

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA**  
***CAMPUS* PATOS**  
**CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ALINE HIPÓLITO SANTINO**

**ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE  
ÁGUA DO DISTRITO DE SANTA MARIA GORETE - MÃE D'ÁGUA/PB**

**PATOS - PB**  
**2026**

**ALINE HIPÓLITO SANTINO**

**ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE  
ÁGUA DO DISTRITO DE SANTA MARIA GORETE - MÃE D'ÁGUA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *Campus* Patos, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Orientador (a):** Profa. Dra. Tuane Batista do Egito

**Coorientador (a):** Prof. Me. Valteson da Silva Santos

**PATOS - PB  
2026**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CAMPUS PATOS/IFPB

S232e Santino, Aline Hipólito.

Estudo e dimensionamento de um sistema de abastecimento de água do distrito de Santa Maria Gorete - Mãe D'água/PB / Aline Hipólito Santino. - Patos, 2026.  
69 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Engenharia Civil)-Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos-PB, 2026.

Orientador(a): Profa. Dra. Tuane Batista do Egito.  
Co-orientador: Prof. Me. Valteson da Silva Santos.

1. Geoprocessamento 2. Infraestrutura hídrica 3. Saneamento I.Título II. Egito, Tuane Batista do III. Santos, Valteson da Silva III.Instituto Federal da Paraíba

CDU –556:528.9

**ALINE HIPÓLITO SANTINO**

**ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE  
ÁGUA DO DISTRITO DE SANTA MARIA GORETE - MÃE D'ÁGUA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil  
do Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia da Paraíba – *Campus* Patos, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Engenheiro Civil.

**APROVADO EM: 03/02/2026**

**RANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente



**TUANE BATISTA DO EGITO**

Data: 12/02/2026 15:14:49-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Tuane Batista do Egito - Orientadora  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Documento assinado digitalmente



**SUSANA CRISTINA BATISTA LUCENA**

Data: 12/02/2026 17:51:41-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Ma. Susana Cristina Batista Lucena - Examinadora  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Documento assinado digitalmente



**VALTESON DA SILVA SANTOS**

Data: 12/02/2026 18:05:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Me. Valteson da Silva Santos - Examinador  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Dedico este trabalho aos meus pais e irmã, que sempre foram o meu alicerce e a razão de eu nunca desistir. Aos meus pais, que sempre me incentivaram e sustentaram meus sonhos, pelos sacrifícios silenciosos, pela compreensão nos meus momentos de ausência e pelo amor que nunca faltou. À minha irmã por toda cumplicidade, por acreditar em mim desde o início, por toda força e pelo apoio incondicional que nunca me faltou. Vocês são a razão do meu esforço, a força da minha caminhada e a certeza de que vale a pena continuar. Este trabalho é, antes de tudo, de vocês!

Para que todos vejam, e saibam, e considerem, e  
juntamente entendam que a mão do Senhor fez isto.

*Isaías 41:20*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, antes de tudo e de todos, a Deus, razão primeira de tudo e fonte de toda esperança, Aquele que, todos os dias, me prova da Sua bondade e misericórdia, que me enche de motivos para ser grata, que ouviu minhas orações e as repetidas vezes que clamei Seu nome em súplica, para que não me deixasse caminhar sozinha, por não desistir de mim e me provar do Seu amor constantemente. Agradeço por ter sido Ele o meu sustento nos dias difíceis, por ser a minha luz diante das incertezas, por nunca ter me desamparado, por tornar possível a realização deste sonho e por ter sido força quando as minhas próprias pareciam insuficientes. Até aqui me ajudou o Senhor.

Agradeço à Nossa Senhora, minha mãezinha do céu e fiel intercessora, por acolher minhas angústias e levá-las a Deus, pela proteção diária e cuidado constante, por me ensinar que confiar também é uma forma de amar e por me lembrar, com ternura, que a fé sustenta até nos dias difíceis.

Agradeço aos meus pais que nunca mediram esforços para me ver feliz e realizada. Ao meu pai, meu melhor amigo, meu exemplo de tudo aquilo que é bom. Meu pai é o amor personificado, é o meu cuidado e a minha proteção, meu pai é a minha certeza de que no mundo existem pessoas de bom coração. Agradeço por todas as vezes que ele me apoiou e me incentivou, pelos conselhos, abraços e beijos na testa, por todas as vezes que precisei dele e que não foi preciso chamá-lo pois ele já estava lá. Por todas as reuniões de pais que ele estava presente, pelas vezes que estive doente e ele cuidou de mim, por ter me levado em todos os meus primeiros dias de aula, inclusive na faculdade, pelas vezes que precisei que ele me buscasse e ele parava tudo o que estava fazendo para ir ao meu encontro. Minha mãe é o meu exemplo mais bonito de bom caráter, honestidade e fé e tudo o que tenho e sou, devo a ela. À minha mãe, minha inspiração e minha companheira, a pessoa em quem encontro força, determinação e que é o meu cuidado diário, agradeço por acreditar em mim desde o início, por sempre me ouvir e me compreender, por me amar mais do que qualquer outra pessoa nesse mundo, pelas vezes que entrei no quarto e encontrei ela rezando por mim e pela minha irmã, pelas vezes que precisei sair e deixar o quarto desarrumado e na volta encontrar cada coisa em seu devido lugar, pelas vezes que cheguei em casa de estômago vazio e tinha almoço quentinho me esperando e pelas vezes que encontrou triste e me consolou igual ela fazia quando eu ainda cabia em seu colo. Minha mãe foi minha primeira casa e, desde então, é o meu

porto seguro e a oração que nunca me faltou. Tudo que conquistei até aqui carrega a marca deles dois.

Agradeço à minha irmã, minha maior incentivadora e apoiadora, a pessoa que conhece se o meu sorriso estiver diferente, que nunca soltou minha mão, que ri comigo o meu riso e chora comigo o meu choro e que é uma das partes mais bonitas da minha vida. Não sei viver em um mundo onde Deilma não exista porque ela me garante a certeza de que eu posso não ter ninguém, mas sempre terei o amor e o cuidado dela. Deilma é meu ponto de retorno quando tudo parece distante demais. Agradeço a ela por me ajudar a ter mais maturidade e, em meio às inconstâncias, me ajudar quando a vida exigiu muito de mim.

Agradeço aos meus avós que são origem de tudo que me sustenta, por cada gesto simples, por todos os valores transmitidos, por me ensinarem a importância de ter fé, do respeito e da perseverança. Neles encontro pertencimento e força que vem de histórias bem vividas.

Agradeço à Mallu pela companhia, pelo amor sincero e pela lealdade. Sem dizer uma só palavra Mallu trouxe descanso para a minha mente e aconchego ao meu coração, especialmente nos dias de cansaço e ansiedade.

Agradeço à todos os meus professores que despertaram em mim curiosidade e gosto pelo aprendizado, que fizeram parte, desde a minha infância até hoje e transformaram esse sonho em projetos e objetivos concretos. Eles me ajudaram a construir não apenas meu conhecimento, mas também minha forma de ver o mundo. De modo especial, agradeço à tia Leones (*in memorian*), por todas as boas lembranças e pelos ensinamentos que permanecem como parte de quem sou; à Shirley e à Joana, pela sensibilidade e pela forma generosa que estiveram presentes ao longo desta caminhada, ultrapassando muitas vezes as barreiras da escola e exercendo um papel fundamental na minha formação humana e pessoal e à Susana pela forma comprometida que contribuiu para meu percurso na faculdade, tornando essa caminhada mais segura e enriquecedora.

Agradeço à minha orientadora, pelas contribuições técnicas, pela paciência e atenção, pelo incentivo e por contribuir de maneira decisiva para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a cada escola e instituição por onde passei, incluindo todos os profissionais que nelas trabalharam e alegraram meu dia, tornando-os mais leves e agradáveis. Deixo meu reconhecimento por terem sido espaços de crescimento e transformação.

Agradeço a Aller Construções, escritório onde estagio, por contribuir de forma concreta para minha formação profissional. A Matheus e Bremmer, pela confiança, pelo

exemplo, pela orientação e pela abertura ao aprendizado no dia à dia. À Dayane agradeço pela parceria, pela amizade, pelo apoio cotidiano e por tornar a rotina mais leve e produtiva.

Agradeço aos amigos da faculdade que compartilharam comigo os momentos felizes e árduos que a vida acadêmica proporciona. A Davi Araújo, Flávio Xavier, Gabriell Layadson, José Gabriel, Lícia Isadora, Mayra Siqueira, Pedro Lira, Pedro Terto e Werllanny Cristianny, agradeço pela troca constante, pelo apoio mútuo e pela parceria construída ao longo desses anos onde dividimos dúvidas, inseguranças e muitas conquistas. Em especial, agradeço à Brena Felício por ter sido meu anjo, sendo presença constante e firme. Brena esteve ao meu lado nos melhores e piores momentos, dentro e fora da instituição. Em meio às dificuldades ela me trouxe leveza e alegrias, sempre arrancando de mim as melhores risadas; à Ingrid Araújo que foi a primeira a quem abracei e criei uma forte conexão, por todas as ligações, apoio e por continuar torcendo por mim, mesmo que de longe; A Bruno Lima, pelas caronas e por me ajudar sempre que precisei dele e da sua amizade e à Mayara Dias pelos momentos de muita risada e parceria. Todos vocês deram sentido a minha vida acadêmica.

Agradeço aos amigos que caminham comigo diariamente, os que permanecem quando a rotina muda, quando os caminhos se transformam, que compartilham as pequenas vitórias, que dão sentido aos meus dias e que tornam essa jornada mais humana e verdadeira. Agradeço à Fabyolla, Brenda, Gaby, Helô, à Supha, à minha família, vulgo, Kallyne, Karen e Kesya e ao padre Josivânio, cada um, à sua maneira, esteve presente em diferentes momentos dessa caminhada. Por compreenderem minhas ausências, por cada gesto de apoio e incentivo, pelos risos e conversas despretensiosas, vocês foram essenciais para que eu chegasse até aqui. De modo muito particular agradeço aos que permaneceram ao meu lado quando eu não sabia mais o que fazer e achava que tudo estava perdido, que sustentaram essa caminhada com lealdade, apoio e cuidado verdadeiro à Maylhany, Faella, Waleska, Pedro e Joyce, minha gratidão por uma amizade madura e leal. À Maysa e à Bruna deixo um agradecimento especial por estarem comigo quando tudo exigiu mais de mim, que viraram noites ao meu lado e sustentaram esse processo com presença, paciência e generosidade, vocês tornaram possível concluir este trabalho com mais segurança e serenidade. Agradeço aos amigos que fiz e que mantêm a coragem de gostar de mim, apesar de mim.

“Melhor é serem dois do que um, porque têm melhor paga do seu trabalho. Porque se um cair, o outro levanta o seu companheiro; mas aí do que estiver só; pois, caindo, não haverá outro que o levante.” Eclesiastes 4:9-10

## RESUMO

O abastecimento de água é um serviço essencial à saúde pública e à qualidade de vida da população, sendo diretamente influenciado pelas condições topográficas e pela infraestrutura disponível, especialmente em distritos de pequeno porte, como Santa Maria Gorete, onde são recorrentes problemas de baixa pressão e irregularidade no fornecimento. Este trabalho teve como objetivo dimensionar a rede de distribuição de água para atender de forma adequada às demandas da população do Distrito de Santa Maria Gorete. A metodologia baseou-se na integração de ferramentas de geoprocessamento e modelagem hidráulica, com a elaboração do mapa de curvas de nível no software QGIS a partir de modelos digitais de elevação, definição do traçado da rede de distribuição e da adutora em ambiente SIG e posterior exportação para o software EPANET. No EPANET, realizou-se o dimensionamento hidráulico adotando o método de Hazen-Williams, tubulações de PVC e parâmetros de rugosidade compatíveis, sendo necessária, para a adutora, a inclusão de um sistema de recalque com duas bombas operando em paralelo e uma válvula redutora de pressão. A avaliação econômica foi realizada com o auxílio da extensão LenhsNet, utilizando custos unitários de referência obtidos na literatura técnica especializada. Os resultados indicaram que a rede projetada apresenta pressões e velocidades compatíveis com os critérios técnicos recomendados, garantindo o atendimento adequado aos pontos de consumo, enquanto o reservatório elevado se mostrou essencial para a distribuição por gravidade, em função da cota praticamente uniforme do distrito. As pressões superiores a 50 m observadas na adutora são compatíveis com sistemas de recalque e permanecem dentro dos limites admissíveis, sendo devidamente controladas antes da entrada na rede de distribuição. Conclui-se que o sistema proposto é tecnicamente viável, adequado às características locais e capaz de suprir as demandas atuais da população de Santa Maria Gorete.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento; Infraestrutura hídrica; Modelagem hidráulica; Saneamento.

## ABSTRACT

Water supply is an essential service for public health and quality of life, being directly influenced by topographic conditions and existing infrastructure, especially in small districts such as Santa Maria Gorete, where problems related to low pressure and irregular supply are recurrent. This study aimed to design a water distribution network capable of adequately meeting the population demand of the Santa Maria Gorete District. The methodology was based on the integration of geoprocessing tools and hydraulic modeling, including the preparation of a contour map in QGIS using digital elevation models, the definition of the distribution network and transmission main layout in a GIS environment, and subsequent export to EPANET. In EPANET, hydraulic design was performed using the Hazen-Williams method, PVC pipes, and appropriate roughness parameters. For the transmission main, a pumping system with two pumps operating in parallel and a pressure reducing valve was required. Economic evaluation was carried out using the LenhsNet extension, adopting reference unit costs obtained from specialized technical literature. The results indicated that the designed distribution network presents pressures and velocities within recommended technical limits, ensuring adequate service at consumption points, while the elevated reservoir proved essential for gravity distribution due to the nearly uniform elevation of the district. Pressures above 50 m observed along the transmission main are compatible with pumping systems and remain within acceptable limits, being properly controlled before entering the distribution network. It is concluded that the proposed water supply system is technically feasible, suitable for local conditions, and capable of meeting the current demand of the Santa Maria Gorete population.

**Keywords:** Geoprocessing; Water infrastructure; Hydraulic modeling; Sanitation.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Número de domicílios que são atendidos por carros-pipas no Brasil                                                                                                                                                                                                                                           | 20 |
| Figura 2 - Número de pessoas que são atendidas por carros-pipas no Brasil                                                                                                                                                                                                                                              | 20 |
| Figura 3 - Distribuição da retirada de água por usos setoriais no Brasil (2021)                                                                                                                                                                                                                                        | 22 |
| Figura 4 - Consumo médio de água per capita em litros/hab.dia por estado (2022)                                                                                                                                                                                                                                        | 23 |
| Figura 5 - Índice de atendimento total com rede de água (% por estado, 2022)                                                                                                                                                                                                                                           | 24 |
| Figura 6 - Unidades de um sistema de abastecimento de água                                                                                                                                                                                                                                                             | 25 |
| Figura 7 - Localização do Distrito de Santa Maria Gorete, Mãe D'água, Paraíba, Brasil.                                                                                                                                                                                                                                 | 35 |
| Figura 8 - Localização da Barragem de Capoeira, Mãe D'água, Paraíba, Brasi                                                                                                                                                                                                                                             | 36 |
| Figura 9 - Reservatório Barragem de Capoeira                                                                                                                                                                                                                                                                           | 37 |
| Figura 10 - Vistoria técnica <i>in loco</i> do poço que atua como manancial de captação do atual sistema de abastecimento. (A) medição da parte exposta do poço; (B) medição da casa de bombas; (C) casa de bombas; (D) medição do diâmetro do poço; (E) medição da profundidade do poço; (F) medição da lâmina d'água | 38 |
| Figura 11 - Levantamento de dados sobre o poço do sistema atual de abastecimento                                                                                                                                                                                                                                       | 46 |
| Figura 12 - Evidências da baixa pressão na rede de abastecimento e da necessidade de coleta manual de água nas residências do distrito de Santa Maria Gorete, Mãe D'água - PB. (A) imagem do dia 24 de out. de 2025; (B) imagem do dia 9 de out. de 2025; (C) imagem do dia 9 de out. de 2025                          | 48 |
| Figura 13 - Mapa de Curvas de Nível do distrito de Santa Maria Gorete e da Barragem de Capoeira                                                                                                                                                                                                                        | 51 |
| Figura 14 - Mapa do traçado de rede de abastecimento de água do distrito de Santa Maria Gorete                                                                                                                                                                                                                         | 53 |
| Figura 15 - Mapa do traçado de rede proposto para o distrito de Santa Maria Gorete                                                                                                                                                                                                                                     | 54 |
| Figura 16 - Mapa do traçado da adutora até a rede de distribuição                                                                                                                                                                                                                                                      | 56 |
| Figura 17 - Mapa de pressões e velocidades da adutora                                                                                                                                                                                                                                                                  | 57 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Informações sobre a tubulação e o sistema de abastecimento atual | 46 |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|

## **LISTA DE SIGLAS**

|        |                                                                 |
|--------|-----------------------------------------------------------------|
| CAGEPA | Companhia de Água e Esgotos da Paraíba                          |
| EPANET | Environmental Protection Agency                                 |
| FUNASA | Fundação Nacional de Saúde                                      |
| IBGE   | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                 |
| LENHS  | Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento |
| MDE    | Modelos Digitais de Elevação                                    |
| OCP    | Operação Carro-Pipa                                             |
| ODS    | Objetivo de Desenvolvimento Sustentável                         |
| ONU    | Organização das Nações Unidas                                   |
| PNRH   | Política Nacional de Recursos Hídricos                          |
| QGIS   | Quantum Geographic Information System                           |
| SGB    | Serviço Geológico do Brasil                                     |
| SAA    | Sistema de Abastecimento de Água                                |
| SIAGAS | Sistema de Informações de Águas Subterrâneas                    |
| SIG    | Sistema de Informação Geográfica                                |
| SNIS   | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento                |
| VRP    | Válvula Redutora de Pressão                                     |

