



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS DE BALSAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

NARA REJANE BARROS DA SILVA DE CARAVLHO

**USO DOS SOFTWARES QGIS E EPANET 2.0 PARA
DIMENSIONAMENTO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO
DE ÁGUA.**

**BALSAS-MA
2021**

Nara Rejane Barros da Silva de Carvalho

Uso dos softwares QGIS e Epanet 2.0 para dimensionamento de rede de distribuição de água.

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me Vinicius Farias de Albuquerque

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

BARROS DA SILVA DE CARVALHO, NARA REJANE.
USO DOS SOFTWARES QGIS E EPANET 2.0 PARA
DIMENSIONAMENTO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA / NARA
REJANE BARROS DA SILVA DE CARVALHO. - 2021.
55 p.

Orientador(a): Vinicius Farias de Albuquerque.
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,
Universidade Federal do Maranhão, BALSAS, 2021.

1. Dimensionamento de rede. 2. Epanet. 3. QGIS. I.
Farias de Albuquerque, Vinicius. II. Título.

Nara Rejane Barros Da Silva De Carvalho

Uso dos softwares QGIS e Epanet 2.0 para dimensionamento de rede de distribuição de água.

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 14/09/2021:

Prof. Me. Vinicius Farias de Albuquerque – Orientador

Prof. Ana Paula de Melo e Silva Vaz – Examinador interno

Prof. Esp. Willame Braga Lima – Examinador externo

Balsas-MA
2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, o maior mestre que alguém pode conhecer, por me permitir finalizar mais um capítulo de minha vida.

À meus pais, marido, filha e irmãos por todo o suporte financeiro e emocional dado durante o curso, em especial a minha mãe, Nária Rúbia, você foi meu alicerce durante todo esse trajeto, pois sempre com suas palavras de motivação não deixava eu fraquejar.

À todos os meus amigos que torceram e me apoiaram, em especial Ana Rafaela e Fernanda, minhagratição a vocês.

Ao meu orientador Vinicius Farias de Albuquerque, minha eterna gratidão por todos os ensinamentos, parceria e paciência que teve comigo durante essa jornada acadêmica.

RESUMO

O dimensionamento de redes de distribuição de água é uma etapa fundamental de um projeto de sistemas de abastecimento de água (SAA) para consumo humano, pois normalmente é o serviço mais oneroso de um SAA, tendo como função conduzir a água aos usuários do sistema. O uso de tecnologias computacionais no dimensionamento de redes e cadastro de bancos de dados tem sido de grande utilidade para os projetistas, bem como para os gestores responsáveis pela implantação, operação e manutenção dos SAA. O presente trabalho teve como objetivo dimensionar uma rede de distribuição usando os softwares QGIS e Epanet. Para isso, foi feito um levantamento dos dados necessários para o dimensionamento da rede, definindo um loteamento no bairro Vila Sá, em Fortaleza dos Nogueiras-MA, como modelo para o traçado da rede. Em seguida, determinou-se a população de projeto para início e final de plano, além de utilizar o modelo digital de elevação (MDE) Alos Palsar para a obtenção das altitudes dos nós da rede. Esses dados foram inseridos no software QGIS onde, através do plugin QWater, foi feito o dimensionamento da rede e a exportação do modelo para o Epanet, onde foram realizadas simulações hidráulicas na rede de distribuição. Por fim, foram analisados os resultados obtidos através dos softwares. A integração dos softwares QGIS e Epanet se mostrou uma importante ferramenta para o dimensionamento de redes de distribuição de água, além de mostrar potencial como auxiliar na implantação de políticas públicas relacionadas ao abastecimento de água, controle de perdas na rede de distribuição e planejamento de manutenção nas redes.

Palavra chave: Dimensionamento de rede, QGIS, Epanet.

ABSTRACT

The dimensioning of water distribution networks is a fundamental step in a design of water supply systems (SAA) for human consumption, as it is normally the most expensive service of a SAA, having the function of conveying water to the users of the system. The use of computational technologies in the dimensioning of networks and database registration has been very useful for designers, as well as for managers responsible for the implementation, operation and maintenance of SAA. This work aimed to dimension a distribution network using QGIS and Epanet software. For this, a survey of the necessary data for the dimensioning of the network was carried out, defining a subdivision in the Vila Sá neighborhood, in Fortaleza dos Nogueiras-MA, as a model for the layout of the network. Then, the project population for the beginning and end of the plan was determined, in addition to using the Alos Palsar digital elevation model (DEM) to obtain the altitudes of the network nodes. These data were entered into the QGIS software where, through the QWater plugin, the network was dimensioned and the model exported to Epanet, where hydraulic simulations were carried out in the distribution network. Finally, the results obtained through the software were analyzed. The integration of QGIS and Epanet software proved to be an important tool for sizing water distribution networks, in addition to showing potential as an aid in the implementation of public policies related to water supply, control of losses in the distribution network and maintenance planning on the networks.

Keyword: Network dimensioning, QGIS, Epanet.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 JUSTIFICATIVA.....	9
3 OBJETIVOS	10
4 REFERENCIAL TEÓRICO	11
4.1 Saneamento Básico	11
4.2 Abastecimento de água no Brasil.....	11
4.3 Abastecimento de água para consumo humano	12
4.4 Manancial.....	13
4.5 Captação.....	14
4.6 Estação Elevatória	14
4.7 Adutora.	15
4.8 Tratamento	15
4.9 Reservatório.....	16
4.10 Rede de distribuição.....	19
4.10.1 Dimensionamento de rede.....	21
4.10.2 Consumo de água	23
4.11 Sistema De Informações Geográficas (SIG).....	25
4.11.1 Modelo Digital de Elevação (MDE).	27
4.11.2 Quantum Gis (QGIS).....	28
4.11.3 Plugin QWater.....	30
4.12 Epanet 2.0.....	31
5 METODOLOGIA	33
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6.1.1 Dados para dimensionamento da rede de distribuição	34
6.1.2 Uso do QGIS para dimensionamento de rede	34
6.1.3 Exportação da rede do QGIS para Epanet e simulação.....	43
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico, que abrange os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta e tratamento de resíduos sólidos e drenagem urbana é essencial para o bem estar da população (HELLER; PÁDUA, 2010). Com relação aos sistemas de abastecimento de água, a rede de distribuição de água é a parte do sistema de abastecimento constituída por tubulações, conexões, equipamentos de recalque, válvulas, normalmente alimentada por reservatórios e que tem por função conduzir a água até os consumidores (SILVESTRE; CAETANO, 2015).

Para um bom dimensionamento de uma rede de distribuição de água faz se necessário o uso de softwares como o QGIS e Epanet 2.0 para auxiliar nos processos de distribuição e simulação, visando evitar as perdas nas tubulações, rever pressões e taxas de vazão além de outros parâmetros importantes no dimensionamento, como mostra o artigo do Victor Piragibe de Carvalho Faria intitulado Modelando uma rede de abastecimento de água, através da construção um sig-sistema de informação geográfica, para um programa de controle de perdas em um dmc-distrito de medição e controle.

Sendo assim, o uso de geotecnologias do tipo Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como o software QGIS, para o cadastro de redes de distribuição de água pode contribuir para a gestão do sistema e, quando utilizadas em conexão com softwares de modelagem do comportamento hidráulico como o Epanet 2.0, servem como suporte à tomada de decisão.

Segundo Ristow (2014), dentre as várias ferramentas disponibilizadas no geoprocessamento, o SIG vem ganhando destaque e se disseminando cada vez mais. O autor ainda destaca que o QGIS é um software livre, com versão traduzida para o português e que foi idealizado como um projeto voluntário que vem sendo melhorado com a contribuição dos seus usuários. Neste trabalho foi realizado um levantamento dos dados necessários para o dimensionamento de uma rede de distribuição de água. Os dados obtidos foram trabalhados utilizando o SIG através do software QGIS para, em seguida, exportar o modelo criado para o software de modelagem hidráulica Epanet 2.0, onde foi feita a simulação hidráulica do modelo e análise dos relatórios gerados pelo Epanet 2.0.

2 JUSTIFICATIVA

A Organização das Nações Unidas (ONU), através da Resolução nº 64/292 de 28 de julho de 2010, reconheceu o direito à água potável e ao saneamento como um direito humano essencial ao pleno desfrute da vida e dos demais direitos humanos. Além disso, fez umas solicitações a todos os países e organizações internacionais para que garantam recursos financeiros e transferência de tecnologias num esforço de cooperação para garantir esse direito a todos (ONU, 2010).

Várias tecnologias têm sido aplicadas na execução de projetos, no planejamento e gestão de serviços de abastecimento de água. Num país com as dimensões territoriais do Brasil onde existe uma deficiência com relação a geoinformações que auxiliem na tomada de decisões, o geoprocessamento, principalmente através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são importantes ferramentas de planejamento para os setores público e privado.

O Quantum GIS (QGIS) é um software gratuito que possui versão em português, além de ter sido criado no sentido de contribuir para a divulgação de tecnologias sociais, sendo importante sua aplicação nas instituições de ensino que poderão contribuir para seu aprimoramento (RISTOW, 2014).

Segundo Silvestre e Caetano (2015), a conexão entre o software SIG chamado QGIS e o software de modelagem hidráulica e qualidade de água chamado Epanet 2.0 é muito proveitosa quando aplicada a sistemas de abastecimento de água sob pressão. Permite ao usuário o acesso à rica interface de visualização e análise espacial do QGIS, bem como possibilita, através do *plugin* QWater, a interação com o Epanet 2.0 e suas ferramentas de análise de sistemas de abastecimento de água.

Dessa forma, este trabalho objetivou dimensionar uma rede de distribuição de água utilizando as ferramentas desses softwares, com intuito de explorar alguns dos potenciais desses programas computacionais e propiciar uma maior aproximação dos profissionais da engenharia civil e de outras áreas ligadas ao abastecimento de água a essas ferramentas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar a aplicação dos softwares QGIS e Epanet 2.0 no dimensionamento de uma rede de distribuição de água.

3.2 Objetivos específicos

- Fazer o levantamento dos dados necessários para executar o dimensionamento da rede de distribuição;
- Inserir os dados no software QGIS e realizar o dimensionamento da rede com auxílio do *plugin* Qwater;
- Exportar o modelo criado no QGIS para o software de modelagem Epanet 2.0 e realizar uma simulação hidráulica da rede.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Saneamento básico

Os serviços de saneamento básico são essenciais para a qualidade de vida da população e a deficiência nesses serviços impacta diretamente no bem estar das pessoas. Conforme disposto no inciso I do art. 3º da Lei nº 14.026/2020, o saneamento básico é definido da seguinte forma:

É o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;
- b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2020. Art. 3).

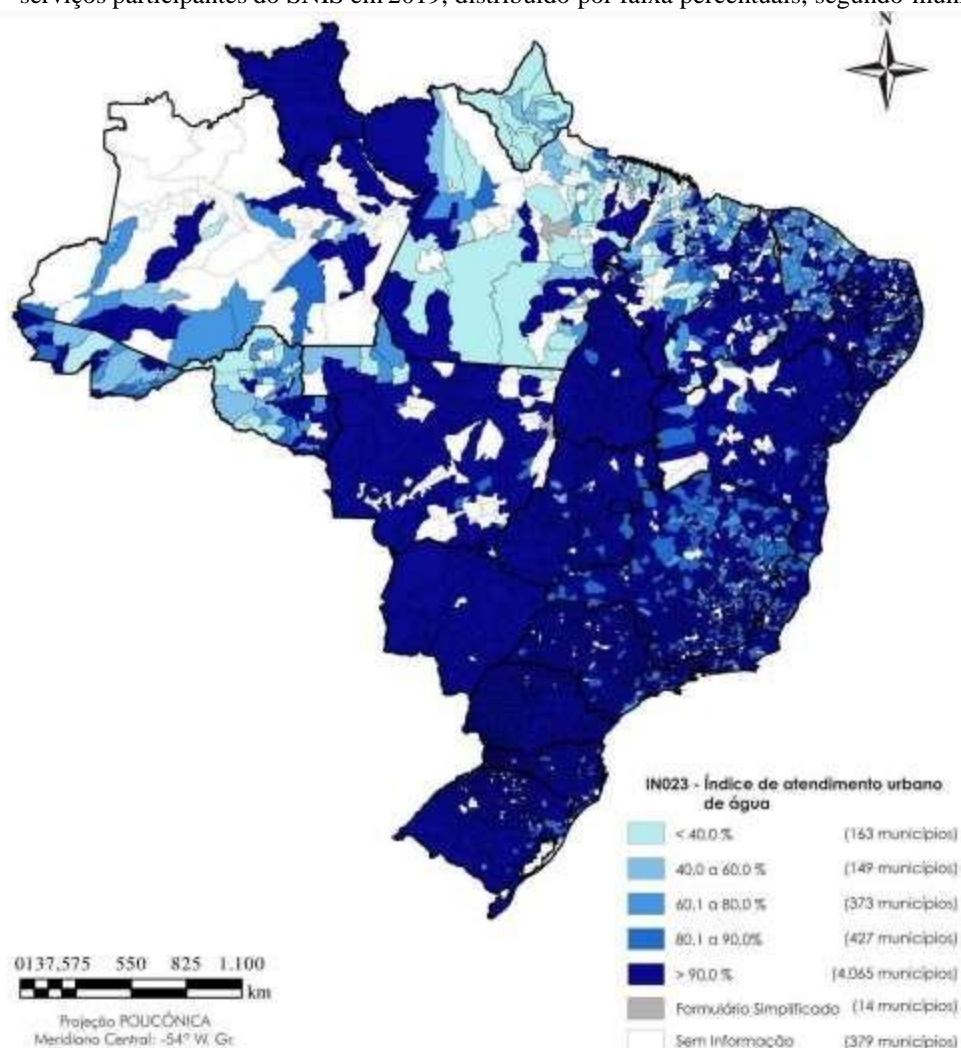
4.2 Abastecimento de água no Brasil

No Brasil, as companhias estaduais respondem pela maior parte do abastecimento de água da população, executando em torno de 69,5% desse serviço, logo em seguida estão as prefeituras (35,2%), as associações (11,6%), as autarquias municipais (10,3%) e as empresas privadas (3,6%) (PNSB, 2020).

