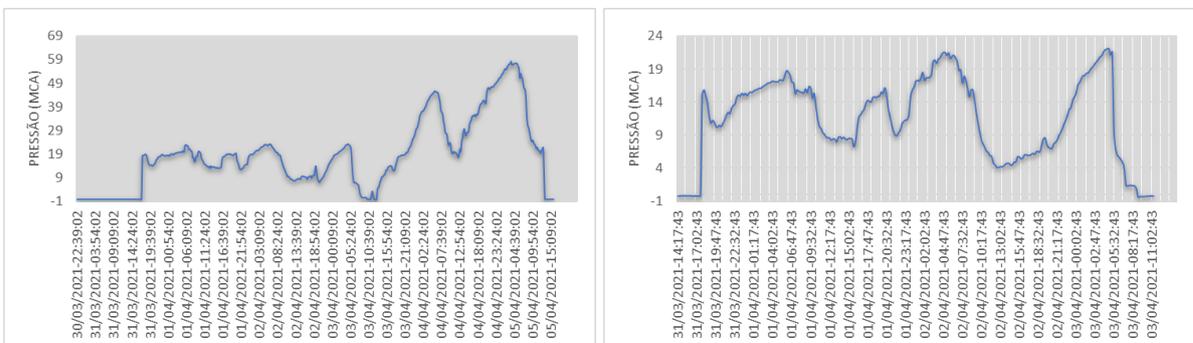
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 22: Levantamento de Pressão - Pontos 19 e 20



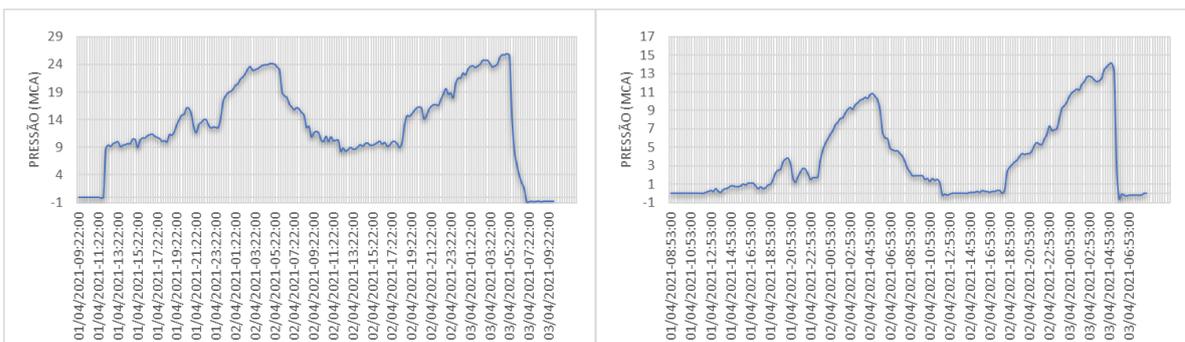
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 23: Levantamento de Pressão - Pontos 21 e 22



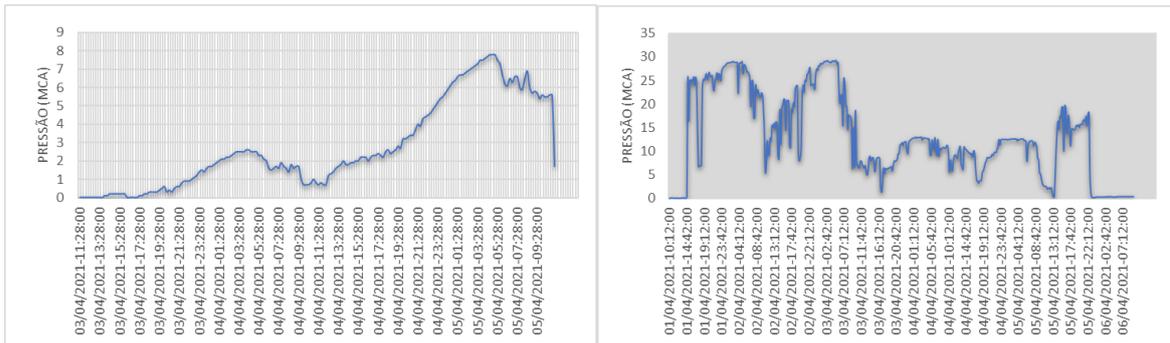
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 24: Levantamento de Pressão - Pontos 23 e 24



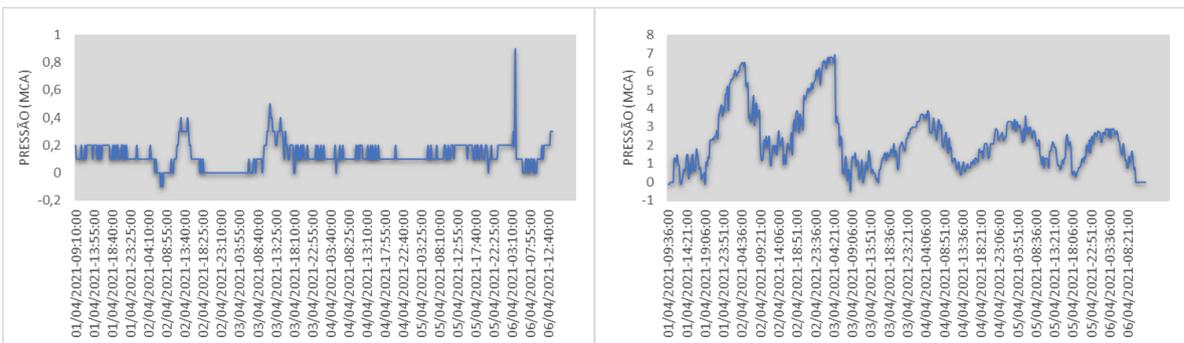
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 25: Levantamento de Pressão - Pontos 25 e 26



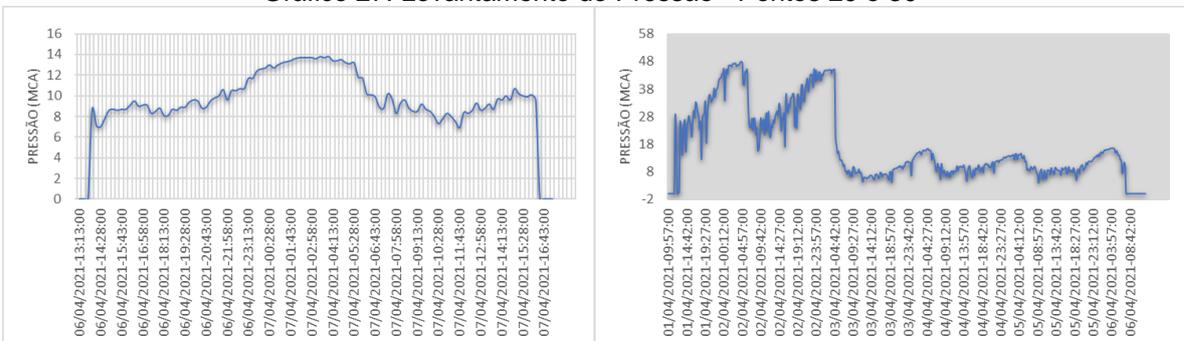
Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 26: Levantamento de Pressão - Pontos 27 e 28



Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 27: Levantamento de Pressão - Pontos 29 e 30



Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)

Gráfico 28: Levantamento de Pressão – Ponto 31



Fonte: ENOPS ENGENHARIA (2021)