## SUMÁRIO

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                                             | <b>16</b> |
| <b>1.1 Objetivos.....</b>                                             | <b>18</b> |
| 1.1.1 Geral.....                                                      | 18        |
| 1.1.2 Específicos.....                                                | 18        |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                  | <b>19</b> |
| 2.1 Desafios no semiárido nordestino.....                             | 19        |
| 2.2 Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil e no Nordeste..... | 21        |
| 2.3 Sistemas de abastecimento de água.....                            | 24        |
| 2.3.1 Captação.....                                                   | 25        |
| 2.3.2 Adução.....                                                     | 26        |
| 2.3.3 Tratamento.....                                                 | 27        |
| 2.3.4 Reservação.....                                                 | 27        |
| 2.3.5 Distribuição.....                                               | 28        |
| 2.4 Dimensionamento de redes de distribuição.....                     | 28        |
| 2.4.1 Vazões de projeto.....                                          | 29        |
| 2.4.2 Métodos para estudo demográfico.....                            | 30        |
| 2.4.2.1 Método dos componentes demográficos.....                      | 31        |
| 2.4.2.2 Métodos matemáticos.....                                      | 31        |
| 2.4.2.2.1 Método aritmético.....                                      | 31        |
| 2.4.2.2.2 Método geométrico.....                                      | 32        |
| 2.4.2.2.3 Método da curva logística.....                              | 33        |
| 2.4.2.3 Métodos de extrapolação gráfica.....                          | 33        |
| 2.5 Softwares técnicos.....                                           | 33        |
| 2.5.1 EPANET.....                                                     | 33        |
| 2.5.2 QGIS.....                                                       | 34        |
| <b>3. METODOLOGIA.....</b>                                            | <b>35</b> |
| 3.1 Caracterização da área de estudo.....                             | 35        |
| 3.2 Fonte de captação - Barragem de Capoeira.....                     | 36        |

|                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3 Levantamento de dados.....                                                                    | 37        |
| 3.3.1 Dados do Manancial e da Rede de Abastecimento Atual.....                                    | 37        |
| 3.3.2 Tubulações e Método de abastecimento do distrito.....                                       | 39        |
| 3.4 Projeção populacional e vazões de projeto para o estudo da demanda de água.....               | 39        |
| 3.4.1 Projeção populacional.....                                                                  | 39        |
| 3.4.2 Vazões de Projeto.....                                                                      | 41        |
| 3.5 Modelagem gráfica.....                                                                        | 42        |
| 3.5.1 Rede de distribuição.....                                                                   | 42        |
| 3.5.2 Adutora.....                                                                                | 43        |
| 3.6 Dimensionamento do reservatório de água.....                                                  | 44        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                                             | <b>45</b> |
| 4.1 Diagnóstico da situação atual do abastecimento de água no Distrito de Santa Maria Gorete..... | 45        |
| 4.2 Projeção Populacional e Vazões de Projeto.....                                                | 49        |
| 4.3 Dimensionamento da Rede de Distribuição.....                                                  | 51        |
| 4.3.1 Curvas de nível.....                                                                        | 51        |
| 4.3.2 Rede de distribuição.....                                                                   | 52        |
| 4.3.3 Adutora.....                                                                                | 55        |
| 4.4 Dimensionamento do reservatório de água.....                                                  | 58        |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>                                                                          | <b>59</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial e indispensável para a manutenção da vida e para a qualidade do desempenho socioeconômico da população. No entanto, fatores climáticos, geográficos e socioeconômicos geram preocupações relacionadas à disponibilidade de água e ao seu fornecimento, principalmente por sua distribuição não ocorrer de forma homogênea no território brasileiro, especialmente no semiárido nordestino que enfrenta diversas dificuldades ao longo do ano ao passar por longos períodos de escassez hídrica. As zonas semiáridas do Nordeste brasileiro, onde a distribuição das chuvas é irregular e resultam em estiagens agudas, enfrentam uma média de distribuição de água alarmantemente baixa, ficando muito aquém do volume recomendado pela Organização das Nações Unidas (ONU) (Santos *et al.*, 2018). Esse cenário evidencia as dificuldades encontradas pelas populações que vivem em regiões de déficit hídrico, comprometendo a saúde e o bem estar de quem reside nessas localidades.

Segundo Silva *et al.* (2019) a escassez hídrica é um problema crescente que atinge o planeta inteiro e que ganha força com o descaso com o manejo da água. Eles abordam ainda que o Brasil, apesar de possuir uma das maiores reservas de água doce do mundo, apresenta uma vasta desigualdade no acesso a água de qualidade, possuindo o Nordeste apenas 5% da água doce disponível, embora abrigue cerca de 30% da população brasileira. No distrito de Santa Maria Gorete, localizado no município de Mãe D'água – PB, a comunidade sofre pela dependência majoritária de um único poço que o abastece e também pela inexistência de um reservatório de regularização, o que compromete a qualidade de vida da população local, gerando instabilidade e insegurança hídrica.

Diante desse cenário de desigualdade no acesso à água, observa-se que o problema de escassez hídrica em Santa Maria Gorete relaciona-se diretamente ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) da Agenda 2030 da ONU (2024), que visa garantir o acesso a água e ao saneamento básico para todos e geri-lo de forma sustentável. As crises hídricas exacerbadas pelos extremos climáticos realçam a necessidade urgente de fortalecer sistemas hídricos, especialmente em comunidades vulneráveis.

A carência de água, bem como os impactos causados pela falta da mesma, não está apenas ligada a problemas exclusivamente ambientais. A ausência de um abastecimento regular compromete o desenvolvimento econômico, o bem-estar social e a saúde pública. Para Santana Júnior e Pedreiro (2023), os sistemas de abastecimento de água compreendem operações essenciais para a distribuição de água aos locais de consumo, garantindo qualidade e quantidade suficientes, contudo, em áreas rurais, sistemas inadequados podem gerar grandes

despesas, pois sujeita a população a buscar alternativas precárias de captação e armazenamento desse recurso que, muitas vezes, são utilizados em condições sanitárias inadequadas. Em Santa Maria Gorete esse problema é intensificado pela dependência de um único poço que, em momentos de baixa recarga ou quando a bomba precisa passar por algum processo de manutenção, a comunidade fica sem abastecimento, fazendo-se necessário o desenvolvimento de um projeto de rede que garanta maior regularidade no abastecimento, promovendo segurança hídrica, valorização da comunidade local e melhorias econômicas.

No Brasil, a gestão e o controle dos recursos hídricos são administrados pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/1997 que afirma que a água é um bem comum, de valor econômico e um recurso natural limitado, portanto, deve ser utilizada de forma racional e integrada (Brasil, 1997). No entanto, Silveira *et al.* (2025) afirma que a gestão destes recursos enfrenta desafios institucionais e operacionais críticos que acabam por comprometer a efetiva implementação da PNRH. Essas fragilidades são ocasionadas por deficiências na estrutura de governança, operação e desafios no monitoramento, especialmente em pequenas localidades onde há uma carência quanto a capacidade técnica, recursos financeiros e planos de gestão. Desse modo, conclui-se que o fortalecimento das políticas públicas requer uma melhoria de articulação interinstitucional e uma implementação efetiva de mecanismos legais que possam garantir a segurança e o uso sustentável da água.

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em seu diagnóstico mais recente, descreve o ciclo de abastecimento de água em cinco etapas, sendo elas: captação, adução, tratamento, reservação e distribuição (Brasil, 2023). Entretanto, a ausência de uma destas etapas e de um dimensionamento adequado pode comprometer o atendimento contínuo da população e, sistemas antes projetados para atender a população de forma ininterrupta, têm sido afetados pela intermitência de abastecimento, de acordo com Diniz, Del Grande e Galvão (2020). Segundo Meira Neto *et al.* (2024), o dimensionamento de reservatórios é essencial para a mitigação de seca e aumento da segurança hídrica no semiárido brasileiro. Além disso, o uso de softwares como EPANET e QGIS tem se mostrado essencial para o estudo hidráulico e topográfico das redes, permitindo simulações precisas de vazão, pressão e diâmetro dos condutos (Correia, 2024).

A relevância desta pesquisa está no fato de que Santa Maria Gorete possui uma realidade muito parecida com a de muitos distritos rurais no Nordeste brasileiro, onde a falta de abastecimento afeta diretamente a qualidade de vida e o desenvolvimento humano. Ao

fornecer uma proposta técnica de rede e reservatório, embasada em dados locais e nas normas que regem os projetos de abastecimento e saneamento, pretende-se oferecer aos gestores públicos ou órgãos responsáveis pela infraestrutura hídrica, bem como contribuir para a literatura acadêmica sobre abastecimento rural em contexto de escassez. Espera-se que os resultados promovam segurança hídrica, melhorias sanitárias, redução de custos e maior dignidade para a população, além de servir de modelo para intervenção em distritos ou comunidades com problemas semelhantes.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Geral**

Dimensionar a rede de abastecimento de água do distrito de Santa Maria Gorete, no município de Mãe D'Água – PB, identificando as limitações do sistema atual e elaborando uma proposta técnica de rede e reservatório de regularização, de modo a garantir maior eficiência hidráulica e segurança hídrica a comunidade local.

### **1.1.2 Específicos**

- Levantar informações detalhadas sobre a situação atual do abastecimento de água em Santa Maria Gorete, com ênfase na infraestrutura existente e na dependência de poços;
- Estudar a demanda de água da comunidade, considerando parâmetros populacionais e padrões de consumo;
- Dimensionar a rede de distribuição de água para atender de forma adequada às demandas da população;
- Definir a capacidade necessária de um reservatório que assegure regularidade no abastecimento.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho reúne os principais conceitos, dados e abordagens técnicas relacionados ao abastecimento em regiões semiáridas, com ênfase no semiárido nordestino e nos desafios enfrentados por pequenas comunidades rurais. A escassez hídrica, associada às condições climáticas adversas, à irregularidade das precipitações e às limitações estruturais e institucionais, impõe obstáculos significativos à universalização do acesso à água potável, configurando um cenário de elevada vulnerabilidade hídrica e social.

Nesta seção, são apresentados os principais referenciais teóricos e técnicos que fundamentam o estudo do abastecimento de água em áreas semiáridas. São discutidos aspectos relacionados ao contexto hídrico do semiárido nordestino, à disponibilidade e ao uso dos recursos hídricos no Brasil e no Nordeste, aos sistemas de abastecimento de água e aos critérios empregados no dimensionamento de redes de distribuição, incluindo a definição de vazões de projeto, a estimativa populacional e o uso de ferramentas computacionais.

Dessa forma, a fundamentação teórica estabelece a base conceitual e técnica necessária para o desenvolvimento das etapas subsequentes do trabalho, fornecendo o embasamento necessário para a análise do sistema de abastecimento de água do distrito de Santa Maria Gorete e para a proposição de soluções que contribuam para a melhoria da segurança hídrica, da equidade no acesso à água e da sustentabilidade do sistema.

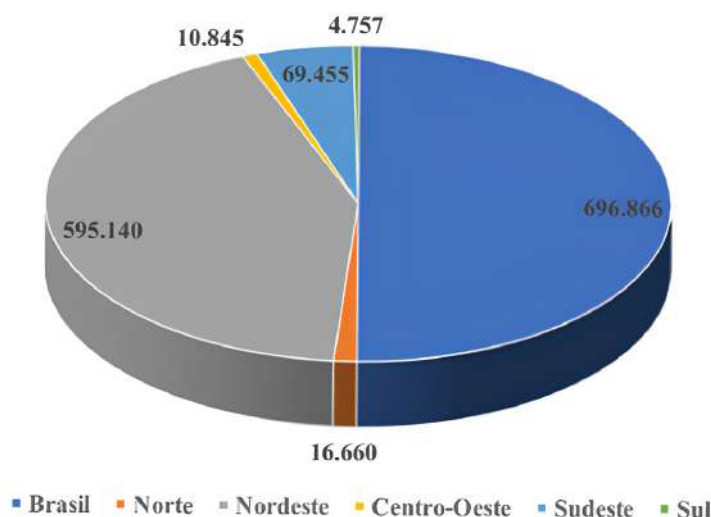
### 2.1 Desafios no semiárido nordestino

O semiárido nordestino enfrenta desafios significativos quanto a disponibilidade hídrica e a gestão sustentável da água, caracterizando-se por condições climáticas severas, precipitação irregular e altas taxas de evaporação (Schmidt *et al.*, 2019). A limitação de recursos hídricos inerente ao semiárido se traduz em um problema de desigualdade social e vulnerabilidade, especialmente no contexto de luta pela cidadania hídrica em comunidades rurais, essas limitações geram impactos diretos no bem-estar das populações e no desenvolvimento local (Cunha, 2020).

No contexto da infraestrutura hídrica, grande parte das localidades do semiárido ainda dependem de sistemas simplificados de abastecimento ou soluções emergenciais, como a Operação Carro-Pipa (OCP), responsável pela distribuição emergencial de água potável para o consumo humano em regiões atingidas pela seca em períodos de estiagem (Silva *et al.*, 2022). Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostram que no Nordeste 595.140 domicílios recorreram a soluções de abastecimento, como água da chuva ou

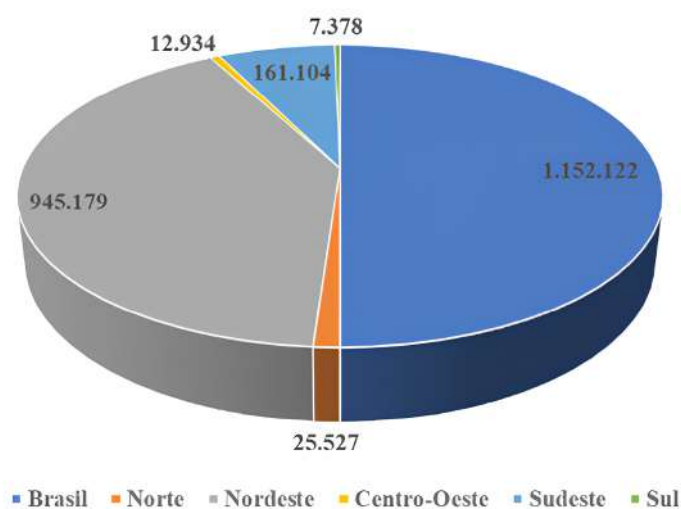
transporte por caminhões-pipa. Desse total, 945.179 pessoas foram atendidas por caminhões-pipa (IBGE, 2010). Embora esses números evidenciem a amplitude do problema, a falta de atualização estatística reforça a necessidade de políticas públicas permanentes e de monitoramento contínuo. Como se observa na figura 1, há uma forte concentração de domicílios nordestinos que dependem de carros-pipa para o suprimento de água potável, o que evidencia a fragilidade das políticas de abastecimento e a persistência da vulnerabilidade hídrica na região. A figura 2 complementa essa análise, apresentando o número de pessoas diretamente impactadas pela operação de caminhões-pipa, reforçando a vulnerabilidade hídrica das populações do semiárido.

Figura 1 - Número de domicílios que são atendidos por carros-pipas no Brasil.



Fonte: IBGE, 2010

Figura 2 - Número de pessoas que são atendidas por carros-pipas no Brasil.



Fonte: IBGE, 2010.

Além da infraestrutura precária e das limitações físicas, a gestão eficiente de água é limitada pela precariedade institucional, falhas na articulação federativa e deficiências na capacitação e fiscalização. A ausência de mecanismos de governança efetivos limita a eficiência das ações e perpetua as desigualdades territoriais (Nascimento *et al.*, 2024).

A vulnerabilidade hídrica no semiárido é também reflexo das desigualdades políticas e sociais que regem o acesso à água. Há uma hierarquização no acesso, onde as populações mais pobres dependem de soluções emergenciais, como caminhões-pipas e cisternas, enquanto os setores mais favorecidos contam com redes formais de abastecimento. Essa assimetria configura uma disparidade que reforça desigualdades socioeconômicas e fragiliza o direito universal à água (Maia, 2024).

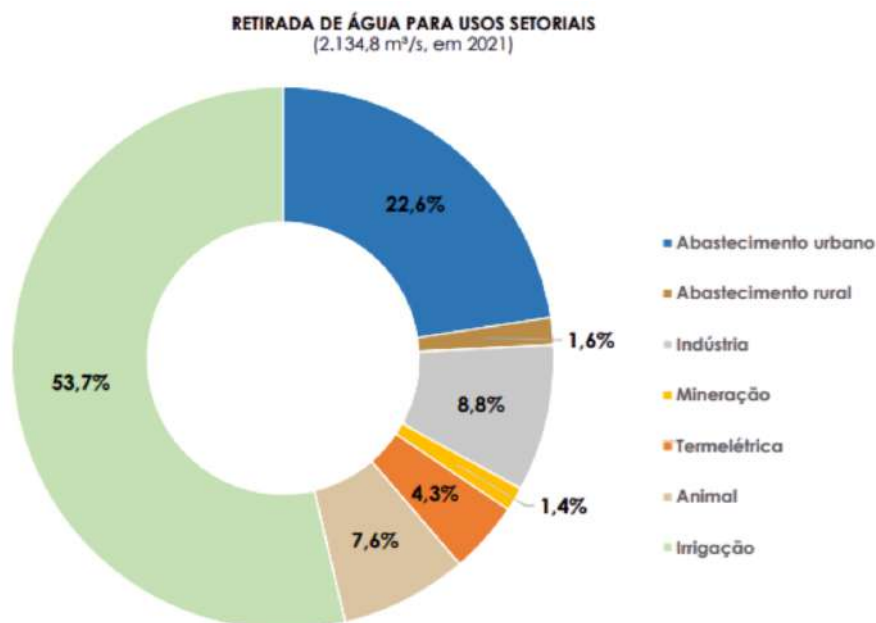
Nesse contexto, compreender os desafios do semiárido nordestino é indispensável para fundamentar propostas de melhoria do abastecimento hídrico em pequenas comunidades, como o distrito de Santa Maria Gorete e para subsidiar ações que promovam maior equidade e sustentabilidade na gestão de água na região.

## **2.2 Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil e no Nordeste**

A disponibilidade de recursos hídricos no Brasil é marcada por contrastes regionais expressivos, resultado da combinação entre fatores climáticos, geográficos e do uso setorial da água. O volume total de água retirada no Brasil para usos setoriais consuntivos alcançou 2.134,8 m<sup>3</sup>/s em 2021. Desse total, 53,7 % destinam-se à irrigação, 22,6 % ao abastecimento urbano, 8,8 % à indústria, 7,6 % ao uso animal, 4,3 % às termelétricas, 1,6 % ao abastecimento rural e 1,4 % à mineração, conforme ilustra a figura 3 que demonstra a distribuição das retiradas de água entre os diferentes setores econômicos, destacando a expressiva participação da irrigação agrícola (Brasil, 2023).

Essa distribuição corrobora com ANA (2017) ao evidenciar que o consumo de água no país é fortemente influenciado pela agricultura irrigada, o que afeta diretamente a disponibilidade hídrica para o abastecimento humano, especialmente em regiões com escassez, como o Nordeste brasileiro, onde parte significativa dos sistemas depende de mananciais subterrâneos e poços (ANA, 2017).

Figura 3 - Distribuição da retirada de água por usos setoriais no Brasil (2021).



Fonte: Brasil, 2023.

Além da distribuição setorial, é importante considerar o consumo médio de água por habitante, que revela variações regionais significativas. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Brasil, 2023), o consumo médio nacional em 2022 foi de 148,2 litros por habitante por dia. No entanto, esse valor varia entre os estados: no Nordeste, os índices são geralmente inferiores à média nacional, com destaque para o Pernambuco (111,9 l/hab.dia), Sergipe (109,3 l/hab.dia), Paraíba (106,7 l/hab.dia) e Alagoas (101,7 l/hab.dia). Observa-se na figura 4 a variação espacial do consumo médio de água no território nacional. Nota-se que os estados do Nordeste apresentam valores inferiores à média brasileira.

Essa diferença reflete fatores como disponibilidade hídrica, infraestrutura de abastecimento, eficiência de distribuição e práticas de uso racional da água, reforçando os desafios enfrentados pelas regiões semiáridas no acesso contínuo a recursos hídricos (Brasil, 2023).