O conjunto de sedes urbanas atendidas diretamente por prefeituras representa um desafio para a garantia da oferta de água no país, pois, em geral, são municípios de pequeno porte com capacidade institucional limitada, apesar da simplicidade operacional dos sistemas de abastecimento água utilizado (ATLAS BRASIL, 2010).

A Figura 1 mostra os índices de atendimento por rede de água para os municípios brasileiros.

Figura 1 – Mapa do índice de atendimento urbano por rede de água dos municípios com prestadores de serviços participantes do SNIS em 2019, distribuído por faixa percentuais, segundo município.



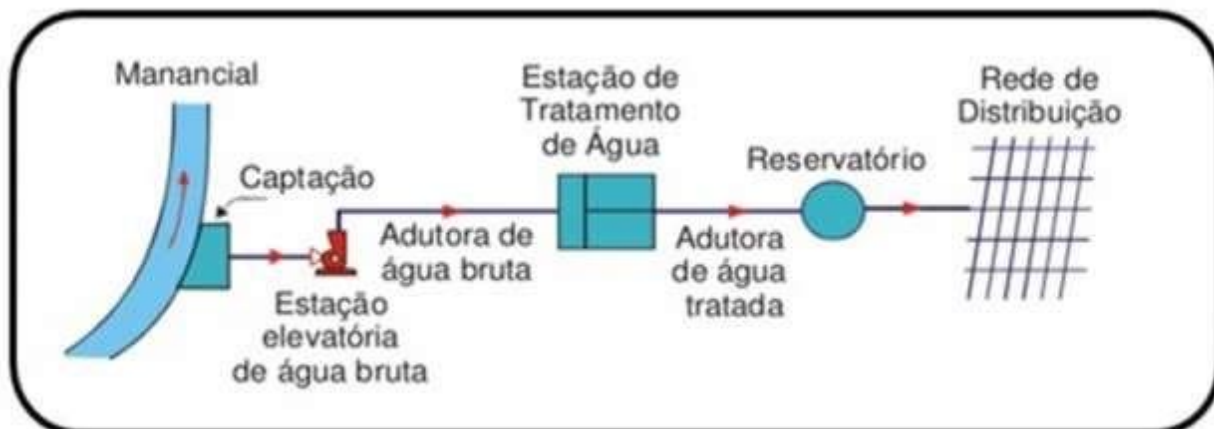
Fonte: Brasil, 2020.

4.3 Abastecimento de água para consumo humano

Segundo a Lei 14.026/2020, o abastecimento de água potável é definido como o conjunto de atividades, infraestrutura e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos meios de medição.

De acordo com Tsutiya (2006), um sistema de abastecimento de água é composto por manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição, conforme a Figura 2. Não essencialmente em todo sistema deve conter todas essas fases.

Figura 2 - Unidades do sistema de abastecimento de água.

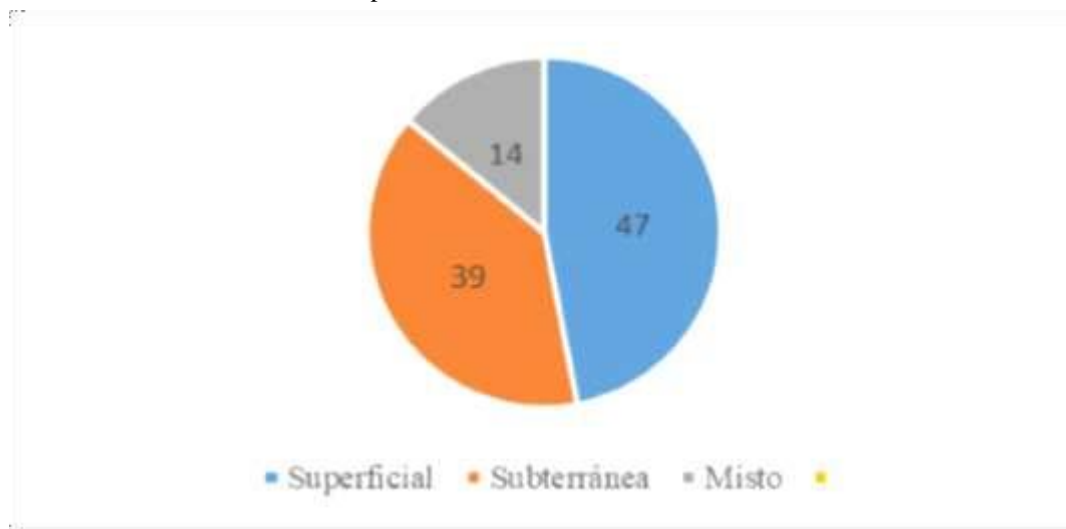


Fonte: Adaptado do Funasa, 2015.

4.4 Manancial

Antes de realizar a captação da água, é necessária a existência de uma fonte de água. O manancial que servirá como fonte de água pode ser superficial, subterrâneo ou misto (ATLAS BRASIL, 2010). O gráfico 1 indica a porcentagem dos tipos de mananciais que abastecem o território brasileiro.

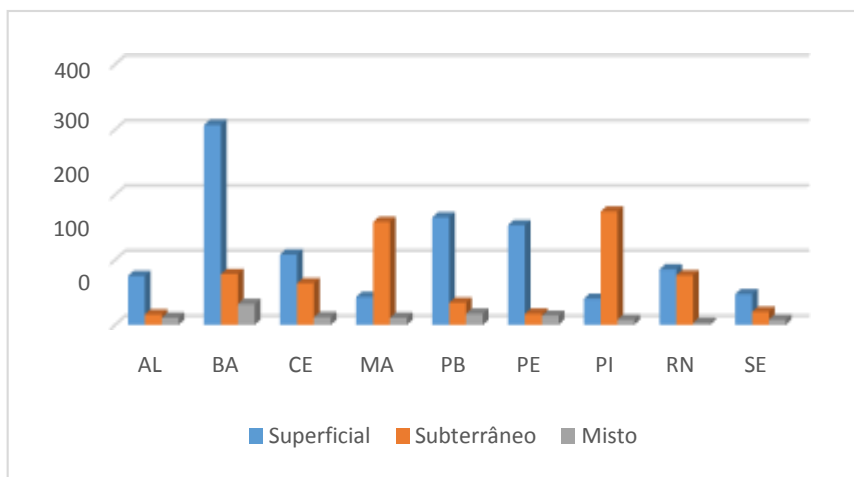
Gráfico 1- Tipos de mananciais no território brasileiro.



Fonte: Adaptado do Atlas Brasil, 2010.

Nota-se no gráfico 2 que dos nove estados do Nordeste apenas o Maranhão e o Piauí tem predominância de abastecimento por manancial subterrâneo.

Gráfico 2 - Estados da região nordeste por tipo de manancial.



Fonte: Adaptado Atlas Brasil, 2010.

De acordo com Atlas Brasil (2010), o desenvolvimento de uma sociedade está diretamente relacionado à disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes, o que faz da proteção aos mananciais uma necessidade que se impõe como universal.

4.5 Captação

A captação pode ser entendida como o conjunto de instalações e equipamentos que tem por finalidade criar as condições necessárias para a retirada de água do manancial em quantidade e qualidade suficientes para atender às demandas dos usuários (WRUBLESK, 2018). A captação de água para consumo humano pode ser feita em manancial superficial ou subterrâneo. A superficial é feita em diferentes mananciais, tais como, rios, fontes, lagos, açudes, etc. Já a subterrânea é basicamente o uso de aquíferos confinados e não confinados (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo o Instituto Trata Brasil, 52% dos municípios brasileiros usam águas subterrâneas para o abastecimento, 36% usam exclusivamente esse abastecimento e cerca de 16% usam em parte essas águas. Dos 172 milhões de brasileiros que têm acesso à rede pública de água, somente 17,7% são servidos por águas subterrâneas e o restante (82,3%), são atendidos pelas águas superficiais. Essa magnitude se dá pelo fato de que geralmente as cidades de grande porte são abastecidas pelas águas superficiais (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019).

4.6 Estação Elevatória

Estação elevatória é o conjunto de obras e aparelhos essenciais na captação, adução,

tratamento e rede de distribuição para recalcar a água a cotas mais elevadas ou aumentar pressões em adutoras. Quando destinadas a conduzir águas sem tratamento, são denominadas de elevatórias de água bruta. Quando a água conduzida já passou pelo tratamento são chamadas de elevatórias de água tratada (ARAÚJO, 2014).

Uma estação elevatória é de extrema importância, conforme mencionado por Tsutiya (2006), dentro de um sistema de abastecimento de água, pois pode ser utilizada desde a captação, adução, tratamento e distribuição da água.

4.7 Adutora

Adutora é uma tubulação ou um canal pelo qual a água será conduzida entre as unidades que anteriorizam a rede de distribuição. As adutoras são associadas à captação, estação de tratamento e reservatório, sendo responsáveis pelo transporte da água entre as unidades do sistema de abastecimento, mas elas não distribuem água a população (WRUBLESKI, 2018).

Podem ser classificadas quanto à natureza da água transportada, podendo ser adutora de água bruta, na qual a água transportada ainda não passou pelo tratamento, ou adutora de água tratada, localizada a jusante da Estação de Tratamento de Água (ETA) (PINTO, 2020).

As adutoras também podem ser classificadas, quanto à energia utilizada para o escoamento da água, em: adutora por gravidade, por recalque e mista. A primeira aproveita o desnível entre as duas extremidades da adutora para transportar a água; a segunda precisa de um meio para elevar a água, como um conjunto motobomba, por exemplo; e a última é basicamente quando se utiliza a gravidade até certo ponto, e o recalque quando a primeira deixa de surtir efeito no transporte da água (TSUTIYA, 2006).

4.8 Tratamento

O tratamento de água é responsável por enquadrar a água captada do manancial aos padrões de potabilidade definidos na Portaria Nº 2.914/2011, para então ser distribuída à população, ou seja, é aqui que a água se tornará potável para poder ser usada para consumo humano. O tratamento de água pode ser feito de várias formas. Em cada caso, é necessário escolher o sistema de tratamento adequado para atingir os modelos legais de abastecimento público (WETTERS et al., 2020).

Conforme a FUNASA (2015), a necessidade de tratamento da água extraída do manancial pode variar de tratamento convencional, tratamento completo ou tratamento avançado, até somente

a simples desinfecção, dependendo das particularidades físico-químicas e bacteriológicas da água em questão. O quadro 1 mostra os principais processos e operações unitárias de tratamento de água para abastecimento.

Quadro 1 - Principais processos e operações unitárias de tratamento de água para abastecimento.

Processo/ operação unitária	Descrição/finalidade
Micropeneiramento	Passagem da água por peneiras com malhas de pequena abertura, visando a remoção de material particulado.
Oxidação/aeração	Oxidar matéria orgânica e inorgânica presente na água, facilitando sua remoção posterior.
Adsorção	Remover compostos orgânicos e inorgânicos indesejáveis, incluindo os que causam sabor e odor, fazendo a água entrar em contato com uma substância adsorvente (em geral carvão ativado).
Troca iônica	Destinado a remover contaminantes inorgânicos presentes na água, fazendo-a passar por uma coluna contendo material sintético especial (resina).
Coagulação	Adição de coagulante, visando desestabilizar impurezas presentes na água e facilitar o aumento do tamanho das mesmas na etapa de floculação.
Floculação	Agitação da água realizada após a coagulação, com o objetivo de promover o contato entre as impurezas e, assim, aumentar o tamanho das mesmas.
Decantação	Passagem da água por tanques, no fundo dos quais as impurezas ficam depositadas.
Flotação	Arraste das impurezas para a superfície de um tanque, por meio da ação de microbolhas.
Filtração em meio granular	Remoção de material particulado presente na água, fazendo-a passar por um leito contendo meio granular (usualmente areia e/ou antracito).
Filtração em	Remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos, incluindo material dissolvido, passando a água por membranas com abertura de filtração inferior a 1 μ m.
Desinfecção	Processo destinado a inativar microrganismos patogênicos presentes na água.
Abrandamento	Processo destinado a reduzir a dureza da água e remover alguns contaminantes inorgânicos.
Fluoretação	Adição de compostos contendo o íon fluoreto, com a finalidade de combater a cárie infantil.
Estabilização química	Acondicionamento da água, com a finalidade de atenuar efeitos corrosivos ou incrustantes no sistema abastecedor e nas instalações domiciliares.

Fonte: Heller e Pádua, 2010.

4.9 Reservatório

Segundo Araújo (2014), os reservatórios de um sistema de abastecimento de água realizam a regularização entre as vazões de adução e de distribuição, contribuem para manter as pressões adequadas na rede de distribuição, bem como, quando necessário, garantem a reserva para combate a incêndios e outras situações de emergência. Os reservatórios podem ser classificados com relação

à sua localização no sistema de abastecimento e no terreno e quanto à forma construtiva e o material.

De acordo com sua localização no sistema de abastecimento de água, os reservatórios podem ser de montante ou de jusante. O reservatório a montante é por onde passa toda a água distribuída a jusante, têm entrada por sobre o nível máximo da água e saída no nível mínimo e são dimensionados para manterem a vazão e a altura manométrica do sistema de adução constante. Já o reservatório a jusante serve para armazenar água em dias que a demanda é pequena, e usar a água quando necessário (TSUTIYA, 2006).

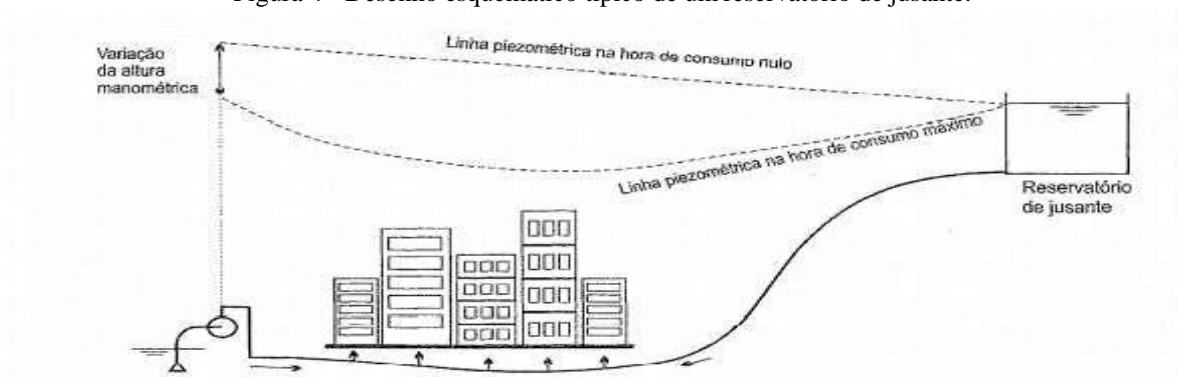
Com relação à sua localização no terreno, os reservatórios podem ser elevados, apoiados, semienterrados e enterrados. Os reservatórios elevados são construídos acima da cota do terreno e são alimentados por estações elevatórias. Os reservatórios enterrados, como propriamente ditos são aqueles construídos abaixo do nível do terreno. Os semienterrados são construídos pelo menos um terço de altura abaixo da cota do terreno. E por fim, os apoiados são aqueles que menos de um terço da altura está abaixo do nível do solo (HELLER; PÁDUA, 2010). As Figuras 3 e 4 mostram os dois tipos de reservatório.

