

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

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM USO DE TECNOLOGIA GIS E EPANET –
ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE PIAÇABUÇU/ALAGOAS**

Hítla Ribeiro Correia

Maceió-AL

2024

Hítla Ribeiro Correia

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM USO DE TECNOLOGIA GIS E EPANET –
ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE PIAÇABUÇU/ALAGOAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Colegiado do curso de Engenharia Civil do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas,
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheira Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Daysy Lira Oliveira Cavalcanti.

Maceió-AL

2024

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

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

C824m Correia, Hítla Ribeiro.

Modelagem e simulação hidráulica do sistema de abastecimento de água com uso de tecnologia GIS e EPANET : estudo de caso do município de Piaçabuçu/Alagoas / Hítla Ribeiro Correia. - 2024.
51 f. : il.

Orientadora: Daysy Lira Oliveira Cavalcanti.
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: 49-51.

1. Água - Distribuição - Piaçabuçu (AL). 2. Pressão na rede (Engenharia hidráulica). 3. Perda de carga hidráulica (Engenharia hidráulica). I. Título.

CDU: 627(813.5)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, pois sem Ele, de forma nenhuma, eu teria alcançado essa vitória. Foi pela Sua graça, bondade e misericórdia que pude me manter ao longo dessa graduação.

Agradeço ao meus pais, Messias e Cícera, que foram os maiores incentivadores dos meus estudos, que não mediam esforços para me ajudar e sonharam junto comigo. Agradeço às minhas irmãs, Cecília e Hitawana, por me apoiarem e entender minhas ausências durante o período da faculdade. Quero dizer à minha família que valeu à pena tudo o que passamos juntos nesse período e irei honrar tudo que fizeram por mim, amo vocês.

Agradeço ao meu esposo, Jeovan Júnior, pelo apoio e suporte fundamental, compreender os meus momentos de ausência, por ser o meu porto seguro nos momentos mais difíceis, pelas palavras precisas que me serviram para seguir em frente. Muito obrigada, amo você.

A minha amiga Alana, que foi minha parceira durante toda a graduação, e, sempre que precisei, estava disposta a me ajudar. Obrigada por todo o apoio!

Ao PET Ciência e Tecnologia, por todos os ensinamentos, por mostrar um mundo diferente do que vivia, pelo grande ganho pessoal e profissional. Vocês foram e são incríveis.

Quero agradecer a Prefeitura de Marechal Deodoro, por ter tornado viável o meu trajeto até a UFAL, continuem incentivando a educação superior de nossa cidade, amparando jovens, como eu, que sonham em ter sua graduação.

Agradeço, em especial, a minha orientadora Daysy Lira, por todo suporte, disponibilidade, paciência e compreensão. Por compartilhar seus conhecimentos e me auxiliar para a realização desse trabalho.

Aos meus professores por todo conhecimento compartilhado.

Agradeço à Universidade Federal de Alagoas (UFAL) por me proporcionar experiências incríveis e ter a certeza de que a educação pública pode ser de qualidade.

RESUMO

CORREIA, H. R. **Modelagem e simulação hidráulica do Sistema de Abastecimento de Água com uso de tecnologia GIS e EPANET – Estudo de caso do município de Piaçabuçu/Alagoas.** Trabalho de conclusão de curso de graduação – Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2024.

Um dos gargalos no Brasil, o que tange o recurso hídrico, é a sua distribuição hídrica, a qual é irregular. O Nordeste detém 3,3% de água, para cerca de 27,8% da população. Ou seja, há uma disparidade com relação à distribuição, tornando-se necessário a boa gestão desses recursos nas diferentes regiões. O município estudado por este trabalho obteve uma média no índice de perdas na distribuição de água de 75,86 %, um valor muito acima da média brasileira e fora dos valores esperados. Assim, com base na realidade descrita, o estudo deste trabalho analisou o sistema de abastecimento de água de Piaçabuçu com o intuito de identificar deficiências no abastecimento e propor melhorias. A modelagem do sistema foi realizada com os dados fornecidos pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), utilizando as ferramentas QGIS e EPANET, seguida de simulações no EPANET. O modelo hidráulico foi elaborado para avaliar as pressões e demais parâmetros recomendados pela NBR 12218:2017. As simulações apresentaram pressões inadequadas, principalmente em horários de maior consumo, com pressão negativa em áreas topograficamente elevadas o que impede o abastecimento adequado. Os resultados confirmam deficiências na rede que dificultam o pleno atendimento à população local. Diante das pressões negativas e das perdas de carga, o trabalho sugere a verificação e adequação de conjuntos moto-bombas, a ampliação de diâmetro das tubulações principais. Embora o modelo atual ofereça uma visão detalhada da rede, o estudo destaca a necessidade de uma calibração do modelo e coleta de dados específicos para a sua. A adesão dessas melhorias pode auxiliar para o abastecimento de água mais eficiente e contínuo no município de Piaçabuçu.

Palavras-chave: Rede de distribuição de água, pressão na rede, perda de carga hidráulica.

ABSTRACT

CORREIA, H. R. **Hydraulic modeling and simulation of the Water Supply System – Case study of the municipality of Piaçabuçu/Alagoas.** Graduation course work– Civil Engineering–Federal University of Alagoas, Maceió. 2024.

One of the bottlenecks in Brazil, regarding water resources, is its irregular water distribution. The Northeast holds 3.3% of water for approximately 27.8% of the population. In other words, there is a disparity in distribution, making it necessary to properly manage these resources in different regions. The municipality trained for this study obtained an average loss rate in water distribution of 75.86%, a value well above the Brazilian average and outside the expected values. Thus, based on the reality described, the study of this work analyzed the water supply system of Piaçabuçu in order to identify deficiencies in the supply and propose improvements. The modeling of the system was performed with data provided by the Sanitation Company of Alagoas (CASAL), using the QGIS and EPANET tools, followed by simulations in EPANET. The hydraulic model was developed to evaluate the tension and other parameters recommended by NBR 12218:2017. The simulations performed are demanding, especially during peak consumption times, with negative pressure in topographically elevated areas or areas that prevent adequate supply. The results confirm deficiencies in the network that make it difficult to fully serve the local population. Given the negative pressures and pressure losses, the study suggests checking and adapting sets of motor pumps, increasing the diameter of the main pipes. Although the current model presents a detailed view of the network, the study highlights the need for a specific location of the model and the collection of specific data for it. The adoption of these improvements can help to provide a more efficient and continuous water supply in the municipality of Piaçabuçu.

Keywords: Water distribution network, pressure in the network, loss of hydraulic head.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema do sistema de abastecimento de água.	15
Figura 2 – Índice de perdas na distribuição (Código SNIS – IN049)	19
Figura 3 – Representação esquemática de um sistema exemplo no EPANET	23
Figura 4 – Arquivo <i>shapfiles</i>	24
Figura 5 – Tabela de atributos – camada Pipe	25
Figura 6 – Fluxograma da metodologia.....	26
Figura 7 – Mapa georreferenciado de Piaçabuçu – Alagoas.	30
Figura 8 – Ponto de captação de água do SAA de Piaçabuçu/Alagoas – Povoado Penedinho.	31
Figura 9 – Delimitação da área de estudo do SAA de Piaçabuçu – representação no QGIS. .	32
Figura 10 – Tabela de atributos <i>Pipes</i> – Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas.....	34
Figura 11 – Nova captação no povoado Penedinho – Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas.	34
Figura 12 – Cota topográfica – Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas.	35
Figura 13 – Tabela de atributos <i>Junctions</i> – Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas.	36
Figura 14 – Modelagem da Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas – QGIS 3.32.....	37
Figura 15 – Modelagem da Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas – EPANET 2.0.	37
Figura 16 – Padrão de Consumo - Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas – EPANET 2.0....	38
Figura 17 – Relatório de estado - Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas – EPANET 2.0.	39
Figura 18 – Isolinhas de pressão – 04h – EPANET 2.0.....	40
Figura 19 – Isolinhas de pressão – 10h – EPANET 2.0.....	40
Figura 20 – Pressão e perda de carga hidráulica – 04h – EPANET 2.0.	41
Figura 21 – Pressão e perda de carga hidráulica – 10h – EPANET 2.0.	42
Figura 22 – Pressão e perda de carga – Ampliação: Povoado Mandim – 10h – EPANET 2.0.	43
Figura 23 – Pressão e perda de carga – Ampliação: Povoado Paciência – 10h – EPANET 2.0.	44
Figura 24 – Pressão e perda de carga – Ampliação: Povoado à leste – 11h – EPANET 2.0. ..	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações e indicadores do SAA de Piaçabuçu/AL.	32
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
DMC	Distritos de Medição e Controle
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
ETA	Estação de Tratamento de Água
ID	Indicadores de Desempenho
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWA	<i>International Water Association – Associação Internacional da Água</i>
MND	Métodos Não Destrutíveis
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SINASA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
UNICEF	<i>United Nations Children's Fund</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Considerações Iniciais	11
1.2. Objetivos.....	12
1.3. Justificativa	12
1.4. Estrutura do Trabalho	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. Sistemas de Abastecimento de Água	15
2.1.1. Manancial.....	15
2.1.2. Captação	16
2.1.3. Estação elevatória	16
2.1.4. Adutora.....	16
2.1.5. Estação de tratamento de água	17
2.1.6. Reservatório	17
2.1.7. Rede de distribuição	17
2.1.8. Perdas no Sistema de Abastecimento de Água.....	20
2.1.8.1. Indicadores de perdas de água	20
2.2. Modelagem hidráulica.....	21
2.2.1. EPANET	22
2.2.2. QGIS	23
3. METODOLOGIA.....	26
3.1. Caracterização da área de estudo	27
3.2. Coleta de dados	27
3.3. Modelo Hidráulico.....	27
3.4. Simulação da rede hidráulica	28
3.5. Análise da simulação hidráulica.....	28
3.6. Propostas de intervenção	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1. Caracterização da área de estudo	30
4.2. Análise dos indicadores da Tabela 1	32
4.3. Modelagem do Sistema de Abastecimento de Água	33
4.4. Simulação da rede hidráulica	38
4.5. Propostas de intervenção	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Conforme a Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, o recurso hídrico é um recurso natural limitado e ao crescimento populacional e juntamente com o desenvolvimento socioeconômico existente no mundo, a demanda por água tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 1%, de acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas de Recursos Hídricos 2019 (KONCAGUL *et al.*, 2017). Ademais, conforme o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023, o número de pessoas afetadas pela escassez de água nos próximos anos deverá aumentar substancialmente, estima-se que, até 2050, entre 1,7 e 2,4 milhões de pessoas poderão enfrentar problemas relacionados à falta de água.

Um dos gargalos no Brasil, o que tange o recurso hídrico, é a sua distribuição hídrica, a qual é irregular. A região Norte com menor densidade demográfica, possui a maior parte dos recursos hídricos do país, conforme apontado por Silva (2012, *apud* Cavalcante, 2019), possuindo 78% da água do país e 8,3% da população, por outro ponto, o Nordeste detém 3,3% de água, para cerca de 27,8% da população. Ou seja, há uma disparidade com relação à distribuição, tornando-se necessário a boa gestão desses recursos nas diferentes regiões.

Considerando que o Brasil vem enfrentando uma crise hídrica, como destacado por Diniz (2021), o debate sobre os recursos hídricos tem sido cada vez mais priorizado e o uso de novas tecnologias deve ser colocado em pauta no intuito de mitigar os problemas causados pela crise e trazer melhorias no SAA.

De acordo com os dados apresentados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Brasil, 2023), tem-se que cerca de 84,9% da população brasileira é atendida com rede de abastecimento de água, contudo, há dados alarmantes em relação a essa distribuição, em que cerca de 37,8% do volume produzido de água potável é perdido ou não contabilizado durante o processo de distribuição (Brasil, 2023).

No auxílio no combate às perdas, a modelagem hidráulica tem sido uma das ferramentas utilizadas pelas empresas de saneamento no Brasil, em que essa torna o gerenciamento do sistema de abastecimento mais eficaz e auxílio para a gestão operacional., existindo a possibilidade de simulação de cenários.

Assim, torna-se crucial que as operadoras dos sistemas de abastecimento de água utilizem ferramentas que venham auxiliar à gestão operacional, minimizando as perdas e apresentando melhorias.

Este estudo utilizou dados fornecidos pela Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL e através destes arquivos foi possível definir alterações no sistema. Como algumas informações não foram obtidas dentro do prazo de desenvolvimento do trabalho, adaptações foram realizadas para tornar o estudo possível, o que torna as sugestões aqui dispostas não aplicáveis em campo sem um estudo aprofundado, levando em consideração todas as variáveis contidas no sistema.

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um modelo hidráulico do sistema de abastecimento de água do município de Piaçabuçu, utilizando as tecnologias GIS e EPANET, para avaliar o desempenho do sistema, identificar problemas e propor possíveis melhorias para o abastecimento do município.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. Atualizar a modelagem hidráulica do sistema de distribuição de água do município de Piaçabuçu, Alagoas;
2. Realizar a simulação hidráulica do comportamento da rede para consumos médios atuais;
3. Analisar zonas de pressões, velocidade e perda de carga nas tubulações, conforme a NBR 12218:2017 – Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público;
4. Propor melhorias e recomendações.