Figura 4 - Consumo médio de água per capita em litros/hab.dia por estado (2022).



Fonte: Brasil, 2023.

Além das diferenças no consumo de água, é fundamental analisar o índice de atendimento da população com rede pública de abastecimento, que representa a parcela de habitantes atendidos por sistemas formais de distribuição de água tratada. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Brasil, 2023), o índice médio nacional de atendimento total com rede de água foi de 85,6 % em 2022. Entretanto, observa-se uma variação expressiva entre as regiões do país. Enquanto estados das regiões Sul e Sudeste apresentam cobertura superior a 90 %, o Nordeste ainda possui índices mais baixos, com destaque para o Ceará (70,3 %), Piauí (72,8 %) e Maranhão (59,5 %), conforme ilustra a figura 5.

Esses valores evidenciam que, apesar dos avanços obtidos, a universalização do acesso à água tratada permanece um desafio, sobretudo em áreas rurais e semiáridas, onde a dependência de poços e sistemas alternativos ainda é elevada (Cunha, 2020).

Figura 5 - Índice de atendimento total com rede de água (% por estado, 2022).



Fonte: Brasil, 2023.

## 2.3 Sistemas de abastecimento de água

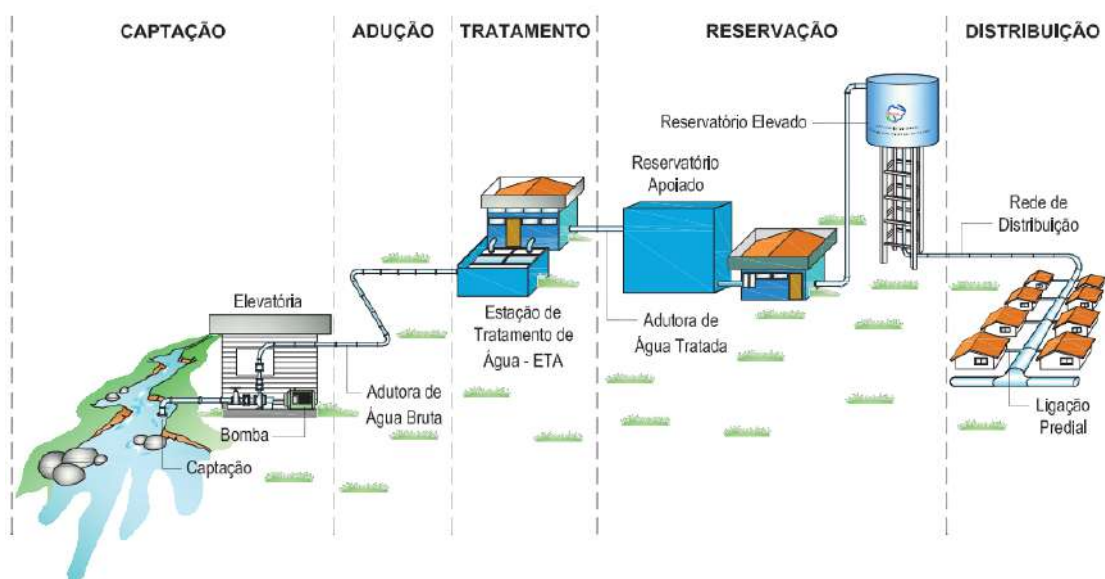
Segundo Heller e Pádua (2010), os sistemas de abastecimento de água constituem um dos eixos fundamentais do saneamento básico, assegurando o fornecimento contínuo e seguro de água potável à população e têm como objetivo principal fornecer água potável aos usuários de forma contínua, em quantidade e qualidade adequada e com pressão suficiente. Garantir que uma população tenha acesso a quantidades adequadas de água de qualidade é fundamental para sustentar os meios de subsistência, promover o bem estar humano e impulsionar o desenvolvimento socioeconômico, sendo fundamental a proteção contra a poluição da água, a prevenção de desastres e a preservação do meio ambiente (Un-water, 2013).

A lei nº 9.433/1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) como um conjunto de diretrizes estabelecidas pelo Estado para gestão e uso sustentável dos recursos hídricos, visando garantir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade para as presentes e futuras gerações. No contexto do direito de acesso à água pela população, a PNRH

estabelece que em situações de escassez de água, a prioridade de uso dos recursos hídricos é para o consumo humano e para a dessedentação animal (Brasil, 1997).

Nesse sentido, para que essas diretrizes sejam efetivamente implementadas e o abastecimento à população seja assegurado de forma contínua e segura, torna-se fundamental a existência de sistemas de abastecimento de água adequadamente planejados e estruturados. De acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), o sistema de abastecimento de água é formado por um conjunto de infraestruturas civis, materiais e equipamentos projetados para produzir e distribuir água potável para uso coletivo, sendo composto por cinco componentes principais: captação, adução, tratamento, reservação e distribuição (Brasil, 2019). Para melhor compreensão da estrutura e do funcionamento desse sistema, a Figura 6 apresenta as principais unidades envolvidas nesse processo, desde a captação até a distribuição.

Figura 6 - Unidades de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: Brasil, 2019.

### 2.3.1 Captação

A captação de água é um componente essencial do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e é a primeira etapa no processo de garantir água potável, sendo responsável por retirar a água do manancial e conduzi-la até o consumidor final (Ávila, 2024).

No Nordeste brasileiro, a captação subterrânea apresenta papel relevante no abastecimento hídrico, especialmente em virtude da irregularidade das chuvas e da intermitência de grande parte dos cursos d'água naturais (Silva e Peixoto, 2024). Os

mananciais podem ser classificados como superficiais (rios, lagos e açudes) ou subterrâneos (poços tubulares e poços escavados) (Barros e Pereira, 2023). Essa predominância é confirmada por estudo da Embrapa, o qual indica que cerca de 37,39% dos municípios nordestinos possuem o abastecimento por poços como forma principal de captação (Lindau e Moura, 2016). O tipo de captação deve ser escolhido conforme a disponibilidade hídrica, a variação sazonal do corpo d'água e a demanda da população atendida (Heller e Pádua, 2006). No caso de Santa Maria Gorete, o abastecimento é proveniente de um único poço escavado, o que ocasiona a vulnerabilidade frente a falhas mecânicas ou períodos de estiagem prolongada.

A ABNT NBR 12212:2017 estabelece os requisitos técnicos para a captação de água subterrânea, considerando parâmetros como vazão de bombeamento, qualidade da água bruta e profundidade do aquífero. O dimensionamento correto de sistema de captação é essencial para evitar rebaixamento excessivo do lençol freático e assegurar a sustentabilidade do manancial (Durães, Gomes e Gomes, 2022).

### 2.3.2 Adução

A adução refere-se ao conjunto de condutores e instalações responsável pela condução ou transporte de água, geralmente da captação até a estação de tratamento ou até os centros de consumo (Libânio, 2010). Esse processo de adução pode ocorrer de forma forçada (por bombeamento) ou por gravidade, dependendo da topografia e da diferença de nível entre a captação e o destino (Brasil, 2006).

Segundo a ABNT NBR 12211:1992, o projeto de adutoras é um requisito exigido pela norma e deve considerar parâmetros como perdas de carga, pressão máxima admissível e velocidade do escoamento. Além disso, Azevedo Netto e Fernández (2015) destacam que o dimensionamento das adutoras também deve considerar fatores como topografia e demanda projetada, garantindo eficiência energética e hidráulica. Nos sistemas com grandes desníveis altimétricos, é comum o uso de estações elevatórias e válvulas de controle para manter a estabilidade de pressão (Jica, 2014).

Em locais com relevo acidentado, como ocorre em parte do município de Mãe D'Água - PB, a adução forçada requer o uso de estações elevatórias, que, por sua vez, devem ser projetadas para garantir eficiência energética e facilidade de manutenção.

### 2.3.3 Tratamento

O tratamento da água constitui uma etapa vital e representa uma etapa estratégica nos sistemas de abastecimento, visando remover ou reduzir contaminantes físicos, químicos e microbiológicos da água bruta, de modo a tornar possível seu consumo seguro pela população (Ross, Alim e Rahman, 2022). Em áreas rurais e do semiárido que apresentam instabilidade hídrica, vulnerabilidade e falta de infraestrutura, essa etapa assume um papel ainda mais crítico e é extremamente relevante e urgente para garantir a continuidade do abastecimento e proteger a saúde pública (Gomes *et al.*, 2024).

Nos sistemas que utilizam fontes superficiais o tratamento assume maior complexidade devido a variabilidade da qualidade da água, especialmente em períodos de chuva intensa, estiagem ou presença de carga orgânica elevada, influenciando significativamente o custo da água potável (Mensah-akutteh *et al.*, 2022). De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/202, um padrão de qualidade é exigido para o consumo humano, tornando-se indispensável um conjunto de etapas ajustadas à realidade local como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (Brasil, 2021).

Para o sistema de abastecimento da comunidade em estudo, o tratamento não deve ser encarado apenas como etapa obrigatória, mas como garantia de continuidade do fornecimento de água, pois a falha nessa etapa pode inviabilizar o fornecimento de água, mesmo que a captação e adução estejam dimensionados corretamente.

### 2.3.4 Reservação

A reservação refere-se ao conjunto de unidades de armazenamento de água tratada (ou, em sistemas simplificados, água apta ao consumo) que asseguram a interligação entre captação, tratamento e rede de distribuição e são fundamentais para garantir a continuidade, regularidade no abastecimento e adequação hidrossanitária (Bhardwaj e Metzgar, 2001). O reservatório tem diversas funções: compensar variações de demanda ao longo do dia; assegurar suprimentos em períodos de baixa captação ou falhas operacionais; fornecer alimentação por gravidade ou pressão hidráulica à rede e permitir manutenção no sistema sem interrupção do abastecimento. (Gaspar, 2010).

Para garantir a eficiência do reservatório, especialmente em comunidades rurais onde seus municípios não lhe garantem esse serviço básico, é recomendado que a capacidade de reservação leve em conta a demanda projetada, o período de reservação desejado, as perdas operacionais e o funcionamento de bombas ou gravidade (Back, 2021).

A tipologia do reservatório (elevado, apoiado, subterrâneo) deve ser selecionada de acordo com o relevo, terreno disponível, custo e facilidade de manutenção (Dallas water utilities, 2012). Para o distrito de Santa Maria Gorete, é justificável a proposição de um reservatório de abastecimento que considere a interrupção potencial da bomba ou redução de captação, de modo a promover segurança hídrica e reduzir a dependência de um único poço atualmente em operação.

### 2.3.5 Distribuição

A distribuição de água representa a etapa final do sistema de abastecimento de água, compreendendo a rede de tubulações, conexões, válvulas, registros e demais instalações que assegurem o fornecimento em quantidade, qualidade e pressão adequados (Giffoni *et al.*, 2021). A rede de distribuição deve ser projetada considerando a demanda projetada, padrão de consumo, topografia, características dos condutos (material, diâmetro, velocidade) e o regime de pressões aceitáveis (Souza *et al.*, 2022).

Nas redes rurais ou de pequeno porte, onde a gestão e a manutenção são mais vulneráveis, a questão das perdas e falhas é ainda mais relevante (Machado *et al.*, 2023). As perdas são classificadas em perdas reais (físicas), que se referem aos vazamentos e extravasamentos na rede e reservatórios e perdas aparentes (comerciais), que englobam fraudes, ligações clandestinas e erros de medição, resultando em um impacto monetário total estimado em R\$ 12,26 bilhões, em 2018, no Brasil (Instituto Trata Brasil e Go associados, 2020). Como artifício de resolução a setorização, ou divisão em blocos controláveis por válvulas de manobra, permite controle hidráulico mais eficiente e facilita a manutenção em redes de distribuição (Costa *et al.*, 2020).

Para o sistema em Santa Maria Gorete, o projeto da rede de distribuição deve contemplar: dimensionamento adequado dos diâmetros levando em conta vazões de projeto e pressão residual; adoção de layout de rede compatível com relevo; setorização para facilitar manutenção; e controle de perdas mediante monitoramento de pressão, vazão e inspeção periódica. Essa abordagem aumentará a confiabilidade do abastecimento e estará alinhada à proposta de redução da dependência de uma única fonte.

## 2.4 Dimensionamento de redes de distribuição

O dimensionamento de rede de distribuição de água é uma fase crítica que constitui uma das etapas mais importantes do projeto de sistemas de abastecimento, onde se determina

o tamanho e a capacidade dos componentes da infraestrutura hidráulica necessária para garantir que a população tenha acesso à água em quantidade, qualidade, e continuidade compatíveis com o nível de serviço estabelecido, como diâmetros das tubulações. (Choi e Kim, 2019). Esse processo integra-se com as etapas de captação, adução, tratamento e reservação, e deve considerar variáveis locais como topografia, disponibilidade hídrica, padrão de consumo, materiais disponíveis, custo e manutenção futura (Grigg, 2024).

De acordo com a ABNT NBR 12218:2017, devem-se estabelecer alguns parâmetros para o correto dimensionamento das redes de distribuição. Entre esses parâmetros, destacam-se: pressão de serviço mínima de 10 m.c.a. e máxima de 50 m.c.a., velocidade máxima de escoamento de 3 m/s, e perda de carga uniforme ao longo dos trechos. Esses limites asseguram a eficiência hidráulica e previnem problemas de ruptura, cavitação e desgaste prematuro das tubulações (ABNT, 2017).

Em sistemas de pequeno porte ou rurais, é fundamental priorizar soluções que sejam simples de operar e manter, ao mesmo tempo em que se atendam critérios mínimos de desempenho hidráulico, tais como pressão residual mínima, velocidade adequada e perdas de toleráveis (Machado *et al.*, 2023).

O processo de dimensionamento contempla as seguintes etapas principais: definição das vazões de projeto; seleção do traçado e diâmetros para cada trecho da rede; verificação hidráulica e eventual simulação computacional para assegurar atendimento aos critérios de projeto (SANEAGO, 2023).

#### 2.4.1 Vazões de projeto

As vazões de projeto correspondem aos valores de demanda adotados para dimensionar os componentes do sistema de abastecimento de água como captação, adução, reservatórios e redes de distribuição, de modo a representar as condições mais críticas de operação do sistema, garantindo seu desempenho hidráulico adequado mesmo nos períodos de maior consumo (Mays, 1999; Porto, 2006).

Entre as vazões de referência utilizadas no planejamento e projeto desses sistemas, destaca-se a vazão média de consumo ( $Q_{médio}$ ), a qual está diretamente relacionada à população atendida e ao consumo per capita médio diário. Essa vazão expressa o comportamento médio do consumo ao longo do tempo e constitui a base conceitual para a definição das demais vazões de dimensionamento (Heller e Pádua, 2010).

A partir da vazão média, são definidas vazões que representam situações de maior solicitação do sistema. A vazão máxima diária ( $Q_{máxd}$ ) corresponde ao consumo observado no dia de maior demanda ao longo do ano e é empregada, principalmente, no dimensionamento das unidades que antecedem o reservatório, como os sistemas de captação e adução. Essa vazão é obtida por meio da aplicação de um coeficiente de majoração do consumo médio, denominado coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ), cujo valor depende das características do sistema, variando, em geral, entre 1,2 e 1,5 (Heller e Pádua, 2010).

Outro parâmetro fundamental é a vazão máxima horária ( $Q_{máxh}$ ), que representa o pico de consumo concentrado em um curto intervalo de tempo. Essa vazão é especialmente relevante para o dimensionamento das redes de distribuição, uma vez que influencia diretamente as condições de pressão e velocidade nos condutos. A vazão máxima horária é determinada a partir da vazão máxima diária, por meio da aplicação do coeficiente de maior consumo ( $k_2$ ), cujos valores normalmente variam entre 1,2 e 1,8, sendo mais elevados os sistemas de pequeno porte em áreas rurais, onde o consumo tende a ser mais irregular (Heller e Pádua, 2010).

A definição adequada dessas vazões e de seus respectivos coeficientes é essencial para assegurar o funcionamento eficiente do sistema de abastecimento de água. A consideração dos picos de consumo e das perdas hidráulicas contribui para garantir a pressão mínima exigida de 10 m.c.a, a continuidade do fornecimento e a confiabilidade hidráulica do sistema, especialmente durante períodos críticos de operação (Bezerra e Macêdo, 2018).

#### 2.4.2 Métodos para estudo demográfico

As projeções populacionais permitem estimar o quantitativo de pessoas em cada fase do ciclo vital e, por conseguinte, avaliar a demanda potencial de cada tipo de serviço e a necessidade de oferta de recursos humanos e equipamentos. Constituem-se em um recurso importante para orientar a alocação dos recursos públicos nos planos governamentais de médio e longo prazo, definir a natureza e conteúdo das políticas e estabelecer as diretrizes de investimento em infra-estrutura e de equipamentos públicos (Brasil, 2013). A escolha do método mais adequado depende da disponibilidade e da qualidade dos dados, bem como do horizonte temporal e do nível de precisão exigido pelo estudo.

#### 2.4.2.1 Método dos componentes demográficos

O método dos componentes demográficos considera variáveis como natalidade, mortalidade e migração, permitindo projeções mais detalhadas e realistas, e é amplamente adotado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em suas projeções oficiais de população (Correa, 2024).

#### 2.4.2.2 Métodos matemáticos

Os métodos matemáticos: aritmético, de curva logística e geométrico, baseiam-se em modelos simplificados que descrevem a variação populacional a partir de taxas médias observadas em períodos anteriores e estuda as relações formais entre variáveis demográficas usando o instrumental da matemática e teoria da probabilidade (Grupo de Foz, 2021).

##### 2.4.2.2.1 Método aritmético

O método aritmético parte do pressuposto de que o crescimento populacional ocorre de forma linear, com acréscimos absolutos constantes a cada período, sendo adequado para localidades com expansão demográfica estável. Nesse método, considera-se que a população aumenta a uma taxa fixa em termos absolutos, obtidas a partir da variação observada entre dois censos consecutivos (Tavares e Pereira Neto, 2020).

O incremento populacional médio é determinado por:

$$r = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$$

em que:

$r$  = incremento populacional médio (hab/ano);

$P_1$  = população no tempo  $t_1$ ;

$P_2$  = população no tempo  $t_2$ .

A população futura para um tempo  $t$  é então estimada por:

$$P_t = P_0 + r * (t - t_0)$$

em que:

$P_t$  = população estimada no tempo  $t$ ;

$P_0$  = população estimada no tempo  $t_0$ ;

$r$  = incremento populacional médio;

$t - t_0$  = intervalo de tempo considerado.

Dessa forma, o modelo assume comportamento linear da curva de crescimento, resultando em projeções mais conservadoras quando comparadas a métodos exponenciais, sendo amplamente empregados em estudos preliminares de dimensionamento de sistemas de abastecimento de água (Tavares e Pereira Neto, 2020).