Figura 3 - Desenho esquemático típico de um reservatório de montante.



Fonte: Heller e Pádua, 2010.

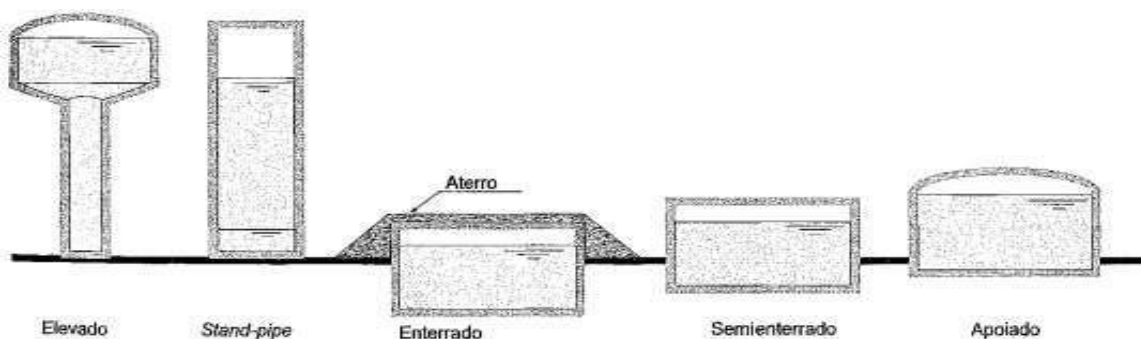
Figura 4 - Desenho esquemático típico de um reservatório de jusante.



Fonte: Heller e Pádua, 2010.

Com relação à sua localização no terreno, os reservatórios podem ser elevados, apoiados, semienterrados e enterrados. Os reservatórios elevados desse tipo são construídos acima da cota do terreno e são alimentados por estações elevatórias. Os enterrados, como propriamente ditos, são aqueles construídos abaixo do nível do terreno. Os semienterrados são construídos pelo menos um terço de altura abaixo da cota do terreno. E por fim, os apoiados são aqueles que menos de um terço da altura está abaixo do nível do solo, conforme a Figura 5 (HELLER; PÁDUA, 2010).

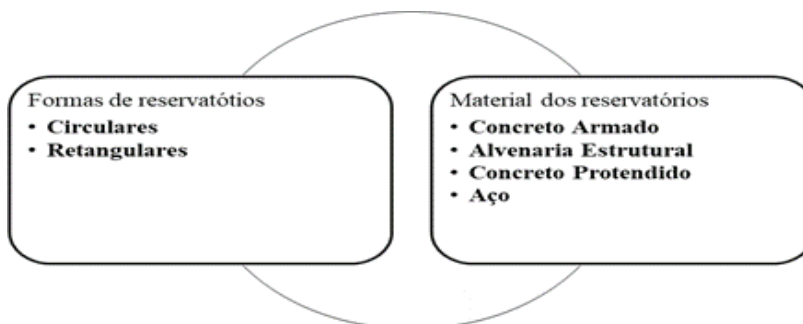
Figura 5 - Tipos de Reservatórios.



Fonte: Heller e Pádua, 2010.

O Fluxograma 1 detalha as formas e os materiais dos reservatórios.

Fluxograma 1 – Tipos de formas e material dos reservatórios.



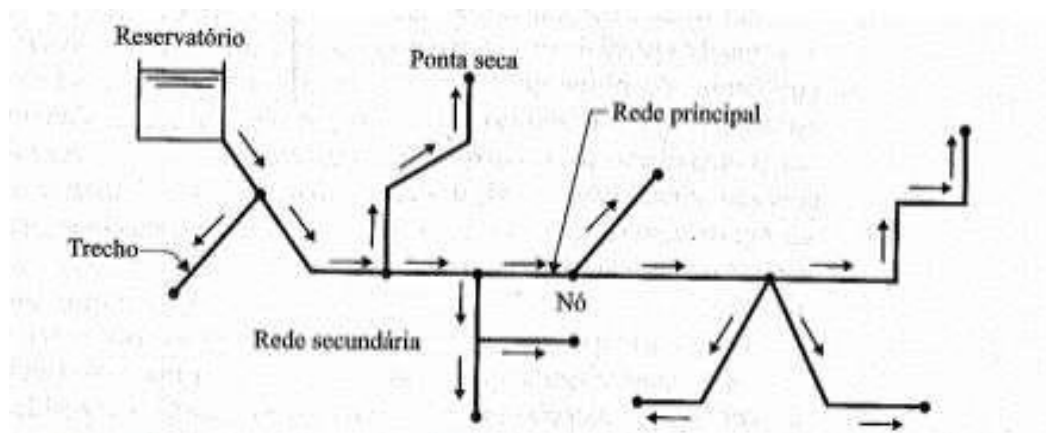
Fonte: Adaptado do Tsutiya, 2006.

4.10 Rede de distribuição

A rede de distribuição é responsável por fazer com que a água chegue a todos os beneficiários previstos no projeto. Segundo Tsutiya (2006), a rede de distribuição é composta pela rede principal, constituída por tubulações que têm objetivo de abastecer as canalizações secundárias que, por sua vez, são tubulações com diâmetro inferior ao da rede primária e abastecem os pontos de consumo do SAA.

Outra classificação das redes de distribuições leva em consideração o ordenamento das canalizações e o sentido das mesmas. Por esse critério, as redes de distribuições podem ser ramificadas, malhadas ou mistas. A ramificada é caracterizada por áreas em contornos lineares onde as ruas não se unem por alguma razão seja por questões topográficas ou pelo traçado, conforme mostra a Figura 6. Nesse tipo de rede, os condutos principais são dispostos segundo a direção predominante da área e os condutos secundários deles derivam (HELLER; PÁDUA, 2010).

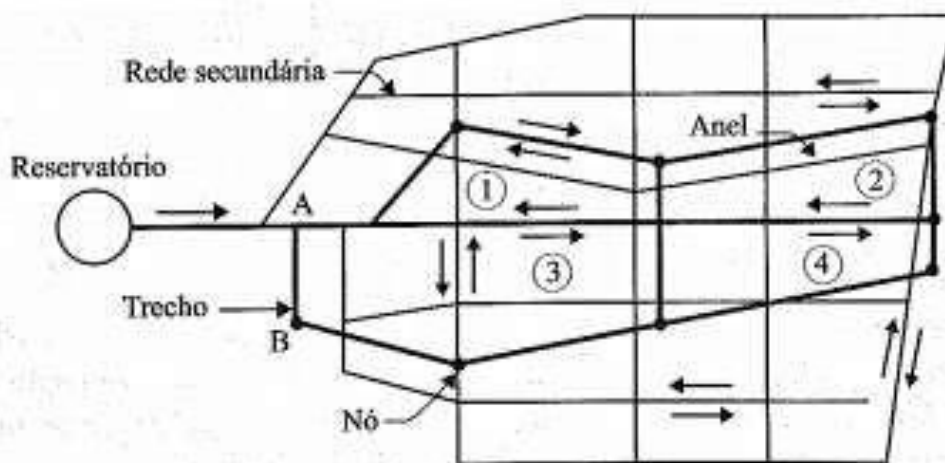
Figura 6 - Esquema de rede ramificada.



Fonte: Tsutiya, 2006.

A rede malhada pode ser no formato de anéis ou blocos. É caracterizada por opções de percursos alternados, sendo assim com o mínimo de interrupção no fornecimento igual representado na Figura 7. Entretanto, o custo de implantação é maior comparado com a rede anterior devido as quantidades de dispositivos e acessórios necessários para sua inserção (TSUTIYA, 2006).

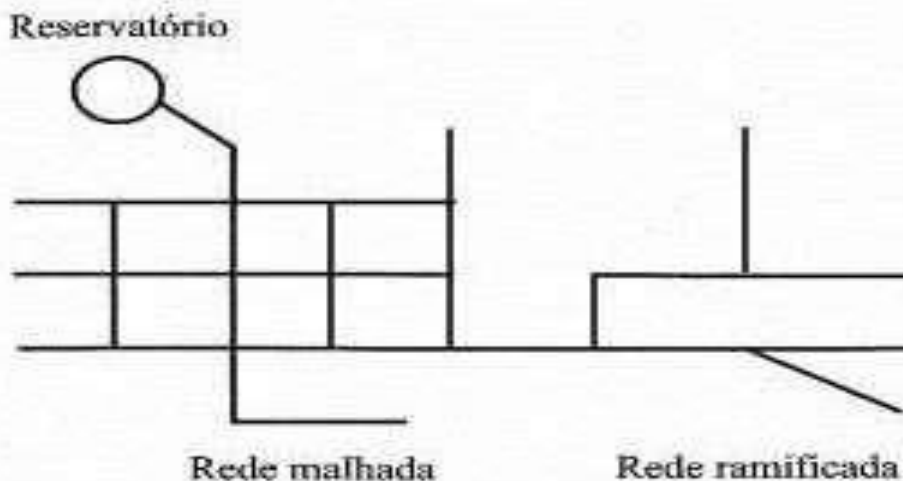
Figura 7 - Esquema de uma rede malhada.



Fonte: Tsutiya, 2006.

Segundo Tsutiya (2006), as redes de distribuição mistas resultam da combinação das redes ramificadas e malhadas. Dessa forma, é possível ocorrer o escoamento unidirecional e bidirecional simultaneamente, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Esquema de uma rede de distribuição mista.



Fonte: Tsutiya, 2006.

4.10.1 Dimensionamento de rede

Para iniciar o dimensionamento de uma rede de distribuição de água é necessário conhecer alguns fatores importantes relacionados ao consumo de água. De acordo com Tsutiya (2006), o dimensionamento de um sistema de abastecimento de água necessita das vazões, que dependem do consumo médio por habitante, da população a ser atendida, das variações de vazão e de outros possíveis consumos.

$$Q = \frac{K_1 K_2 P q}{86400} \quad (1)$$

Onde: Q = vazão, l/s;

K₁ = Coeficiente do dia de maior consumo;

K₂ = Coeficiente da hora de maior consumo;

P = população final para a área a ser abastecida, hab;

q = consumo per capita final de água, l/hab.dia

Para conseguir a vazão específica relativa à distância da rede, divide-se a vazão de distribuição da equação (1) pelo comprimento da rede e obtém-se a equação (2)

$$q_m = \frac{K_1 K_2 P q}{86400 L} \quad (2)$$

Onde o q_m = vazão de distribuição em marcha, l/s;

L = extensão da rede total, m;

Da mesma forma, para se obter a vazão específica relativa à área divide-se a equação (1) pela área a ser abastecida.

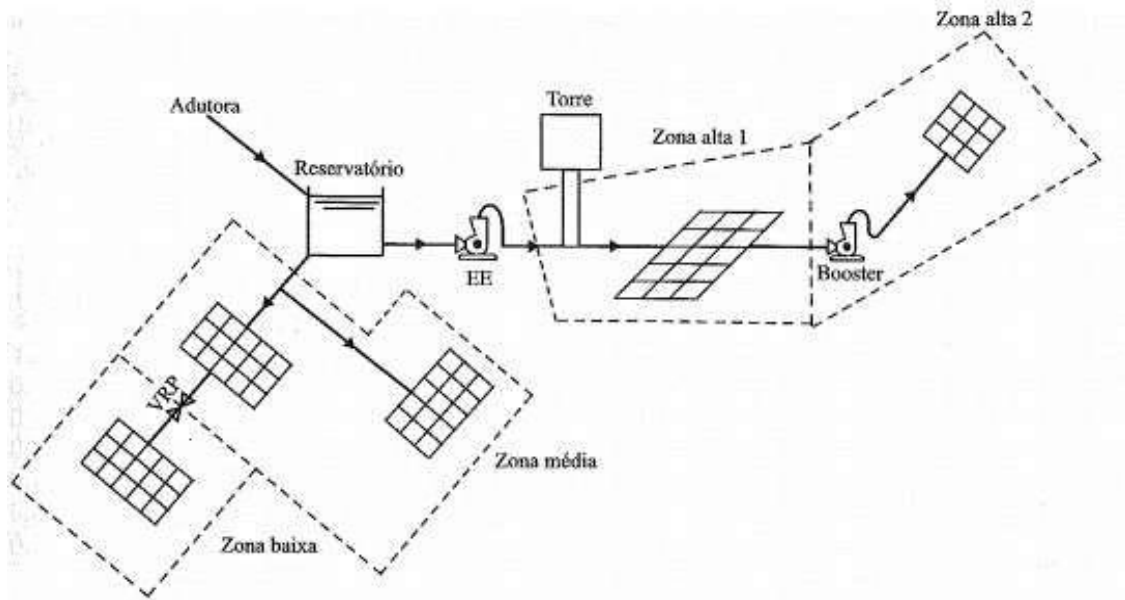
$$q_d = \frac{K_1 K_2 P q}{86400 A} \quad (3)$$

Onde o q_d = vazão específica de distribuição, l/s.ha;

A = área a ser abastecida, ha.

Para um dimensionamento de rede, é indispensável ter uma pressão dinâmica mínima de 100 kPa e uma estática máxima nas tubulações de 400kPa podendo alcançar até 500kPa em regiões com topografia irregular. Para atender tais limites, a rede de distribuição é subdividida em três zonas de pressão: alta, média e baixa. Na zona alta usa-se reservatório tipo elevado ou booster, já para as zonas média e baixa utiliza-se os reservatórios enterrados, semi-enterrado e apoiado ou válvulas redutoras de pressão (TSUTIYA, 2006). De acordo com a Figura 9.