1.3. Justificativa

Com o aumento da população e a degradação ambiental, os recursos naturais estão cada vez mais escassos, dentre eles, pode-se dizer que a água, recurso essencial à vida e às práticas humanas, é o elemento mais crítico. De acordo com o relatório disponibilizado pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de

2,2 bilhões de pessoas no mundo não possuem acesso à água potável ou serviço de água tratada. Sendo essa problemática um dos assuntos mais discutidos nas últimas décadas e, no ano de 2010, a partir da devida importância, o acesso à água tratada foi reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) como um direito essencial para a vida humana.

De acordo com os dados publicados por Brasil (2023), o índice de perdas na distribuição de água no Brasil, para o ano de 2022, foi em média de 37,78%, chegando no Nordeste a um valor de 46,7%.

O município estudado por este trabalho – Piaçabuçu, de acordo com os dados apresentados pelo SNIS, nos três anos coletados 2019, 2020, 2021, obteve uma média no índice de perdas na distribuição de água de 75,86 %, um valor muito acima da média brasileira e fora dos valores esperados. Para o ano de 2022, houve a diminuição no índice, chegando a um valor de 51,27%, porém, ainda, um valor considerável.

Assim, com base na realidade descrita, é evidente que se deve ter o bom gerenciamento do sistema, para minimizar o desperdício desse recurso. Uma vez que, a elaboração do modelo hidráulico poderá realizar simulações de diversos cenários e apresentar os possíveis pontos críticos do sistema.

1.4. Estrutura do Trabalho

O presente Trabalho do Conclusão de Curso (TCC) encontra-se organizado em 5 capítulos. O primeiro apresenta a introdução, abordando o conteúdo a ser estudado. Além disso, apresenta os objetivos e a justificativa de forma a trazer uma melhor compreensão sobre o tema exposto.

O capítulo 2 explana toda a fundamentação teórica utilizada para embasar e validar a temática do TCC. Nesse serão apresentados os principais tópicos que dão suporte para o alcance dos objetivos do trabalho.

O Capítulo 3 refere-se a metodologia escolhida e os principais tópicos para o desenvolvimento do TCC.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos através da simulação e a discussão acerca dos dados obtidos.

O Capítulo 5 apresenta as considerações finais e seguidos das referências bibliográficas utilizadas para a construção do presente trabalho.

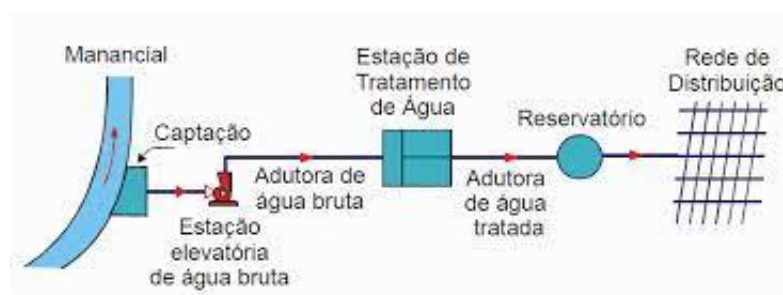
2. REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir serão abordados os aspectos gerais relacionados aos assuntos pertinentes do trabalho. Serão tratadas as temáticas referentes ao sistema de abastecimento de água, em que está descrito as suas etapas, bem como as normas vinculadas. Além disso, serão expostos conhecimentos de modelagem de rede de abastecimento de água e simulação hidráulica. Assim foi realizada uma fundamentação teórica, a partir dos estudos bibliográficos, para validação da temática da monografia.

2.1. Sistemas de Abastecimento de Água

Segundo o Brasil (2019), um sistema de abastecimento de água pode ser entendido como o conjunto de infraestruturas, equipamentos e serviços com objetivo de distribuir água potável para o consumo humano, bem como para o consumo industrial, comercial, dentre outros usos, ver figura 1.

Figura 1 – Esquema do sistema de abastecimento de água.



Fonte: Adaptado Alen Sobrinho et al, 2014.

Como observado na figura 1, para o sistema de abastecimento de água convencional, têm-se as seguintes etapas: Captação no manancial, estação elevatória de água bruta (EEAB), estação de tratamento de água (ETA), adução de água bruta e tratada, reservação e rede de distribuição de água.

De acordo com Tsutiya (2006), tem-se:

2.1.1. Manancial

Pode-se definir como manancial o corpo superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento e deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período do projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário.

No estudo de mananciais é levado em consideração o seu tipo - manancial superficial ou manancial subterrâneo -. Para o manancial superficial são realizados, entre outras análises, os estudos e levantamentos hidrológicos das bacias hidrográficas e os usos de recursos hídricos na área de influência. Serão feitos, entre outros estudos, para o manancial subterrâneo, o levantamento cadastral de poços existentes e um zoneamento de áreas de maior potencialidade de exploração. Por fim, ao analisar os possíveis locais de utilização a seleção dos mananciais deve ser ocorrer após uma verificação preliminar dos principais aspectos técnicos, econômicos e ambientais pertinentes aquele manancial.

2.1.2. Captação

Captação é o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a entrada de água destinada ao sistema de abastecimento. O pré-dimensionamento da captação deve constar, entre outros aspectos, a localização e descrição; o pré-dimensionamento hidráulico-sanitário da tomada de água com identificação do tipo e forma; identificação da rede de energia elétrica; caracterização topográfica e delimitação da área de inundação e seus impactos.

2.1.3. Estação elevatória

A estação elevatória é o conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte. Para a instalação da estação elevatória será necessário em seu pré-dimensionamento, o pré-dimensionamento dos conjuntos elevatórios, do poço de sucção da elevatória e das tubulações, peças e acessórios. Ademais, as definições dos materiais das tubulações, peças e acessórios, identificação da rede de energia elétrica, entre outros.

2.1.4. Adutora

A adutora é a canalização destinada a conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. No pré-dimensionamento da adutora deve conter, a alternativas de seu traçado, além de um estudo técnico-econômico de alternativas e finalmente a definição do seu traçado. As tubulações, peças e acessórios também são pré-dimensionados e identificados.

2.1.5. Estação de tratamento de água

A ETA é o conjunto de unidades a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade. O pré-dimensionamento para a estação de tratamento, deve apresentar a localização e o tipo de tratamento da ETA, além de um estudo técnico-econômico de alternativas. Também há a identificação da rede de energia elétrica, das tubulações, peças, acessórios e equipamentos e das áreas de desapropriação.

2.1.6. Reservatório

É o elemento do sistema de distribuição de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição. Deve compor o pré-dimensionamento de um reservatório, um estudo de alternativas técnicas e locais, que identifiquem o tipo e sua capacidade, o pré-dimensionamento hidráulico-sanitário do reservatório incluindo as tubulações, peças e acessórios e identificação destas.

2.1.7. Rede de distribuição

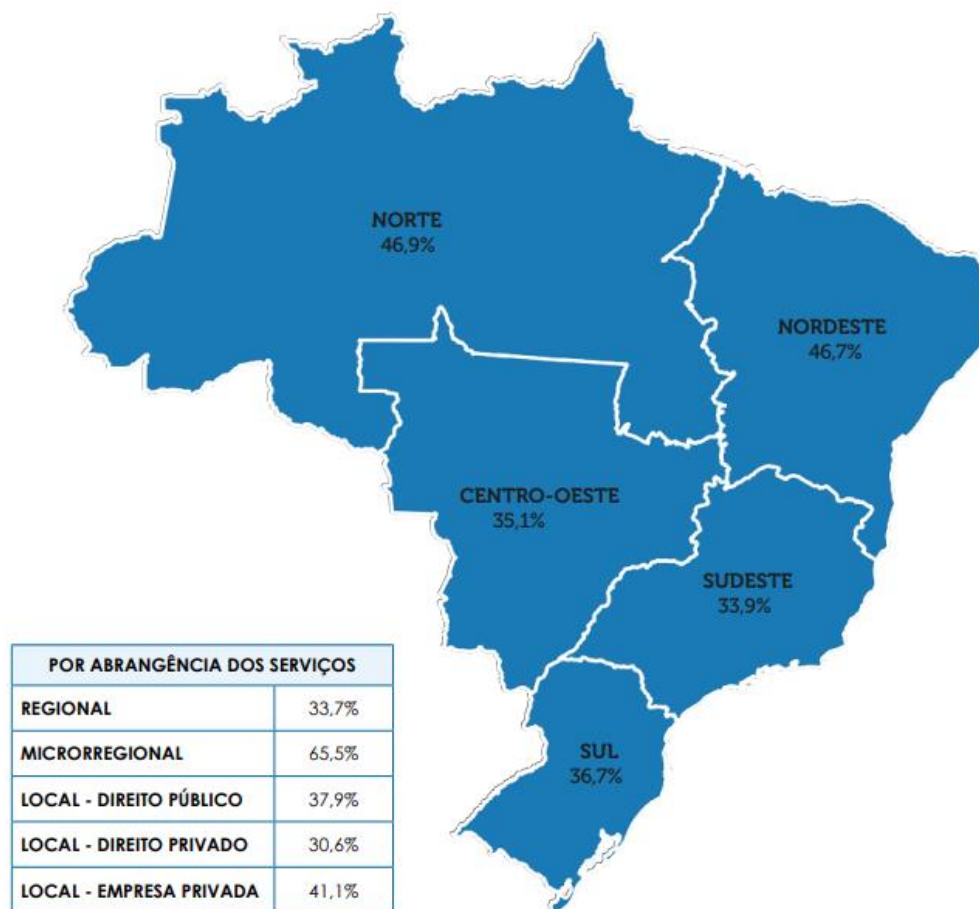
A rede de distribuição pode ser definida como a parte do SAA formada de tubulações e órgãos acessórios, destinados a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada. Um sistema de abastecimento de água deverá atender de maneira plena todos os seus consumidores, alguns parâmetros são considerados ao se analisar um SAA. Esses parâmetros podem-se encontrar na NBR 12218/2017, que traz as normativas de um Projeto de Rede de Distribuição de Água para Serviço Público, como os valores máximos e mínimos de pressão de serviço, vazões para dimensionamento, diâmetro nominal mínimo, substituição de redes, Distritos de Medição e controle, entre outros.

Ainda, o estudo de setorização e do traçado da rede são um dos aspectos que devem constar no pré-dimensionamento da rede de distribuição. Além disso, deve apresentar o pré-dimensionamento e identificação das tubulações principais e a definição dos materiais.

De acordo com a NBR 12218/2017 um projeto de um SAA do setor público deve seguir os seguintes requisitos específicos: 1. Devem ser verificadas todas as áreas a serem abastecidas; 2. As vazões para dimensionamento devem atender a toda área a ser abastecida; O índice de perda total deve ser considerado na vazão; 3. A pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 400 kPa, podendo chegar a 500 kPa em regiões com topografia acidentada, e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa; 4. Avaliar as instalações do sistema existente; 5. Diâmetro nominal mínimo dos condutos secundários é de 50mm; 6. Estabelecer zonas de pressão, em que o sistema distribuidor será dividido em áreas menores a fim de garantir que as pressões estática e dinâmica obedeçam aos limites expostos em Norma; 7. Instalação de Distritos de Medição e Controle com o intuito de proporcionar controle e eficiência e deve apresentar umas das seguintes características: a) máximo 5000 ligações, b) extensão máxima de 25 km de rede no DMC; 8. Incorporar no sistema setores de manobra; 9. Instalação de sistema de proteção contra incêndio por meio de hidrante urbano; 10. Utilização de componentes de rede, como a válvula de descarga – utilizadas nos pontos baixos da rede -, ventosas – expulsão e admissão do ar na rede -, válvula redutora de pressão – utilizadas para atender às pressões estabelecidas em Norma. Ademais, o projeto deve atender a velocidade mínima de 0,6m/s e máxima de 3,5m/s.

As redes de abastecimento de água, quando operam fora dos parâmetros estabelecidos por norma, podem apresentar alguns problemas. Conforme Cavalcante (2019), comumente, os problemas estão relacionados à variação de pressões superiores e inferiores. Em que, locais topograficamente baixos, que possuem pressões mais elevadas, iguais ou superiores ao limite de 400 kPa, são mais sujeitos a apresentar problemas de perdas de água, devido a possíveis rupturas nas tubulações. No ano de 2022, o Brasil apresentou índice de perdas de 38,3% e de 46,75 para o Nordeste, como pode ser visto na figura 2 disponibilizada por Brasil (2023).

Figura 2 – Índice de perdas na distribuição (Código SNIS – IN049)



Fonte: Adaptado Brasil, 2023.

As regiões que possuem pressões inferiores ao limite mínimo de 100 kPa, geralmente, são localizadas em regiões topograficamente elevadas com relação ao reservatório ou possuem trechos com altos valores de perda de carga. Essas localidades são afetadas por falta de abastecimento, principalmente, em horários de alto consumo na rede.

Ao longo de todo o processo do Sistema de Abastecimento de Água pode ocorrer as perdas de água, que de acordo com Cardoso et al (2013) isso é inerente a todos os sistemas, uma vez que as perdas de água reais são resultantes de fugas e roturas nas condutas, nos órgãos acessórios da rede de distribuição, tais como juntas de ligação, e nos reservatórios. Tais condutas ocorrem devido à degradação de sua infraestrutura. Com isso, a NBR 12218/2017, no seu tópico 4, evidencia que, para o desenvolvimento do projeto do SAA, deve-se considerar um programa de controle e redução de perdas.