#### 2.4.2.2.2 Método geométrico

O método de crescimento geométrico da população é o método matemático de maior utilização para projeção demográfica e é utilizado para a estimativa da população futura, assumindo que o crescimento populacional ocorre segundo uma progressão geométrica, ou seja, mantendo uma taxa percentual constante de crescimento para períodos iguais. Essa suposição implica que o crescimento populacional ocorre de forma exponencial, o que torna particularmente adequado para períodos em que as variações demográficas são regulares e não sofrem grandes interferências (Caswell, 2019).

A projeção da população para um tempo futuro  $t$  é então calculada por (Caswell, 2019):

$$P_x = P * e^{q(t_x - t)}$$

Esse método é amplamente empregado em estudos de dimensionamento de sistemas de abastecimento de água e saneamento, por permitir estimar demandas futuras de forma coerente com a dinâmica da expansão populacional observada, garantindo maior confiabilidade no planejamento de infraestrutura a longo prazo (Pasaribu *et al.*, 2022).

Matematicamente, o modelo se fundamenta na relação entre a taxa de crescimento e o tempo, podendo ser representado por expressões derivadas da equação diferencial que descreve o comportamento exponencial da população, oferecendo uma formulação simples, porém robusta para estimar a população futura a partir de dados censitários conhecidos, sendo especialmente útil em contextos em que se dispõe de séries históricas estáveis de crescimento (Bacaër, 2021).

#### 2.4.2.2.3 Método da curva logística

O método da curva logística introduz um limite de saturação, representando o ponto em que o crescimento populacional tende a estabilizar-se em razão de restrições socioeconômicas e ambientais (Rodrigues, 2006).

#### 2.4.2.3 Métodos de extrapolação gráfica

O método de extrapolação gráfica, também denominado de método de prolongamento manual, consiste no traçado de uma curva arbitrária que se ajusta aos dados já observados, sem se procurar estabelecer a equação da mesma. Utiliza representações visuais das tendências históricas de crescimento, projetando-as para o futuro com base na continuidade dessas curvas (COSANPA, 2012).

### 2.5 Softwares técnicos

O uso de ferramentas computacionais tem se tornado indispensável no planejamento e dimensionamento de sistemas de abastecimento de água. Entre os softwares mais utilizados na engenharia sanitária destacam-se o EPANET e o QGIS, que permitem a simulação hidráulica e a análise espacial integrada das redes de distribuição, otimizando o processo de projeto e gestão (Deb *et al.*, 2023).

#### 2.5.1 EPANET

O EPANET é um software desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA), dos Estados Unidos, amplamente utilizado para simulação hidráulica e de qualidade da água em Redes de Distribuição de Água (WDS). A ferramenta possibilita modelar o comportamento do escoamento em regime permanente ou variável no tempo, permitindo calcular vazões, pressões, níveis em reservatórios e transporte de contaminantes ao longo da rede, aplicável tanto em contextos acadêmicos quanto em projetos de engenharia hidráulica real (Burkhart e Janke, 2023).

Do ponto de vista computacional, o programa representa o sistema por meio de uma estrutura nodal, composta por nós de consumo, reservatórios, tanques, tubulações, bombas, válvulas e padrões de demanda, resolvendo as equações fundamentais da hidráulica, como a conservação de massa nos nós (continuidade) e a conservação de energia nas tubulações (equação de Bernoulli com perdas de carga). As perdas por atrito podem ser estimadas por diferentes formulações, como Hazen–Williams, Darcy–Weisbach ou Chezy–Manning,

possibilitando maior flexibilidade conforme as características do sistema analisado (Burkhart e Janke, 2023).

No Brasil, a versão em português, denominada EPANET 2.0 Brasil, foi traduzida e adaptada pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) da Universidade Federal da Paraíba, em colaboração com a EPA e com apoio da Eletrobrás (Programa PROCEL-SANEAR), ampliando o acesso ao software em instituições de ensino e empresas de saneamento (UFPB, 2009).

Além disso, a UFPB desenvolveu o software LENHSNET, voltado para o dimensionamento econômico e otimização de sistemas de distribuição de água, o qual tem sido utilizado em cursos e treinamentos integrados com o EPANET para análise operacional, simulação hidráulica e economicamente-otimizada de redes (ABES, 2019).

A versão mais recente (EPANET 2.2) incorpora algoritmos de análise por pressão (Pressure-Driven Analysis - PDA), que considera reduções de consumo em situações de baixa pressão, além de maior integração com linguagens de programação e interfaces gráficas aprimoradas, ampliando as possibilidades de automação, calibração e modelagem de cenários complexos (Sivakumar *et al.*, 2023).

### 2.5.2 QGIS

O software QGIS (*Quantum Geographic Information System*) é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre e de código aberto que permite a criação, análise e manipulação de dados espaciais em múltiplos formatos, e é amplamente utilizado em estudos de infraestrutura, planejamento urbano e ambiental (Albut, 2020). Sua aplicação nos sistemas de abastecimento de água advém da capacidade de integrar dados topográficos, demográficos e de infraestrutura em uma única plataforma, permitindo a geração de mapas temáticos, modelagem do terreno e análise de redes (Deb *et al.*, 2023).

A integração entre o QGIS e o EPANET tem se consolidado como uma prática moderna e eficiente no dimensionamento de redes de distribuição. O QGIS fornece as bases cartográficas e os dados topográficos necessários à modelagem hidráulica, que são importados para o EPANET em formato *shapefile*, permitindo a simulação de diferentes configurações de rede e o cálculo preciso de parâmetros hidráulicos (Deb *et al.*, 2023).

Para o distrito de Santa Maria Gorete, a adoção desse fluxo integrado permite utilizar dados espaciais locais (altimetria, vias, pontos de consumo), gerar o modelo hidráulico de

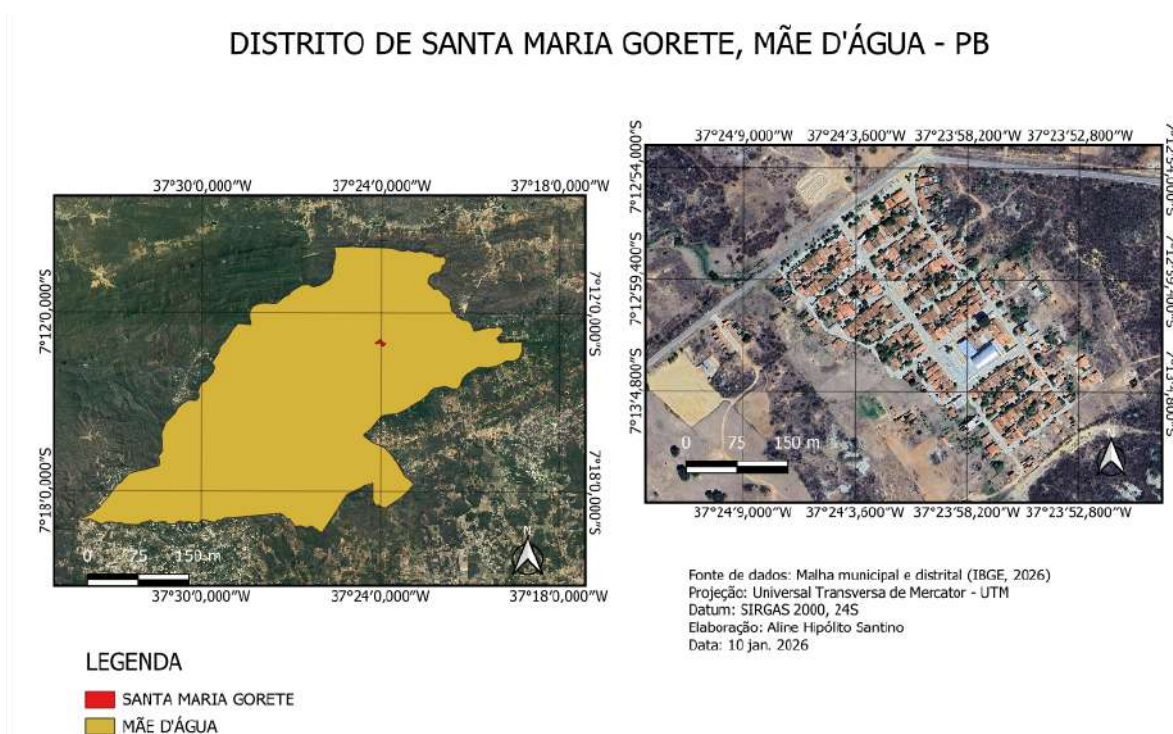
forma mais automatizada e conduzir simulações com maior precisão para dimensionar a rede de distribuição e o reservatório de regularização.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O distrito de Santa Maria Gorete pertencente ao município de Mãe D'água, está localizado entre as coordenadas  $7^{\circ}12'59.7''\text{S}$   $37^{\circ}24'00.9''\text{W}$  e fica a cerca de 7 km de distância da cidade, como mostrado na figura 7. O local abriga atualmente uma população de 593 habitantes, abrangendo uma área territorial de aproximadamente  $0,35 \text{ km}^2$ .

Figura 7 - Localização do Distrito de Santa Maria Gorete, Mãe D'água, Paraíba, Brasil.



Fonte: Autora, 2026.

O clima predominante do local, de acordo com a classificação de Koppen, é tropical semiárido com chuvas de verão (Bsh) com precipitação média anual de 743 mm. As chuvas se concentram entre os meses de janeiro e abril e a temperatura média gira em torno de  $28^{\circ}\text{C}$ . A vegetação é típica da Caatinga do tipo hiperxerófita, classificada como arbóreo-arbustiva (Anjos *et al.*, 2017).

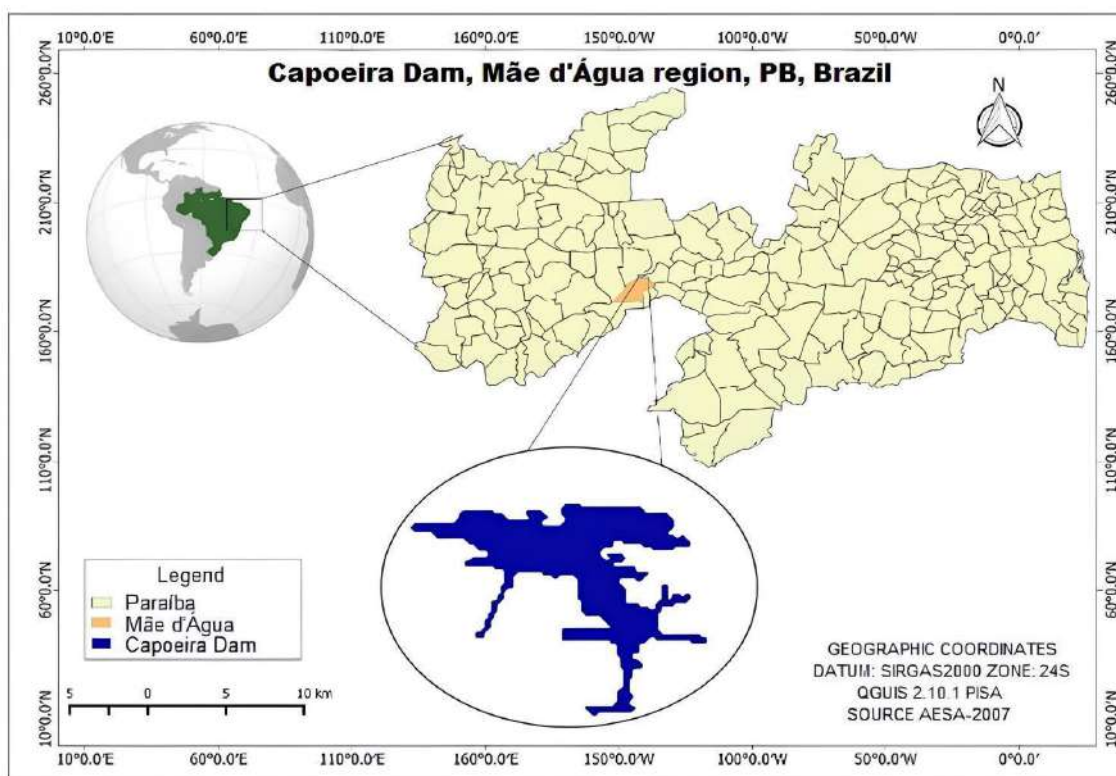
Para subsistência da população, a principal fonte de abastecimento de água do distrito provém de um poço situado nas proximidades do Rio da Cruz, pertencente à bacia

hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu, a cerca de 1000 metros da localidade, desempenhando um papel vital na sustentação das demandas diárias da comunidade. A água extraída desse poço é utilizada tanto para consumo doméstico quanto para outras atividades essenciais, assegurando, assim, a manutenção das necessidades básicas dos moradores locais.

### 3.2 Fonte de captação - Barragem de Capoeira

A barragem de Capoeira, local utilizado como fonte de captação no trabalho, está localizada nas serras da região de Mãe D'água, entre as coordenadas  $7^{\circ}25'7.63''$ – $7^{\circ}6'34.36''$ S e  $37^{\circ}31'4.33''$ – $37^{\circ}16'27.29''$ W, como indicado na figura 8, e fica a aproximadamente 6 km de distância do distrito Santa Maria Gorete.

Figura 8 - Localização da Barragem de Capoeira, Mãe D'água, Paraíba, Brasil.



Fonte: Anjos *et al.*, 2017.

O reservatório pertence à bacia hidrográfica do Espinharas, integrante da bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu. O rio Espinharas destaca-se como um dos principais formadores e afluentes do rio Piranhas-Açu. Formado pelo represamento do Rio da Cruz, o reservatório tem como principal função o abastecimento urbano e rural das cidades de São José do Bonfim, Santa Terezinha e Patos (Anjos *et al.*, 2017). O clima e a vegetação da barragem são definidos da mesma forma que para o distrito de Santa Maria Gorete.

Figura 9 - Reservatório Barragem de Capoeira.



Fonte: Autora, 2026.

### 3.3 Levantamento de dados

#### 3.3.1 Dados do Manancial e da Rede de Abastecimento Atual

O levantamento de dados do manancial de captação de água e da rede de abastecimento foi realizado a partir da combinação de pesquisa documental, levantamento de campo (*in loco*) e consultas técnicas junto a agentes públicos, de modo a garantir maior confiabilidade e representatividade das informações obtidas.

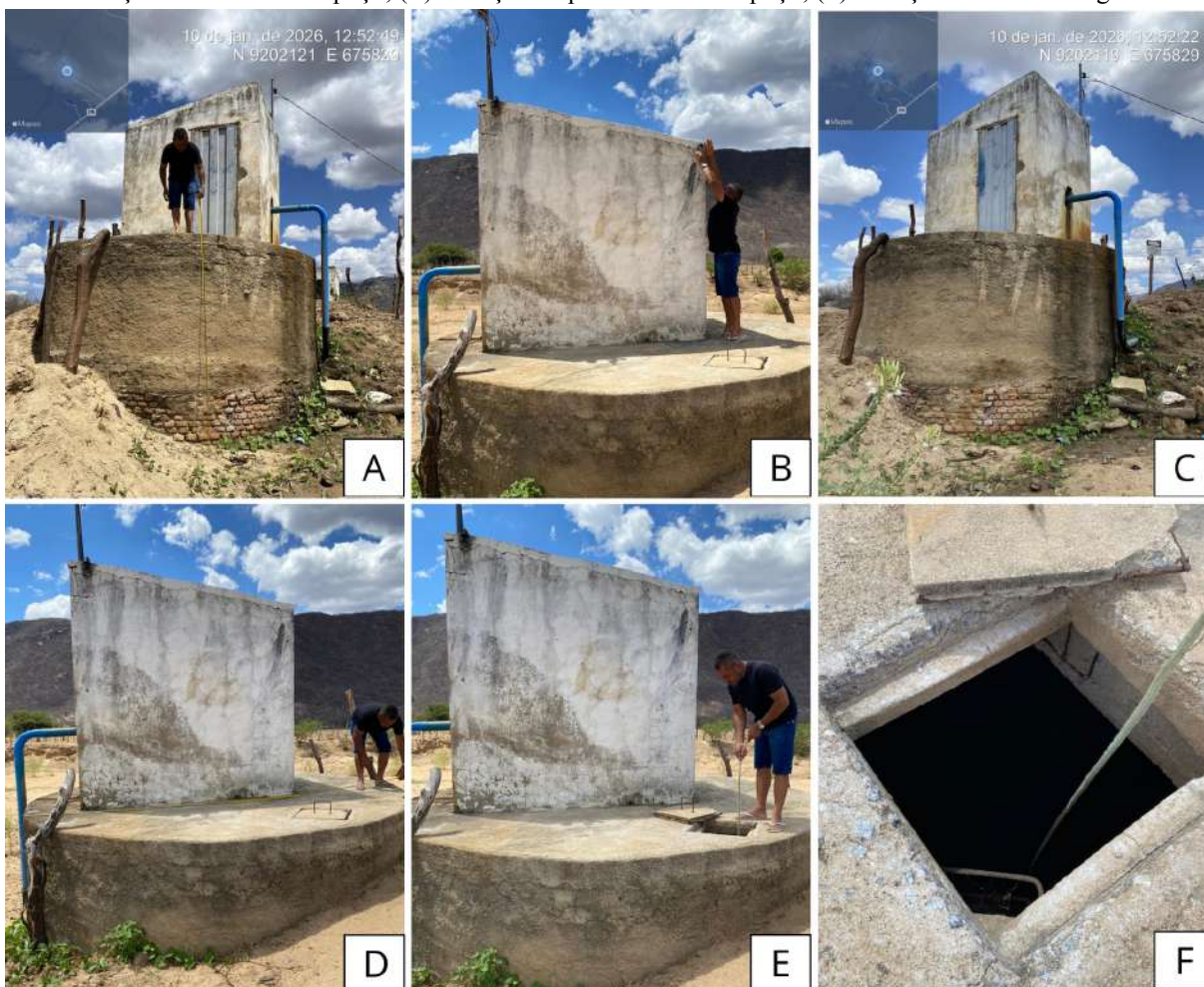
Inicialmente, realizou-se a consulta ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), plataforma desenvolvida e mantida pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), que armazena e disponibiliza informações sobre as águas subterrâneas do território brasileiro, como poços e aquíferos. A partir dessa base de dados, foi possível obter informações preliminares sobre o poço utilizado no abastecimento do distrito.

Em complemento às informações obtidas em bases secundárias, foi realizada uma vistoria técnica *in loco*, com o objetivo de atualizar e validar os dados relativos ao estado atual do poço e do sistema de abastecimento. Durante essa etapa, foram efetuadas medições diretas da profundidade total do poço e do nível médio da lâmina d'água, parâmetros fundamentais para a avaliação da capacidade de captação e da disponibilidade hídrica do manancial.

A medição da profundidade e do nível da água foi realizada por meio de uma corda de 20 metros, mostrada na figura 10, à qual foi acoplado um peso de modo a garantir sua verticalidade e linearidade durante a descida no interior do poço. Esse procedimento permitiu identificar, de forma segura, a profundidade total do poço e a posição aproximada do nível d'água. As medições foram complementadas com o uso da trena métrica e trena a laser,

empregadas para verificar dimensões físicas adicionais, como o diâmetro do poço, conferindo maior precisão ao levantamento.