Figura 9 – Esquema de abastecimento de água para atender as diversas zonas de pressão.



Fonte: Tsutiya, 2006.

Pela NBR 12218/2017, para o cálculo hidráulico nas tubulações deve ser levado em consideração o coeficiente Hazen Williams, o efeito do envelhecimento, incrustação e deposição nas paredes da canalização. O diâmetro nominal mínimo dos condutos secundários é de 50 mm. A velocidade admitida para a fase de enchimento da tubulação deve ser da ordem de 0,3 m/s.

Segundo Tsutiya (2006), para velocidades máximas admissíveis em projetos, utiliza-se a seguinte equação:

$$V_{m\acute{a}x} = 0,60 + 1,5D \quad \text{e} \quad V_{m\acute{a}x} = 2,0\text{m/s} \quad (4)$$

Onde: $V_{m\acute{a}x}$ = velocidade máxima, m/s

D = diâmetro da tubulação em m.

Para o dimensionamento de redes ramificadas, é necessário primeiramente conhecer o valor das vazões o sentido do fluxo e o diâmetro que são estabelecidos de acordo com a Tabela 1. Com os dados anteriores obtidos calcula-se os comprimentos nos trechos, coeficiente de rugosidade e pressões nos “nós”. Caso as pressões alcançadas forem aceitáveis, o dimensionamento está concluído. Caso contrário, pode-se alterar o nível de água (NA) ou altera-se os diâmetros para a rede e refaz os cálculos até as pressões estiverem dentro do aceitável (TSUTIYA, 2006).

Para a determinação da vazão nos trechos da rede conforme a equação (5), é necessário primeiramente, definir-se a vazão total da rede ($Q_{m\acute{a}x}$), em seguida, mede-se a extensão total da rede

(L) e, por fim, determina-se a taxa de consumo linear (TSUTIYA,2006).

$$q_m = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{L} \quad (5)$$

Iniciando das extremidades da rede onde as vazões são zero, de jusante para montante.

Em seguida, calcula-se a vazão de demanda do trecho: $q_m \times L$. Logos após, determina-se a vazão de montante que é igual ao valor de jusante mais a demanda do trecho.

Tabela 1- Velocidades máximas em função do diâmetro.

D (mm)	Vmax (m/s)	Qmax (l/s)
50	0,50	1,0
75	0,50	2,2
100	0,60	4,7
150	0,80	14,1
200	0,90	28,3
250	1,10	53,9
300	1,20	84,8
350	1,30	125,0
400	1,40	176,0
450	1,50	238,0
500	1,60	314,0
550	1,70	403,0
600	1,80	509,0

Fonte: Adaptado do Tsutiya, 2006.

4.10.2 Consumo de água

Segundo Heller e Pádua (2010), a capacidade das unidades de um sistema de abastecimento de água deve atender diversas demandas. Dentre elas estão: o consumo doméstico, comercial, industrial e público, bem como as demandas das unidades do próprio sistema, sem esquecer de levar em consideração as perdas, sendo estes diversos consumos expressos através do consumo per capita (L/hab.dia), que resulta da relação entre a demanda total a ser atendida e a população total.

De acordo com o 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos no ano de 2019, o consumo médio per capita de água no estado do Maranhão foi de 141,3 L/hab.dia, em 2018 foi de 136,5 L/hab.dia e em 2019 foi de 140,9 L/hab.dia, enquanto que as perdas na distribuição em relação aos sistemas sob responsabilidade da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) foram superiores a 60% nos anos de 2018 e 2019 (BRASIL, 2020).

De acordo com Heller e Pádua (2010), o cálculo da vazão é feito através da seguinte fórmula

$$Q(l/s) = \frac{P(\text{hab}) \times \text{qpc}(l/\text{hab.dia})}{86.400(\text{s/dia})} \quad (6)$$

Onde :

Q= vazão (l/s);

P= população (hab);

qpc=consumo per capita (L/hab.dia);

Para o dimensionamento das unidades do sistema, leva-se em consideração a população final de plano, bem como é necessário conhecer a variação populacional ao longo do tempo para estudos das etapas de implantação. A Funasa (2015) descreve três métodos matemáticos para cálculo de projeção populacional, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Métodos matemáticos utilizados na projeção populacional.

Método	Fórmula da Projeção	Coefficiente
Projeção aritmética	$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$	$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0}$
Projeção geométrica	$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$ ou $P_t = P_0 \cdot (1 + i)^{(t - t_0)}$	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$ ou $i = e^{K_g} - 1$
Crescimento logístico	$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{K_l \cdot (t - t_0)}}$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $c = (P_s - P_2) / P_0$ $K_l = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[\frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right]$

Fonte: Funasa, 2015.

De acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), as variações de consumo de água são derivadas de diversos fatores como: o porte da localidade, a renda, o clima, e devem ser consideradas na determinação da vazão de projeto. As variações de vazão que serão utilizadas para o cálculo do volume demandado serão:

- Variações anuais – ocorrem devido ao aumento populacional.
- Variações mensais – advém de dias com o clima mais quente onde será necessário um consumo maior de água.
- Variações diárias – durante todo o ano terá um dia onde o consumo foi grande, nesse caso, utiliza-se um coeficiente do dia de maior consumo. A relação entre o maior consumo diário verificado e a vazão média diária anual fornece o coeficiente do dia de maior consumo (k1). Seu valor varia entre 1,2 e 2,0 dependendo das condições locais, no Brasil é utilizado o

valor de $K_1 = 1,20$, que o mesmo é usado no cálculo de todas as unidades do sistema.

- Variações horárias – No decorrer do dia percebe-se alterações no consumo de água, onde tem maior vazão de consumo no período das refeições e uma baixa durante a madrugada. O coeficiente K_2 é utilizado no momento de maior consumo que é uma associação entre o máximo consumo horário e o consumo médio horário do dia de maior consumo. O valor também oscila bastante, podendo variar entre 1,5 e 3,0 o valor de K_2 usado para fins de projeto é de 1,50.

4.11 Sistema De Informações Geográficas (SIG)

Segundo Ristow (2014), dentre as várias tecnologias de geoprocessamento, o SIG vem ganhando destaque ao longo do tempo. O SIG se caracteriza por ter a capacidade de relacionar dados espaciais entre objetos geográficos, diferenciando-se de um sistema CAD pelo fato de que o sistema CAD é uma ferramenta de desenho digital, enquanto o SIG é um sistema que processa informações espaciais.

A tecnologia SIG faz o armazenamento de informações, criando um banco de dados que possibilita a análise dessas informações em diversos formatos, facilitando o entendimento de uma grande quantidade de dados e, conseqüentemente, auxiliando na tomada de decisões que envolvem múltiplas informações (OLIVEIRA, 2009).

Nakamura e Junior (2010), definem o SIG como um sistema de base computacional que permite a coleta, manuseio e tratamento de dados georreferenciados, podendo ser entendido como a integração de hardware, software, dados, metodologias e recursos humanos operando na criação e análise de dados geográficos. É formado por várias camadas de informações, sendo cada camada composta por representações por ponto, linha ou polígonos, às quais vinculam-se atributos.

Pindiga e Sani (2015), afirmam que o SIG é uma combinação de hardware e software computacional capaz de compilar, armazenar, mapear, tratar e analisar informações referenciadas espacialmente, tendo como objetivo possibilitar um sistema de distribuição de água econômico, com manutenção e reparos adequados que garantam a segurança do sistema de abastecimento de água.

A relevância da tecnologia SIG permeia diversas áreas das ciências que trabalham com processos que se desenvolvem no tempo-espço, sendo utilizada por profissionais na execução de variadas atividades (MATIAS, 2001). De acordo com Oliveira (2009), os gestores municipais estão

cada vez mais entendendo o georreferenciamento como uma importante ferramenta auxiliar para a tomada de decisões relacionadas à distribuição de água e ao esgotamento sanitário.

No entendimento de Shamsi (2004), o SIG tem grande aplicabilidade para estudos de sistemas de abastecimento de água, possibilitando a representação e análise dos fenômenos hidráulicos, como uso de informações geográficas de mapeamento, modelagem e gerenciamento de instalações, dentre outras ferramentas, contribuindo para a melhoria da gestão do sistema. De acordo com Nagarajan e Charhate (2017), o SIG é utilizado para propiciar a visualização das fontes alimentadoras (reservatórios, rios, poços), bem como para conceituar toda a rede de distribuição (tubulações, nós, válvulas, bombas).

Ristow (2014) afirma que o objetivo geral do SIG é ser uma ferramenta para todas as áreas que precisem de informações geográficas, de forma a contribuir para a tomada de decisões de maneira que os serviços possam ser realizados de forma eficiente. A Figura 11 mostra a relação entre o SIG e várias áreas de conhecimento.

Figura 11– SIG e áreas de conhecimento.

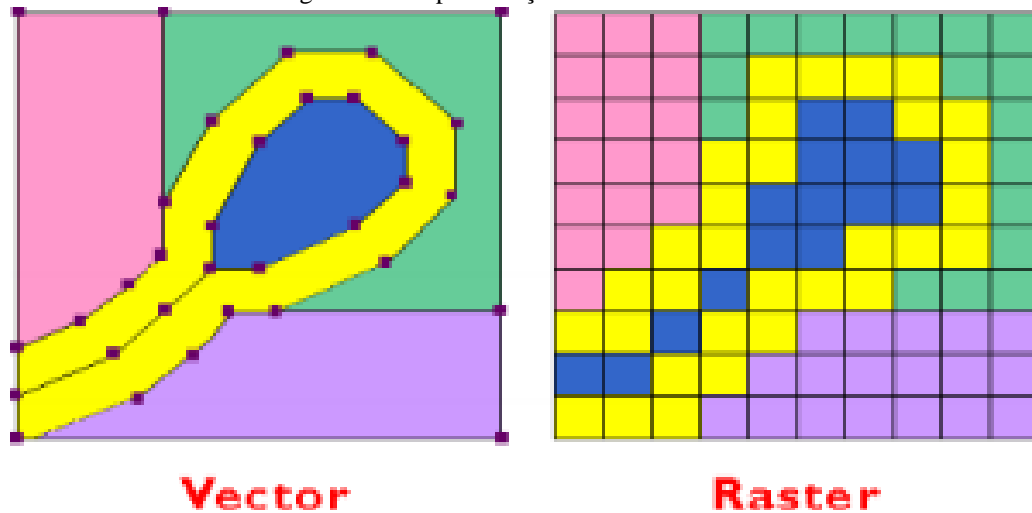


Fonte: Ristow, 2014.

O SIG normalmente utiliza dados espaciais do tipo vetorial ou raster, sendo que o tipo vetorial representa elementos reais, como casa, cursos d'água, árvores e tem sua representação gráfica dado por pontos, linhas e polígonos em um sistema de coordenadas, enquanto que no tipo raster os elementos estão relacionados a grupos de células com valores iguais ou pixels, no caso de imagens (JUNIOR, 2018).

A Figura 12 mostra um comparativo entre representações vetoriais e raster.

Figura 12 – Representações vetoriais e raster.



Fonte: Junior, 2018.

No formato de estrutura raster, trabalha-se com uma malha quadriculada na qual é construído célula a célula, ou pixel a pixel, o elemento representado. Já no caso da representação vetorial, os dados se apresentam como pontos, linhas e polígonos (RISTOW, 2014).

4.11.1 Modelo digital de elevação (MDE)

De acordo com Chaves (2002), muitos órgãos públicos e privados utilizam processos de restituição analógica ou digital de imagens aéreas, através de pontos cotados e curvas de nível, para representar o relevo em mapas topográficos. No Brasil, grande parte dos dados topográficos não foram convertidos para o formato digital, impedindo que sejam feitas análises em ambiente computacional. Dessa forma, é necessário que seja feita a transformação dos dados analógicos para o formato digital no intuito de gerar os Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Segundo Felgueiras,

Um modelo numérico de terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informações geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informações meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT. (FELGUEIRAS, 2001, p.173).

O autor ainda relaciona algumas utilidades do MNT, como a:

- Aplicação de dados altimétricos para a elaboração de mapas topográficos;
- Análise de serviços de terraplanagem em estradas e barragens;
- Apresentação tridimensional.

Chaves (2002, p. 8) define MDE como “qualquer representação digital de variação contínua do relevo no espaço. Modelar digitalmente uma superfície significa representá-la por meio de um método ou modelo matemático a partir de dados de altitude”. O autor ainda relata que as formas mais comuns de adquirir dados de altitude são os mapas topográficos digitais, os levantamentos de campo ou através do sensoriamento remoto.

De acordo com Pereira et al. (2019, p. 3), no Brasil os principais MDE disponibilizados gratuitamente são: “SRTM 1 arco de segundo, SRTM 3 arcos de segundo, TOPODATA, ASTER GEDEM, AW3D30 e ALOS PALSAR 12 m”. Outro ponto importante relatado pelo autor é relativo às limitações dos MDE pois, mesmo que as técnicas de sensoriamento remoto venham passando por constantes aprimoramentos, os MDE não estão livres de erros e incertezas quanto à resolução espacial e à forma de representação numérica dos MDE.

4.11.2 Quantum GIS (QGIS)

Segundo Júnior (2018), as informações georreferenciadas são muito úteis para vários tipos de estudos e profissionais, como engenheiros têm sido demandados com relação ao conhecimento sobre a manipulação dessas informações. Dalla Corte et al. (2020, p. 4) definem o QGIS como sendo “um software de sistema de informação geográfica (SIG) livre (segundo a Licença Pública Geral GNU) e de código aberto construído a partir do *Free and Open Source Software* (FOSS)”.

O termo “software proprietário” indica que o software garante direitos exclusivos para o produtor, sem possibilidade para alteração, sendo necessária permissão para seu uso, além de normalmente serem comercializados. Já o termo “software livre” serve para definir os softwares que não necessitam de permissão para uso, possibilitando alterações em seu código, garantindo que os usuários possam fazer melhoramentos no mesmo (RISTOW, 2014).

De acordo com Reger (2017), o software de código fechado não possibilita que sejam feitas alterações pelos usuários, enquanto que o software de código aberto pode possibilitar uma colaboração entre os usuários de forma que o software seja constantemente melhorado.

O QGIS possui uma interface amigável e maleável a customizações e preferências dos usuários. Além disso, o QGIS permite a instalação de ferramentas chamadas Plugins, que estão constantemente sendo desenvolvidas para realizarem os mais diversos tipos de tarefas (JUNIOR, 2018).