2.1.8. Perdas no Sistema de Abastecimento de Água

Desde a captação no manancial até a entrega da água tratada ao consumidor final ocorrem perdas, de vários tipos, que em grande parte são causadas por operação e manutenção deficientes das tubulações e inadequada gestão comercial das companhias de saneamento. De acordo com o documento Técnico, DTA A2, emitido pelo Programa Nacional de Combate ao desperdício de Água, em 2003: em sistemas públicos de abastecimento, do ponto de vista operacional, as perdas de água são consideradas correspondentes aos volumes não contabilizados. Essas englobam tanto as perdas físicas (reais), que representam a parcela não consumida, como as perdas não físicas (aparentes), que correspondem à água consumida e não registrada.

A estimativa das perdas de água em um sistema de abastecimento se dá por meio da comparação entre o volume de água transferido de um ponto do sistema e o volume de água recebido em um ou mais pontos do sistema, situados na área de influência do ponto de transferência (BRASIL, 2003).

A identificação e separação das perdas físicas de água das não físicas é tecnicamente possível mediante pesquisa de campo, utilizando a metodologia da análise de histograma (registros contínuos) de consumo das vazões macromedidas. Nesse caso, a oferta noturna estabilizada durante a madrugada - abatendo-se os consumos noturnos contínuos por parte de determinados tipos de usuários do serviço (fábricas, hospitais e outros) - representa, em sua quase totalidade, a perda física no período pesquisado, decorrente de vazamentos na rede ou ramais prediais. A perda não física será a diferença entre a perda total de água na distribuição - Água Não Contabilizada - e a perda física levantada (BRASIL, 2003).

2.1.8.1. Indicadores de perdas de água

Indicadores de desempenho (ID) são instrumentos de apoio para o monitoramento da eficiência e são utilizados para tomadas de decisão. Visando a qualidade dos serviços, deve-se buscar a melhoria contínua, assim, os indicadores de desempenho são ferramentas de apoio. Ademais, são utilizados como referência para comparação entre sistemas e comparação temporal do mesmo sistema (SANTOS, 2018).

O SNIS recebe e armazena em sua base de dados os indicadores de perdas em sistemas de abastecimento de água segundo três unidades diferentes: em percentual – Índice de perdas na distribuição; em litros por ligação ao dia – Índice de perdas por ligação; e em metros cúbicos por quilômetro de rede ao dia – Índice bruto de perdas lineares (BRASIL, 2019). Segue explicação de cada índice:

- a) **Índice de perdas na distribuição:** Esse índice resulta a relação entre o volume total de água que foi perdido no sistema (volume que foi produzido menos o volume que foi consumido) com o volume total que foi ofertado pelo sistema. De acordo com Oliveira (2013), esse índice é o indicador de melhor entendimento e o mais utilizado, e valores abaixo dos 25% são considerados aceitáveis;

$$IPD = \frac{\text{Volume produzido} - \text{Volume consumido}}{\text{Volume produzido}} * 100 [\%] \quad (1)$$

- b) **Índice de perdas por ligação:** Mensura o volume de água perdido na distribuição em termos de unidade por ligação, sendo um índice que proporciona valor mais efetivo em relação as perdas (SNIS, 2019).
- c) **Índice bruto de perdas lineares:** Este indicador mensura as perdas de água em termos lineares, que resulta no valor do volume que foi perdido por extensão de rede, m³ por dia e por quilômetro de rede, que possibilitará estudos complementares ao índice de perdas de água.

$$IPD = \frac{\text{Volume produzido} + \text{Volume tratado importado} - \text{Volume consumido} - \text{Volume de serviço}}{\text{Extensão da rede de água}} * \frac{1000}{365} [m^3/\text{dia}/km] \quad (2)$$

2.2. Modelagem hidráulica

A modelagem matemática é uma ferramenta muito útil para a simulação do comportamento hidráulico de uma rede de distribuição. Os programas disponíveis no mercado

introduziram uma importante melhoria para o planejamento dos sistemas de distribuição de água (MOTTA, 2010).

Para o controle de perdas na distribuição, a modelagem matemática pode fornecer indicações importantes de onde realizar intervenções que permitam maior eficiência operacional e redução das pressões na rede (MOTTA, 2010). Bem como, detectar desvios da realidade causados por alterações das condições operacionais (fechamento de registros, alteração de demandas, novos empreendimentos) (POLO, 2010). Assim, a utilização de um software livre, como o EPANET, para realizar simulações hidráulicas, contribui positivamente para o estudo do comportamento do sistema, uma vez que há obtenção de dados que irão auxiliar em uma análise mais aprofundada.

2.2.1. EPANET

O EPANET é um modelo desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency*, sendo muito utilizado no gerenciamento dos sistemas de distribuição de água potável. Interpreta um período extenso de simulação do comportamento hidráulico e da qualidade da água em redes de condutos forçados (VIEGAS, 2002).

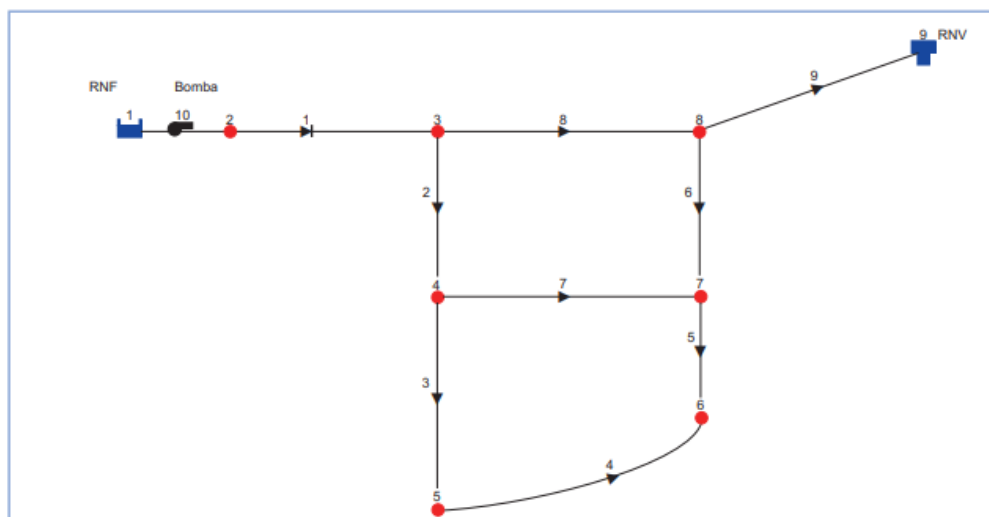
O EPANET é uma ferramenta que visa a realização de simulações de um sistema de abastecimento de água, em que é feita uma automação dos cálculos e executa simulações do comportamento hidráulico, dinâmicos ou estáticos. E, a partir da simulação, o EPANET exhibe resultados possíveis para análises de valores quantitativos, como as perdas de carga, energia de bombeamento, valores de pressão e vazão do respectivo nó etc., e análises de qualidade da água (ROSSMAN, 2002).

Para ser realizada uma modelagem hidráulica através do EPANET, conforme Rossman (2002), normalmente são utilizados os seguintes passos:

1. Desenhar uma representação esquemática do sistema de distribuição (ver Figura 3) ou importar uma descrição-base do sistema a partir de um arquivo de texto;
2. Editar as propriedades dos objetos que fazem parte do sistema;
3. Descrever as condições de operacionalidade do sistema;
4. Selecionar um conjunto de opções de simulação;

5. Executar uma simulação hidráulica;
6. Visualizar os resultados da simulação.

Figura 3 – Representação esquemática de um sistema exemplo no EPANET



Fonte: Rossman (2002).

2.2.2. QGIS

O QGIS faz parte de um SIG, Sistema de Informação Geográfica, que é uma tecnologia que armazena dados geográficos referenciados, criando bancos de dados para serem utilizados em diversas finalidades, como na área ambiental, social, econômica (OLIVEIRA, 2019, apud SARAIVA 2021).

O QGIS – Quantum GIS – é um software de sistema de informação geográfica de licença livre e de código aberto, assim, usuários do software podem contribuir no desenvolvimento deste. Pode-se citar a instalação de ferramentas nomeadas de Plugins, que são desenvolvidas pelos usuários para a melhoria das utilidades do QGIS (JUNIOR, 2018, apud CARVALHO, 2021).

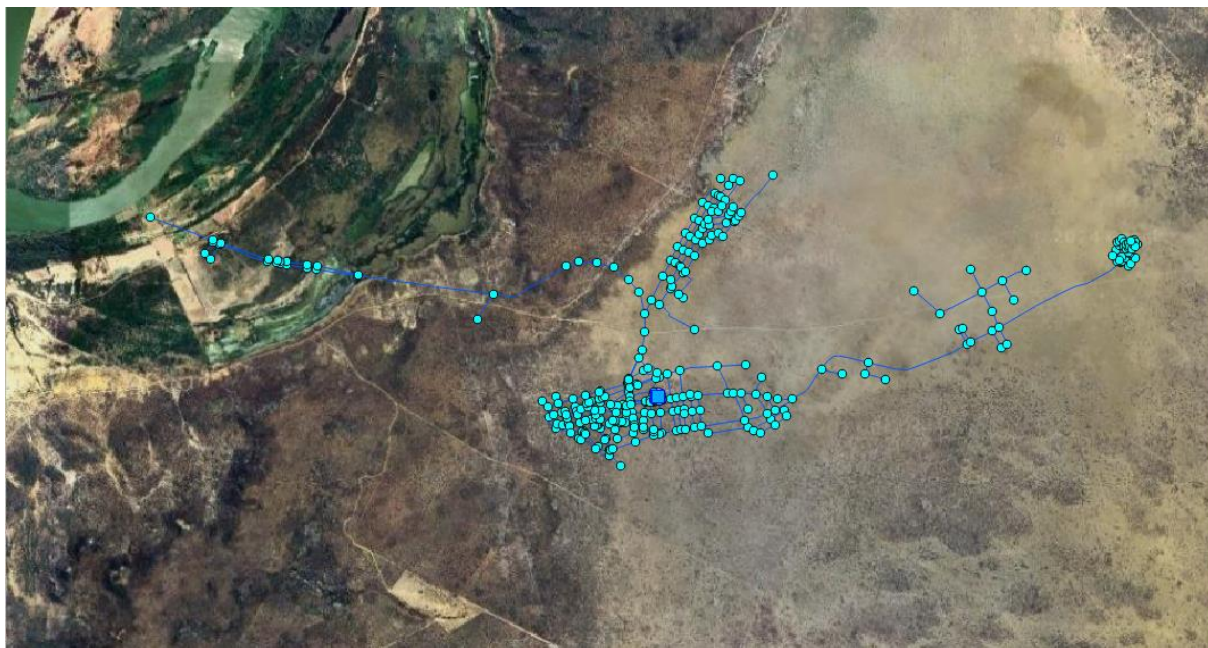
Na área de sistemas de abastecimento de água, o QGIS é bastante utilizado, uma vez que o software tem vasta aplicabilidade, em que possibilita o estudo de fenômenos hidráulicos, como o uso de informações geográficas de mapeamento, gerenciamento de instalações, modelagem e outros que auxiliam a gestão do sistema (SHAMSI, 2004, apud CARVALHO, 2021).

Os arquivos nomeados de *shapfiles* são oriundos do GIS, extensão .SHP, em que possuem informações espaciais de todos os seus objetos, e, junto a esse arquivo .SHP, encontra-

se os arquivos chamados database, extensão .DBF, e neste há características da rede (PEREZ, 2020, apud GOMES, 2021).

A seguir, na Figura 4, vê se o exemplo de um arquivo *shapfiles*, neste há as informações do sistema georreferenciadas, que contribui para a semelhança do projeto em campo e, posteriormente, na Figura 5, a tabela de atributos de uma da camada *pipes* dessa modelagem.

Figura 4 – Arquivo *shapfiles*



Fonte: Autora, 2024.