Figura 10 - Vistoria técnica *in loco* do poço que atua como manancial de captação do atual sistema de abastecimento. (A) medição da parte exposta do poço; (B) medição da casa de bombas; (C) casa de bombas; (D) medição do diâmetro do poço; (E) medição da profundidade do poço; (F) medição da lâmina d'água.



Fonte: Autora, 2026.

Além das medições físicas foram levantadas informações referentes ao sistema de bombeamento, por meio de consultas técnicas junto a funcionários da prefeitura e operadores responsáveis pela rede de abastecimento de água. Nessa etapa foi identificada a potência da bomba instalada, bem como aspectos relacionados à sua operação, informações fundamentais para a compreensão do desempenho do sistema e para as análises de vazão e dimensionamento subsequentes.

A integração de informações obtidas a partir da pesquisa documental, do levantamento de campo e das consultas técnicas permitiu a caracterização detalhada do manancial de

captação e da infraestrutura associada ao abastecimento de água do distrito, constituindo a base para análises e dimensionamentos desenvolvidos nas etapas seguintes do trabalho.

### 3.3.2 Tubulações e Método de abastecimento do distrito

O levantamento das informações referentes às tubulações e ao método de abastecimento de água foi realizado por meio da combinação de levantamento de campo e consultas técnicas junto a profissionais responsáveis pela operação e manutenção da rede de abastecimento.

No que diz respeito às tubulações, foram requisitadas informações acerca do diâmetro, comprimento, material empregado e a quantidade de registros distribuídos ao longo da área de estudo. Parte das informações foram obtidas por meio de medições diretas em campo, utilizando instrumentos de medição linear, como trena métrica e trena a laser, especialmente para a verificação dos comprimentos dos trechos.

Foram realizadas consultas junto a funcionários da prefeitura e profissionais que atuam diretamente na operação da rede de abastecimento, a fim de confirmar as dimensões tubulares, identificar trechos não aparentes e levantar informações sobre a disposição e a quantidade de registros existentes no distrito.

Em relação ao método de abastecimento, foram obtidas informações qualitativas e operacionais por meio de relatos dos profissionais responsáveis pelo sistema, o que possibilitou compreender o funcionamento do rodízio de abastecimento adotado no distrito. Esse rodízio ocorre por setores, correspondentes às diferentes ruas ou conjuntos de ruas, sendo o fornecimento de água alternado entre esses setores em dias específicos, em função das limitações da infraestrutura existente e da disponibilidade hídrica do sistema.

O levantamento possibilitou uma abrangência tanto de aspectos físicos das tubulações quanto a lógica operacional do abastecimento, fornecendo subsídios essenciais para as análises hidráulicas e para o dimensionamento proposto nas etapas posteriores.

## 3.4 Projeção populacional e vazões de projeto para o estudo da demanda de água

### 3.4.1 Projeção populacional

A estimativa da demanda de água da comunidade foi fundamentada na projeção populacional, considerando que a população atendida é o principal parâmetro para o dimensionamento de sistemas de abastecimento de água. Para a projeção da população futura,

adotou-se o método geométrico, que admite crescimento exponencial da população ao longo do tempo.

O método geométrico baseia-se na equação diferencial (Bacaër, 2021):

$$\frac{dP}{dt} = q * P$$

Cuja solução é:

$$P_x = P * e^{q(t_x - t)}$$

Em que:

- $P_x$  = população estimada no ano de projeto;
- $P$  = população conhecida no ano base;
- $q$  = taxa geométrica de crescimento;
- $t_x - t$  = intervalo de tempo (anos).

A taxa que é calculada pela expressão:

$$q = \frac{\ln P - \ln P_0}{t - t_0}$$

Onde  $P_0$  é a população inicial e  $P$  é a população final conhecida.

Entretanto, para o distrito em estudo, encontra-se disponível apenas o dado populacional mais recente, correspondente a 593 habitantes, não sendo possível obter, com confiabilidade, dados históricos específicos de censos anteriores. Diante dessa limitação, optou-se pela adoção de taxa referencial de crescimento populacional, empregado em sistemas de abastecimento de água para pequenas comunidades, conforme orientações da Fundação Nacional de Saúde (Brasil, 2019).

Foi adotada a taxa de 0,5% ao ano, correspondente a um cenário de crescimento populacional baixo, justificada pelas características do distrito: pequeno porte populacional, ausência de evidências de expansão e dinâmica demográfica predominantemente estável. A escolha dessa taxa visa representar de forma conservadora a evolução populacional, evitando o superdimensionamento das unidades do sistema e assegurando coerência com a realidade local.

A população projetada de 655 habitantes, estimada com base nessa taxa, serviu de referência para o cálculo da demanda hídrica e, posteriormente, para a definição da vazão de projeto do sistema de abastecimento.

### 3.4.2 Vazões de Projeto

O cálculo das vazões de projeto do sistema de abastecimento de água foi realizado a partir da população projetada para o horizonte de projeto, considerando padrões de consumo recomendados para comunidade de pequeno porte. As vazões foram determinadas de modo a representar as condições médias e críticas de consumo, garantindo o atendimento da demanda hídrica da população.

A vazão média de consumo ( $Q_{médio}$ ) é estimada a partir da população de projeto ( $P$ ) e do consumo per capita médio diário ( $q$ ), conforme a equação:

$$Q_{médio} = \frac{P * q}{86.400}$$

Onde:

- $Q_{médio}$  = vazão média diária (L/s);
- $P$  = população de projeto (hab.);
- $q$  = consumo per capita (L/hab\*dia);
- 86400 = número de segundos em um dia

Essa vazão média é o ponto de partida para o cálculo das vazões de dimensionamento dos componentes do sistema, que devem considerar as condições críticas de operação (Heller e Pádua, 2010).

A vazão máxima diária ( $Q_{máxd}$ ), é utilizada para dimensionar as unidades que antecedem o reservatório (como captação e adução). Ela é obtida maximizando a vazão média pelo coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ), conforme a equação que segue:

$$Q_{máxd} = k_1 * Q_{médio}$$

Esse coeficiente varia entre 1,2 e 1,5, dependendo do porte e da regularidade de consumo do sistema (Heller e Pádua, 2010).

Já a vazão máxima horária ( $Q_{máxh}$ ), é essencial para o dimensionamento das redes de distribuição. É obtida multiplicando a vazão média pelos coeficientes  $k_1$  e  $k_2$  (coeficiente da hora de maior consumo), conforme a equação abaixo:

$$Q_{máxh} = k_2 * Q_{máxd}$$

O valor de  $k_2$  normalmente varia de 1,2 a 1,8, sendo maior para pequenos sistemas e locais rurais (Heller e Pádua, 2010).

A aplicação criteriosa dos coeficientes de demanda e das perdas associadas ao sistema é essencial para a manutenção da pressão mínima exigida e para a continuidade do abastecimento em condições críticas de consumo, contribuindo para a confiabilidade hidráulica da rede. Considerando a população projetada e os parâmetros adotados, foram determinadas as seguintes vazões de dimensionamento: vazão média de 1,14 L/s, vazão máxima diária de 1,37 L/s e vazão de pico horário de 2,06 L/s, valores utilizados como base para o dimensionamento hidráulico da rede de distribuição.

### 3.5 Modelagem gráfica

#### 3.5.1 Rede de distribuição

A metodologia utilizada nessa etapa foi estruturada em fases sucessivas, integrando ferramentas de geoprocessamento e modelagem hidráulica, com o objetivo de garantir a coerência espacial e a eficiência técnica no dimensionamento da rede de distribuição de água.

Inicialmente, foi elaborado o mapa de curvas de nível da área de estudo por meio do software QGIS, utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE) e dados topográficos disponíveis. A partir desses dados altimétricos, foi possível representar o relevo local, identificar as cotas predominantes do terreno e compreender o comportamento topográfico da área do distrito, informações essenciais para a definição do traçado da rede e da localização do reservatório.

Com base na análise das curvas de nível, procedeu-se à definição do traçado da rede de distribuição ainda no ambiente QGIS. Nessa etapa, foram inseridos os elementos

hidráulicos do sistema, como nós de consumo, tubulações e reservatório, respeitando a configuração do sistema viário do distrito e buscando percursos que minimizassem perdas de carga e interferências topográficas. Também foram associados aos nós os dados de população atendida e as respectivas vazões de demanda, conforme os critérios de projeto previamente estabelecidos.

Após a definição do traçado e da estrutura básica da rede, os dados foram exportados do QGIS para o software EPANET, preservando a geometria da rede e as informações hidráulicas atribuídas. No EPANET, realizou-se o dimensionamento hidráulico da rede de distribuição, com ajustes na cota do reservatório e nos diâmetros das tubulações sempre que necessário, de modo a garantir o atendimento às pressões e velocidades recomendadas pelas normas técnicas.

Para a simulação hidráulica, foi adotado o método de Hazen-Williams para o cálculo das perdas de carga, considerando-se tubulações de material PVC, com coeficiente de rugosidade compatível com esse tipo de material. Esses parâmetros foram definidos no próprio EPANET, assegurando a fidelidade da modelagem hidráulica às condições reais de operação do sistema.

Em seguida, os diâmetros definidos no EPANET foram incorporados à extensão LenhsNet, utilizada para avaliação do dimensionamento econômico da rede. Os custos unitários das tubulações empregados nessa etapa foram obtidos a partir das tabelas apresentadas no livro "Abastecimento de Água", de Hebert Pimentel Gomes (2021), referência consagrada na área de engenharia sanitária. A adoção dessa fonte se deu em função das dificuldades encontradas na obtenção de valores atualizados junto à Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) ou por meio de pesquisas diretas de mercado, as quais apresentam elevada variabilidade e complexidade para fins acadêmicos.

### 3.5.2 Adutora

A metodologia para o dimensionamento da adutora seguiu, de forma geral, os mesmos procedimentos aplicados ao dimensionamento da rede de distribuição, conforme descrito anteriormente, diferenciando-se pelos elementos hidráulicos específicos inerentes a sistemas de recalque.

Preliminarmente, o traçado da adutora foi elaborado no QGIS, a partir da definição do ponto de captação e do reservatório elevado. Essa etapa considerou o alinhamento mais

adequado entre os dois pontos, bem como as características topográficas do terreno, previamente analisados por meio do mapa das curvas de nível.

Após a definição do traçado, os dados espaciais e hidráulicos da adutora foram exportados para o software EPANET, onde foi realizada a modelagem hidráulica do sistema de recalque. Devido ao desnível topográfico existente entre o ponto de captação e o reservatório, tornou-se necessária a inclusão de um sistema de bombeamento, sendo modeladas duas bombas operando em paralelo. Essa configuração foi escolhida com o objetivo de garantir a vazão de projeto, aumentar a confiabilidade operacional do sistema e permitir maior flexibilidade em situações de manutenção ou variações de demanda.

Adicionalmente, foi prevista a instalação de uma válvula redutora de pressão (VRP), posicionada de forma a controlar os níveis de pressão a jusante do sistema de bombeamento. A inclusão desse dispositivo teve como finalidade evitar que pressões elevadas, características do funcionamento da adutora, sejam transmitidas ao reservatório e, posteriormente, à rede de distribuição, reduzindo o risco de sobrepressões, vazamentos e rupturas nas tubulações, contribuindo, assim, para a integridade estrutural e a segurança operacional do sistema.

Durante as simulações hidráulicas, observam-se valores de pressão superiores aos usualmente adotados em redes de distribuição, o que é esperado em sistemas de adução sob recalque. Esses valores foram mantidos dentro dos limites admissíveis para adutoras, conforme critérios técnicos aplicáveis, não comprometendo a segurança estrutural das tubulações nem a operação do sistema.

Por fim, os diâmetros definidos no EPANET foram incorporados à extensão LenhsNet, utilizada para a avaliação do dimensionamento econômico da adutora, mantendo-se os mesmos critérios e fontes de custos já descritos na metodologia da rede de distribuição.

### **3.6 Dimensionamento do reservatório de água**

O dimensionamento do reservatório do distrito de Santa Maria Gorete foi realizado a partir dos valores de demanda previamente determinados nas etapas de projeção populacional e cálculo das vazões de projeto, apresentado em seções anteriores deste trabalho.

Para a definição do volume do reservatório, adotou-se como base a demanda média diária da população de projeto, considerando que o sistema de abastecimento será operado de forma contínua na nova rede proposta, sem a necessidade de rodízio de fornecimento. Em função das características do manancial e da dependência do bombeamento para o abastecimento do distrito, foi estabelecido um período de autonomia de 24 horas, por

proporcionar segurança operacional frente a paradas temporárias do sistema de bombeamento, manutenção ou oscilações de consumo.

O volume útil do reservatório foi determinado a partir da equivalência entre a demanda média diária e o período de autonomia adotado. Por fim, procedeu-se ao ajuste do volume calculado para um valor comercial e construtivamente viável, garantindo margem de segurança operacional e compatibilidade com a nova configuração de rede de distribuição.

Destaca-se que não foi realizada, nesta etapa, a estimativa de custos para implantação do reservatório e dos demais componentes do sistema. Isso se deve ao caráter preliminar do estudo, voltado prioritariamente ao dimensionamento hidráulico e à verificação operacional da solução proposta, ainda sem o nível de detalhamento exigido para a elaboração de orçamento confiável.

A ausência de definições executivas, como especificação final de materiais, métodos construtivos, quantitativos precisos, condições locais de implantação e composições de serviços, inviabiliza a aplicação consistente de metodologias de orçamento paramétrico ou a utilização de bases referenciais de custos, como SINAPI ou SEINFRA. Assim, a estimativa financeira deverá ser desenvolvida em etapa posterior, no âmbito do projeto executivo, quando houver informações suficientes para a quantificação adequada dos serviços.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Diagnóstico da situação atual do abastecimento de água no Distrito de Santa Maria Gorete**

O levantamento de dados permitiu caracterizar a situação atual do sistema de abastecimento de água no distrito de Santa Maria Gorete, evidenciando sua infraestrutura existente e a forte dependência de captação subterrânea por meio de um poço.

De acordo com as informações obtidas no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), conforme demonstrado na figura 11 e confirmadas por levantamento *in loco*, o abastecimento do distrito é realizado a partir de um único poço, cuja profundidade total é de aproximadamente 6 metros, apresentando um nível médio da água em torno de 1 metro. Esses valores indicam uma captação relativamente rasa, o que pode tornar o sistema mais sensível a variações sazonais do nível do lençol freático, especialmente em períodos de estiagem prolongada.

Figura 11 - Levantamento de dados sobre o poço do sistema atual de abastecimento.

Município: Mãe d'Água Localidade: Povoador Santa Maria Gorete

Gerais Construtivos Geológicos Hidrogeológicos Teste de Bombeamento Análises Químicas

**Perfuração:**

Data: 01/05/1984 Profundidade Inicial (m): 0 Profundidade Final (m): 6 Perfurador: Método:

**Diâmetro:**

De (m): Até (m): Polegadas: Milímetros:

**Revestimento:**

De (m): Até (m): Material: Diâmetro (pol): Diâmetro (mm):

**Filtro:**

De (m): Até (m): Material: Diâmetro (pol): Diâmetro (mm): Ranhura:

**Espaço Anular:**

De (m): Até (m): Material:

**Boca do Tubo:**

Data: 13/12/2002 Altura(m): 0.38 Diâmetro (pol): 171 Diâmetro (mm): 4343.4

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade Útil:**

Data: Profundidade Útil: 6

Fonte: SIAGAS, 2026.

Os principais parâmetros físicos e operacionais do poço e da rede de distribuição encontram-se sistematizados na tabela 1, sendo discutidos a seguir sob o ponto de vista técnico e operacional.

Tabela 1 - Informações sobre a tubulação e o sistema de abastecimento atual.

|                                                                                  |                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Comprimento da tubulação que vem do poço até a entrada do distrito</b>        | Aproximadamente 1000 m                                                                                                                                                                     |
| <b>Comprimento das tubulações que saem dos registros até o final de cada rua</b> | Aproximadamente 100 m                                                                                                                                                                      |
| <b>Diâmetros das tubulações</b>                                                  | Do poço até o distrito 85 cm, rua principal 110 cm e demais ruas 60 cm                                                                                                                     |
| <b>Material da tubulação</b>                                                     | PVC                                                                                                                                                                                        |
| <b>Potência da bomba</b>                                                         | 15 cavalos-vapor (cv)                                                                                                                                                                      |
| <b>Rodízio de abastecimento</b>                                                  | O atendimento às residências é realizado por setores (ruas), sendo que cada setor recebe água em dias específicos, resultando em um intervalo de 15 dias entre os ciclos de abastecimento. |

---

**Quantidade de registros em todo o distrito**

---

13 registros

---

Fonte: Autora, 2026.

A infraestrutura de bombeamento e adução apresenta características compatíveis com sistemas de pequeno porte, porém sua capacidade limitada reflete-se diretamente na necessidade de adoção de um regime de rodízio no abastecimento. A operação por setores, com alternância no fornecimento de água, indica que o sistema atual não possui capacidade suficiente para atender de forma contínua toda a população do distrito.

No que se refere à rede de distribuição, observa-se a utilização de tubulações em material plástico (PVC), com variação de diâmetros ao longo do sistema. Essa configuração sugere uma adaptação gradual da rede ao longo do tempo, sem um planejamento integrado inicial, o que pode resultar em perdas de carga excessivas, dificuldades de controle operacional e limitações na expansão futura do sistema.

O levantamento ainda revela um cenário de insuficiência operacional do sistema existente, caracterizado principalmente por baixas pressões na rede de distribuição e pela dependência de fontes alternativas, como poços e reservatórios domiciliares improvisados.

Estudo de Ravi *et al.* (2019) investigou redes que operam em condições de deficiência de pressão, empregando análise de pressão como variável central da capacidade de suprimento. Os resultados mostraram que quando a pressão cai abaixo dos níveis adequados, a entrega de água fica comprometida e comportamentos erráticos podem ocorrer, como queda de pressão mais acentuada em determinados nós da rede. Esse padrão espelha o constatado no sistema existente do distrito estudado, no qual as baixas pressões geram dependência de fontes alternativas de abastecimento. Assim, os achados de Ravi *et al.* (2019) corroboram a identificação de insuficiência operacional no sistema estudado, evidenciando que esse fenômeno não é isolado, mas sim um problema hidráulico observado em outras redes simuladas academicamente.

Do ponto de vista hidráulico, a condição atual observada indica que o sistema de abastecimento existente não dispõe de carga piezométrica suficiente para vencer as perdas de carga distribuídas e localizadas ao longo da rede, tampouco atender às exigências mínimas de pressões nos pontos de consumo. Tal deficiência pode estar relacionada à ausência de um reservatório adequadamente dimensionado e elevado, ao subdimensionamento das tubulações ou à operação inadequada do sistema atualmente em uso.