De acordo com Valdiviezo (2019), é importante conhecer alguns conceitos relacionados ao

QGIS, dentre eles:

- a. Base de dados é o conjunto de dados estruturados que permitem o armazenamento, consulta e atualização em sistema informático.
- b. Banco de dados alfanumérico é o banco de dados contendo atributos de objetos espaciais. Neste projeto, alguns dos atributos são: diâmetro dos tubos, estado de conservação dos componentes do sistema de rede, função do tubo, etc.
- c. Base de dados geográfica é uma representação da realidade territorial que contém dados sobre posição, relações espaciais e tipos de entidades geográficas, que são pontos, linhas e polígonos.
- d. Dados GIS é a informação usada em um SIG geralmente tem um aspecto geográfico (coordenadas). Uma característica comum do GIS é que eles permitem que você associe informações (dados não geográficos) com lugares (dados geográficos). Na verdade, o aplicativo GIS pode armazenar uma grande quantidade de dados associados a cada local, algo que não é possível em mapas de papel.
- e. Dados vetoriais são estruturas de dados utilizadas para armazenar dados geográficos de elementos construídos a partir de vértices como uma série de pares de coordenadas X, Y na memória do computador. Geralmente são usados para representar pontos, linhas e áreas.
- f. Dados raster são armazenados como uma grade de valores. Existem muitos satélites orbitando a Terra e as fotos que eles tiram são um tipo de dados raster que podem ser visualizados em um GIS. Uma diferença importante entre dados raster e vetoriais é que, se você chegar muito perto de uma imagem raster, ela começará a parecer em blocos. Na verdade, esses blocos são as células da rede de dados que compõem a imagem raster.
- g. Arquivo de forma é o formato de dados vetoriais mais popular, que salva a localização dos elementos geográficos e seus atributos associados. Esses elementos geográficos podem ser representados a partir de uma camada do tipo ponto, linha ou polígono. Shapefiles são fáceis de enviar e a maioria dos softwares GIS pode lê-los. No navegador, os arquivos de forma terminam com a extensão (.shp).
- h. Add-ons (plugins) são programas que se acoplam e se adaptam a outros, melhorando sua funcionalidade e complementando-os, contribuindo assim com novas funcionalidades e facilitando assim o trabalho do usuário. Desta forma, o QGIS foi projetado com uma arquitetura de plug-in, o que permite que muitos novos recursos e funções possam ser

facilmente adicionados ao aplicativo. Na verdade, muitas das funções do programa são implementadas como plugins, que rondam os 600.

- i. OpenLayers Plugin é uma ferramenta que permite adicionar imagens e camadas de dados do Google Maps, Bing Maps, MapQuest, OpenStreetMap e Apple Maps diretamente do web. Entre os mapas ativados pelo plugin OpenLayers no QGIS temos: Google Satellite: exhibe as fotos de satélite do Google Earth. Os rótulos de rota e recurso não são visíveis.

Algumas instituições já disponibilizam arquivos no formato shapefile, que podem ser utilizados para realização de trabalhos em diversas áreas. A Prefeitura Municipal de Londrina, no estado do Paraná, disponibiliza no seu site mapas no formato shapefile, como pode ser visto na figura 13, possibilitando a utilização desses mapas no QGIS.

Figura 13- Portal da prefeitura de Londrina com arquivos em formato shapefile.



Fonte: Prefeitura de Londrina, (2021)

4.11.3 Plugin QWater

O QWater se apresenta como uma ferramenta importante para estudos relacionados a rede de distribuição de água. Segundo Moreira, o

QWater é um plugin que usa o plugin GHydraulics (embutido, sem necessidade de instalá-lo) de Steffen Macke. Permite desenhar e analisar redes de abastecimento de água utilizando EPANET (sem necessidade de instalação). Ele permite escrever arquivos EPANET INP, bem como executar uma simulação EPANET completa através do QGIS, com o carregamento dos dados do resultado. QWater contém uma

função para calcular diâmetros econômicos com base em determinados diâmetros e perda de carga máxima. As funções são acessíveis a partir do menu do plugin Quantum GIS e das barras de ferramentas. (Moreira, 2007)

O mesmo autor, em seu Guia de utilização do QWater, elenca as etapas que devem ser seguidas para a realização do dimensionamento de uma rede de distribuição de água da seguinte forma:

1. Preparação do QGIS: criar um projeto no QGIS, ajustar o sistema de coordenadas do projeto, criar os shapes de pontos e linhas, importar MDE a ser utilizado, relacionar os shapes criados ao tipo de informação do Epanet, informar os dados de projeto da rede a ser dimensionada;
2. Traçar a rede: localizar os reservatórios, definindo sua cota do terreno, locar os nós, preenchendo suas respectivas cotas, traçar os trechos, de montante para jusante, de acordo com o sentido de fluxo previsto;
3. Calcular a demanda: utilizar o ícone Calc Flow;
4. Realizar a simulação preliminar da rede: utilizar o ícone Run Epanet Simulation;
5. Otimizar os diâmetros da rede: utilizar o ícone Calculate economics diameter e em seguida realizar a simulação da rede com os diâmetros otimizados;
6. Ajustes finais: revisar os resultados e salvar o projeto;

4.12 Epanet 2.0

O Epanet 2.0 é um programa computacional que permite a realização de simulações estáticas e dinâmicas relacionadas ao comportamento hidráulico e à qualidade de água em redes de distribuição pressurizadas. É possível conseguir os valores das vazões em cada tubulação, pressão em cada nó, altura da água no reservatório. O software torna-se um meio de auxílio para as simulações e análises do sistema de distribuição, e surge também como um meio de gestão dos sistemas, de tal forma que sejam analisadas táticas e alternativas que possam ser consideradas garantindo bons resultados (ROSSMAN, 2009).

O Epanet 2.0 é uma das ferramentas de simulação de maior utilização por órgãos gestores e consultores, bem como por acadêmicos e estudantes. Este programa foi desenvolvido pela Agência de Proteção ao Meio Ambiente, nos Estados Unidos da América, para ser disponibilizado às pequenas e médias companhias de saneamento, para que pudessem usar essa

tecnologia de simulação a um custo reduzido, no sentido de auxiliar na manutenção de níveis de serviço adequados (VILAS-BOAS, 2008).

De acordo com Rossman (2009), a modelação de um sistema de distribuição de água através do Epanet 2.0 utiliza tipicamente os seguintes passos:

- Importar uma descrição-base do sistema a partir de um ficheiro de texto;
- Editar as propriedades dos objetos que constituem o sistema;
- Descrever as condições de operacionalidade do sistema;
- Selecionar um conjunto de opções de simulação;
- Visualizar os resultados da simulação;

Como conclusão da simulação, alcança as grandezas relativas às canalizações:

- Vazão;
- Velocidade Perda de carga (por 1000 metros (ou pés) de tubulação);
- Fator de resistência ou fator de Darcy-Weisbach;
- Valor médio da taxa de reação para o parâmetro de qualidade da água simulado (ao longo da tubulação);
- Concentração média do parâmetro de qualidade da água simulado (ao longo da tubulação);

De acordo com Rossman (2009), a perda de carga hidráulica na tubulação, em consequência do trabalho realizado pelas forças resistentes, pode ser determinada de acordo com uma das seguintes fórmulas:

- Fórmula de Hazen-Williams;
- Fórmula de Darcy-Weisbach ou Fórmula Universal;
- Fórmula de Chezy-Manning;

De acordo com a NBR 12.218, “O cálculo da perda de carga distribuída deve ser feito preferencialmente pela fórmula universal, considerando, também, o efeito do envelhecimento do material das tubulações da rede”.

5 METODOLOGIA

Neste trabalho, foi realizada uma pesquisa qualitativa de caráter exploratório. De acordo com Flick (2009), a pesquisa qualitativa prioriza o objeto de estudo como definidor para a escolha do método, permitindo uma ampla variedade de abordagens. Com relação à pesquisa exploratória, Gil (2008) relata que são utilizadas muitas vezes como ponto de partida de uma investigação mais ampla, pois permitem o desenvolvimento e esclarecimento de ideias que podem contribuir para estudos posteriores.

Para aquisição dos dados necessários para a elaboração do traçado do modelo da rede de distribuição e posterior dimensionamento da mesma e inclusão nos softwares QGIS e Epanet 2.0, foi feita uma busca no programa Google Earth Pro para localizar o bairro Vila Sá, no município de Fortaleza dos Nogueiras-MA. O traçado da rede utilizado como modelo nesse trabalho foi baseada na configuração das ruas e residências desse bairro.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado foi o ALOS PALSAR, que atende aos requisitos propostos nesse trabalho, devendo ser atualizado para MDE gerados por métodos precisos de levantamento planialtimétrico para projetos redes de abastecimento de água.

Em seguida, o arquivo salvo do Google Earth Pro com a imagem do bairro, os dados dos comprimentos dos trechos e o MDE foram inseridos no software QGIS onde foi realizado o traçado da rede, comprimentos e cotas e seu posterior dimensionamento com o uso do *plugin* QWater.

Concluída essa etapa, o modelo gerado foi exportado para o Epanet 2.0, onde foi feita uma simulação hidráulica e a análise dos resultados apresentados nos relatórios gerados pelo software, identificando as características do sistema de abastecimento para cada componente em estudo, como a vazão em cada trecho e a pressão em cada nó da rede.



6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Dados para dimensionamento da rede de distribuição

Para dar início ao dimensionamento da rede de distribuição utilizando os softwares QGIS e Epanet 2.0 foi necessário determinar alguns dados preliminares relativos ao bairro Vila Sá, que foram utilizados como modelo para o dimensionamento.

O quantitativo populacional foi obtido através do projeto do loteamento, com a distribuição das quadras e lotes do bairro. Com os dados em mãos, foi selecionada apenas uma parte do loteamento previsto e feita a contagem dos lotes, resultando 828 lotes sendo que só 176 estão com moradores. Foi adotado 5 habitantes/economia por se tratar de uma área urbana, de acordo com Corsan (2016), totalizando uma população de início de plano estimada de 880 moradores no bairro e uma população final de plano de 2700 conforme a Figura 14 retirada do QGIS onde mostra a população inicial e final, o diâmetro mínimo, os coeficientes k1 e k2.

Figura 14-Representação da população inicial e final, o diâmetro mínimo, os coeficientes k1 e k2.

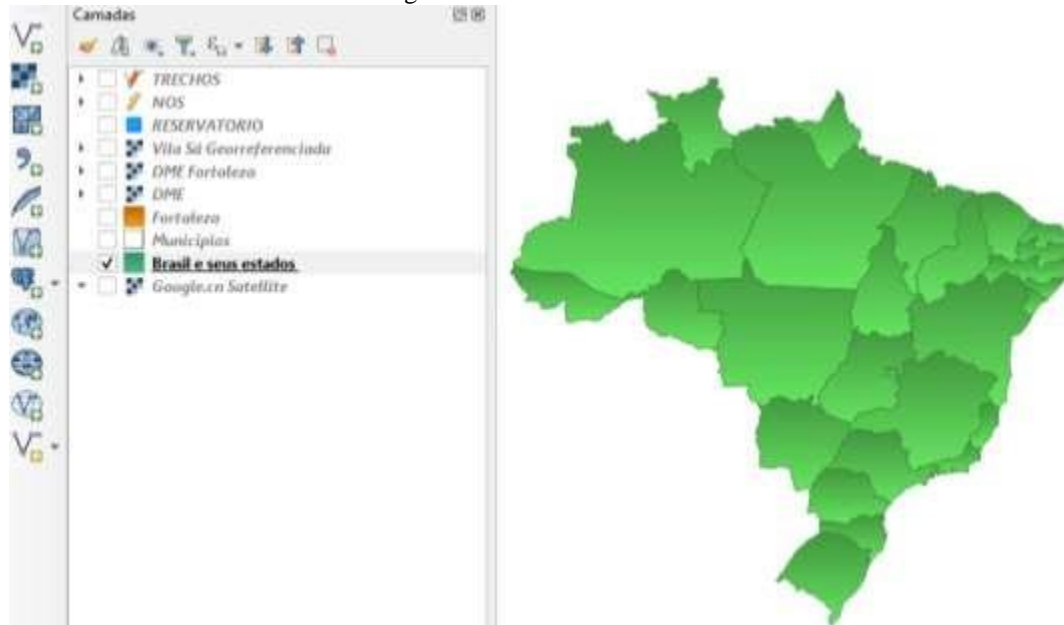
Data	Pipes	Calculations Options
Initial Population	<input type="text" value="880"/>	Per capita (L/cap.day) <input type="text" value="150"/>
Final Population	<input type="text" value="2700"/>	k1 (Max. Day) <input type="text" value="1.2"/>
Minimum Diameter (mm)	<input type="text" value="50"/>	k2 (Max. hour) <input type="text" value="1.5"/>
Minimum covering (m)	<input type="text" value="0.60"/>	Attendance Coefficient <input type="text" value="1.0"/>
		Calculated Initial Flow <input type="text" value="2.750"/> 
		Calculated Final Flow <input type="text" value="8.438"/>  Copy to clipboard

Fonte: Próprio Autor (2021).

6.2 Uso do QGIS para dimensionamento da rede

Primeiramente foi inserida a camada com o mapa do Brasil e seus estados, obtida no portal do IGBE. O arquivo referente ao mapa do Brasil é georreferenciado e serviu de base para o georreferenciamento das demais camadas. A Figura 15 mostra a camada aberta no QGIS.