Figura 5 – Tabela de atributos – camada Pipe

PIACABUCU.15.06.2022_pipes — Total de feições: 448, Filtrado: 448, Selecionado: 0

	id	nodefrom	nodeto	status	length	diameter	roughness	minorloss	desc
1	10	1319	891	OPEN	49,236000	60,000000	105,000000	0	NULL
2	100	1183	1193	OPEN	65,480000	60,000000	105,000000	0	NULL
3	1000	1394	1393	OPEN	116,366000	75,000000	105,000000	0	NULL
4	1001	1393	1392	OPEN	129,450000	75,000000	105,000000	0	NULL
5	1002	1392	862	OPEN	92,675000	75,000000	105,000000	0	NULL
6	1003	1401	1400	OPEN	193,291000	250,000000	105,000000	0	NULL
7	1004	1400	1399	OPEN	130,934000	100,000000	105,000000	0	NULL
8	1005	1399	1398	OPEN	31,254000	100,000000	105,000000	0	NULL
9	1006	1398	1397	OPEN	222,745000	100,000000	105,000000	0	NULL
10	1007	1397	1396	OPEN	129,968000	100,000000	105,000000	0	NULL
11	1008	1396	778	OPEN	122,170000	100,000000	105,000000	0	NULL
12	101	1193	1213	OPEN	61,174000	60,000000	105,000000	0	NULL
13	102	1213	1203	OPEN	27,273000	60,000000	105,000000	0	NULL
14	103	1203	1235	OPEN	46,831000	60,000000	105,000000	0	NULL
15	104	1213	1224	OPEN	22,810000	60,000000	105,000000	0	NULL
16	1046	1604	1440	OPEN	3,288000	250,000000	105,000000	0	NULL
17	1047	1439	1438	OPEN	2,249000	250,000000	105,000000	0	NULL
18	1048	1437	1436	OPEN	3,402000	250,000000	105,000000	0	NULL
19	1049	1435	1401	OPEN	4,021000	250,000000	105,000000	0	NULL
20	105	1224	1235	OPEN	15,996000	60,000000	105,000000	0	NULL
21	1050	1605	1443	OPEN	1,882000	200,000000	105,000000	0	NULL

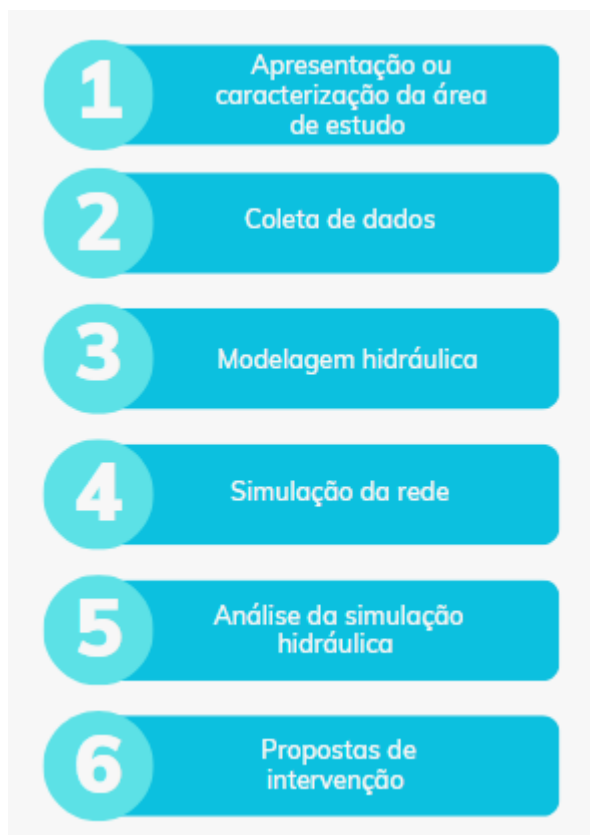
Mostrar todos os feições

Fonte: Autora, 2024.

3. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho seguirá a ordem apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autora, 2024.

Resumidamente, as etapas supracitadas propõem os seguintes objetivos:

1. **Apresentação ou caracterização da área de estudo** – Pesquisa das informações e características gerais do município de Piaçabuçu.
2. **Coleta de dados** – Para a etapa em questão, os dados necessários para a caracterização das redes e do SAA foram coletados junto à CASAL.
3. **Modelagem hidráulica** – Nesta etapa, foi realizada a modelagem a partir do software EPANET 2.2 com o auxílio do software de georreferenciamento – QGIS, que consistiu na inserção dos parâmetros hidráulicos, coletados na etapa anterior, e, assim, a elaboração do modelo hidráulico do SAA de Piaçabuçu.
4. **Simulação da rede** – Após a modelagem, foi realizada a simulação da rede em estudo, em que foram analisados os parâmetros hidráulicos da rede.

5. **Análise da simulação hidráulica** – Após analisados os parâmetros hidráulicos e os dados disponibilizados após a simulação, foi apresentado o diagnóstico da rede.
6. **Propostas de intervenção** – Por fim, após o diagnóstico do SAA, essa etapa consistiu na apresentação de melhorias e recomendações para otimizar o sistema de abastecimento de água, visando a sua eficiência.

3.1. Caracterização da área de estudo

Inicialmente, foram realizadas pesquisas sobre as características gerais do município de Piaçabuçu, utilizando dados atualizados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com base no último censo. Ademais, foram coletadas informações sobre o Sistema de Abastecimento de Água do município junto à concessionária, objetivando uma visão ampla e precisa da realidade local.

3.2. Coleta de dados

Nesta etapa do estudo foram realizadas as coletas de informações e dados cadastrais da rede, como por exemplo: diâmetro da rede e comprimento dos trechos, cotas topográficas dos nós e reservatórios; traçado da rede de abastecimento; material das tubulações; peças especiais; pressão nos nós; consumo nos trechos; dimensões dos reservatórios; etc.

Os dados supracitados foram coletados juntamente com a CASAL, unidade que foi parceira para a viabilização do trabalho, em específico à Supervisão de Gestão de Perdas (SGP). Todas as informações operacionais foram obtidas com a SGP, ação autorizada pelo supervisor do setor. Ressaltamos que, aos dados que não foram confiáveis, passaram por um refinamento e, quando possível, a sua coleta em campo.

Os dados utilizados, em sua maioria, foram obtidos de arquivos .shp – *Shapefile* – arquivos georreferenciados –, que continha as informações de cada rede e sua respectiva localização. A partir dos dados, foi realizada a caracterização do sistema e pôde dar prosseguimento à modelagem. Ocorreram duas visitas técnicas ao SAA com o objetivo de conhecer o sistema e coletar, em pontos estratégicos, dados de pressão e vazão, utilizando a pitometria.

3.3. Modelo Hidráulico

A partir da conclusão da fase anterior, todas as informações da rede de abastecimento foram atualizadas pela autora, o que tornou viável inserir as informações requeridas pelo software EPANET 2.0, e, assim, obter o modelo hidráulico dinâmico da rede.

A modelagem hidráulica é onde ocorre a representação do sistema real, em base a isto, deve-se ter cautela ao caracterizar cada elemento do SAA, uma vez que a incorreta colocação dos dados causará erro no modelo e, por consequência, nos relatórios disponibilizados na simulação. Em vista disso, o modelo hidráulico do presente trabalho foi elaborado de forma a conter todos os parâmetros hidráulicos de acordo com o caso real.

Como dito anteriormente, os arquivos de cadastro de rede foram disponibilizados em .shp, ou seja, arquivos georreferenciados, em que nesses foram posicionados cada elemento SAA do município e atribuída suas características. Sendo utilizado o *software* de QGIS para modelagem hidráulica do sistema em estudo. Após a finalização desse arquivo, foi realizada a exportação para o EPANET 2.0 – transferência se deu com o auxílio do GISWater –, onde ocorreu as simulações hidráulicas.

3.4. Simulação da rede hidráulica

Com as etapas anteriores finalizadas, tornou-se viável a realização da simulação hidráulica. A partir de sua reprodução, foi exibido a dinâmica do sistema e o seu comportamento hidráulico. A simulação foi realizada no *software* EPANET 2.0, na qual trouxe as informações pertinentes para a discussão sobre o sistema, mostrando seus gargalos e gerando as propostas de melhoria. As intervenções de melhoria foram fundamentadas a partir do que foi analisado na simulação hidráulica.

3.5. Análise da simulação hidráulica

Após analisados os parâmetros hidráulicos, como as zonas de pressões, velocidade e perda de carga nas tubulações, conforme a NBR 12218:2017, e os dados disponibilizados na simulação, foi apresentado o diagnóstico da rede.

3.6. Propostas de intervenção

Após as análises dos relatórios fornecidos pela simulação hidráulica e a busca das possíveis alterações no sistema, foram apresentadas recomendações que propõe possíveis melhorias para o abastecimento do município de Piaçabuçu/Alagoas.

A título de exemplo para a melhoria na rede de abastecimento, tem-se a implantação de válvulas redutoras de pressão, macromedidores e redes em pontos estratégicos onde há maiores perdas de cargas. As substituições de redes serão executadas quando, através da simulação hidráulica executada no EPANET, indicar que há trechos de rede com perda de carga máxima, ou seja, 8m/km de acordo com a NBR 12218:2017.

No tópico a seguir serão apresentados os resultados da simulação hidráulica.

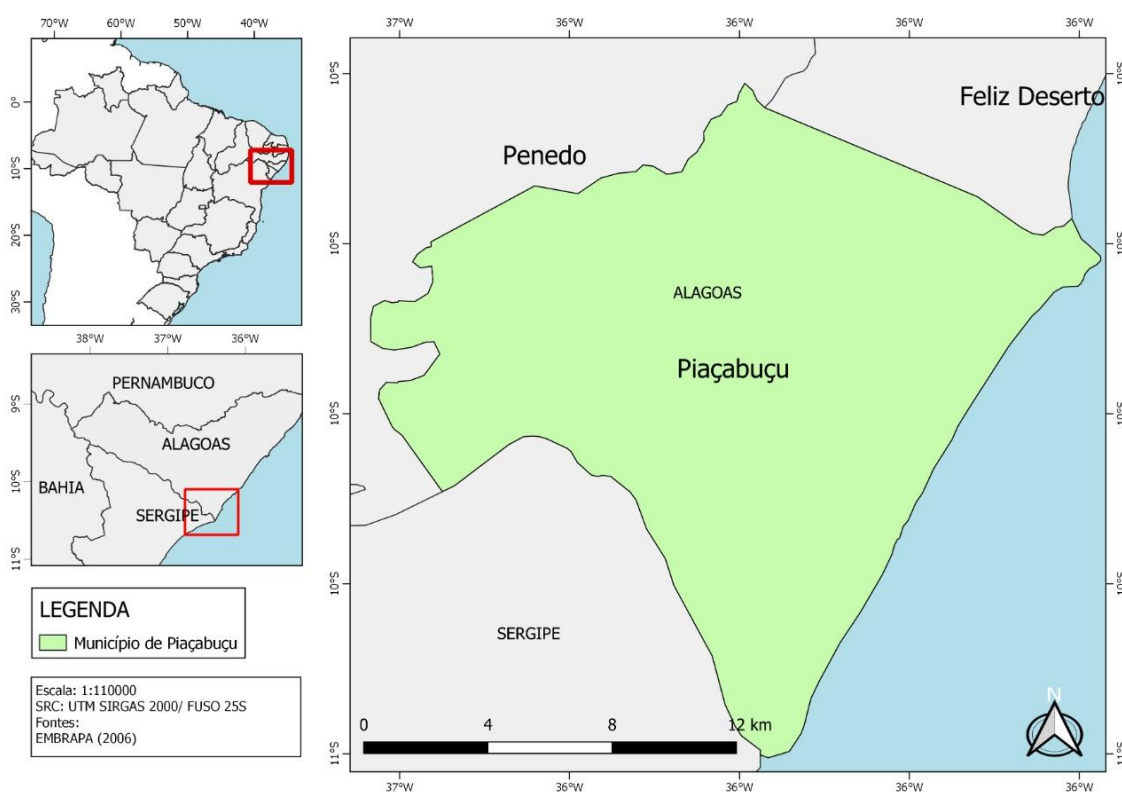
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico será apresentado e discutido os resultados do estudo, enfatizando os dados apresentado pelo SNIS, 2023 e a análise hidráulica do Sistema de Abastecimento de Água de Piaçabuçu, conforme a NBR 12218:2017, com a utilização da modelagem hidráulica, com os softwares QGIS 3.32 e o EPANET 2.0.

4.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Piaçabuçu, situado ao sul do estado de Alagoas e divisa com o estado de Sergipe, fazendo parte da mesorregião do Leste Alagoano e região imediata do município de Penedo. A Figura 7, a seguir, exhibe o mapa georreferenciado do município de Piaçabuçu.

Figura 7 – Mapa georreferenciado de Piaçabuçu – Alagoas.



Fonte: Autora, 2024.

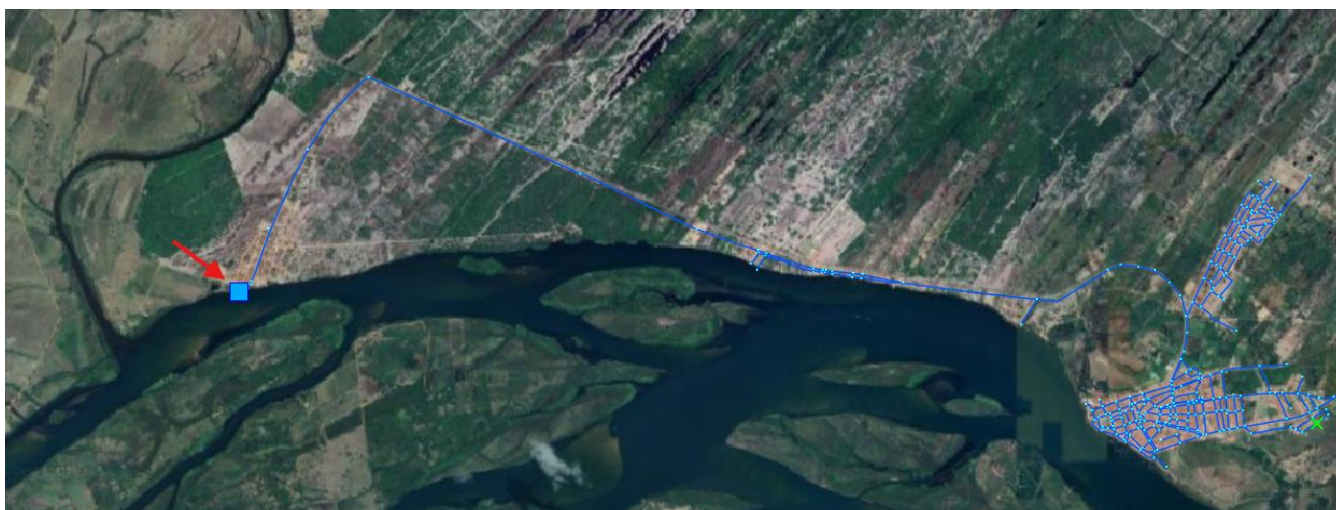
Conforme os dados disponibilizados pelo IBGE, 2022, o município de Piaçabuçu possui uma população no ano de 2022 de 15.908 habitantes, contando com uma densidade demográfica de 65,28 hab/km² e, aproximadamente, 244 km² de área territorial.