Estudos indicam que a presença e o dimensionamento de reservatórios influenciam diretamente o comportamento hidráulico da rede de distribuição, modulando as variações de fluxo e a pressão ao longo do dia. Estudo de Mazaheri *et al.* (2025), verificou que o reservatório alterou significativamente as condições de fluxo e pressão nas tubulações, sendo capazes de atenuar quedas de pressão e assegurar um perfil mais uniforme de abastecimento quando corretamente dimensionadas e integradas ao sistema. Assim, a ausência ou a inadequação de reservação é um fator potencial de insuficiência hidráulica, o que corrobora os resultados deste estudo e reforça a necessidade de um reservatório projetado de forma a garantir carga piezométrica suficiente ao longo da rede e reduzir falhas de pressão

Durante o período de estudo, foram realizados registros fotográficos em datas específicas nas quais se observou de forma recorrente a incapacidade do sistema em fornecer pressão suficiente para o abastecimento adequado das residências, conforme ilustrado na figura 12. Nessas ocasiões, a água distribuída pela rede pública apresenta níveis de pressão extremamente reduzidos, impossibilitando sua elevação até as caixas d'água instaladas em cotas superiores, conforme prática construtiva usual nas edificações locais.

Figura 12 - Evidências da baixa pressão na rede de abastecimento e da necessidade de coleta manual de água nas residências do distrito de Santa Maria Gorete, Mãe D'água - PB. (A) imagem do dia 24 de out. de 2025; (B) imagem do dia 9 de out. de 2025; (C) imagem do dia 9 de out. de 2025.



Fonte: Autora, 2026.

As imagens registradas demonstram que, em tais condições, a água conseguia atingir apenas alturas muito próximas ao nível do solo, obrigando os moradores a realizarem a coleta manual em baldes, bacias ou recipientes posicionados diretamente no chão. Essa situação evidencia que a pressão disponível da rede era inferior à carga mínima necessária para o

funcionamento adequado dos sistemas prediais de reservação, comprometendo o abastecimento contínuo e seguro.

A dependência da população em relação ao poço e a soluções improvisadas reforça a fragilidade da infraestrutura existente, que não garante regularidade, continuidade nem equidade no fornecimento de água. Além disso, a necessidade de coleta manual expõe os usuários a condições sanitárias inadequadas, aumentando os riscos à saúde pública.

As evidências coletadas confirmam que o sistema atual é incapaz de atender satisfatoriamente às demandas da população, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade dos serviços prestados. Esse diagnóstico fundamenta a necessidade de proposição de um novo sistema de abastecimento, com destaque para a implantação de um reservatório elevado e para o dimensionamento adequado da rede de distribuição. Dessa forma, o estudo avança de uma análise crítica da realidade existente para a proposição de soluções técnicas capazes de garantir pressão adequada, regularidade no fornecimento e melhoria das condições de vida da população atendida.

#### **4.2 Projeção Populacional e Vazões de Projeto**

A população atual do distrito foi considerada igual a 593 habitantes, servindo como referência para a projeção populacional ao longo do horizonte de projeto de 20 anos. Aplicando-se o método geométrico com taxa de crescimento anual de 0,5%, obteve-se uma população projetada de aproximadamente 655 habitantes ao final do período analisado.

A adoção do cenário de crescimento baixo se mostrou compatível com as características observadas na comunidade, refletindo uma evolução populacional gradual e coerente com distritos de pequeno porte. Essa escolha impacta diretamente os resultados do estudo da demanda de água, uma vez que a população projetada constitui o principal parâmetro para o cálculo da vazão de projeto.

O estudo de Ojo (2011), realizado em comunidades rurais no sudoeste da Nigéria revelou que, com o crescimento populacional projetado, o déficit entre oferta e demanda de água tende a se agravar se o sistema não for ampliado ou melhorado. Esse padrão de deficiência de abastecimento com base em projeções demográficas compatíveis com pequenas comunidades é semelhante ao observado no presente estudo, no qual o uso de um cenário de crescimento baixo reflete um crescimento populacional gradual, mas ainda assim exerce impacto direto sobre a demanda calculada de água.

A utilização de 655 habitantes contribui diretamente para um dimensionamento tecnicamente adequado, uma vez que incorpora uma margem de crescimento populacional ao longo do período de projeto, sem resultar em superdimensionamento excessivo.

A partir da população projetada, a demanda média de água foi estimada considerando o consumo per capita de 150 L/hab\*dia, valor compatível com o porte e as características da comunidade em estudo. Em sistemas de abastecimento de pequeno porte, esse valor é amplamente adotado para a estimativa da demanda de água (Heller e Pádua, 2010).

A vazão média diária ( $Q_{\text{médio}}$ ) foi determinada a partir da relação entre a população projetada e o consumo unitário, sendo posteriormente ajustado por coeficientes de variação diária e horária para obtenção de vazão de projeto, utilizada no dimensionamento das unidades de abastecimento.

Aplicando-se a expressão para vazão média diária tem-se:

$$Q_{\text{médio}} = \frac{655 \cdot 150}{86400} = \frac{98250}{86400} = 1,14 \text{ L/s}$$

Para a determinação da vazão máxima diária, foi adotado o coeficiente de variação diária  $K_1 = 1,2$ , valor usualmente empregado em sistemas de abastecimento de água para pequenas comunidades.

$$Q_{\text{máxd}} = 1,2 * 1,14 = 1,37 \text{ L/s}$$

A vazão máxima horária foi obtida aplicando-se o coeficiente de variação horária  $K_2 = 1,5$ , representando as condições mais críticas do consumo ao longo do dia.

$$Q_{\text{máxh}} = 1,5 * 1,37 = 2,06 \text{ L/s}$$

Os valores obtidos evidenciam que a vazão máxima horária constitui a condição mais crítica para o dimensionamento do sistema de abastecimento de água, sendo, portanto, adotada como referência para o dimensionamento das unidades de captação, adução e distribuição. A utilização de coeficientes de variação adequados permite representar de forma

realista os picos de consumo, garantindo segurança operacional e atendimento satisfatório à população ao longo do horizonte de projeto (Heller e Pádua, 2010).

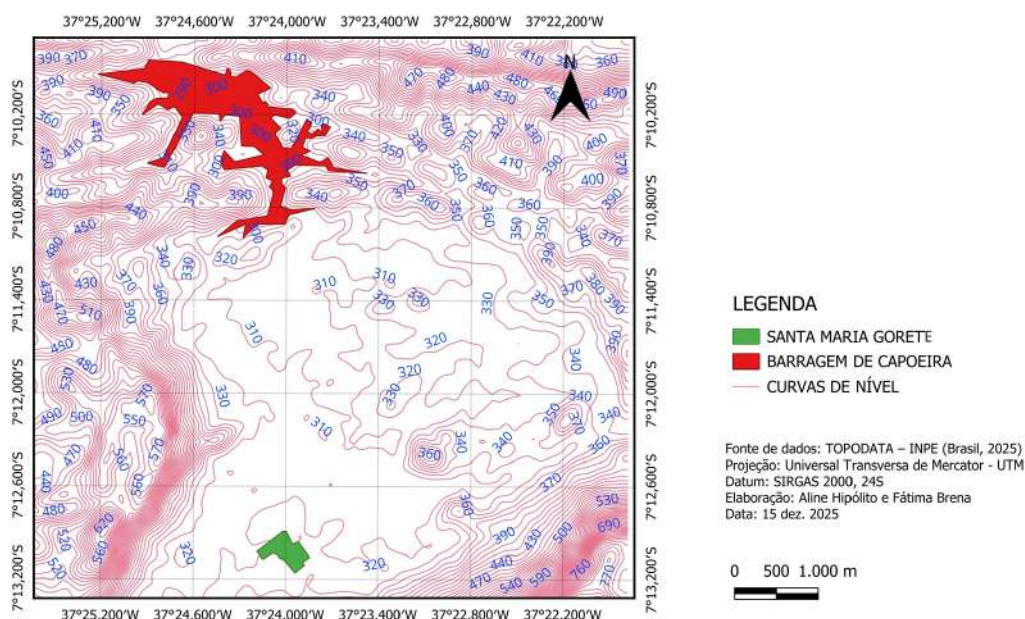
### 4.3 Dimensionamento da Rede de Distribuição

#### 4.3.1 Curvas de nível

Antes de realizar o dimensionamento de um sistema de abastecimento de água, torna-se fundamental a análise das características topográficas da área de estudo, uma vez que o relevo influencia diretamente o traçado das adutoras, a definição do tipo de escoamento (gravidade ou recalque), a necessidade de bombeamento e a distribuição das pressões ao longo da rede. Nesse contexto, as curvas de nível constituem um importante instrumento de representação do relevo, pois permitem identificar variações altimétricas, declividades e desníveis que condicionam o desempenho hidráulico do sistema.

O mapa de curvas de nível, elaborado no software QGIS, a partir de bases cartográficas e dados altimétricos, evidencia um relevo predominantemente ondulado, com variações significativas de altitude ao longo do trajeto entre a Barragem de Capoeira e o distrito de Santa Maria Gorete, conforme ilustrado na figura 13. Observa-se que as curvas encontram-se mais próximas entre si em determinados trechos, indicando declividades acentuadas, enquanto em outras áreas as curvas estão mais espaçadas, caracterizando declives suaves e áreas mais planas, como é o caso do distrito estudado.

Figura 13 - Mapa de Curvas de Nível do distrito de Santa Maria Gorete e da Barragem de Capoeira.



Fonte: Autora, 2026.

A análise altimétrica mostra que o Distrito de Santa Maria Gorete encontra-se em cota superior em relação ao nível da Barragem de Capoeira, o que inviabiliza o transporte de água por gravidade direta ao longo de todo o percurso. Essa diferença de cotas é um fator determinante para a concepção do sistema de abastecimento.

Considerando os aspectos citados anteriormente, torna-se necessária a utilização de um sistema de bombeamento para vencer o desnível topográfico identificado no mapa. A bomba é responsável por fornecer a energia hidráulica necessária para elevar a água até o reservatório, garantindo o funcionamento adequado do sistema de abastecimento.

Após o recalque até o reservatório, a água pode então ser distribuída ao distrito de Santa Maria Gorete por gravidade, o que reduz custos operacionais e aumenta a confiabilidade do sistema.

Além disso, a análise do mapa de curvas de nível demonstra que o distrito de Santa Maria Gorete apresenta cota altimétrica praticamente uniforme, em torno de 320 m, caracterizando uma área com baixa variação de relevo. Diante dessa condição, a escolha do local do reservatório foi orientada pela necessidade de garantir pressão adequada e uniforme em toda a rede de distribuição.

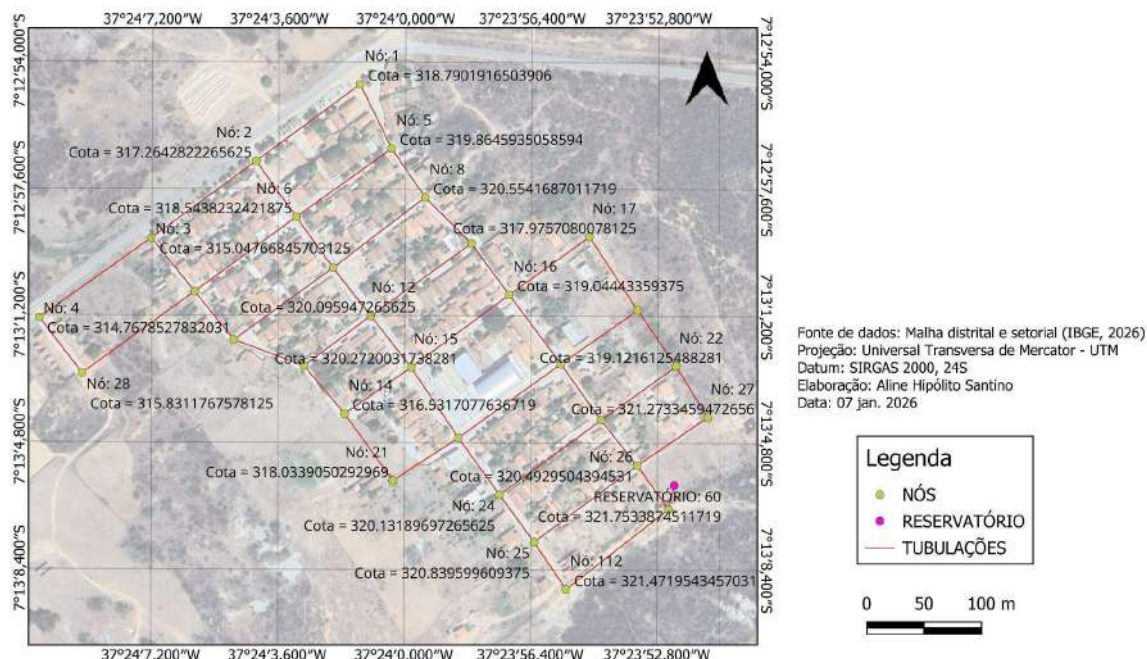
Tendo em vista que o distrito encontra-se praticamente todo na mesma cota altimétrica (320 m), a utilização de um reservatório elevado torna-se tecnicamente necessária. Em sistemas onde não há desnível natural suficiente para promover o escoamento por gravidade, o reservatório elevado atua como fonte de energia hidráulica, fornecendo a carga de pressão indispensável para o abastecimento.

Assim, o reservatório foi implantado em um ponto topograficamente superior à cota média do distrito, porém próximo à área de consumo, de modo a minimizar perdas de carga, reduzir a extensão das adutoras e otimizar o funcionamento do sistema de abastecimento. A localização escolhida permite que a distribuição de água ocorra de forma equilibrada, atendendo simultaneamente os pontos mais próximos e os mais afastados do distrito.

#### 4.3.2 Rede de distribuição

O mapa de rede de distribuição de água representado na figura 14 evidencia a configuração espacial do sistema projetado para o atendimento do distrito de Santa Maria Gorete, permitindo avaliar a coerência entre o traçado da rede, a localização do reservatório e a área a ser abastecida.

Figura 14 - Mapa do traçado de rede de abastecimento de água do distrito de Santa Maria Gorete.



Fonte: Autora, 2026.

Observa-se que a rede foi concebida de forma a abranger integralmente o perímetro habitado do distrito, garantindo que todas as áreas povoadas sejam atendidas. O traçado das tubulações segue, predominantemente, o sistema viário existente, o que facilita a implantação, manutenção e futura ampliação da rede, além de reduzir custos associados a desapropriação e intervenções no solo.

A disposição da rede evidencia uma distribuição ramificada, típica de pequenos distritos, adequada às características locais e compatível com a demanda populacional projetada. Essa configuração permite o direcionamento eficiente das vazões aos diferentes trechos da rede, atendendo aos consumos previstos e respeitando os critérios hidráulicos de projeto.

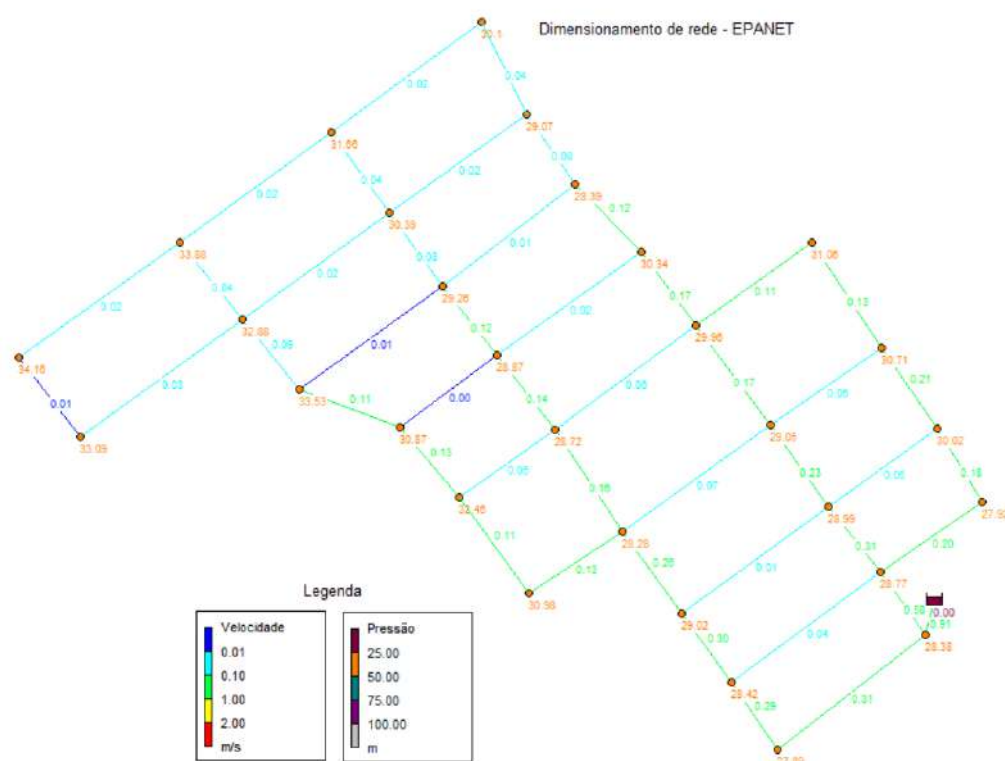
A localização do reservatório posicionada estrategicamente em cota superior à do distrito (cota média de 320 m), mostrou-se fundamental para o desempenho hidráulico da rede. A partir desse ponto, a água é distribuída exclusivamente por gravidade, assegurando pressões adequadas e relativamente uniformes em todos os nós da rede.

O dimensionamento da rede de distribuição considerou as demandas atuais e futuras da população do distrito de Santa Maria Gorete, conforme as projeções populacionais e os consumos per capita adotados no estudo. A partir do mapa, verifica-se que os diâmetros das

tubulações foram definidos de modo a permitir o escoamento das vazões necessárias, mantendo condições adequadas de pressão e velocidade nos diferentes trechos da rede.

Os resultados obtidos, apresentados na Figura 15, indicam que as pressões na rede variam entre 27,89 m.c.a. e 34,16 m.c.a., valores que se encontram dentro das faixas adequadas para o abastecimento domiciliar. Esses resultados atendem aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 12218:2017, que recomenda pressão dinâmica mínima de 10 m.c.a. nos pontos de consumo e pressão estática máxima da ordem de 50 m.c.a., a fim de garantir o abastecimento contínuo e o correto funcionamento dos sistemas prediais de reservação. A pressão mínima registrada mostra-se suficiente para assegurar o enchimento das caixas d'água residenciais, superando a condição crítica observada no sistema atualmente existente, no qual a baixa pressão impede a elevação da água até os reservatórios prediais.

Figura 15 - Mapa do traçado de rede proposto para o distrito de Santa Maria Gorete.



Fonte: Autora, 2026.

No que se refere às velocidades de escoamento, os valores simulados apresentaram velocidade máxima de 0,91 m/s, permanecendo abaixo do limite superior recomendado para redes de distribuição. De acordo com a ABNT NBR 12218:2017, a velocidade máxima admissível é da ordem de 2,50 m/s, estabelecida com o objetivo de evitar perdas de carga excessivas, desgastes nas tubulações e a ocorrência de transientes hidráulicos.

Dessa forma, as velocidades observadas indicam condições adequadas de operação do sistema, favorecendo a eficiência hidráulica e a integridade da rede. A manutenção de velocidades moderadas contribui ainda para reduzir esforços mecânicos, minimizar danos estruturais e prolongar a vida útil das tubulações (Heller e Pádua, 2010).

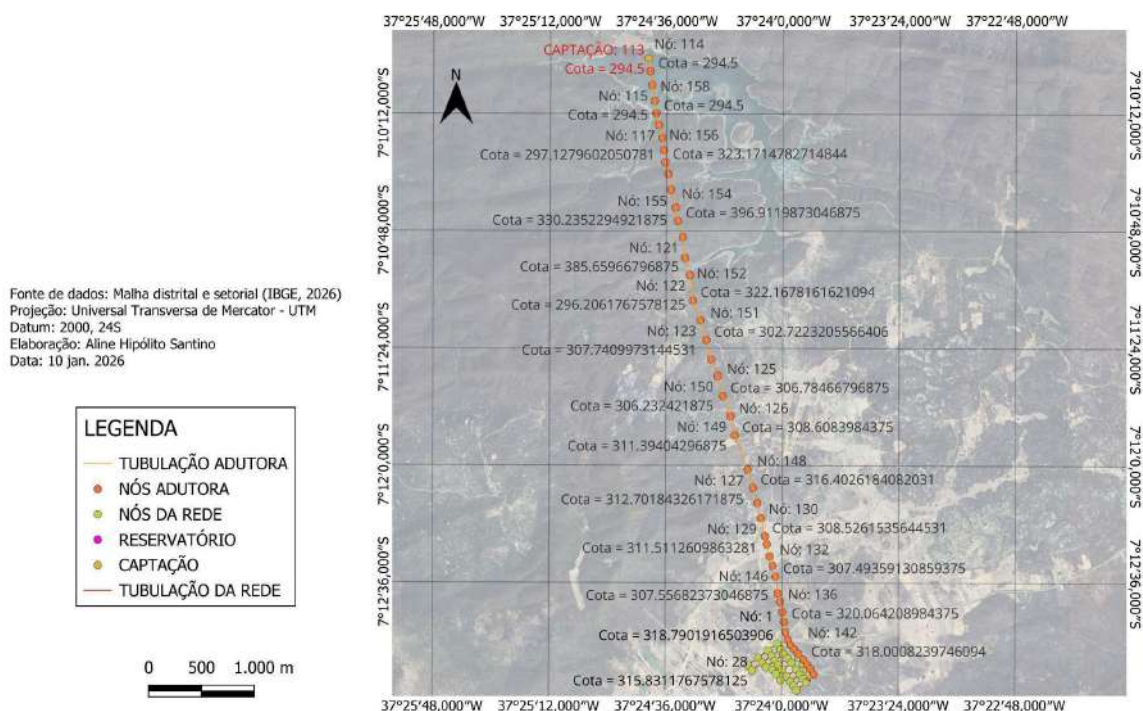
Além do desempenho hidráulico, o LenhsNet permitiu a avaliação do custo de implantação das tubulações, estimado em \$ 86.522,74, considerando o dimensionamento econômico da rede. Esse resultado evidencia que o sistema foi projetado de forma otimizada, conciliando o atendimento às demandas da população com a racionalização dos custos de implantação.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que a rede de distribuição dimensionada atende plenamente ao objetivo proposto de dimensionar um sistema de abastecimento de água capaz de suprir adequadamente as demandas da população. As pressões mínimas e máximas simuladas, as velocidades de escoamento controladas e o custo de implantação otimizado demonstram que o sistema proposto é tecnicamente eficiente, economicamente viável e compatível com as condições locais.

#### 4.3.3 Adutora

O mapa da adutora, apresentado na figura 16, aponta o traçado do sistema responsável pelo transporte de água desde o ponto de captação, localizado na Barragem de Capoeira, até o reservatório projetado para o abastecimento do distrito de Santa Maria Gorete. A definição do traçado da adutora considerou critérios técnicos relacionados à topografia local, à viabilidade construtiva e à eficiência.

Figura 16 - Mapa do traçado da adutora até a rede de distribuição.



Fonte: Autora, 2026.

A análise espacial do mapa, elaborada no ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitiu identificar que o percurso da adutora acompanha, predominantemente, áreas com declividades mais suaves, evitando trechos com variações altimétricas excessivas. Essa estratégia contribui para a redução das perdas de carga ao longo do sistema e para a diminuição da potência necessária ao conjunto e bombeamento, refletindo diretamente na eficiência operacional da adutora. As adutoras são componentes fundamentais dos sistemas de abastecimento de água e têm como principal função o transporte de água entre as unidades do sistema de abastecimento, devendo ser traçadas de modo a minimizar perdas de carga e custos energéticos, garantindo maior eficiência hidráulica e operacional (Heller e Pádua, 2006).

A interpretação conjunta do mapa da adutora com o mapa de curvas de nível revela que o ponto de captação se encontra em cota inferior em relação ao local de implantação do reservatório. Dessa forma, o transporte de água ao longo da adutora não pode ocorrer por gravidade, sendo necessária a adoção de um sistema de recalque para vencer o desnível topográfico identificado.

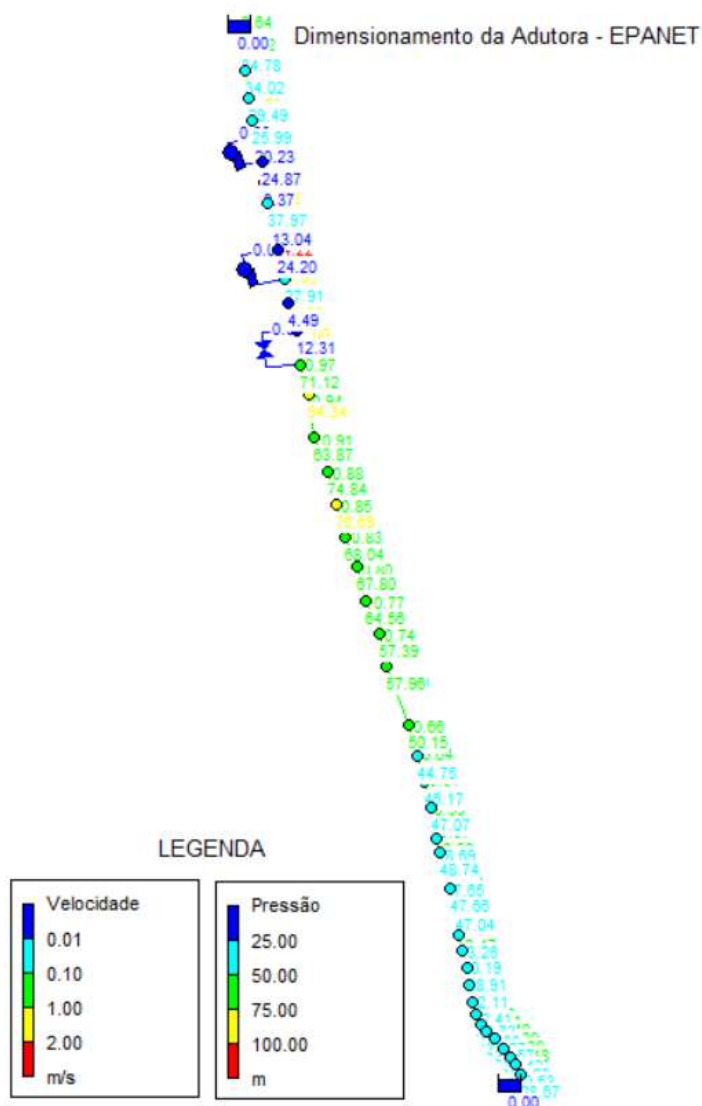
O mapa demonstra que a adutora se conecta diretamente ao reservatório elevado. Essa configuração permite que a água captada seja inicialmente elevada até o reservatório, onde

ocorre a regularização da vazão e o armazenamento necessário para atender às variações de consumo da população.

A partir do reservatório, a distribuição passa a ocorrer por gravidade, conforme analisado nos resultados do dimensionamento hidráulico da rede. Dessa forma, a adutora desempenha papel fundamental da garantia da continuidade do abastecimento, enquanto o reservatório e a rede asseguram pressão adequada e atendimento uniforme ao distrito.

Os resultados obtidos a partir da simulação hidráulica na adutora no EPANET, indicam que o sistema de recalque apresenta comportamento compatível com a função de transporte de água entre o ponto de captação e o reservatório elevado, como nos mostra a figura 17.

Figura 17 - Mapa de pressões e velocidades da adutora.



A análise dos resultados apresentados no mapa de pressões indica que, ao longo da adutora, ocorrem valores de pressão superiores a 50 m.c.a., especialmente nos trechos imediatamente a jusante do sistema de bombeamento. Essa condição é esperada em sistemas de recalque e é tecnicamente aceitável para as adutoras, desde que respeitados os limites das tubulações e os critérios normativos aplicáveis.

Trabalhos como o de Patil e Gandhi (2020), que analisam o dimensionamento ótimo de adutoras pressurizadas por recalque, destacam que a pressão piezométrica ao longo da adutora é diretamente influenciada pelo cabeçote de recalque imposto pela bomba e pelo diâmetro da tubulação. Assim, o correto dimensionamento desses parâmetros é essencial para evitar tanto sobrepressões perigosas quanto pressões insuficientes. Os autores ainda ressaltam que pressões elevadas imediatamente a jusante das bombas constituem um comportamento típico de sistemas de recalque, devendo o projeto assegurar que tais valores permaneçam dentro da capacidade resistente dos materiais e dos limites estabelecidos por norma.

Nesse contexto, a instalação da válvula redutora de pressão mostrou-se fundamental para impedir que essas sobrepressões sejam transmitidas à rede de distribuição, garantindo condições operacionais mais seguras e estáveis a jusante do reservatório.

Complementarmente, as velocidades de escoamento observadas ao longo da adutora mantiveram-se compatíveis com os critérios técnicos recomendados, indicando que os diâmetros adotados são adequados e que o sistema apresenta eficiência hidráulica satisfatória, sem ocorrência de velocidades excessivas ou de condições que favoreçam a deposição de sólidos.

Do ponto de vista econômico, o dimensionamento realizado por meio do LenhsNet resultou em um custo de implantação das tubulações da adutora de \$4.231,71, valor considerado compatível com o porte do sistema e com o nível de detalhamento do estudo. Esse resultado demonstra que a solução adotada concilia desempenho hidráulico adequado com racionalização dos custos de implantação.

#### **4.4 Dimensionamento do reservatório de água**

A partir da demanda média diária previamente calculada para a população de projeto, obteve-se um volume de armazenamento da ordem de 98,25 m<sup>3</sup>, correspondente ao volume mínimo necessário para suprir o consumo da comunidade durante um período de 24 horas sem auxílio do sistema de recalque.

Visando a adequação construtiva e o aumento da confiabilidade operacional do sistema, foi adotado um reservatório com capacidade nominal de 100 m<sup>3</sup>, valor que corresponde uma margem de segurança frente às variações de consumo e às possíveis interrupções no funcionamento do conjunto motobomba.

O reservatório dimensionado será integrado à nova rede de abastecimento proposta, atuando como elemento regulador entre o sistema de recalque proveniente da barragem e a rede de distribuição do distrito. Essa configuração permite a regularização das vazões distribuídas, a estabilização das pressões na rede e a eliminação do rodízio anteriormente necessário, representando um avanço significativo na segurança hídrica e na qualidade do abastecimento de água da população local.

## 5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho permitiu analisar de forma integrada a situação do abastecimento de água no Distrito de Santa Maria Gorete e propor uma solução técnica capaz de atender adequadamente às demandas da população. A partir do levantamento das condições atuais, marcado por problemas recorrentes de baixa pressão e dependência de soluções alternativas, foi possível evidenciar a necessidade de um sistema de abastecimento mais eficiente e confiável.

A utilização de ferramentas de geoprocessamento mostrou-se fundamental para a compreensão das características físicas da área de estudo, bem como a elaboração do mapa de curvas de nível no software QGIS, que possibilitou a análise do relevo local, evidenciando que o distrito se encontra predominantemente em uma mesma cota altimétrica. Esse aspecto foi determinante para a concepção do sistema proposto, especialmente para a escolha do reservatório elevado, elemento essencial para garantir pressão adequada e distribuição por gravidade em toda a rede.

O traçado da rede de distribuição, inicialmente definido em ambiente SIG e posteriormente modelado no EPANET, permitiu o dimensionamento hidráulico do sistema considerando as demandas populacionais estimadas. Os resultados obtidos demonstraram que as pressões e velocidades simuladas permanecem dentro de faixas compatíveis com os critérios técnicos recomendados, indicando que a rede projetada é capaz de atender de forma satisfatória os pontos de consumo, superando as deficiências observadas no sistema existente.

No que se refere à adutora, o dimensionamento hidráulico evidenciou a necessidade de um sistema de recalque, em função do desnível topográfico entre o ponto de captação e o

reservatório. A adoção de duas bombas operando em paralelo, associada à instalação de uma válvula redutora de pressão, mostrou-se adequada para garantir a vazão de projeto e o controle das pressões, assegurando a segurança operacional do sistema. As pressões superiores a 50 m observadas ao longo da adutora são compatíveis com sistemas de adução e encontram-se dentro dos limites admissíveis para esse tipo de infraestrutura.

Do ponto de vista econômico, realizou-se uma avaliação, por meio da extensão LenhsNet que permitiu estimar os custos de implantação das tubulações da rede de distribuição e da adutora, utilizando valores de referência extraídos da literatura técnica especializada. Embora tais valores não representem um orçamento executivo, eles se mostraram adequados para fins de dimensionamento preliminar, possibilitando a análise da viabilidade econômica da solução proposta. O reservatório, por sua vez, não foi incluído nessa estimativa, uma vez que sua quantificação depende de definições executivas mais detalhadas, devendo ter seus custos avaliados em etapa posterior de projeto.

Dessa forma, conclui-se que o sistema de abastecimento de água projetado apresenta viabilidade técnica e econômica, sendo compatível com as características topográficas e com as necessidades do Distrito de Santa Maria Gorete. Além disso, a metodologia adotada demonstrou-se eficiente e aplicável a estudos semelhantes, especialmente em comunidades de pequeno porte, contribuindo para o planejamento e a melhoria dos serviços de saneamento básico. Ressalta-se que trabalhos futuros considerem a atualização dos custos de implantação com base em dados de mercado ou informações fornecidas por concessionárias de saneamento, além da análise de cenários de crescimento populacional e da eficiência energética do sistema de bombeamento. Essas abordagens podem contribuir para o aperfeiçoamento do sistema proposto e para a garantia da sustentabilidade do abastecimento de água a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Irrigação: Uso de Água na Agricultura Irrigada**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2025.

ALBUT, Selcuk. Using open source GIS based RUSLE model in erosion risk assessment. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)**, v. 7, n. 12, p. 13183-13189, 2020. Disponível em: [https://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42353634.pdf?utm\\_source](https://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42353634.pdf?utm_source). Acesso em 27 out. 2025.

ANJOS, Denize Monteiro dos; SOARES, Danilo de Medeiros Arcanjo; SIMÕES, Ewerton Medeiros; LEITE, Ana Claudia Caetano Pinheiro; RAMOS, Talytta Menezes; BAKKE, Ivonete Alves. Temporal analysis of water volume at Capoeira Reservoir Mãe d'Água, Paraíba, Brazil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 138–142, 2017. DOI: 10.18378/rvads.v12i1.5115. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/5115>. Acesso em: 09 jan. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES. **ABES-PB promoverá em agosto cursos de Epanet e Lenhsnet e de eficiência energética, com professores da UFPB**. ABES, 2019. Disponível em: [https://abes-dn.org.br/abes-pb-promovera-em-agosto-cursos-de-epanet-e-lenhsnet-e-de-eficiencia-energetica-com-professores-da-ufpb/?utm\\_source](https://abes-dn.org.br/abes-pb-promovera-em-agosto-cursos-de-epanet-e-lenhsnet-e-de-eficiencia-energetica-com-professores-da-ufpb/?utm_source). Acesso em: 10 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12212: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea - Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.

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

AVILA, Ivanir Medeiros de. **AVALIAÇÃO DE MANANCIAL PARA CAPTAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MARIANA PIMENTEL/RS**. Orientadora: Maria Cristina de Almeida Silva. 2024. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2024.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández y. Manual de hidráulica. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015. ISBN 9788521208891. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/784511164/6588896123456757-Manual-de-Hidraulica-Azevedo-Neto-9%>. Acesso em: 10 nov. 2025.

BACAËR, Nicolas. **Breve História Matemática da Dinâmica Populacional**. Paris: Cassini, 2026.

BACK, Álvaro José. Duração do Período seco como critério para dimensionamento de reservatório de água da chuva. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil - CIVILTEC**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 20-23, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18616/civiltec.v2i2.6845>. Acesso em: 24 out. 2025.

BARROS, Arthur Julio Arrais; PEREIRA, José Almir Rodrigues. Assessment of the economic sustainability of water capture from surface and underground water sources to supply urban areas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET**. Santa Maria, v. 27, e 3, p. 1-23, 2023. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/372379445\\_Assessment\\_of\\_the\\_economic\\_sustainability\\_of\\_water\\_capture\\_from\\_surface\\_and\\_underground\\_water\\_sources\\_to\\_supply\\_urban\\_areas](https://www.researchgate.net/publication/372379445_Assessment_of_the_economic_sustainability_of_water_capture_from_surface_and_underground_water_sources_to_supply_urban_areas). Acesso em: 16 out. 2025.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques.; MACÊDO, José Eloim Silva de. DIMENSIONAMENTO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA MALHADAS VIA OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS. **IRRIGA**, [S. l.], v. 23, n. 4, p. 798–817, 2018. DOI: 10.15809/irriga.2018v23n4p798-817. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3587>. Acesso em: 31 out. 2025.

BHARDWAJ, Vipin; METZGAR, Chris. Reservoirs, Towers, and Tanks: Drinking Water Storage Facilities. **Tech Brief**, Virginia, p. 1-4, 2001. Disponível em: <https://actat.wvu.edu/files/d/b9af0568-fabf-42d6-b05e-e413d51ef2d9/res-towers-and-tanks.pdf>. Acesso em: 24 out. 2025.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: [portal.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](portal.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em: 07 out. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto (2022)**. Brasília, 2023. Disponível em: [https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AE\\_SNIS\\_2023.pdf?utm\\_source](https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf?utm_source). Acesso em: 07 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS). Secretaria de Avaliação e Gestão da Informação (SAGI). Projeções Populacionais e Políticas Públicas: importância e desafios das novas agendas. Brasília, DF: SAGI, 2013. 25 P. Disponível em: [https://aplicacoes.mds.gov.br/sagi/pesquisas/documentos/estudo/57.pdf?utm\\_source](https://aplicacoes.mds.gov.br/sagi/pesquisas/documentos/estudo/57.pdf?utm_source). Acesso em: 07 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 5.ed., Brasília: Funasa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>. Acesso em: 09 out 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Diário Oficial da União. Brasília, 2021. Disponível em:

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 24 out. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde.