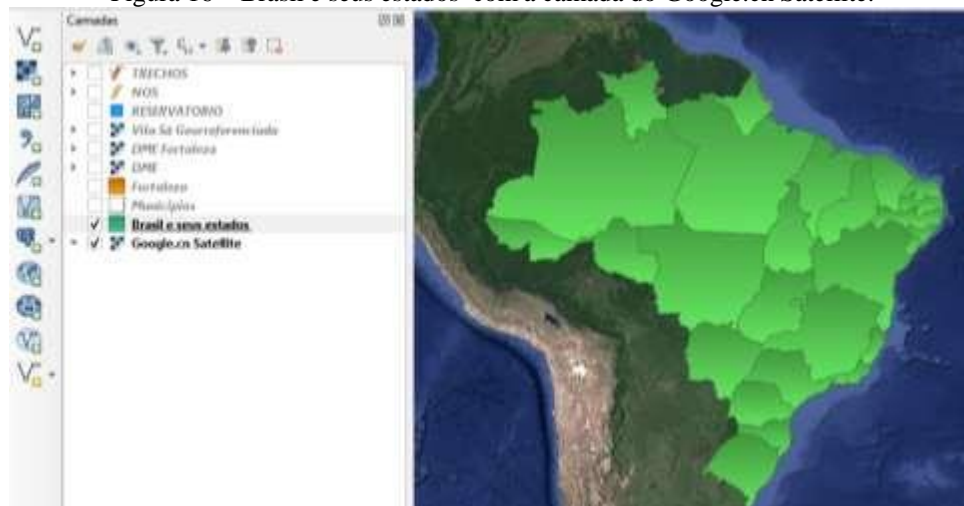
Figura 15 – Brasil e seus estados.



Fonte: Próprio Autor (2021).

Logo após, com a ferramenta QuickMapServices foi inserida a camada shapefile Google.cn Satellite, como mostra a Figura 16. Esse passo é necessário para a realização do georreferenciamento da imagem do loteamento do bairro Vilá Sá.

Figura 16 – Brasil e seus estados com a camada do Google.cn Satellite.



Fonte: Próprio Autor (2021).

Em seguida, foi coletado no Portal de Mapas do IBGE o arquivo em formato shapefile com os municípios do Estado do Maranhão. Ao inserir a camada do Estado do Maranhão com os municípios, selecionou-se como Sistema de Referências de Coordenadas (SRC) do projeto o

SIRGAS

2000/UTM zone 23S, que abrange a área em estudo, como mostra a Figura 17.

Figura 17 – Sistema de Referências de Coordenadas (SRC) SIRGAS 2000/UTM zone 23S.



Fonte: Próprio Autor, (2021).

Dando sequência aos procedimentos no QGIS, aplicou-se a ferramenta de Georrefenciamento, disponível na aba “Raster”, que permitiu o georreferenciamento da imagem e a criação da camada raster do loteamento em formato .tif, através do arquivo da imagem do Google Earth Pro, salvo anteriormente. A Figura 18 mostra a imagem da Vila Sá georreferenciada pelo QGIS.

Figura 18 – Vila Sá georreferenciada pelo QGIS.



Fonte: Próprio Autor (2021).

Em seguida, foi adicionada no QGIS a camada raster em formato .tif, já georreferenciada, onde a mesma aparece corretamente localizada no mapa do Google Satélite,

como mostra a Figura 19.

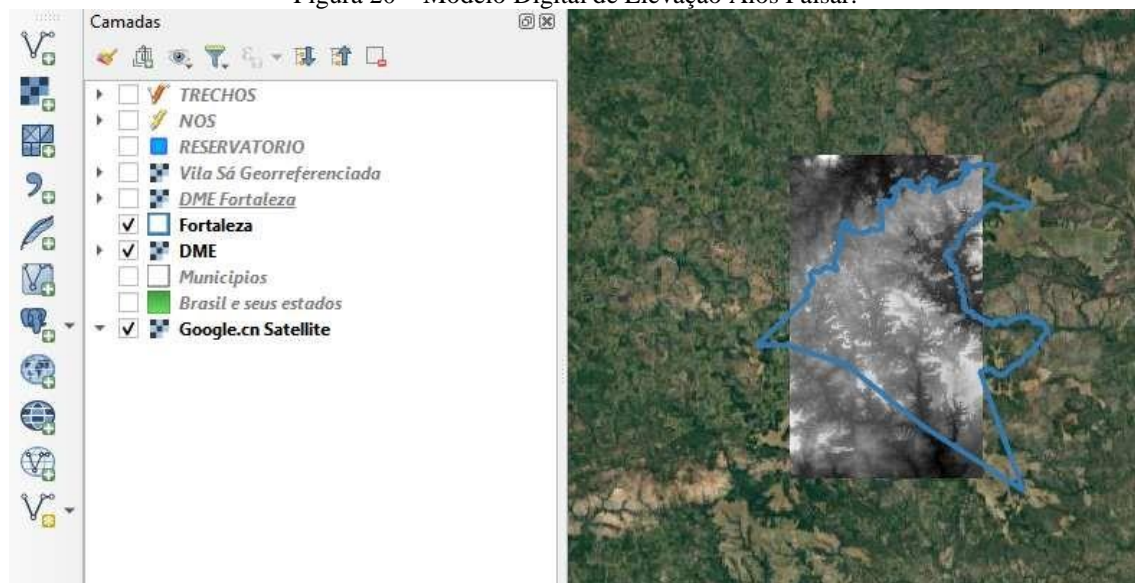
Figura 19 – Vila Sá georreferenciada em formato TIF localizada no mapa Google Satélite.



Fonte: Próprio Autor (2021).

Para iniciar o traçado da rede é preciso identificar as cotas do terreno para os nós do traçado da rede. Essas cotas foram obtidas através do Modelo Digital de Elevação Alos Palsar com resolução 12.5 metros. O MDE para a região em estudo pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 – Modelo Digital de Elevação Alos Palsar.



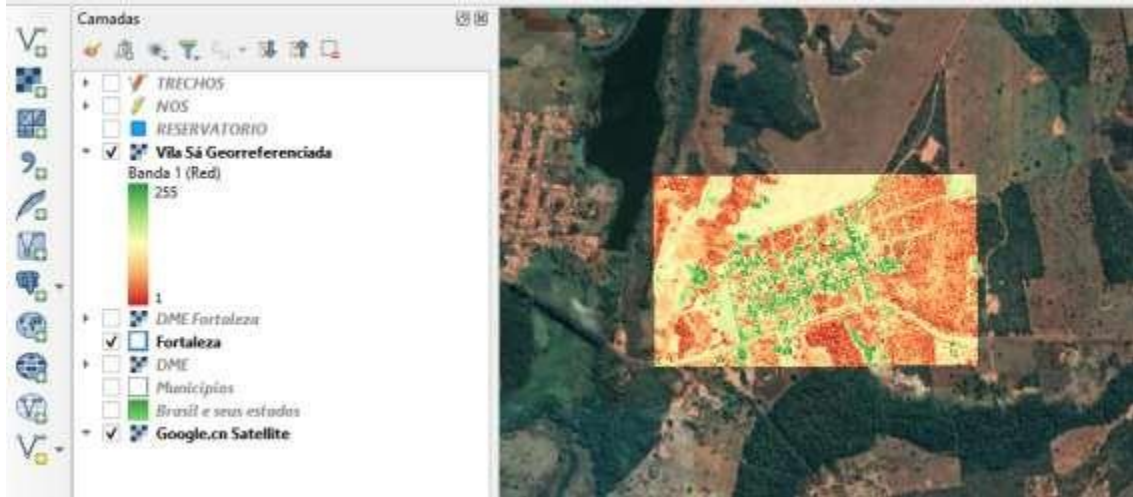
Fonte: Próprio Autor (2021).

O MDE Alos Palsar abrange uma área maior que a estudada. Dessa forma, foi feito um recorte através de uma ferramenta do QGIS para delimitar a área em estudo, conforme mostra a

Figura 21. Para fazer o recorte do MDE, utilizou-se a ferramenta Extrair, disponível na aba

Figura 21 – Recorte do MDE Alos Palsar delimitando a área de estudo.

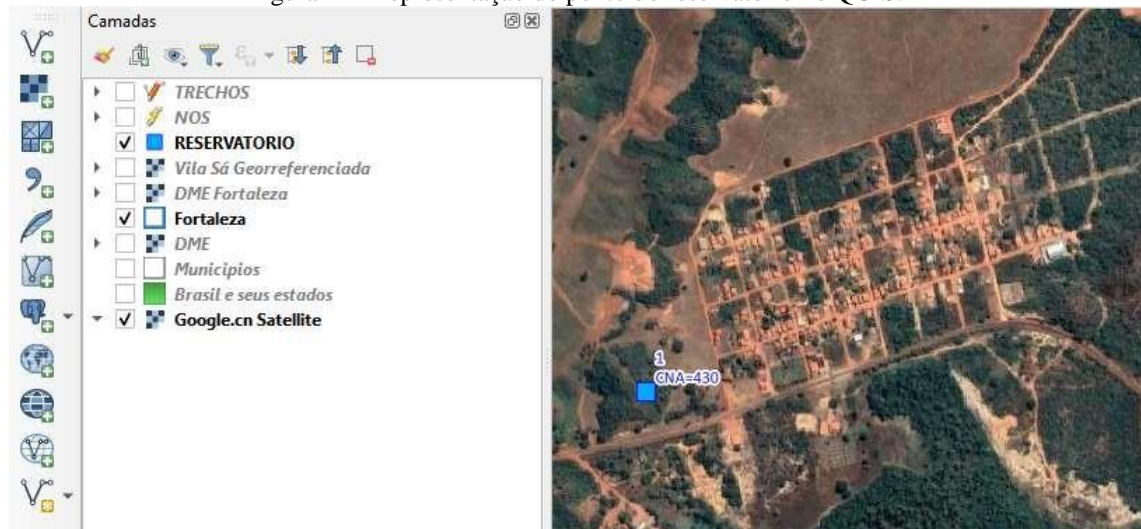
“Raster”.



Fonte: Próprio Autor (2021).

Para executar o traçado da rede utilizou-se o Plugin QWater. Inicialmente foram criadas três camadas shapefiles para os nós, reservatório e trechos, com uma geometria tipo ponto, ponto e linha, respectivamente. Com as camadas criadas, foi adicionado na camada do loteamento o ponto que representa o reservatório, localizado no ponto de maior cota, de acordo com a Figura 22.

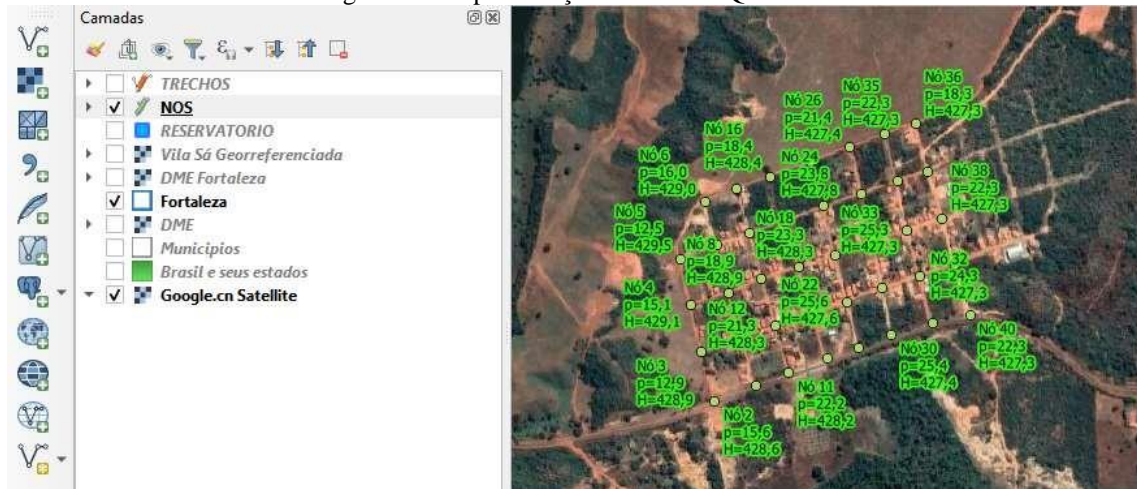
Figura 22– Representação do ponto do reservatório no QGIS.



Fonte: Próprio Autor (2021).

Foram acrescentados, logo em seguida, os nós, como indica a Figura 23.

Figura 23– Representação dos nós no QGIS.



Fonte: Próprio Autor (2021).

Para consultar o valor da cota do reservatório, utilizou-se a ferramenta Informação e clicou-se no ponto do reservatório para realizar a consulta. De posse do valor da cota, foi inserido esse valor na camada do reservatório, através da ferramenta *Open Attribute Table*, na coluna “HEAD”. Nos nós, foram extraídas automaticamente as cotas por meio do MDE Alos Palsar utilizando-se a ferramenta Get Elevation from Raster. Depois dessa etapa, clicou-se novamente em *Open Attribute Table* e a coluna *Elevation* onde verificou-se que todas as cotas estavam preenchidas com os dados do MDE conforme a Figura 24.

Tabela 2- Valores das cotas.

Nó	Elevação
2	413
3	414
4	414
5	417
6	413
7	412
8	410
9	410
10	410
11	406
12	407
13	409
14	409
15	413
16	410
17	405
18	405
19	405
20	405

Fonte: Próprio Autor (2021)

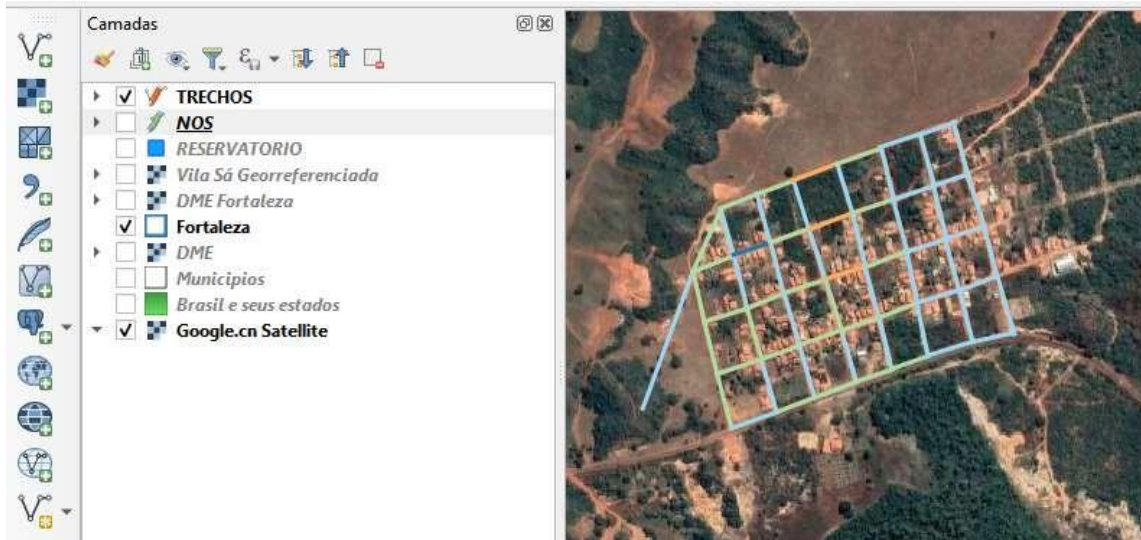
Antes de adicionar os trechos, foi necessário relacionar os shapes criados no QGIS aos tipo de informação do Epanet 2.0, clicando nos seguintes comandos: Complementos – QWater - Settings para associar *junctions* aos nós, *pipes* aos trechos e *reservoirs* ao reservatório. Ainda nessa ferramenta foi adicionada a população atendida atual e prevista da rede a traçar. Na aba *Pipes* foram definidas as características da tubulação utilizada, como diâmetro, rugosidade e pressão de serviço. Na aba *Calculations Options* a velocidade máxima da rede permitida é de 5 m/s e a opção de *Calculate Pipe Length* tem que estar marcada para o programa fazer o cálculo dos comprimentos dos trechos.