Atualmente, a Companhia de Saneamento de Alagoas é a empresa de sociedade de economia mista responsável pela captação e tratamento de água para o abastecimento da região, sendo a operação do sistema realizada pela empresa Águas do Sertão. Alguns povoados distantes do centro da cidade, em que a rede de abastecimento não é capaz de suprir a demanda, são abastecidos pela prefeitura ou poços artesianos.

O sistema de abastecimento de água da cidade de Piaçabuçu é composto por uma estação de tratamento de água compacta – filtração e cloração, que fica localizada no bairro central da cidade, sua vazão média de tratamento é de 20 l/s, com operação diária de 24 horas (CASAL, 2023).

A captação de água para o abastecimento da região é fornecida através do manancial do Rio São Francisco, situada nas proximidades do povoado Penedinho, em Piaçabuçu, ver Figura 8.

Figura 8 – Ponto de captação de água do SAA de Piaçabuçu/Alagoas – Povoado Penedinho.



Fonte: Autora, 2023.

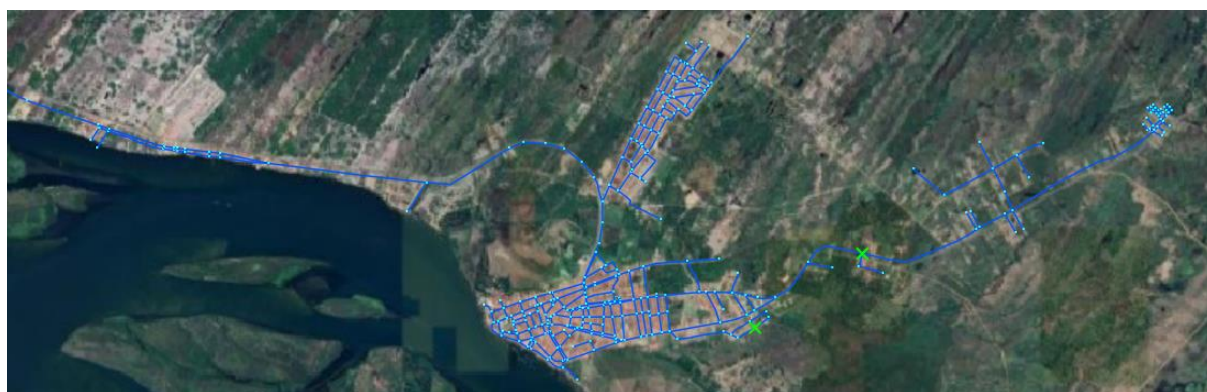
De acordo com os dados da série histórica do SNIS (2023), em 2022, o sistema de abastecimento de água atendeu uma população total de 9.802 habitantes, com 2.718 ligações ativas, perfazendo uma extensão total de 13,62 km de rede de água e possui um consumo médio per capita de água de 67,1 L/hab./dia. Ademais, foram tratados em ETA um volume de água de $1369,00 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$, sendo, apenas, $786,56 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de volume de água faturado, e, com isso, houve um índice de perdas na distribuição de 51,27% e um índice de perdas no faturamento de 45,35%. Os dados citados acima, serão exibidos na tabela a seguir – Tabela 1 –, que foi complementada por dados de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, além de outros índices.

Tabela 1 – Informações e indicadores do SAA de Piaçabuçu/AL.

Ano de Referência	População total (Fonte: IBGE): (hab.)	Quantidade de ligações ativas de água (ligações)	Extensão da rede de água (km)	Volume de água produzido (1000 m³/ano)	Volume de água faturado (1000 m³/ano)	Índice de perdas faturamento (%)	Índice de perdas na distribuição (%)	Índice bruto de perdas lineares (m³/dia/Km)	Índice de perdas por ligação (l/lig./dia)
2022	15.908	2.718	13,62	1.369,00	786,56	45,35	51,27	92,69	739,19
2021	17.868	2.752	13,62	1.330,56	369,55	72,21	77,71	207,85	1.034,50
2020	17.848	2.721	13,62	1.342,12	368,58	72,45	77,16	207,63	1.063,15
2019	17.827	2.599	13,62	1.163,52	351,54	69,79	72,72	170,19	877,02
2018	17.805	2.687	13,62	664,81	373,81	39,14	49,12	60,69	294,84

Fonte: Adaptado de SNIS (2023).

A Figura 9 apresenta a delimitação da área de estudo.

Figura 9 – Delimitação da área de estudo do SAA de Piaçabuçu – representação no QGIS.

Fonte: Autora, 2023.

4.2. Análise dos indicadores da Tabela 1

Conforme apresentado no referencial teórico, a NBR 12218:2017 estabelece uma série de características essenciais para o Sistema de Abastecimento de Água (SAA), assim, esses dados foram analisados para o município de Piaçabuçu.

O município de Piaçabuçu possui aproximadamente 13 km de extensão de rede e cerca de 2.761 ligações (SNIS, 2023), valores que estão dentro do limite estabelecido de 25 km de rede e 5 mil ligações para a criação de um Distrito de Medição e Controle (DMC). Logo, a extensão da rede de distribuição de água do município é adequada para a formação de um único DMC, sem a exigência de subdivisões.

A avaliação da infraestrutura de toda a rede também é indispensável. Durante a visita técnica ao local, o colaborador informou que a grande maioria dos hidrômetros da rede estariam

com avarias e muito tempo de uso, assim, perdendo sua eficiência, e que precisariam ser trocados.

Ao analisar os dados disponibilizados pela série histórica disponível no SNIS, nos últimos anos o município de Piaçabuçu apresentou os dados exibido na Tabela 1, exibida acima. A Tabela 1 mostra que, nos últimos cinco anos, o Índice de Perdas na Distribuição tem permeado ou superado a marca de 50%. Comparado à média nacional, que foi de 37,8% em 2022 (SNIS, 2022), torna-se evidente que o índice local está significativamente acima da média, embora tenha apresentado uma redução no ano de 2022, os dados indicam um mau gerenciamento da distribuição de água no município.

Outro índice relevante a ser analisado é o Índice de Perdas por Ligação, que está diretamente relacionado à eficiência operacional, visto que a maior parte das perdas reais e aparentes acontece nas redes de distribuição. Em 2022, observou-se um decréscimo no índice para o município, com o valor de 739,19 L/lig/dia. Porém, esse valor ainda é elevado quando comparado à média nacional, que foi de 337,7 litros/ligação/dia.

Ademais, ao comparar o Volume de Água Produzido e o Volume de Água Faturado, verifica-se que, em 2022 – o ano com o menor valor dos últimos 5 anos – houve uma perda de faturamento de 45,35%, ou seja, a concessionária responsável pelo abastecimento faturou, aproximadamente, a metade do volume de água que produziu.

4.3. Modelagem do Sistema de Abastecimento de Água

A modelagem do Sistema de Abastecimento de Água do município de Piaçabuçu, abrangendo desde a captação até a distribuição, foi realizada a partir de um arquivo previamente fornecido pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), que exigia algumas atualizações. As informações, como o diâmetro nominal (DN) da adutora da captação, o novo ponto de captação e a adição dos novos reservatórios na ETA, foram coletadas em campo e adicionadas ao QGIS 3.32.

Além disso, foram ajustados alguns valores na tabela de atributos, como o valor do Coeficiente de Rugosidade de Hazen-Williams, adotando-se o valor de 140 para tubulações de PVC. As modificações referentes às atualizações da rede foram fornecidas durante as visitas de campo pelos colaboradores da concessionária.

A figura abaixo sinaliza as alterações realizadas na tabela de atributos dos trechos – *pipes*.

Figura 10 – Tabela de atributos *Pipes* – Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas.

PIACABUCU.15.06.2022_pipes — Total de feições: 448, Filtro: 448, Selecionado: 0

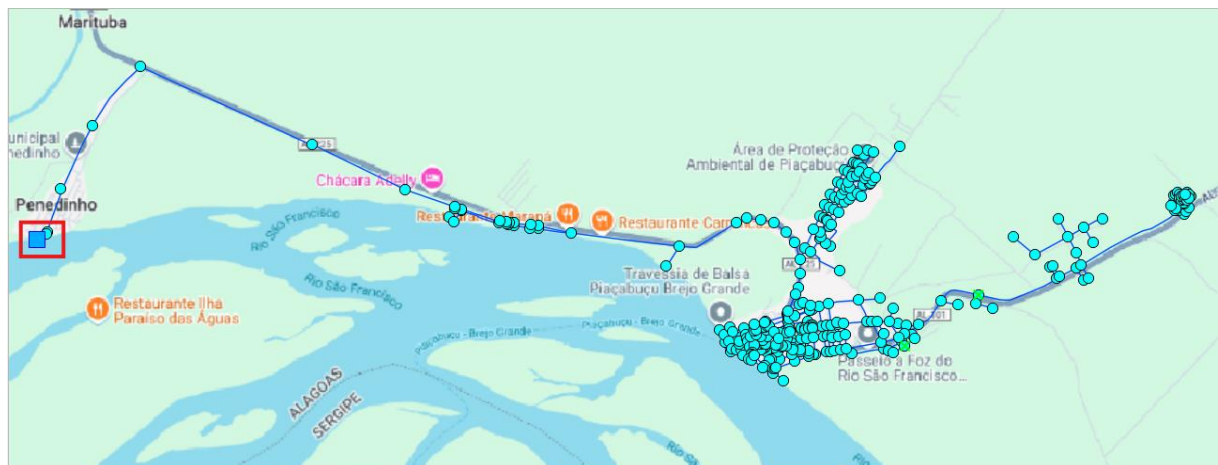
id	nodefrom	nodeto	status	length	diameter	roughness	minorloss	desc
43 111	1082	747	OPEN	85,583000	50,000000	140,000000	0	NULL
44 112	746	747	OPEN	37,136000	50,000000	140,000000	0	NULL
45 113	747	748	OPEN	11,335000	50,000000	140,000000	0	NULL
46 114	750	1000	OPEN	170,401000	50,000000	140,000000	0	NULL
47 115	826	753	OPEN	100,148000	50,000000	140,000000	0	NULL
48 116	753	754	OPEN	34,433000	50,000000	140,000000	0	NULL
49 117	754	755	OPEN	32,915000	50,000000	140,000000	0	NULL
50 118	755	841	OPEN	61,020000	50,000000	140,000000	0	NULL
51 119	841	843	OPEN	51,014000	50,000000	140,000000	0	NULL
52 12	847	956	OPEN	29,366000	50,000000	140,000000	0	NULL
53 120	843	844	OPEN	118,627000	50,000000	140,000000	0	NULL
54 121	841	842	OPEN	116,275000	50,000000	140,000000	0	NULL
55 122	753	752	OPEN	140,585000	50,000000	140,000000	0	NULL
56 123	815	752	OPEN	88,227000	50,000000	140,000000	0	NULL
57 124	793	751	OPEN	85,223000	50,000000	140,000000	0	NULL
58 125	804	751	OPEN	84,419000	50,000000	140,000000	0	NULL
59 127	751	759	OPEN	40,623000	50,000000	140,000000	0	NULL
60 128	752	756	OPEN	37,214000	50,000000	140,000000	0	NULL
61 129	756	759	OPEN	88,526000	50,000000	140,000000	0	NULL
62 13	1059	956	OPEN	55,576000	50,000000	140,000000	0	NULL

Mostrar todos os feições

Fonte: Autora, 2024.

A figura 11 apresenta o novo ponto de captação do Sistema de Abastecimento de Água do município de Piaçabuçu, localizado nas proximidades do povoado Penedinho. Essa mudança ocorreu devido à salinidade do antigo ponto de captação, que comprometia a qualidade da água. O arquivo cedido pela concessionária ainda estava com a localização anterior, tornando-se necessário atualizar as informações para refletir essa nova realidade.