**Inspeção sanitária em abastecimento de água**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

Disponível em:

[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/inspecao\\_sanitaria\\_abastecimento\\_agua.pdf?utm\\_source](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/inspecao_sanitaria_abastecimento_agua.pdf?utm_source). Acesso em: 21 out. 2025.

BURKHART, Ben; JANKE, Robert. Understanding Water Age in Distribution Systems With EPANET. **J Am Water Works Assoc.**, [S. l.], v. 2, n. 115, p. 24-34. doi: 10.1002/awwa.2052. PMID: 37539352; PMCID: PMC10395319. Disponível em:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10395319/>. Acesso em: 26 out. 2025.

CASWELL, Hal. The Sensitivity of Population Growth Rate: Three Approaches. *In*: MYRSKYLA, M. **Sensitivity Analysis: Matrix Methods in Demography and Ecology**. Demographic Research Monographs. Amsterdam, Springer, Cham., p. 31-43, 2019. disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10534-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10534-1_3). Acesso em 27 out. 2025.

CHOI, Young Hwan; KIM, Joong Hoon. Self-Adaptive Models for Water Distribution System Design Using Single-/Multi-Objective Optimization Approaches. **Water**, [S. l.], v. 11, n. 6, 1293, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w11061293>. Acesso em: 26 out. 2025.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (COSANPA). **Plano Municipal de Saneamento Básico - Versão Final**. Santarém, 2012. Disponível em:

[https://www.arcon.pa.gov.br/sites/default/files/default\\_images/pmsb.santarem.final.versao11\\_em\\_analise-1.pdf?utm\\_source](https://www.arcon.pa.gov.br/sites/default/files/default_images/pmsb.santarem.final.versao11_em_analise-1.pdf?utm_source). Acesso 08 nov. 2025.

COSTA, Daniela Moraes da; SILVA, Jhully Laiane Souza da; BARRETO, Gilberto Caldeira; BARRETO, Monique Sandra Oliveira Dias. Efeito da setorização no controle das pressões na rede de distribuição de água pela inserção de válvulas redutoras de pressão. **Revista DAE**, São Paulo, v. 68, n. 226, p. 39-59, 2020. Disponível em:

[https://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_226\\_n\\_1905.pdf](https://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_226_n_1905.pdf). Acesso em: 24 out. 2025.

CORREA, Charles. Decomposição das projeções oficiais de população no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de População**, [S. l.], v. 41, p. 1–16, 2024. DOI: 10.20947/S0102-3098a0263. Disponível em: <https://rebep.org.br/revista/article/view/2308>. Acesso em: 07 nov. 2025.

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. Orientadora: Daysy Lira Oliveira Cavalcanti. 2024. 51 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia, Maceió, 2024.

CUNHA, Luis Henrique. Desigualdades nos padrões de acesso à água e limites da cidadania hídrica em comunidades rurais do semiárido. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 55, p. 99-116, 2020. DOI: 10.5380/dma.v55i0.73371. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/73371>. Acesso em: 01 nov. 2025.

DALLAS WATER UTILITIES. **ELEVATED STORAGE TANK & GROUND STORAGE TANK DESIGN MANUAL**. Dallas, 2012. Disponível em: <https://dallascityhall.com/departments/waterutilities/DCH%20Documents/pdf/ElevatedStorage.pdf>. Acesso em: 24 out. 2025.

DEB, Amit; DAS, Shiva; GUPTA, Rajarshi; MUKHERJEE, Avishek. Water Distribution System Design using QGIS and EPANET. **Environmental Industry Letters**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 101–110, 2023. DOI: 10.15157/eil.2023.1.2.101-110. Disponível em: <https://journals.tultech.eu/index.php/eil/article/view/149>. Acesso em: 14 out. 2025.

DINIZ, Tibério Gomes; DEL GRANDE, Maria Helena; GALVÃO, Carlos de Oliveira. Vulnerabilidade domiciliar em situação de intermitência no abastecimento de água. **Eng. San. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, p. 535-543, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190038>. Acesso em: 08 out. 2025.

DURÃES, Raul César Ferreira; GOMES, Antônio Jorge de Lima; GOMES, Jorge Luiz dos Santos. Lowering of the water table in the urban spaces of the city of Montes Claros-MG. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 7, p. e20211730018, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i7.30018. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/30018>. Acesso em: 17 out. 2025.

GASPAR. Serviço Municipal de Água e Esgoto - SAMAE. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Gaspar**. Gaspar, 2010. Disponível em: [https://www.gaspar.sc.gov.br/uploads/sites/421/2021/12/999087\\_PLO\\_016\\_2017\\_ANEXO\\_I.pdf?utm\\_source=](https://www.gaspar.sc.gov.br/uploads/sites/421/2021/12/999087_PLO_016_2017_ANEXO_I.pdf?utm_source=). Acesso em: 24 out. 2025.

GIFFONI, Tomás Fortes; SILVA, Fernando das Graças Braga; SOARES, Alexandre Kepler; REIS, José Antonio Tosta dos; SILVA, Alex Takeo Yasumura. Sectorization in water distribution networks: a systematic bibliographic review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e206101220330, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20330. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/20330>. Acesso em: 26 out. 2025.

GOMES, Heber Pimentel. Abastecimento de Água. João Pessoa: LENHS/UFPB, 2021. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/747260820/Abastecimento-de-Agua-Heber-Pimentel-Gomes>. Acesso em: 11 nov. 2025.

GOMES, Maria Cecília Rosinski Lima, ANDRADE, Leonardo Capeleto de, BARBOSA Milena Pinho, LOPES, Bruna Coelho e MOTA FILHO, Cesar Rossas. Performance of traditional household drinking water treatment methods used in rural Amazon. **Front. Water.**, [S.l.], v. 6, 2024. 6:1392800. doi: 10.3389/frwa.2024.1392800. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1392800>. Acesso em: 24 out. 2025.

GRIGG, Neil S. Water Distribution Systems: Integrated Approaches for Effective Utility Management. **Water**, [S.l.], v. 16, n. 4, p. 524. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16040524>. Acesso em: 24 out. 2025.

GRUPO DE FOZ. **Métodos demográficos**: uma visão desde os países de língua portuguesa. São Paulo: Blucher, 2021. 1031 p. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/openaccess/9786555500837/completo.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2025.

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

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2010**: famílias e domicílios - resultados da amostra. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS. Perdas de Água 2020 (SNIS 2018): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência de saneamento básico. 2020. Disponível em: [https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio\\_Final\\_-\\_Estudo\\_de\\_Perdas\\_2020\\_-\\_JUNHO\\_2020.pdf](https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Final_-_Estudo_de_Perdas_2020_-_JUNHO_2020.pdf). Acesso em 24 out. 2025.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA). **Annual Report**. Tokio, 2014. Disponível em: <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12182358.pdf>. Acesso em: 24 out. 2025.

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. Disponível em: [https://www.academia.edu/43579087/Fundamentos\\_de\\_Qualidade\\_e\\_Tratamento\\_de\\_Agua\\_Marcelo\\_Libanio\\_Final20200710\\_84577\\_axi93n](https://www.academia.edu/43579087/Fundamentos_de_Qualidade_e_Tratamento_de_Agua_Marcelo_Libanio_Final20200710_84577_axi93n). Acesso em: 21 out. 2025.

LINDAU, Elena Charlotte; MOURA, Larissa. **Variação geográfica do saneamento básico no Brasil em 2010**: domicílios urbanos e rurais. Brasília: Embrapa, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1063680/variacao-geografica-do-saneamento-basico-no-brasil-em-2010-domicilios-urbanos-e-rurais>. Acesso em: 10 nov. 2025.

MACHADO, Anna Virginia Muniz; OLIVEIRA, Pedro A. D.; MATOS, Patrick G.; SANTOS, Ana Silvia Pereira. Strategies for Achieving Sustainability of Water Supply Systems in Rural Environments with Community Management in Brazil. **Water**, [S. l.], v. 15, n. 12, 2232, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w15122232>. Acesso em: 26 out. 2025.

MAIA, Kaliane de Freitas; CUNHA, Luis Henrique; CUNHA, Patrícia Hermínio. Carros-pipa, compras governamentais e economia da água no Semiárido brasileiro. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, [S. l.], v. 44, n. 2, p. 134–153, 2024. DOI: 10.37370/raizes.2024.v44.890. Disponível em: <https://raizes.revistas.ufcg.edu.br/index.php/raizes/article/view/890>. Acesso em: 07 nov. 2025.

MAYS, Larry W. **Water distribution system**. Nova York: McGraw-Hill, 1999.

MAZAHARI, Ramtin; MOTIEE, Homayoun; Jalili GHAZIZADEH, Mohammadreza Jalili. The effect of building storage tanks on diurnal flow variation in water distribution networks. **Appl Water Sci**, n. 15, 140, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02490-6>. Acesso em: 11 jan. 2026.

MEIRA NETO, Antônio Alves; MEDEIROS, Pedro; ARAÚJO, José Carlos, PEREIRA, Bruno; SIVAPLAN, Murugesu. Evolution of drought mitigation and water security through 100 years of reservoir expansion in semi-arid Brazil. **Water Resources Research**, [S. l.], v. 60, e2023WR036411, 2024. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2023WR036411>. Acesso em: 08 out. 2025.

MENSAH-AKUTTEH, Hanson; BUAMAH, Richard; WIAFE, Samuel; NYARKO, Kwabena B. Raw water quality variations and its effect on the water treatment processes. **Cogent Engineering**, [S. l.], n. 9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2122152>. Acesso em: 24 out. 2025.

NASCIMENTO, José Welliton Silva do; ABREU, Mônica Cavalcanti Sá de; STUDART, Ticiania Marinho de Carvalho. Gestão de Riscos Climáticos: Avanços e Desafios no Semiárido Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 17, n. 5, p. 3778–3793, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.5.p3778-3793. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/260917>. Acesso em: 07 nov. 2025.

OJO, O. A Study of the rural water supply-demand situation in South West Nigeria. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, Okuku, v. 145, p. 41-51, 2011. Disponível em: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/WRM11/WRM11005F>. Acesso em: 11 jan. 2026.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2024. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 06 out. 2025.

PASARIBU, Hugo S. V.; MARBUN, Hanna Swesy; SAKINAH, Nur; PANJAITAN, Nahesson; ARIFIANINGSIH, Nur Novilina; PRAYOGO, Wisnu. Evaluation of an Urban Drainage Channel System on Tuamang Road, Medan. **International Journal of Architecture and Urbanism**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 221–232, 2022. DOI: 10.32734/ijau.v6i2.9693. Disponível em: <https://talenta.usu.ac.id/ijau/article/view/9693>. Acesso em: 16 jan. 2026.

PATIL, Prathmesh Rajendra; GANDHI, Pooja Gopal. Optimal Design of Water Transmission System. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, [S. l.], v. 7, n. 5, p. 2417-2421. Disponível em: [https://www.irjet.net/archives/V7/i5/IRJET-V7I5466.pdf?utm\\_source](https://www.irjet.net/archives/V7/i5/IRJET-V7I5466.pdf?utm_source). Acesso em: 11 jan. 2026.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica básica I**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

RAVI, Suribabu Conety; RENGANATHAN, Neelakantan Thurvas; PERUMAL, Sivakumar; PAEZ, Dieg. Analysis of water distribution network under pressure-deficient conditions

through emitter setting, **Drink. Water Eng. Sci.**, [S. l.], v. 12, p. 1–13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/dwes-12-1-2019>, 2019. Acesso em 11 jan. 2026.

RODRIGUES, Gustavo Paiva Weyne. **COMPUTAÇÃO GRÁFICA E MODELAGEM COMPUTACIONAL APLICADAS AO TRAÇADO E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO**. Orientador: Marco Aurélio Holanda de Castro. 2006. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2006. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/ri/bitstream/riufc/16769/1/2006\\_dis\\_gpwrodrigues.pdf?utm\\_source](https://repositorio.ufc.br/ri/bitstream/riufc/16769/1/2006_dis_gpwrodrigues.pdf?utm_source). Acesso em: 08 nov. 2025.

ROSS, Tara T.; ALIM, Mohammad A.; RAHMAN, Aatur. Community-Scale Rural Drinking Water Supply Systems Based on Harvested Rainwater: A Case Study of Australia and Vietnam. **Water**, [S. l.], n. 14, 1763, 2022. Disponível em: [https://www.mdpi.com/2073-4441/14/11/1763?utm\\_source](https://www.mdpi.com/2073-4441/14/11/1763?utm_source). Acesso em: 24 out. 2025.

SANEAMENTO DE GOIÁS S.A. (SANEAGO). **Módulo 04.07 - Redes de distribuição de água**. Goiânia, 2023. Disponível em: [https://saneago.com.br/2023/arquivos/manual-projetos/04-PROJETOS-HIDRAULICOS-SAA/IT00.0716-04.07-Redes-de-Distribuicao-de-Agua.pdf?utm\\_source](https://saneago.com.br/2023/arquivos/manual-projetos/04-PROJETOS-HIDRAULICOS-SAA/IT00.0716-04.07-Redes-de-Distribuicao-de-Agua.pdf?utm_source). Acesso em: 26 out. 2025.

SANTANA JUNIOR, Fernando Gabriel; PEDREIRO, Marcelo Rodrigo de Matos. AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ZONA RURAL. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 9, n. 10, p. 6392–6409, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i10.12191. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/12191>. Acesso em: 07 out. 2025.

SANTOS, Thayanna Maria Medeiros; OLIVEIRA, José Lucas S; SILVA, Edevaldo. Vulnerabilidade hídrica no Nordeste brasileiro: entre a urbanização e a Educação Ambiental<br>Vulnerabilidad hídrica en el Nordeste brasileño: entre la urbanización y la Educación Ambiental<br>Water vulnerability in the Brazilian Northeast: between urbanization and Environmental Education. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Rio Grande, v. 35, n. 3, p. 184–199, 2018. DOI: 10.14295/remea.v35i3.8206. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/remea/article/view/8206>. Acesso em: 06 out. 2025.

SCHMIDT, Darlan Martínez; LIMA, Kellen Carla; JESUS, Edmir dos Santos. Variabilidade Climática da Disponibilidade Hídrica na Região Semiárida do Estado do Rio Grande do Norte. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 3, p. 483–491, 2019. DOI: 10.11137/2018\_3\_483\_491. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/29744>. Acesso em: 01 nov. 2025.

SILVA, Anderson; PEIXOTO, Felipe. Captação e uso das águas subterrâneas em Mossoró-RN, Brasil. **Agua y Territorio/Water e Ladnscape**, [S. l.], n. 24, p.83-96, 2024. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/379078188\\_Captacao\\_e\\_uso\\_das\\_aguas\\_subterraneas\\_em\\_Mossoro-RN\\_Brasil?utm\\_source](https://www.researchgate.net/publication/379078188_Captacao_e_uso_das_aguas_subterraneas_em_Mossoro-RN_Brasil?utm_source). Acesso em: 16 out. 2025.

SILVA, Érika Lira Silva; SILVA, Kardelan Arteiro; SOUSA, Francisca Rosângela Lopes de; TAVARES, Fernanda Beatriz Rolim. The water shell in the rural area: water consumption under the perspective of the farmers of a settlement in the municipality of Pombal-PB.

**Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 8, n. 6, p. e36861038, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i6.1038. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/1038>. Acesso em: 07 out. 2025.

SILVA, Jairo Bezerra; GUERRA, Lemuel Dourado; GOMES, Ramonildes Alves; QUEIROZ, Jânsson Gomes. ECOLOGIA POLÍTICA DA ÁGUA E HIDROBIOPOLÍTICA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO: a hierarquia do acesso entre as cisternas de placas e os caminhões-pipas. *Caderno CRH*, [S. l.], v. 35, p. e022040, 2022. DOI: 10.9771/ccrh.v35i0.31898. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/crh/article/view/31898>. Acesso em: 07 nov. 2025.

SILVEIRA, Nara Tôrres; SOARES, Gabriel Antonio Silva; BANDIM, Camila Gardenia de Almeida; TIBÚRCIO, Igor Maciel; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. DESAFIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM UM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO. **Geoconexões**, Natal, n. 21, p. e1834210, 2025. DOI: 10.15628/geoconexes.2025.18342. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/18342>. Acesso em: 07 out. 2025.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS (SIAGAS). Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. 2026. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SIVAKUMAR, P.; NIKOLAI, B. Gorev; NIVEDITA, S.; SURIBABU, C. R.; GRUPTA, Rajesh; TANYIMBOH, TIKU T. An assessment of the artificial modelling elements approach to the pressure-driven analysis of water distribution networks. **Water Supply**, [S. l.], v. 5, n. 23, p. 1810–1826. doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2023.092>. Disponível em: [https://iwaponline.com/ws/article/23/5/1810/94633/An-assessment-of-the-artificial-modelling-elements?utm\\_source](https://iwaponline.com/ws/article/23/5/1810/94633/An-assessment-of-the-artificial-modelling-elements?utm_source). Acesso em: 26 out. 2025.

SOUZA, Rui Gabriel; MEIRELLES, Gustavo; BRENTAN, Bruno; IZQUIERDO, Joaquín. Rehabilitation in Intermittent Water Distribution Networks for Optimal Operation. **Water**, [S. l.], v. 14, n. 88. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w14010088>. Acesso em: 26 out. 2025.

TAVARES, Jéssica Monteiro da Silva, PEREIRA NETO, Claudeci. Aspectos do crescimento populacional: estimativas e uso de indicadores sociodemográficos. **Formação (Online)**, v. 27, n. 50, p. 3–36, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33081/formacao.v27i50.5928>. Acesso em: 08 nov. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (UFPB). **EPANET**. 2009 Disponível em: [https://www.ct.ufpb.br/lenhs/epanet/?utm\\_source](https://www.ct.ufpb.br/lenhs/epanet/?utm_source). Acesso em: 08 nov. 2025.

UN-WATER. **Water Security & the Global Water Agenda**. Hamilton: ONU, 2013. Disponível: [analytical\\_brief\\_oct2013\\_web.pdf](#). Acesso em: 09 out. 2025.

|                                                                                   |                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  | <b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b> |
|                                                                                   | Campus Patos - Código INEP: 25281925                                  |
|                                                                                   | Br 110, S/N, Alto da Tubiba, CEP 58700-000, Patos (PB)                |
|                                                                                   | CNPJ: 10.783.898/0006-80 - Telefone: None                             |

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC com ficha catalográfica

|                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| Assunto:             | TCC com ficha catalográfica |
| Assinado por:        | Aline Hipolito              |
| Tipo do Documento:   | Anexo                       |
| Situação:            | Finalizado                  |
| Nível de Acesso:     | Ostensivo (Público)         |
| Tipo do Conferência: | Cópia Simples               |

Documento assinado eletronicamente por:

- Aline Hipólito Santino, DISCENTE (202116550041) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - PATOS, em 20/02/2026 17:07:44.

Este documento foi armazenado no SUAP em 20/02/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1772867  
Código de Autenticação: 65bbcf2143