Para traçar os trechos foi necessário habilitar o rótulo de camada para apresentar o campo “DC_ID” e, em seguida, com a camada trecho ativada, iniciou-se a ligação entre os nós, sempre de montante para jusante. Em seguida, foram preenchidos os números dos trechos e relacionados os trechos aos nós, sempre da maior cota para a menor, como mostra a Figura

24. E por fim, para

preencher a tabela de atributos com valores de comprimento, diâmetro e rugosidade utilizou-se a ferramenta *Fill Up Fields* que calcula automaticamente esses valores.

Figura 24 – Representação dos trechos da rede de distribuição no QGIS.

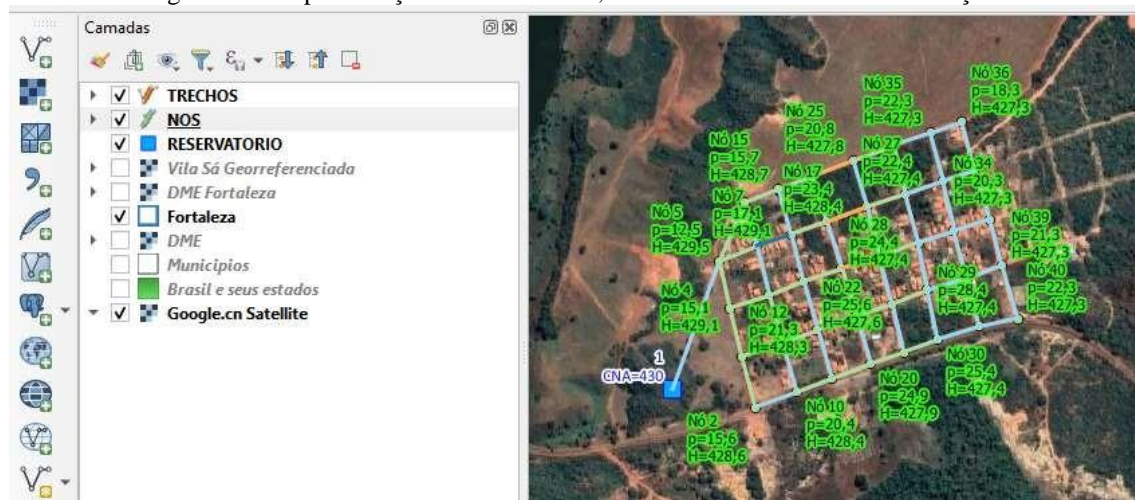


Fonte: Próprio Autor (2021).

Para o cálculo da demanda nos nós, fez-se uso da ferramenta *Calc Flow*. O próximo passo foi otimizar os diâmetros da rede na parte de *Calculate Economic Diameters* e, por fim, foi realizada a simulação básica preliminar da rede através da ferramenta *Run Epanet Simulation*. A simulação foi bem sucedida.

A Figura 25 mostra a representação final do modelo desenvolvido no QGIS, onde pode ser identificado o reservatório, os nós e os trechos, bem como os dados hidráulicos do sistema de abastecimento de água.

Figura 25 – Representação do reservatório, nós e trechos da rede de distribuição.



Fonte: Próprio Autor (2021).

As tabelas 3 e 4 mostram os valores obtidos na simulação no QGIS, os dados hidráulicos dos trechos e dos nós da rede como: comprimentos, diâmetros, rugosidade, velocidades, vazões, elevação, demanda, pressão.

Tabela 3 - Valores dos dados hidráulicos nos trechos.

Trecho	Nó 1	Nó 2	comprimento	Rugosidade	Vazão	Velocidade	DN
1	1	5	251,04	1	8,43	0,44	150
2	5	4	88,50	1	2,87	0,41	100
3	4	3	92,67	1	1,29	0,31	75
4	3	2	97,06	1	0,51	0,24	50
5	2	10	82,71	1	0,37	0,18	50
6	10	9	93,66	1	-0,31	0,16	50
7	3	9	78,71	1	0,58	0,28	50
8	4	8	77,51	1	1,39	0,34	75
9	8	9	91,03	1	0,54	0,26	50
10	5	7	74,80	1	3,46	0,49	100
11	7	8	94,60	1	1,08	0,26	75
12	5	6	118,08	1	1,51	0,34	75
13	6	7	82,94	1	-0,29	0,14	50
14	6	15	65,85	1	1,61	0,39	75
15	15	14	87,69	1	0,12	0,06	50
16	7	14	67,60	1	1,84	0,44	75
17	14	13	89,76	1	0,36	0,17	50
18	8	13	68,78	1	1,67	0,40	75
19	13	12	93,26	1	0,47	0,23	50
20	9	12	70,25	1	0,56	0,28	50

Fonte: Próprio Autor, (2021).

Tabela 4 - Valores dos dados hidráulicos nos nós.

Nó	Elevação	Demanda	Pressão
2	413	0,14	15,5
3	414	0,20	12,8
4	414	0,20	15,1
5	417	0,58	12,5
6	413	0,20	15,9
7	412	0,24	17,1
8	410	0,25	18,8
9	410	0,25	18,5
10	410	0,18	20,4
11	406	0,17	22,1
12	407	0,25	21,2
13	409	0,24	19,5
14	409	0,23	19,6
15	413	0,16	15,6
16	410	0,17	18,4
17	405	0,24	23,4
18	405	0,24	22,9
19	405	0,24	24,9
20	403	0,17	25,6

Fonte: Próprio Autor, (2021).

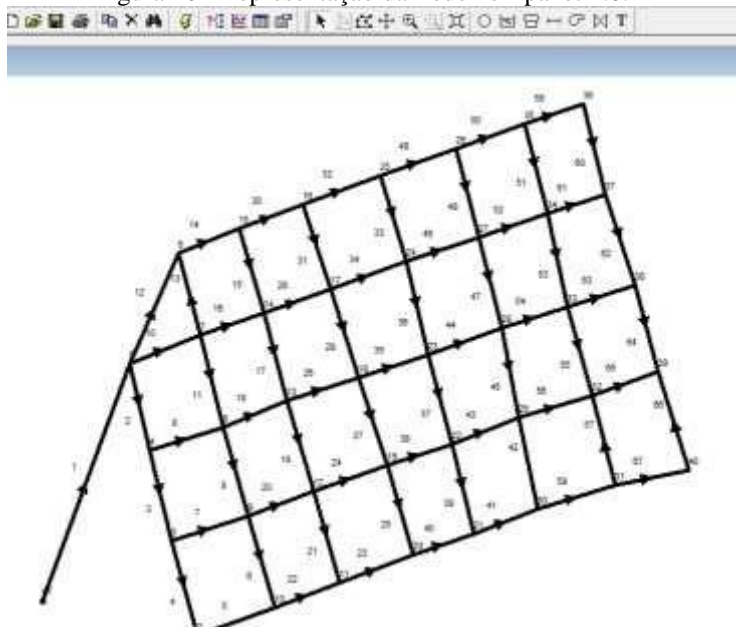
6.3 Exportação da rede do QGIS para o Epanet e realização de simulação.

Após o término do dimensionamento da rede no QGIS, os dados foram salvos em formato

.inp, compatível com o Epanet 2.0, programa responsável por realizar a simulação hidráulica.

A Figura 26 mostra a rede exportada do *software* QGIS para o Epanet 2.0.

Figura 26 - Representação da Rede no Epanet 2.0.



Fonte: Próprio Autor, 2021.

Através do Epanet, foi gerado um resumo das características da rede de distribuição exportada do QGIS, onde pode ser visualizada a quantidade de reservatórios de nível fixo e variável, nós, trechos, bombas, válvulas e a unidade de vazão adotada, como mostra a tabela 5 a seguir.

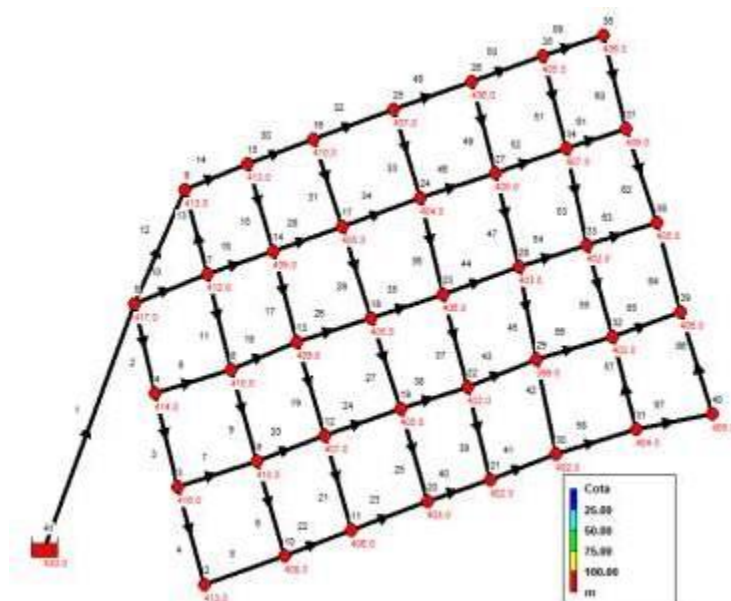
Tabela 5- Quantidade de Nós, Reservatórios e Trechos.

Nº de Nós	Nº de RNF	Nº de trechos	Unidade de Vazão
39	1	67	l/s

Fonte: Próprio Autor, 2021.

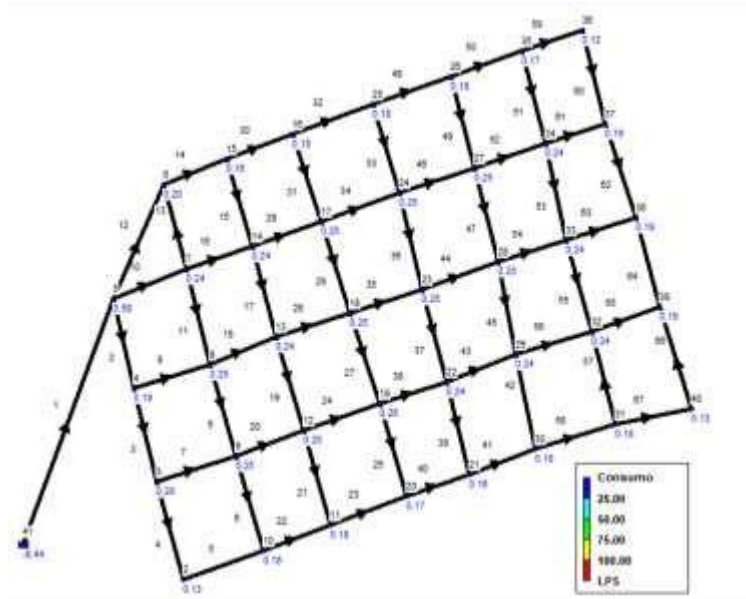
O passo seguinte é executar a simulação da rede no Epanet 2.0. As Figuras a seguir mostramos resultados desta.

Figura 27- Representação da rede de distribuição com as cotas.



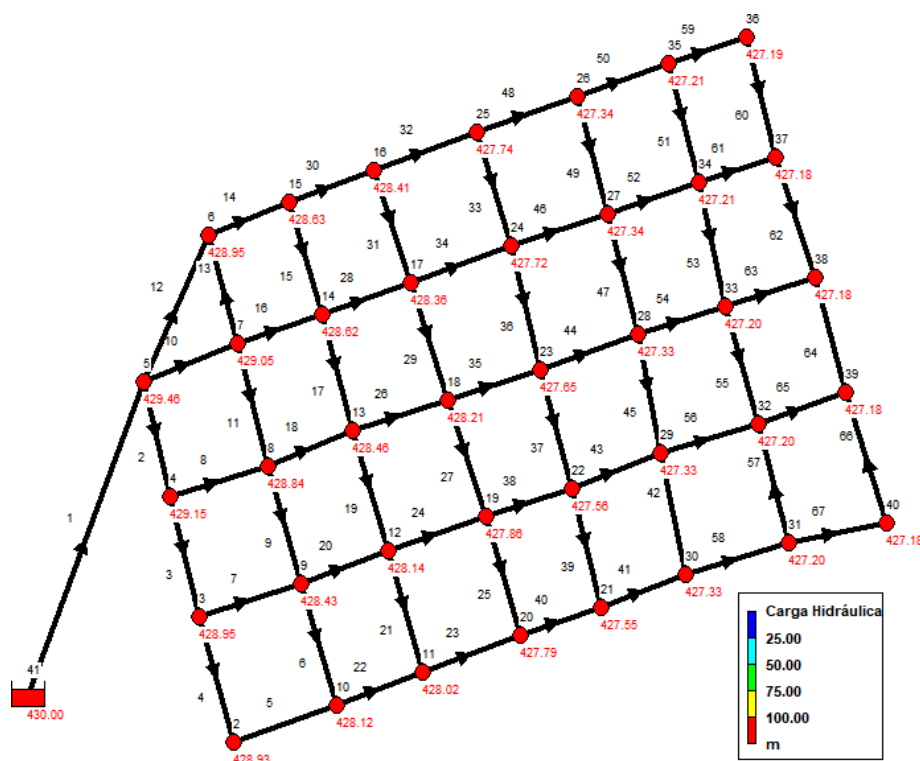
Fonte: Próprio Autor, 2021.

Figura 28- Representação da rede de distribuição com o consumo.



Fonte: Próprio Autor, 2021.