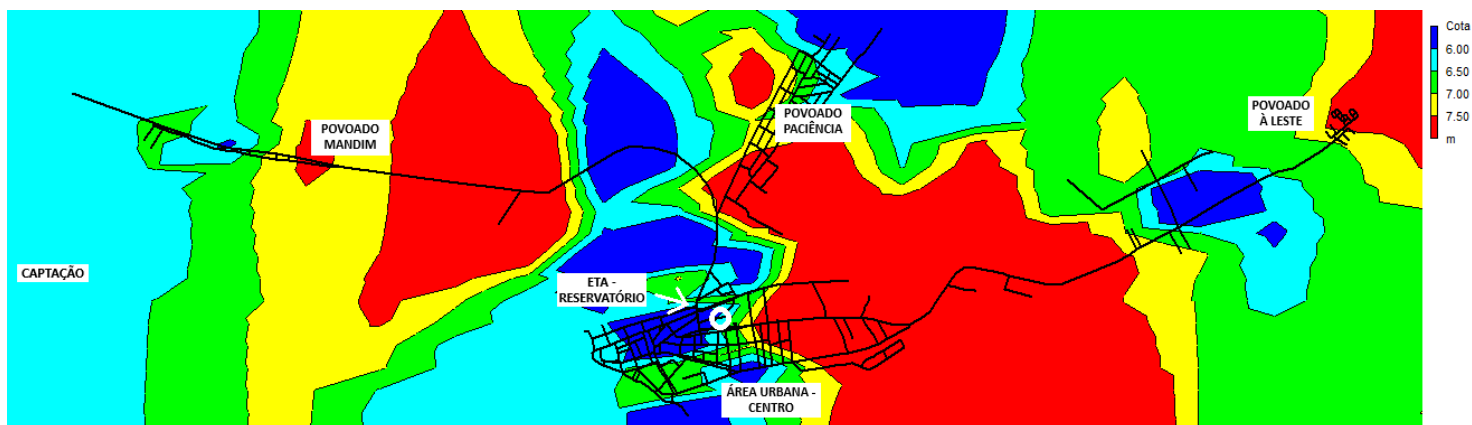
Figura 11 – Nova captação no povoado Penedinho – Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas.



Fonte: Autora, 2024.

Conforme figura 12 que exibe a cota topográfica do local, os reservatórios se localizam no centro da área urbana – demarcado no retângulo vermelho - e se encontram nas maiores cotas topográficas da zona urbana. Desta forma, o abastecimento da rede modelada é inteiramente realizado por gravidade.

Figura 12– Cota topográfica – Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas.



Fonte: Autora, 2024.

Outro dado analisado foi o consumo-base ou demanda nos nós. Como a CASAL não forneceu os valores de vazão em cada reservatório, foi necessário utilizar os dados fornecidos pelo SNIS (2023). Para calcular o consumo-base, considerou-se a população total atendida pelo abastecimento de água – 9802 habitantes – e o consumo médio per capita de água de 67,1 L/hab/dia, assim, sendo possível determinar a vazão de consumo por segundo no município. Com base nesses dados, o cálculo do consumo-base foi realizado, conforme demonstrado a seguir.

$$cons.base = 9802 * 67,1 (hab) * \left(\frac{L}{\frac{hab}{dia}} \right) \quad (3)$$

$$cons.base = 657.714,2 L/dia$$

$$cons.base = 7,61 L/s$$

O volume total de consumo calculado foi de 7,61 L/s. Como a rede de distribuição possui 320 nós, a média de consumo-base por nó foi de 0,023 L/s. Esses valores foram integrados ao QGIS 3.32, sendo inseridos na tabela de atributo dos nós – junctions -, conforme exibido na figura a seguir.

Figura 13 – Tabela de atributos *Junctions* – Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas.

QIACABUCU.15.06.2022_junctions — Total de feições: 320, Filtrado: 320, Selecionado: 1

1.2 dema = € 0,0238

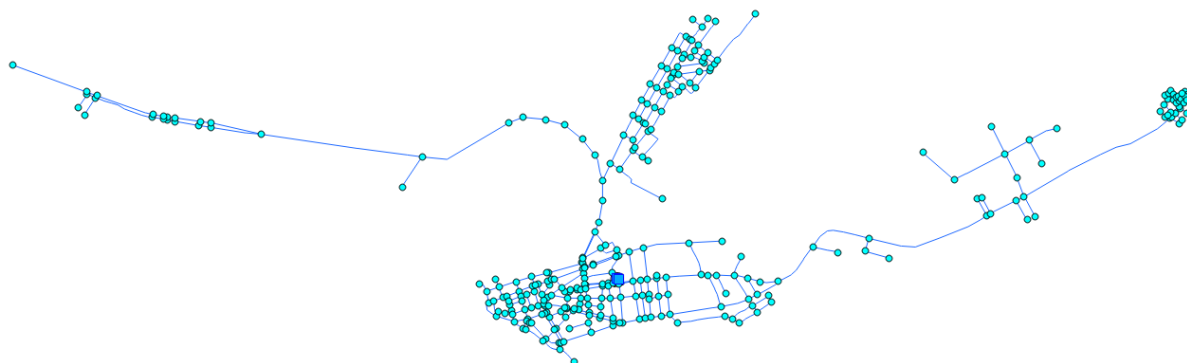
	id	elevation	demand1	pattern1	desc
301	878	4,972000	0,0238	PAD1	NULL
302	879	5,778000	0,0238	PAD1	NULL
303	880	8,389000	0,0238	PAD1	NULL
304	881	5,778000	0,0238	PAD1	NULL
305	882	6,611000	0,0238	PAD1	NULL
306	883	6,611000	0,0238	PAD1	NULL
307	884	6,611000	0,0238	PAD1	NULL
308	885	6,611000	0,0238	PAD1	NULL
309	886	5,028000	0,0238	PAD1	NULL
310	891	8,389000	0,0238	PAD1	NULL
311	902	8,000000	0,0238	PAD1	NULL
312	913	8,000000	0,0238	PAD1	NULL
313	924	8,000000	0,0238	PAD1	NULL
314	935	6,917000	0,0238	PAD1	NULL
315	945	6,056000	0,0238	PAD1	NULL
316	956	5,861000	0,0238	PAD1	NULL
317	957	6,056000	0,0238	PAD1	NULL
318	968	6,056000	0,0238	PAD1	NULL
319	979	6,056000	0,0238	PAD1	NULL
320	990	6,056000	0,0238	PAD1	NULL

Mostrar todos os feições

Fonte: Autora, 2024.

A Figura 14, apresentada a seguir, exibe a modelagem da rede de abastecimento do município de Piaçabuçu com os dados atualizados já incorporados.

Figura 14 – Modelagem da Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas – QGIS 3.32.

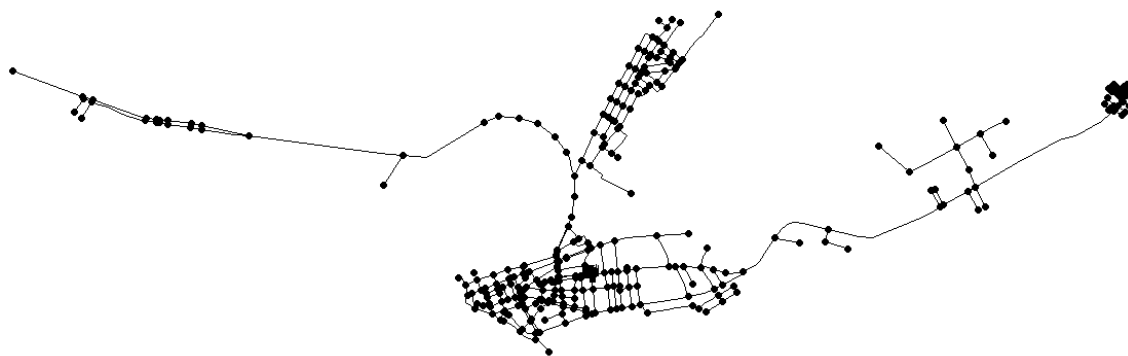


Fonte: Autora, 2024.

Após a inserção dos dados no QGIS 3.32, o arquivo foi exportado para o EPANET 2.0 para a realização da simulação hidráulica, utilizando o plugin QGISWater como suporte.

A figura 15 exibe a modelagem da rede no software EPANET 2.2.

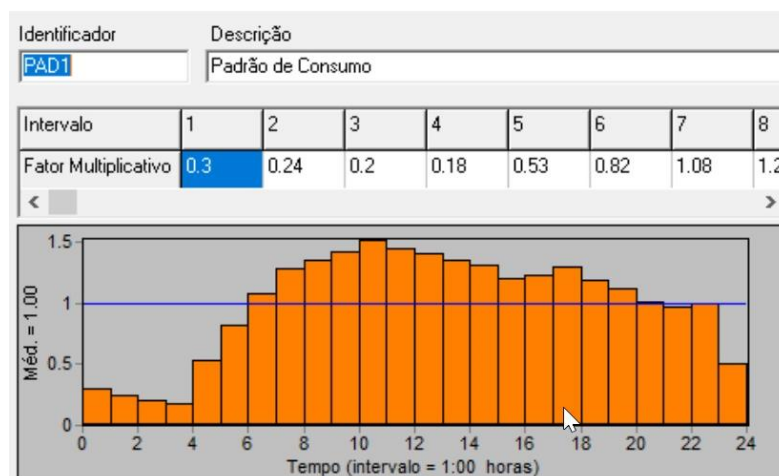
Figura 15 – Modelagem da Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas – EPANET 2.0.



Fonte: Autora, 2024.

O padrão de consumo fornecido pela CASAL foi inserido na modelagem e utilizado na simulação da rede hidráulica, ver figura 16.

Figura 16 – Padrão de Consumo - Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas – EPANET 2.0.



Fonte: CASAL,2022.

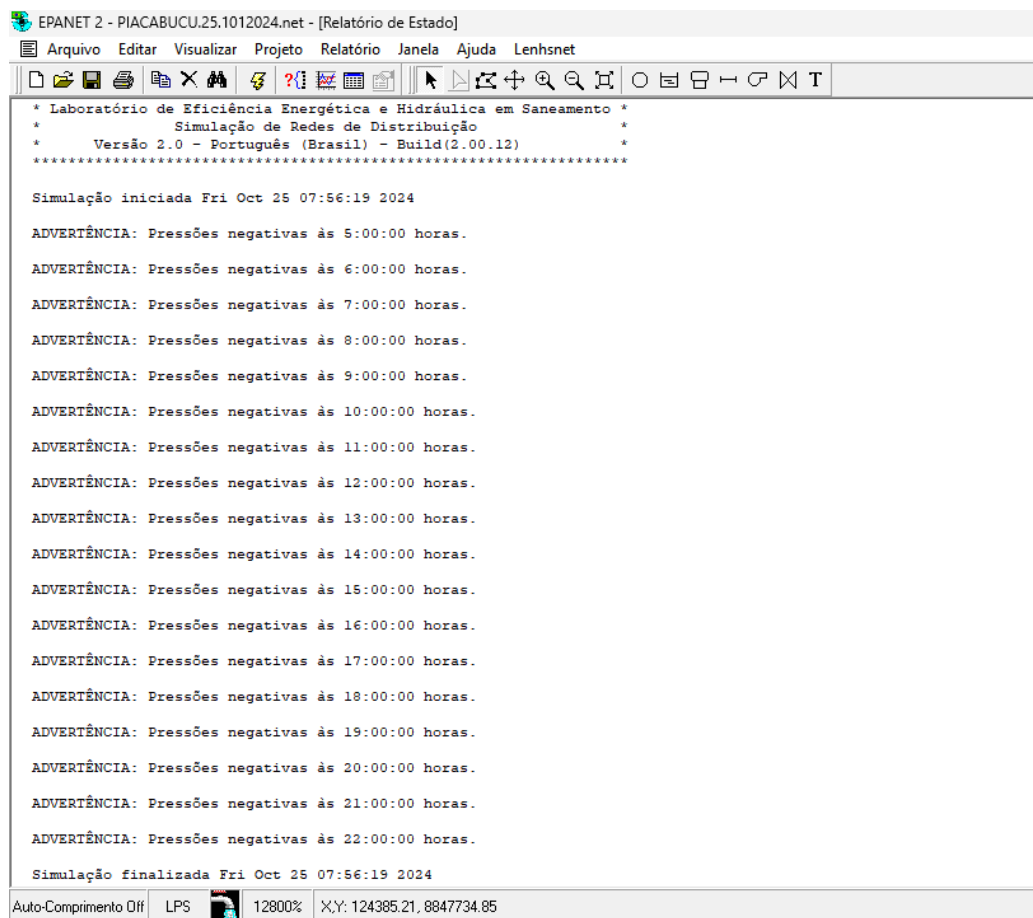
Com as atualizações incorporadas à modelagem da rede, acima citadas, foi possível realizar a simulação hidráulica da rede de abastecimento do município de Piaçabuçu.

4.4. Simulação da rede hidráulica

Após a finalização da modelagem e o cálculo das demandas nodais, foi realizado a simulação da rede no EPANET 2.0.

Ao iniciar a simulação, o programa gerou um relatório indicando que, em grande parte dos horários ao longo do dia, foram registradas pressões negativas em alguns trechos da rede, sinalizando falhas no abastecimento de determinadas regiões, ver figura 17.

Figura 17 – Relatório de estado - Rede hidráulica de Piaçabuçu/Alagoas – EPANET 2.0.



Fonte: Autora,2024.

Os resultados obtidos da simulação são apresentados nas figuras a seguir.

Isolinhas de pressão – Apresenta as zonas dos valores de pressão às 04h, horário de menor consumo (Figura 18).

Isolinhas de pressão – Apresenta as zonas dos valores de pressão às 10h, horário de maior consumo (Figura 19)

Figura 20. Simulação hidráulica – Exibe as pressões em cada nó e as perdas de carga hidráulicas em cada trecho às 04h.

Figura 21. Simulação hidráulica – Exibe as pressões em cada nó e as perdas de carga hidráulicas em cada trecho às 10h.

Figura 22, 23 e 24. Simulação hidráulica – Ampliação das regiões em que a pressão se comporta de forma negativa.

Figura 18 – Isolinhas de pressão – 04h – EPANET 2.0.



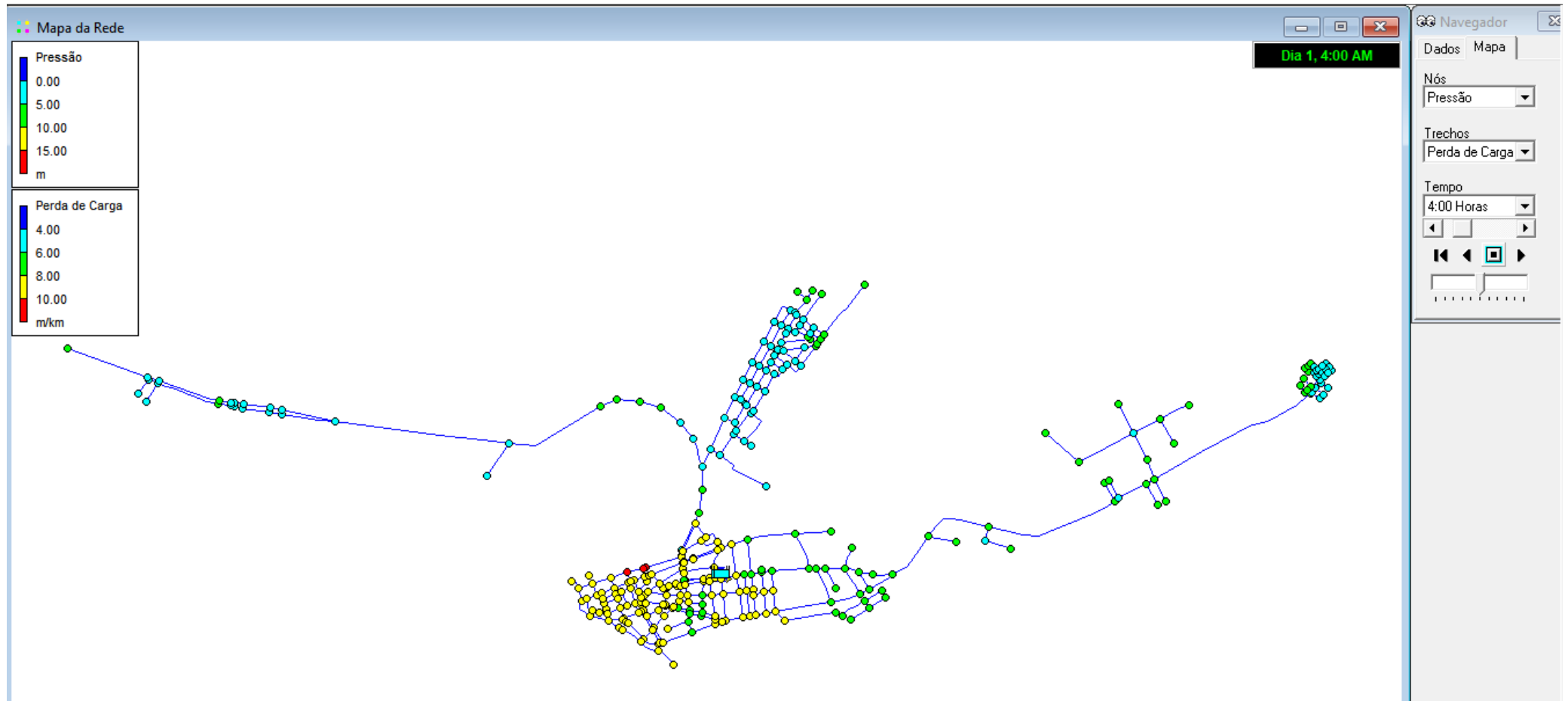
Fonte: Autora,2024.

Figura 19– Isolinhas de pressão – 10h – EPANET 2.0.



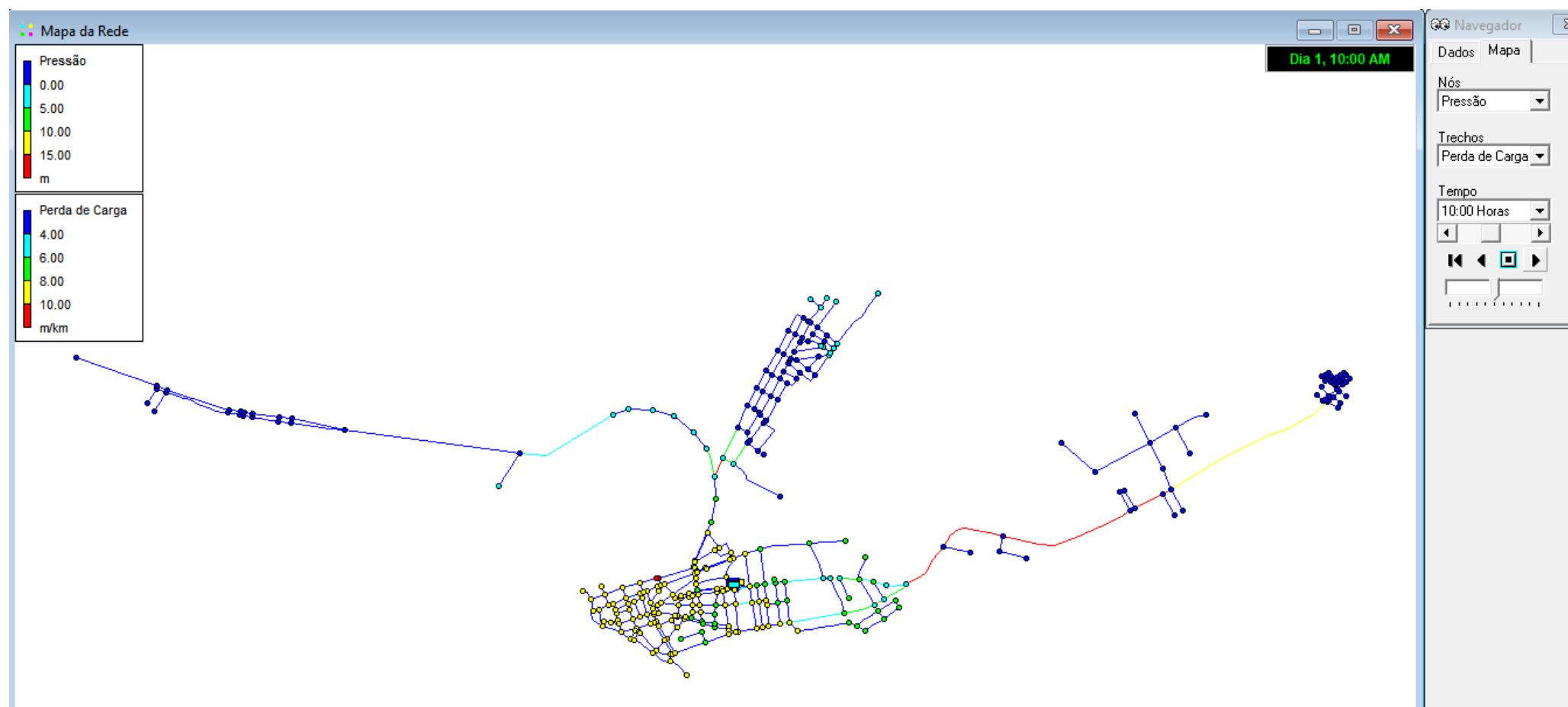
Fonte: Autora,2024.

Figura 20 – Pressão e perda de carga hidráulica – 04h – EPANET 2.0.



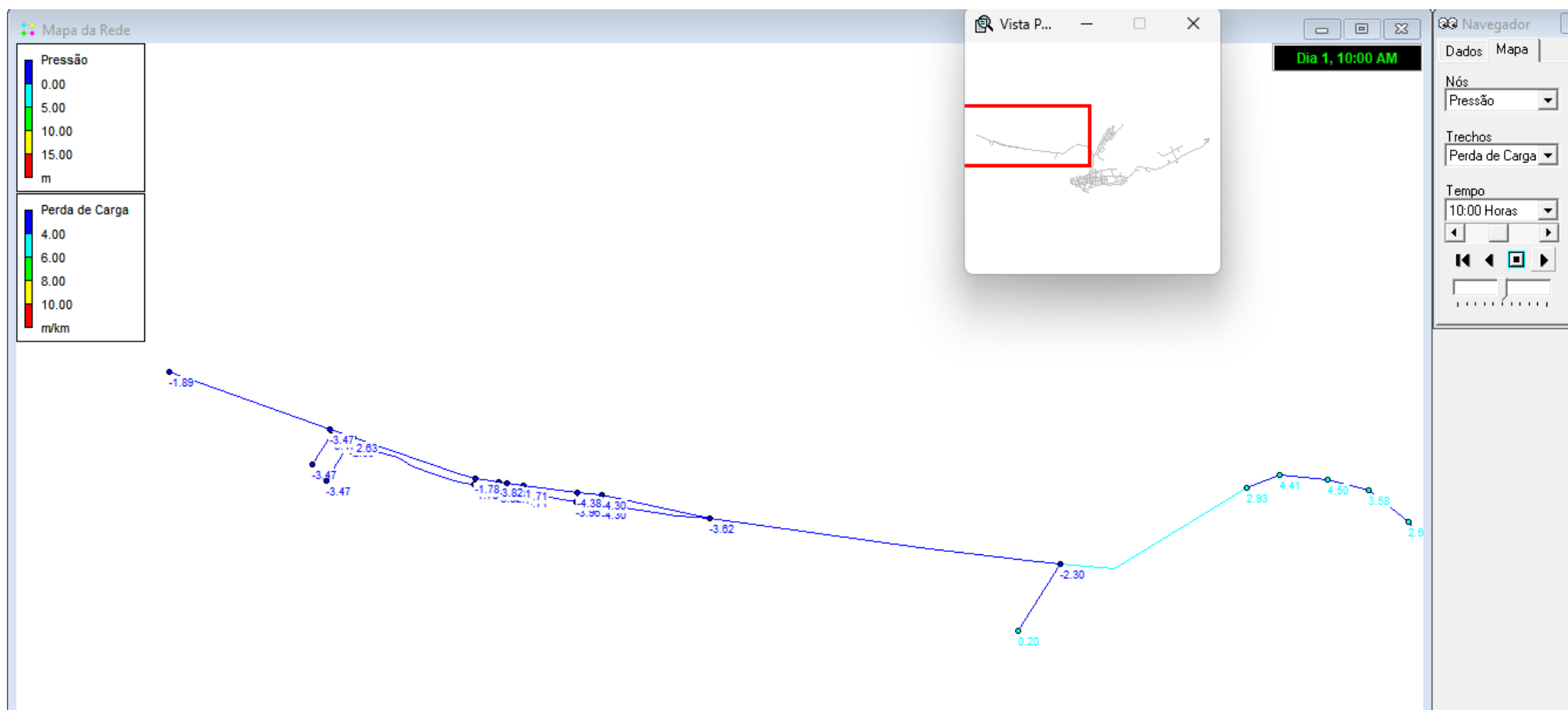
Fonte: Autora, 2024.

Figura 21 – Pressão e perda de carga hidráulica – 10h – EPANET 2.0.



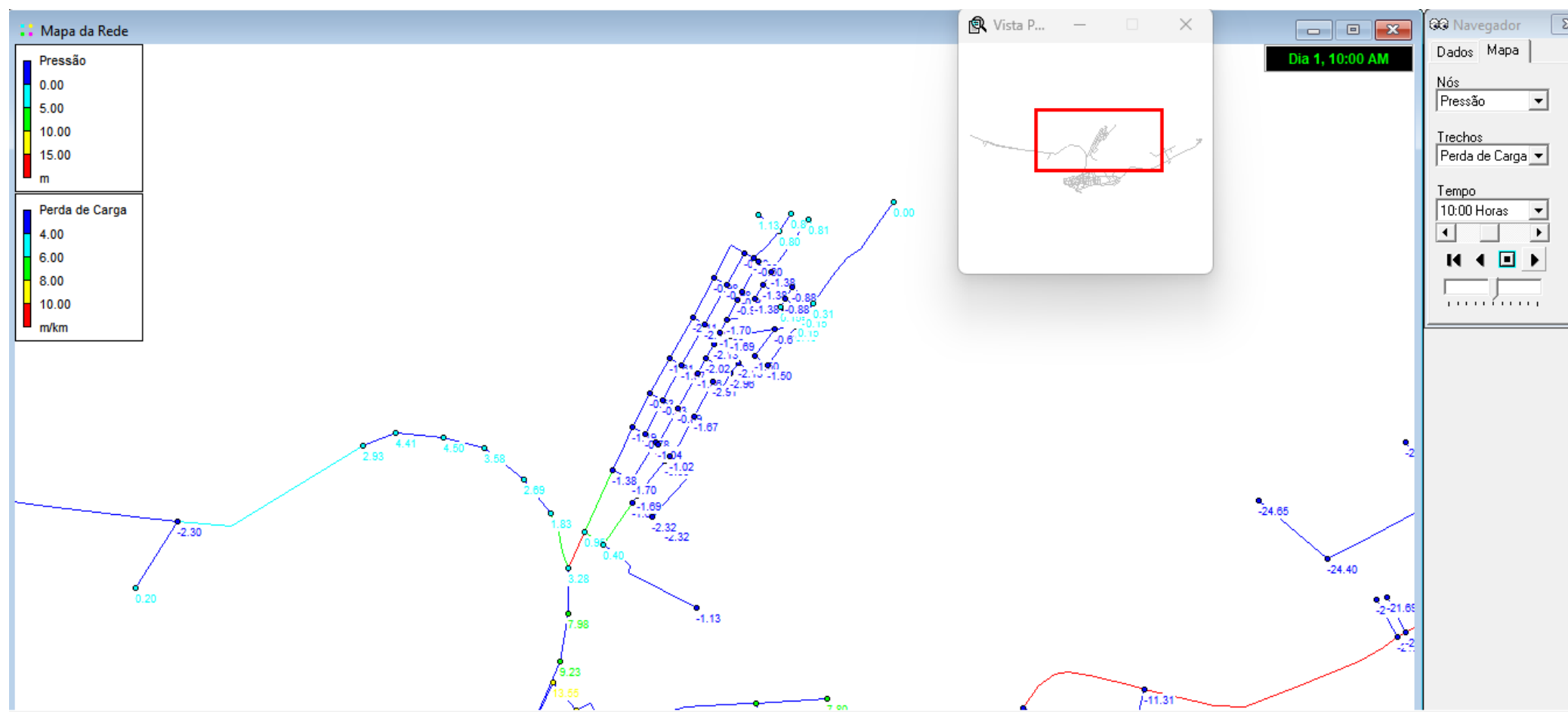
Fonte: Autora, 2024.

Figura 22 – Pressão e perda de carga – Ampliação: Povoado Mandim – 10h – EPANET 2.0.



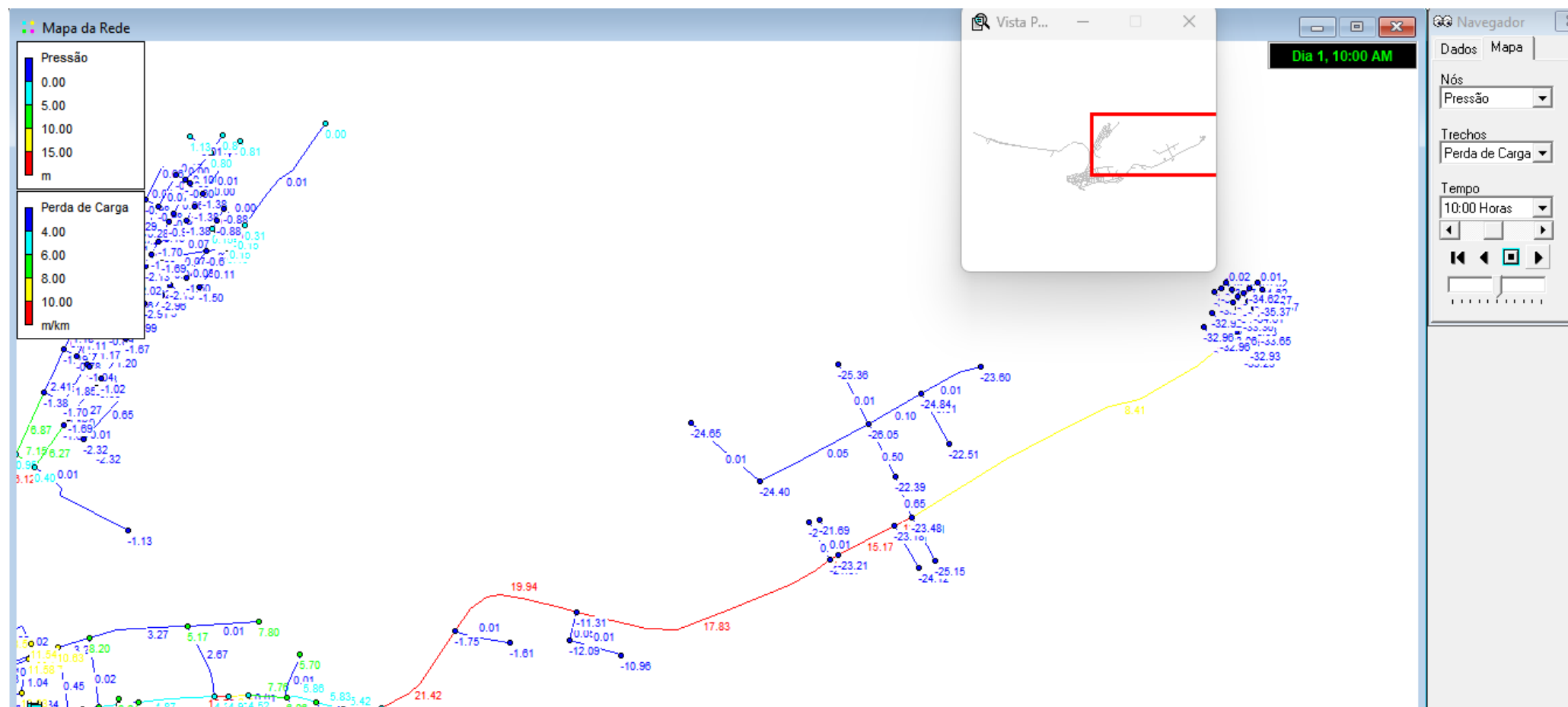
Fonte: Autora, 2024.

Figura 23 – Pressão e perda de carga – Ampliação: Povoado Paciência – 10h – EPANET 2.0.



Fonte: Autora, 2024.

Figura 24 – Pressão e perda de carga – Ampliação: Povoado à leste – 11h – EPANET 2.0.



Fonte: Autora, 2024.

Ao analisar a Figura 18 é possível verificar zonas em que a pressão atinge valores próximos a 0, mesmo durante o período de consumo mínimo (4h), indicando a necessidade de modificações na rede para garantir o abastecimento adequado. Já na Figura 19, que mostra a rede no horário de maior consumo (10h), diversas zonas registram valores próximos a zero ou negativos, evidenciando as dificuldades de abastecimento em determinados povoados, conforme constatado durante a visita de campo. Nas duas figuras, observa-se que a região central do município de Piaçabuçu possui pressões adequadas, mantendo-se dentro do valor mínimo regulamentado por norma – 10 mca.

A figura 20 exhibe o comportamento da pressão nos nós e das perdas de carga hidráulica nos trechos. Durante o consumo mínimo, não há trechos com perda de carga acima do limite estabelecido por norma – 8m/km. Porém, no horário de maior consumo, às 10h, observa-se que há trechos em que há valores de perda de carga acima do estabelecido (figura 21).

Ao ampliar a imagem nos pontos mais críticos para analisar o comportamento da rede, é possível analisar os valores negativos de pressão, indicando que, naquela região e horário, não há abastecimento. Apesar dos povoados Mandim e Paciência disporem de uma rede de abastecimento independente da que abastece o centro da cidade, possuindo reservatório próprio e um conjunto moto-bomba, a pressão na rede ainda é insuficiente para abastecer as residências (figuras 22 e 23). Resultado já esperado, considerando o que foi visto em visita técnica e o abordado em reportagens, como a realizada pelo G1 Alagoas (2022), intitulada “Moradores fazem protesto por falta d’água em Piaçabuçu”, em junho de 2022, a qual relata que os moradores do povoado Paciência estão sem água nas torneiras há 10 dias, ressaltando o abastecimento precário na região.

Já para o povoado que fica mais ao leste do centro da cidade, existe um longo trecho de rede com elevada perda de carga. Somado às cotas topográficas, não há o abastecimento no local, dependendo da prefeitura para o fornecimento de água ou poços privativos, ver figura 24.

A análise dos resultados mostrou que a rede apresenta problemas com relação à pressão para diversos horários, especialmente durante o pico de consumo. Também foi identificado que alguns trechos apresentam uma grande perda de carga hidráulica. Embora esses cenários fossem esperados, apresentando um diagnóstico confiável, conforme o que foi visto em visita técnica, os valores obtidos não puderam ser comparados aos dados de medição, devido à falta de informações. Ademais, o modelo exige um estudo de calibração de vazão e pressão.

4.5. Propostas de intervenção

As propostas de intervenção foram fundamentadas nos resultados obtidos na simulação, considerando o modelo utilizado no estudo.

Uma das propostas de intervenção é promover uma campanha para substituição de hidrômetros antigos nas residências por modelos mais novos, visando reduzir a diferença entre o volume consumido e o volume faturado.

Para melhorar o abastecimento dos povoados Madim e Paciência, sugere-se verificar se o conjunto moto-bomba atual é o adequado para a rede e considerar a ampliação do DN da rede principal que abastece esses povoados.

No povoado à leste, visto a perda de carga no trecho principal que é responsável pelo seu abastecimento, recomenda-se ampliar o DN da rede, além de estudar a melhor possibilidade para aumento da carga hidráulica na rede.

Em síntese, a rede de abastecimento de água do município de Piaçabuçu necessita de atualizações para atender os limites estabelecidos pela NBR 12218:2017, e, dessa forma, suprir plenamente as necessidades da população local. Com isso, a fim de aprimorar os estudos da rede, orienta-se a realização de trabalhos futuros, incluindo a coleta de dados de vazão e pressão em pontos específicos para a calibragem, a elaboração de um estudo detalhado para identificar as perdas reais de água, enfatizando em estratégias para o monitoramento, identificação e reparação de vazamentos na rede, bem como o desenvolvimento de um plano de gestão operacional.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas computacionais utilizadas nesse estudo, EPANET e QGIS, foram de grande auxílio para o processamento rápido e o diagnóstico da rede. Apesar da complexidade envolvida no projeto e na operação de sistemas de abastecimento de água, principalmente das redes de distribuição, foi possível alcançar uma representação da situação. No entanto, o modelo ainda requer calibração, devido à ausência de dados de vazão e pressão em pontos e em determinados instantes de tempo.

Este trabalho teve como objetivo geral de estudo o desenvolvimento de um modelo hidráulico do sistema de abastecimento de água do município de Piaçabuçu, utilizando as ferramentas GIS e EPANET. Dessa maneira, buscou diagnosticar o desempenho do sistema, identificando ocorrências de baixa pressão na rede e perdas de carga nas tubulações, conforme os parâmetros da NBR 12218:2017. Caso os problemas fossem identificados, propor as melhorias para mitigá-lo.

Os resultados demonstraram que a região enfrenta pressões negativas em vários horários ao longo do dia, locais estes que a rede de abastecimento não consegue atender a demanda mínima. E, considerando a importância essencial da água para a sobrevivência humana, devem ser tomadas medidas corretivas para solucionar o problema.

Conforme abordado nas propostas de intervenção, recomenda-se um estudo mais aprofundado sobre a rede de abastecimento do município de Piaçabuçu para desenvolver soluções duradouras e eficazes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12218:2017**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro. 2017

ALLEN SOBRINHO, P.; Contrera, R.C. **Abastecimento e Concepção**. Apresentação da disciplina Saneamento II. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Acesso em: 19/09/2021.

ANDRADE, Renavan; BORJA, Patrícia Campos. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, p. 783-795, 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2023**. Brasília, 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Glossário de Indicadores de Água e Esgotos – 2023**. Brasília, 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água: **DTA A2**. Brasília, 2003.

CAVALCANTE, Thamires Ximenes. Análise hidráulica da rede de abastecimento de água de um município de médio porte, Crateús-CE. 2019.

DE ARAUJO, Ana Alice Quintans et al. SIMULAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO O EPANET 2.0. I Congresso Internacional de meio Ambiente e Sociedade, 2020.

DINIZ, João Alberto Oliveira et al. **Crise hídrica no Brasil: o uso das águas subterrâneas como reforço no abastecimento público**. CPRM, 2021.

FARLEY, M; WYETH, G; GHAZALI, Z.B.M; INSTANDAR, A, SINGH, S. **The manager's NonRevenue Water Handbook: A Guide to Undertaking Water Losses**. 2008.

GULARTE, Cristiano Bittencourt et al. **Um estudo sobre a submedição em hidrômetros para aplicação no controle de perdas aparentes no sistema de abastecimento de água de Blumenau**. 2005.

G1 Alagoas. Moradores fazem protesto por falta d'água em Piaçabuçu, AL. Junho, 2022. Disponível em:

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

KONCAGÜL, Engin et al. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023: parcerias e cooperação para a água; fatos, dados e exemplos de ação. 2023.

SEPLAG - Secretaria do Estado de Planejamento, Gestão e Patrimônio. MAPA POLÍTICO-ADMINISTRATIVO DE PIAÇABUÇU. Dados AL. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/municipio-de-piacabucu/resource/50652cb5-cc9f-4afc-8dc1-55928d1d7118>. Acesso em: 12/09/2021.

MOTTA, Renato Gonçalves da. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NETTO, Azevedo; Y FERNÁNDEZ, Miguel Fernández. **Manual de hidráulica**. Editora Blucher, 2018.

ROSSMAN, Lewis A. et al. **EPANET users manual**. 1994.

SANTOS, Joana Andreazza Claudino dos et al. **Controle de Perdas de Água em Um Distrito de Medição e Controle do Sistema Costa Norte em Florianópolis/SC**. 2018.

SILVA, Cleyton Oliveira da et al. **Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas**. 2014.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília: SNIS, 2020.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

VIEGAS, J. et al. Simulação do Comportamento Hidraulico de Redes de Abastecimento de Água utilizando o modelo EPANET. In: **XXVIII Congresso de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental**. 2002. p. 27-31.

ZANIBONI, Nilton. **Equipamentos e metodologias para o controle e redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.