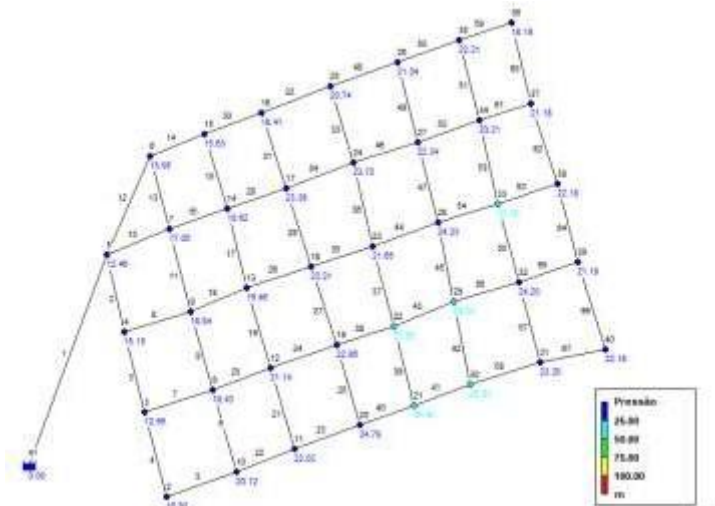
Figura 29- Representação da rede de distribuição com a carga hidráulica.



Fonte: Próprio Autor, 2021.

A Figura 30 mostra a representação da rede de distribuição com as pressões dentro do limite estabelecido na NBR 12218, onde a mínima é de 10 m.c.a e a máxima de 50 m.c.a.

Figura 30- Representação da rede de distribuição com as pressões nos nós.



Fonte: Próprio Autor, 2021.

O Epanet gerou uma tabela com os dados referentes aos nós da rede, onde pode ser verificado os valores de cota, consumo, carga hidráulica e pressão, como mostra a tabela a seguir.

Tabela 6- Valores da Cota, Consumo, Carga Hidráulica e Pressão obtidos na simulação no Epanet 2.0.

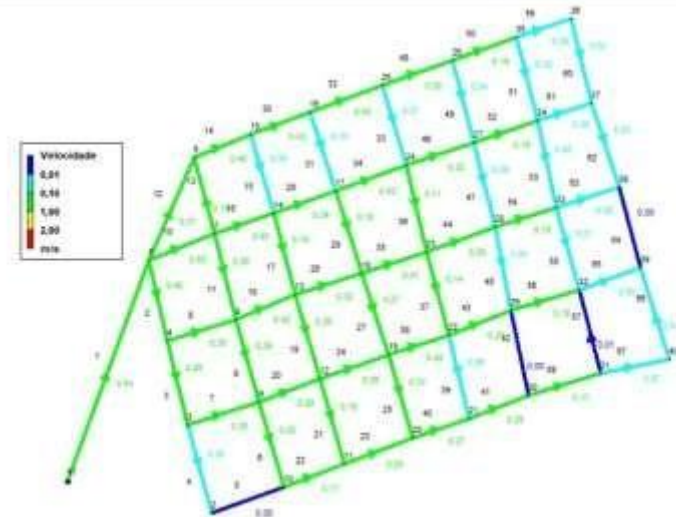
Nó	Cota	Consumo	Carga Hidráulica	Pressão
2	413.0	0.13	420.44	7.44
3	416.0	0.20	420.44	4.44
4	414.0	0.19	420.56	6.56
5	417.0	0.58	429.33	12.33
6	413.0	0.20	421.78	8.78
7	412.0	0.24	421.12	9.12
8	410.0	0.25	420.13	10.13
9	410.0	0.25	420.13	10.13
10	408.0	0.18	419.74	11.74
11	406.0	0.18	419.60	13.60
12	407.0	0.25	419.71	12.71
13	409.0	0.24	419.92	10.92
14	409.0	0.24	420.35	11.35
15	413.0	0.16	420.42	7.42
16	410.0	0.18	419.80	9.80
17	405.0	0.25	419.88	14.88
18	405.0	0.25	419.70	14.70
19	405.0	0.25	419.40	14.40
20	403.0	0.17	419.33	16.33

Fonte: Próprio Autor, 2021.

A Figura 31 mostra a rede de distribuição com a velocidade em cada trecho, de onde pôde-

se observar que a rede possui trechos com velocidades inferiores ao delimitado pela NBR 12218. Uma maneira de solucionar esse problema seria alterar os diâmetros das tubulações ou elevar a cota do reservatório.

Figura 31- Velocidade da rede.

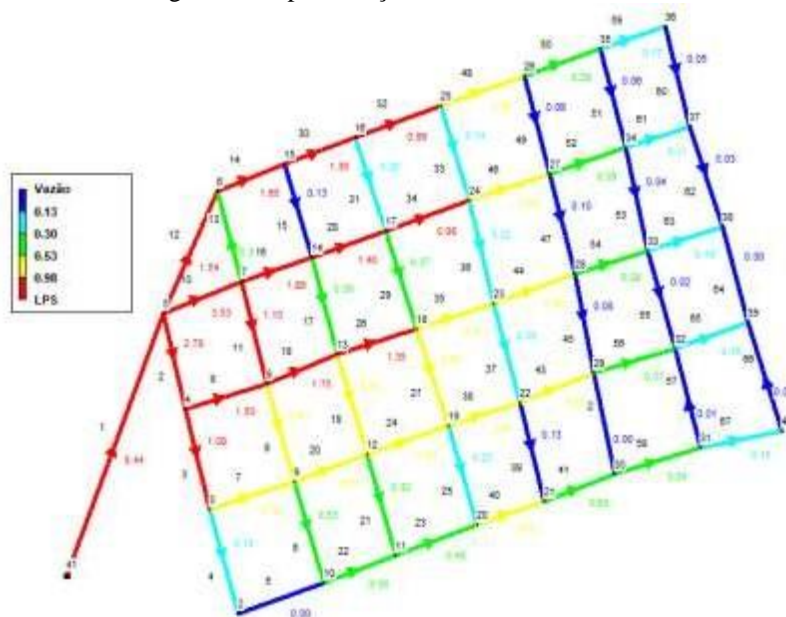


Fonte: Próprio Autor, 2021.

Barreira (2017), ao utilizar o Epanet para simulação de uma rede de distribuição de água do bairro Guajirú, no município de Caucaia-CE, verificou que na primeira simulação, 96% dos trechos apresentaram velocidade abaixo de 0,6 L/s, mínimo estabelecido pela NBR 12.218. O autor observa que a solução do problema da baixa velocidade de escoamento se mostrou de difícil solução na rede por ele estudada, relatando ainda que esse fenômeno é comum em dimensionamentos de pequenas redes.

Na Figura 32 pode ser observada a vazão em cada trecho da rede.

Figura 32-Representação da Vazão na rede.



Fonte: Próprio Autor, 2021.

A tabela 7 mostra os valores das velocidades nos trechos da rede.

Tabela 7 – Valores das velocidades obtidos na simulação no Epanet 2.0.

Trecho	Velocidade
1	0.48
2	1.40
3	0.25
4	0.03
5	0.00
6	0.29
7	0.36
8	0.32
9	0.02
10	1.48
11	0.45

12	1.12
13	0.39
14	0.63
15	0.12
16	0.61
17	0.31
18	0.31
19	0.21
20	0.34

Fonte: Próprio Autor, 2021.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi possível verificar que os softwares QGIS e Epanet são ferramentas que auxiliam no dimensionamento de rede de distribuição, agilizando o processo de cálculo e expondo os resultados em vários formatos, como gráficos e tabelas, o que facilita a análise e a tomada de decisões quanto à adequação dos parâmetros de projeto aos requisitos da NBR 12.218.

O QGIS, por trabalhar com dados georreferenciados e por ter conexão direta com o Epanet, possibilita o dimensionamento da rede e posterior simulação hidráulica no Epanet, o que é de grande valia tanto para os profissionais que trabalham com projetos, quanto para os gestores que precisam analisar os sistemas de abastecimento de água em sua totalidade e tomar decisões relativas a implantação, operação e manutenção desses sistemas.

Observou-se que os softwares permitem que os parâmetros de projeto sejam modificados com facilidade para que novas simulações sejam executadas e isso garante ao projetista uma visão ampla sobre as características da rede de distribuição de modo que a definição dos diâmetros das tubulações, dos materiais a serem utilizados para os tubos e do traçado adequado seja feita com mais precisão.

Os softwares possuem várias ferramentas que não foram utilizadas nesse trabalho, mas que podem contribuir para trabalhos futuros. Como sugestão para estudos posteriores, pode-se utilizar o modelo de rede criado nesse trabalho para dimensionamento da rede de distribuição do bairro Vila Sá utilizando dados de elevação coletados por dispositivos de GPS ou por levantamentos topográficos para geração do MDE no QGIS, para posterior exportação para o Epanet, onde pode ser feita uma análise de custos da rede. Outro ponto que pode ser explorado no Epanet é a realização de simulações dinâmicas, já que nesse trabalho executou-se apenas simulações estáticas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. M. de. **Algumas características de uma estação elevatória de água**. 2014. 24 p. TCC (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2017.
- ATLAS BRASIL. **Abastecimento Urbano de Água: Panorama Nacional**. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape.- Brasília: ANA: Engecorps/ Cobrape, 2010.
- BARREIRA, G. S. **Modelagem e simulação hidráulica no diagnóstico e resolução de problema em rede no Guajiru, Caucaia** / Gustavo Sales Barreira. – 2017.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Diário Oficial [da]. República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso em: 10/06/2021.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.
- CORSAN, **Manual de procedimentos para projeto e execução de parcelamento de solo**. Porto Alegre, 2016.
- CHAVES, M.A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**/ Viçosa: UFV, 2002.115 p.
- DALLA CORTE, A.P. et al. **Explorando o QGIS 3.X** [livro eletrônico]. – Curitiba: Ed. Dos Autores, 2020.
- FELGUEIRAS, C.A. **MODELAGEM NUMÉRICA DE TERRENO**. In. **Introdução à ciência da geoinformação**. Gilberto Câmara Clodoveu Davis Antônio Miguel Vieira Monteiro (Orgs). INPE. São José dos Campos, 2001. p. 173-210.
- FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília, 2015. 642 p.
- FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**/ tradução Joice Elias Costa. – 3.ed. – Porto Alegre: Artmed, 2009.405 p.
- GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**– 6. Ed.- São Paulo: Atlas, 2008.

HELLER, L. PADUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano** / Léo Heller, Valter Lúcio de Pádua, organizadores. - 2. ed. rev. e atual. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. 2019. Disponível em: <
<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua>> Acesso em: 18 jul. 2021.

JUNIOR, P. C. D. **Curso básico de geoprocessamento para redes de saneamento com a utilização do software livre QGIS**. 2018. 96p. Natal- Rio Grande do Norte.

MATIAS, L. F. **Sistema de informações geográficas (SIG): teoria e método para representação do espaço geográfico**. 2001. 271 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia Humana, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MOREIRA, J.A.S. **Qwater**. Github, 2007. Disponível em:
<<https://github.com/jorgealmerio/QWater>>. Acesso em: 12/07/2021.

NAGARAJAN, K. CHARHATE, S. **Application of geographic information system for water distribution networks through quantum gis plug-in with hydraulic simulation for infrastructure and development planning**. The 38th Asian Conference on Remote Sensing

NAKAMURA, A.Z. JUNIOR, P. G. Geotecnologias aplicadas à construção civil. **Revista Brasil Engenharia**, São Paulo, 2010.

OLIVEIRA. R. C. P. de. Geoprocessamento para Saneamento – AcquaGIS – Estudo Realizado na Casal – Companhia de Abastecimento D’água e Saneamento do Estado de Alagoas. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4125-4132.

ONU. Organização das Nações Unidas, Assembleia Geral, Resolução 64/292 (A / RES / 64/292) sobre “O direito humano à água e saneamento” (2010). Disponível em: <
<http://daccessods.un.org/access.nsf/Get?Open&DS=A/RES/64/292&Lang=E>>. Acesso em: 17/07/2021.

PEREIRA, H. L. *et al.* Qualidade de modelos digitais de elevação utilizando dados do SIGEF: Estudo de caso para as sub-bacias do Ribeirão dos Mangues e Rio Soninho no estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Tocantins, v. 12, n. 01, p. 187-200, 15 jan. 2019. Bimestral.

PINDIGA, A.M. SANI, M.J. Mapping of Water Distribution Network using GIS Technology in Bauchi Metropolis. **Journal of Environment and Earth Science** Vol.5, No.13, 2015.

PINTO, K.K. M. **Avaliação de perdas em adutora de água bruta em Santa Cruz do Capibaribe – PE.** 2020. 101 p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

PNSB. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017: **abastecimento de água e esgotamento sanitário** / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

REGER, C. M. **Bringing GIS to a Small Community Water System.** A Thesis Presented to the Faculty of the USC Graduate School University of Southern California In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science, May 2017.

RISTOW, S. F. P. **Uso de Geotecnologias Livres para Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas: prática com quantum gis (QGIS) - versão 2.2.0.** 2014. 75 f. - Curso de Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – Santa Catarina, 2014.

ROSSMAN, L.A. **EPANET 2.0 Manual Do Usuário.** Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, BRASIL. Agosto de 2009.

SHAMSI, U.M. GIS Applications for Water Distribution Systems. **Journal of Water Management Modeling.** 2004.

SILVESTRE, I. CAETANO, J. GISWater – **Uma solução integrada para gestão de redes de abastecimento de água.** Um caso de estudo na Quinta do Lago. 2015

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água/** Milton Tomoyuki Tsutiya -3ª ed. -São Paulo: Departamento de Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. XIII 643p.

VALDIVIEZO, A. **Manejo del software QGIS para gestionar datos de redes de distribución de agua en la Urb.** Miraflores (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú,2019.

VILAS-BOAS, P.R. **Modelação de uma rede de distribuição de água.**2008. 66 f. Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

WETTERS, M.F.L.F. *et al.* Avaliação do abastecimento de água do maranhão através do sistema nacional de informações sobre saneamento. **Interfaces Científicas Saúde e Ambiente,** Aracaju, v. 8 n.2. p 39-48, 2020.

WRUBLESKI, M. E. M. Apresentação do sistema de abastecimento de água e Análise da demanda atendida pelo ponto de captação De água para abastecimento humano no município de Ijuí-rs. 2018. 70 p. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS.