



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Gabriel Sena de Holanda Reis

**Prognóstico do atendimento populacional da rede de distribuição de água do
município de Forquilha/CE**

MOSSORÓ

2024

Gabriel Sena de Holanda Reis

**Prognóstico do atendimento populacional da rede de distribuição de água do
município de Forquilha/CE**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semiárido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Valder Adriano
Gomes de Matos Rocha

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

RR375 Reis, Gabriel Sena de Holanda.
p Prognóstico do atendimento populacional da rede
de distribuição de água do município de
Forquilha/CE / Gabriel Sena de Holanda Reis. -
2024.
49 f. : il.

Orientador: Valder Adriano Gomes de Matos
Rocha.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. Abastecimento de água. 2. Demanda. 3. NBR
12218/2017. I. Rocha, Valder Adriano Gomes de
Matos, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Gabriel Sena de Holanda Reis

**Prognóstico do atendimento populacional da rede de distribuição de água do
município de Forquilha/CE**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semiárido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 18/04/2024.

BANCA EXAMINADORA

VALDER ADRIANO GOMES DE
MATOS ROCHA

Assinado de forma digital por VALDER
ADRIANO GOMES DE MATOS
ROCHA:
Dados: 2024.04.19 20:59:20 -03'00'

Prof. Dr. Valder Adriano Gomes de Matos Rocha (UFERSA)
Orientador, Presidente

Documento assinado digitalmente



ALISSON GADELHA DE MEDEIROS
Data: 19/04/2024 21:14:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alisson Gadelha de Medeiros (UFERSA)
Primeiro Membro

Documento assinado digitalmente



WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS
Data: 19/04/2024 21:29:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos (UFERSA)
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Esta conquista é resultado do esforço e presença de muitas pessoas que permaneceram ao meu lado durante a minha jornada. Sou grato primeiramente a minha família, em especial minha mãe Norma, meu pai Aécio e minha irmã Clarissa, que sempre me apoiaram e me deram todo suporte para concluir essa etapa. Sou grato a José Cláudio, que não apenas esteve ao meu lado desde o início do curso, como também foi um companheiro importante nas intensas horas de estudo.

Agradeço ao orientador professor Adriano, que abraçou minhas ideias, que contribuiu grandiosamente na construção do meu conhecimento e na minha formação profissional.

Aos demais professores da Engenharia Civil, pelos ensinamentos e contribuição na capacitação acadêmica.

Aos meus amigos João Pedro, Luís, Igor, Lucas Vinicius, Gustavo e Jarbas, pelos ótimos momentos de alegria que vivemos durante a minha graduação.

E, por fim, aos meus colegas e amigos Humberto, Melissa e Mariana, que foram ótimas companhias tanto no ambiente acadêmico, quanto fora dele.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

As redes de distribuição de água são elementos custosos dentro de um sistema de abastecimento. Logo, é importante que o seu dimensionamento seja adequado para abastecer sua população efetivamente por um longo horizonte de projeto. Para isso, é importante que esta rede atenda aos requisitos estabelecidos pela NBR 12218/2017 e que não conste de falhas como: baixa pressão, interrupções prolongadas no abastecimento, altos riscos de transientes hidráulicos, etc. Sabido disto, o objetivo deste trabalho foi fazer um levantamento de dados da rede de distribuição atual do município de Forquilha/CE, e a partir dos dados coletados executar um prognóstico do atendimento populacional da rede, ou seja, estimar o ano em que o dimensionamento da rede não será suficiente para atender o crescimento populacional, por motivos de não respeitarem os limites de velocidade de escoamento e os limites de perda de carga. Os dados da rede foram coletados através do SNIS, IBGE e de um projeto no EPANET. A execução dos cálculos de funcionamento da rede feita no software Excel, que possibilitou uma rápida e automatizada obtenção de dados em todos os trechos da rede, organizados em tabelas. De acordo com os dados calculados, o dimensionamento atual da rede de Forquilha atende e atenderá a demanda populacional até o ano de 2100, com determinada folga. Então, no âmbito de atendimento à população, a vazão disponibilizada pelos elementos da rede não é uma preocupação.

Palavras-chave: abastecimento de água; demanda; NBR 12218/2017.

ABSTRACT

Water distribution networks are costly elements within a supply system. Therefore, it is important that their sizing be adequate to effectively supply the population over a long project horizon. For this, it is important that this network meets the requirements established by NBR 12218/2017 and does not present faults such as low pressure, prolonged interruptions in supply, high risks of hydraulic transients, etc. Knowing this, the objective of this work was to survey data from the current distribution network of the municipality of Forquilha/CE, and based on the collected data, to perform a prognosis of the network, that is, to estimate the year in which the sizing of the network will not be sufficient to meet population growth, due to not respecting flow velocity limits and head loss limits. The network data was collected through SNIS, IBGE, and a project in EPANET. The execution of network operation calculations was performed in Excel software, which allowed for a quick and automated data acquisition in all sections of the network, organized in tables. According to the calculated data, the current sizing of the Forquilha network meets and will continue to meet the population demand until the year 2100, with a certain margin of safety. Therefore, in terms of population service, the flow provided by the network elements is not a concern.

Keywords: water supply; demand; NBR 12218/2017.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Censo populacional do IBGE referente ao município de Forquilha/CE.	29
Tabela 2 - Estimativa populacional de Forquilha/CE até o ano de 2100 pelo método de curva logística.	30
Tabela 3 - Dados de entrada para cálculo da vazão de distribuição.	31
Tabela 4 - Estimativa populacional de Forquilha até o ano de 2050.	35
Tabela 5 - Estimativa populacional de Forquilha/CE de 2050 a 2100 pelo método de curva logística.	37
Tabela 6 - Vazão de distribuição de Forquilha/CE até o ano de 2100.	38
Tabela 7 - Vazão Unitária anual da rede de Forquilha até 2100.	40
Tabela 8 - Perda de Carga encontrada em cada trecho da rede.	41
Tabela 9 - Vazão de distribuição encontrada em cada trecho.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bel	Bacharel
Dr	Doutor
Esp	Especialista
GE	Gestão do Conhecimento
GI	Gestão da Informação
IES	Intituição de Ensino Superior
Me	Mestre
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PG&C	Perspectivas em Gestão & Conhecimento
SBGC	Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento
UI	Unidade de Informação
SAA	Sistema de Abastecimento de água
RAA	Rede de Abastecimento de água
IWA	International Water Assossiation
Nº	Número
RDA	Rede de Distribuição de Água

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo geral	12
1.2 Objetivos específicos.....	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 Componentes de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA)	14
2.2 Classificação das redes de distribuição de água.....	16
2.3 Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água.....	17
2.3 Colapso na rede de distribuição de água.....	17
2.4 Softwares para dimensionamento de redes de distribuição	21
3. METODOLOGIA	23
3.1 Caracterização da área de estudo	24
3.2 Coleta dos dados	26
3.3 Estimativa populacional pelo método da curva logística.....	27
3.4 Determinação da vazão de distribuição e vazão unitária	30
3.5 Vazão máxima e mínima em cada trecho da rede	32
3.6 Obtenção da perda de carga no sistema.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Estimativa Populacional	35
4.2 Vazão de distribuição e vazão unitária em Forquilha	37
4.3 Perda de carga nos trechos das tubulações	41
4.4 Atendimento populacional através da vazão nos trechos da rede.....	42
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

Uma vez que a água foi sempre um elemento essencial para a sobrevivência e o desenvolvimento humano, técnicas para estender as áreas do abastecimento de populações já eram utilizadas há milhares de anos. No Egito antigo há registros que evidenciam a utilização de técnicas para controlar as águas do Rio Nilo, além da preocupação da utilização de águas de boa qualidade. No império Romano já haviam técnicas de canalização e distribuição de água através de aquedutos, que serviam para abastecer fontes públicas e casas de banho (EVANS, 1997; MALISSARD, 1996).

Durante o período da idade média até o período pré-industrial, o conhecimento a respeito da importância do abastecimento de água de boa qualidade foi deixado de lado, o resultado disto foi que a era judaico-cristã ficou lembrada pelo surgimento de várias epidemias nos grandes centros de aglomeração, epidemias ocasionadas por agentes etiológicos transmitidos pela água que foram responsáveis pela morte de milhares de pessoas. Até então, um dos métodos mais utilizados para a obtenção de água era através de poços, sem fiscalização e sem padrões sanitários adequados, deixando quem consumisse a sua água expostos a contaminação, uma vez que a captação de água podia ser feita à jusante de onde eram feitos os lançamentos de esgotos (BATALHA, 1999).

Foi apenas nos séculos XIX e XX que tivemos maiores avanços no desenvolvimento de sistemas de abastecimento, com uma maior preocupação na distribuição de água de boa qualidade, pois foi após a revolução industrial que as áreas urbanas começaram a se desenvolver desenfreadamente, então houve uma necessidade urgente e em grande escala para abastecer as próprias indústrias (expandindo a sua produção), o comércio e as populações urbanas que estavam expostas a doenças endêmicas e epidêmicas com altos índices de mortalidade. Sabido disto, na Europa e na América Latina, o poder público e o capital particular promoveram ações voltadas à modernização dos sistemas de captação, tratamento e distribuição de água, tornando o sistema de abastecimento de água (SAA) mais próximo do que conhecemos hoje em dia (FABIANO, 2017).

Então, visando o desenvolvimento urbano e a queda na taxa de mortalidade, os sistemas de abastecimento de água (SAA) se tornaram mais completos, apresentando elementos que permitem o abastecimento contínuo mesmo em regiões que apresentam complexidade para o sistema, como regiões com a topografia

acidentada, e regiões de grave escassez hídrica, como é o caso de muitas áreas do semiárido nordestino (SILVA et al., 2015).

Os sistemas de abastecimento de água são compostos hoje pela captação, estação elevatória, adutora de água bruta, estação de tratamento da água, adutora de água tratada, reservatório e a rede de distribuição. Cada aspecto possui sua importância no processo de distribuição de água de boa qualidade e com vazão suficiente para abastecer a população. A rede de distribuição, por exemplo, ela permite que a água seja entregue diretamente na torneira da casa de seus consumidores, uma facilidade que não existia séculos atrás e que hoje permite uma livre utilização desse recurso para atender suas necessidades.

Para o dimensionamento de sistemas, diversas normas devem ser seguidas para assegurar o seu eficiente funcionamento. Porém, apesar de todo o desenvolvimento de técnicas no dimensionamento de sistemas de abastecimento, e por melhor que o projeto tenha sido planejado, todas as redes estão sujeitas a eventuais falhas, pois as redes não são dimensionadas para funcionarem eternamente e os materiais da qual elas são construídas estão sujeitos ao desgaste e rompimentos. Sabido disto, é importante que os sistemas tenham um bom mecanismo de monitoramento que permitam a obtenção de dados precisos para o estudo da rede, e de rápida identificação de falhas em seu funcionamento, isto não só permite uma rápida correção de falhas, mas também possibilita prever um futuro colapso em seu funcionamento, abrindo espaço para um prévio planejamento mitigatório.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal estudar a estrutura atual da rede de abastecimento de Forquilha, assim como as características de consumo de água da região. A partir disso, simular o funcionamento da rede quanto a vazão de distribuição nos trechos da rede, em resposta ao crescimento populacional, estimando por quanto tempo a estrutura atual vai atender à população do município.

1.2 Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Obter a leitura da estrutura da rede de abastecimento de Forquilha/CE no que diz respeito ao atendimento populacional ao longo de um hipotético horizonte de projeto.
- Estabelecer um parâmetro de avaliação dos trechos da rede de distribuição do município de Forquilha;
- Determinar se os trechos da rede do município respeitam ao parâmetro de perda de carga estabelecido pela NBR 12218/2017.
- Avaliar os dados obtidos de crescimento populacional, estimados através do método da curva logística.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) são soluções coletivas para o fornecimento de água, cuja responsabilidade de implantação é do município no qual haverá a instalação. Entretanto, os diversos componentes dos SAA tornam a sua implantação demasiadamente onerosa, sendo que municípios pequenos, de baixo poder aquisitivo, não dispõem de recursos financeiros para a execução do serviço. Logo, como solução, é comum que haja uma gestão associada entre entes federativos de dois ou mais municípios para prestação regionalizada dos serviços de saneamento básico, incluindo abastecimento de água (ABNT, 2017). Geralmente, os membros dessa gestão associação fazem a contratação de uma empresa pública para a prestação dos serviços de abastecimento de água, e se torna responsabilidade dessa empresa prover o abastecimento a todos os municípios envolvidos, seguindo as diretrizes nacionais estabelecidas pela lei Nº 11445/2007.

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) é um exemplo de empresa responsável pela execução de serviços públicos de saneamento básico de um conjunto de municípios, nesse caso, de todo o estado do Ceará. Ela realiza serviços de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário, seguindo o Plano Estratégico de Saneamento básico do Ceará (BEZERRA, 2023).

2.1 Componentes de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA)

Antes da água ser entregue ao consumidor é necessário que ela passe por diversos processos no sistema de abastecimento, para que consiga atingir os pontos de alimentação prediais de maneira eficiente e com a potabilidade adequada. A FUNASA (2006) define o sistema de abastecimento público de água como a integração de obras, instalações, equipamentos e serviços hidráulicos projetados para fornecer água em quantidade e qualidade adequadas às necessidades da comunidade.

Dito isto, o sistema de abastecimento de água brasileiro é composto respectivamente por manancial, captação de água, estação elevatória, estação de tratamento de água (ETA), reservatório e rede de distribuição.

O manancial é o corpo hídrico de onde o sistema de abastecimento de água retira a água bruta para abastecimento da população. Os mananciais podem ser lagos, represas, rios, córregos, aquíferos, poços artesianos, poços freáticos, entre outros. É importante que esse manancial disponha de vazão suficiente para abastecer a comunidade à qual vai servir, que possua recarga natural suficiente para que não haja seu esgotamento, além de dispor de água bruta de boa qualidade para não encarecer o processo de tratamento, tornando-o inviável (BRK, 2022).

A captação de água, como indica o seu próprio nome, tem como objetivo principal extrair água, independentemente da fonte de onde essa água é obtida. Essa característica torna o sistema de captação um dos mais diversificados de todo o Sistema de Abastecimento de Água (SAA), uma vez que as fontes podem ser diversas, indo desde mananciais superficiais até subterrâneos, exigindo métodos, estratégias e equipamentos completamente distintos para sua utilização (FUNASA, 2006).

As estações elevatórias são responsáveis por fornecer energia à água dentro do sistema, ou seja, fornecer pressão suficiente para que a água captada percorra todo o sistema com a vazão necessária, alcançando pontos mais elevados que o ponto de captação. Geralmente são os pontos de maiores gastos energéticos devido à necessidade de bombas para a execução do serviço (MENESES, 2011).

A estação de tratamento de água (ETA) compõe uma série de processos para adequar a água bruta ao consumo humano, removendo riscos de contaminação por agentes etiológicos, através da remoção de resíduos, desinfecção, além de outros

processos. É essencial que na ETA a água atinja os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde, que estabelece que a potabilidade deve respeitar determinados parâmetros biológicos, químicos e físicos, como: odor, cor, sabor, turbidez, pH e outros (BATISTIC, 2021).

A função dos reservatórios vai além da reserva de água. Segundo Meneses (2011, p. 6) “Os reservatórios são os elementos destinados a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição. São unidades importantes para o controle do abastecimento”. Os reservatórios são dimensionados visando o abastecimento contínuo da população, garantindo segurança operacional ao sistema, além do fornecimento de água para atender aos critérios de pressão máxima estática e pressão mínima dinâmica da rede, estabelecidos pela NBR 12218/2017.

A rede de distribuição é o último elemento dos SAA, ela que é responsável por transportar a água tratada até seu ponto de consumo, fornecendo vazão e pressão adequadas. Para isto, as redes são compostas por diversos componentes, o principal são as tubulações, que podem ser de diversos diâmetros e materiais, atuando no transporte e direcionamento da água. Há aqueles componentes encarregados pelo controle da pressão e da vazão no sistema, como as válvulas redutoras de pressão e *boosters*. Existem os componentes responsáveis pelo monitoramento do funcionamento da rede, essenciais para o controle operacional e identificação de patologias na rede, como os medidores de vazão, medidores de pressão, micromedidores (hidrômetros) e macromedidores. E existem várias outras peças importantes na rede de abastecimento de água (RAA), como válvulas de manobra, válvulas de descarga, ventosas, entre outras, cada uma com sua contribuição para o correto funcionamento da rede (ABNT, 2017).

Vale ressaltar que há outra característica intrínsecas nas redes de distribuição, que é a suscetibilidade a modificações ou expansões. Essa propriedade é essencial uma vez que os municípios estão em constante ampliação, com novos consumidores necessitando da ligação pública de água. Além disso, os componentes da rede passam por constante manutenção, e quando suas peças rompem ou envelhecem, acabam exigindo uma substituição.

2.2 Classificação das redes de distribuição de água

Os sistemas de abastecimento de água são desenvolvidas com o propósito de abastecer uma determinada região para o seu uso doméstico, público e industrial, seja sua população urbana ou rural. Para tal, a rede pode ter seus elementos dispostos e dimensionados de diferentes maneiras, o que atribui ao sistema diferentes características e propriedades na sua execução e no seu funcionamento, sendo responsabilidade do engenheiro projetista dimensioná-la para que atenda a seu objetivo da maneira mais eficiente e adequada para cada localidade. Segundo Tsutiya (2001), fatores como a topografia da região, o desenvolvimento urbano e a distância do município com relação aos mananciais, todos influenciam a concepção do projeto de um sistema de abastecimento de água.

Dito isso, no âmbito de redes de distribuição de água, a disposição das tubulações de uma rede pode caracterizá-la como rede ramificada, rede malhada ou rede mista. (GOMES; PEDROSA; CASTRO, 2001)

Redes ramificadas são caracterizadas por possuírem um sentido único de escoamento, suas tubulações são dispostas em formatos de ramos e isto implica em uma redução do número de tubulações na rede se comparado as redes malhadas. Uma das vantagens desse tipo de rede de abastecimento de água é o custo de implantação e a velocidade de implantação, como o número de tubulações é reduzido, serviços como escavações, instalação de conexões e tubulações, válvulas, aterros, entre outros, são reduzidos e consequentemente o custo também. A desvantagem desse tipo de rede de abastecimento de água (RAA) é justamente o sentido único de escoamento, uma vez que quando é necessário fazer serviços de manutenção ou qualquer outra atividade que requeira interrompimento do abastecimento de água, uma quantia maior de residências será afetada pela falta de água, sendo assim, longas interrupções podem virar grandes implicações para uma grande comunidade. As redes ramificadas são ideais para serem aplicadas em áreas rurais, onde a densidade demográfica não é alta e os recursos para implantação são baixos, limitados. (GOMES; PEDROSA; CASTRO, 2001)

As redes Malhadas possuem suas tubulações interligadas em forma de anel, ou malhas, o que resulta em vazões de sentidos e valores variáveis. Consequentemente, a implementação desse tipo de rede requer maiores investimentos e maior tempo para a execução, uma vez que irá requerer mais

escavações, instalação dos elementos das redes, aterros, além do recapeamento dos pavimentos que forem cortados. Dito isto, a vantagem desse tipo de rede é a maior flexibilidade para a execução de serviços de manutenção, uma vez que se interromper uma seção da rede, áreas vizinhas terão o abastecimento através de outras tubulações interligadas. Esse tipo distribuição é ideal para áreas urbanizadas, com grande densidade populacional, típico de cidades verticalizadas.

As redes mistas são a junção de trechos ramificadas e malhadas; são comuns em municípios que contenham tanto áreas rurais quanto áreas urbanas. A rede possui segmentos com tubulações em anéis nas áreas mais densamente povoadas e redes ramificadas nas áreas mais afastadas dos centros urbanos, visando obter o melhor aproveitamento dos benefícios de cada tipo de rede.

É importante relatar que os sistemas de abastecimento públicos de água são soluções coletivas de responsabilidade do município, mesmo quando concedido a outra entidade qualquer, como é o caso da CAGECE no estado do Ceará. Enquanto as soluções alternativas ou individuais são de responsabilidade do indivíduo consumidor (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2007).

2.3 Perdas em sistemas de abastecimento de água

Perdas são fenômenos comuns em sistemas de abastecimento de água, e um dos principais causadores de patologias em redes. As “perdas” em redes de distribuição de água representam a diferença entre o volume de água tratada que foi disponibilizado pelos reservatórios do município, registrado pela macromedicação, e o volume de água que foi registrado nos hidrômetros dos clientes finais (micromedicação) (TARDELLI FILHO, 2016).

Muitos aspectos podem representar perdas na rede. Segundo a International Water Association (IWA), essas perdas se configuram como perdas reais ou perdas aparentes, sendo as perdas reais obtidas através de (ALEGRE, 2006):

- Vazamentos nas adutoras e nas tubulações da rede de abastecimento;
- Vazamentos nos ramais prediais;
- Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios e aquedutos.

Todas as unidades de um sistema de abastecimento de água (captação, elevação, tratamento, reservação e distribuição), são passíveis de sofrerem perdas reais (Hunaidi *et al.*, 2000). Isso acontece porque a deterioração das redes e ramais podem provocar rompimentos nas tubulações, e consequentes vazamentos. E dependendo da escala desse rompimento o vazamento pode ser discreto, dificultando a sua detecção para possível reparação, com a possibilidade de vazar por anos até a sua correção.

As perdas aparentes, segundo o IWA, são:

- Consumos não autorizados;
- Falhas do sistema comercial;
- Submedição dos hidrômetros.

Quando se discute sobre os índices de perdas nas redes de distribuição de água, geralmente as perdas reais, como vazamentos nas tubulações da rede, são os primeiros problemas que vêm à mente (TARDELLI, 2016). No entanto, os maiores índices de perdas ocorrem devido ao consumo não autorizado por meios ilícitos e à submedição dos hidrômetros, visto que nem todas as residências com conexão à rede pública de abastecimento de água possuem hidrômetros instalados. Nessas situações, a concessionária de água atribui um consumo fixo de 10m³ para a residência, embora o valor real seja desconhecido. Dito isto, grandes volumes de água podem ser consumidos pelos clientes devido à ausência da preocupação com o encarecimento da tarifa.

A respeito das perdas no sistema, é correto afirmar que tanto as perdas reais quanto as aparentes representam prejuízos à rede, pode-se interpretar que as perdas reais acarretam:

- Custos adicionais na produção e distribuição da água: está sendo desperdiçado água que passou por todo o processo caro de captação, tratamento e distribuição;
- Impacto ambiental: pois a água está sendo retirada do seu manancial de origem, e a perda acarreta na necessidade de “compensar” o volume perdido,

extraindo mais água. Este problema é agravado se a região consta de escassez hídrica;

- Eficiência do sistema: Pois o sistema passa a distribuir uma vazão superior à qual foi dimensionada para compensar as perdas;
- Risco de contaminação da água: a existência de aberturas nas tubulações ao mesmo tempo que abre precedentes para vazamentos, permitem a contaminação da água corrente devido ao contato com o solo e as substâncias nele presentes;
- Interrupções no sistema: quando as tubulações apresentam trincas ou rompimentos é necessário que ela seja substituída. Durante a realização do serviço, o abastecimento de água naquela área deve ser interrompido.

Quanto às perdas aparentes, os prejuízos no sistema de abastecimento também impactam na eficiência do sistema e custos adicionais na produção. Porém, apesar da utilização da água não ser contabilizada, está sendo aproveitada para o consumo humano, que é o objetivo principal do sistema de abastecimento de água (TARDELLI, 2016).

2.3 Colapso nas redes de distribuição de água

Toda rede de abastecimento está sujeita ao surgimento de patologias após a sua implantação, e isso pode acontecer por diversos motivos:

- Fenômenos hidráulicos: como transientes hidráulicos;
- Erros de operação: resultado de execuções precipitadas dos operadores;
- Rompimentos dos materiais: ocasionados pelo envelhecimento ou ausência de manutenção; entre outros.

Considerando que pequenos problemas de pressão ou de intermitência na distribuição já se enquadram como falhas na rede, e que toda rede é projetada para atender ao crescimento populacional durante um limitado número de anos, é correto afirmar que nenhuma rede é eterna, todas possuem seu “prazo de validade”.

Os projetos de redes de abastecimento são desenvolvidos e executados respeitando um determinado horizonte de projeto, seus elementos, estruturas, e

dimensões devem atender ao município de maneira eficiente, seguindo requisitos normativos de pressão, vazão e velocidade durante o intervalo do horizonte de projeto. As redes podem apresentar patologias antes de atingir esse 'prazo', mas quando se está próximo de atingi-lo, é comum que elas apresentem defeitos, e que se tornem insuficientes para abastecer a todos de maneira adequada.

São inúmeros os defeitos que podem ocorrer nas redes, ocorrem por diferentes motivos e por diversas fontes, a diversidade de falhas que o sistema pode sofrer abrem margem para atores desenvolverem interpretações sobre elas.

Segundo Cullinane *et. al.* (1992), falhas em redes são classificadas como falhas hidráulicas ou mecânicas, em que as falhas hidráulicas são ocasionadas por insuficiência da rede ou erro de operação, ocorrendo nas seguintes ocasiões: quando a população superou àquela a qual a rede foi dimensionada e o diâmetro das tubulações se tornam obsoletos; o passar dos anos envelheceu as tubulações aumentando a sua rugosidade e a perda de carga no sistema; o município expandiu e apresentou um crescimento imprevisto superior aos estudos de projeto, com novas canalizações de novas residências construídas e ligadas à rede fora do planejamento inicial; indústrias que não haviam sido previstas entraram em operação consumindo largos volumes de água da rede; ausência de um controle de perdas; um custo de operação elevado; o consumo de água local superar a recarga natural do manancial; entre outros. Enquanto isso, as falhas mecânicas são aquelas ocasionadas pela quebra dos componentes hidráulicos da rede, como tubulações e válvulas. Todos são motivos que influenciam a uma rede se tornar obsoleta e mais difícil de se operar.

Segundo Hoogsteen (1999), uma rede se torna ineficiente quando a mesma não atinge mais o objetivo a qual foi projetada, que é satisfazer as necessidades de seus consumidores quanto à quantidade e qualidade da água adequadas. Logo, enquadram-se como ineficientes as redes de abastecimento que sofrem de: interrupções recorrentes e prolongadas do abastecimento; e a pressão inadequada da rede. É dever de uma rede de distribuição que ela funcione ininterruptamente, com fornecimento de vazão suficiente para atender aos consumidos. As diretrizes da lei 11445/2007 de saneamento básico estabelece que a rede deve funcionar em regime intermitente. Além disso, a rede deve abastecer com pressões dinâmicas acima de 100kPa e pressões estáticas abaixo de 500kPa, conforme a NBR 12218/2017 estabelece, pois este parâmetro foi normatizado justamente para que a rede seja capaz de atender seus consumidores satisfatoriamente. (ABNT, 2017).

Existem outros fatores que atuam indiretamente no estrangulamento da rede, um deles é a velocidade de escoamento da água no sistema. A NBR 12218 de 2010 estabelece que o intervalo ideal de velocidade de escoamento nas tubulações seja entre 0,6 m/s e 3,5 m/s. A velocidade do escoamento depende da demanda de água e do dimensionamento da rede, e é importante que seja respeitada durante a operação da mesma. Esse intervalo foi estabelecido para garantir segurança ao funcionamento do sistema, uma vez que altas velocidades de escoamento aumentam a perda de carga na distribuição, além de potencializarem o fenômeno do golpe de aríete nas tubulações, ocasionando danos físicos à rede. Enquanto isso, velocidades muito baixas permitem incrustações nas paredes internas das tubulações, retenção de ar, e baixa eficiência de escoamento para remoção de partículas (SOARES, 2015). Na atualização mais recente da norma, a NBR 12218 de 2017, foram estabelecidos uma velocidade de escoamento mínima de 0,4 m/s e uma velocidade máxima que corresponda a uma perda de carga de até 10m/km.

Considerando a importância do correto funcionamento da rede, é importante que desde a instalação da rede de distribuição, sejam feitas manutenções preventivas em seus elementos, fazendo a devida substituição de componentes velhos e ineficientes, além de uma rigorosa fiscalização no consumo, no traçado das tubulações e na pressão registradas nos nós da rede. Tais inspeções visam encontrar e reduzir focos de perdas de água no sistema, reduzindo os impactos de vazamentos e consumos não autorizados, além de promover uma análise aprofundada do funcionamento da rede, permitindo a prevenção de futuras patologias e prolongando a vida útil da rede de abastecimento.

2.4 Softwares para dimensionamento de redes de distribuição

Tendo em vista a complexidade no dimensionamento de redes de distribuição, softwares que permitem um prático pré-dimensionamento, além da análise de redes pré-existentes, se tornam ferramentas essenciais de serviço para engenheiros projetistas e analistas de rede.

Existem muitos softwares que permitem um estudo prático e preciso de RDA, como o EPANET, WaterCAD, Aquaflo, entre outros. Todos possibilitam uma modelagem hidráulica detalhada para obtenção de dados necessários ao planejamento de uma rede de abastecimento.

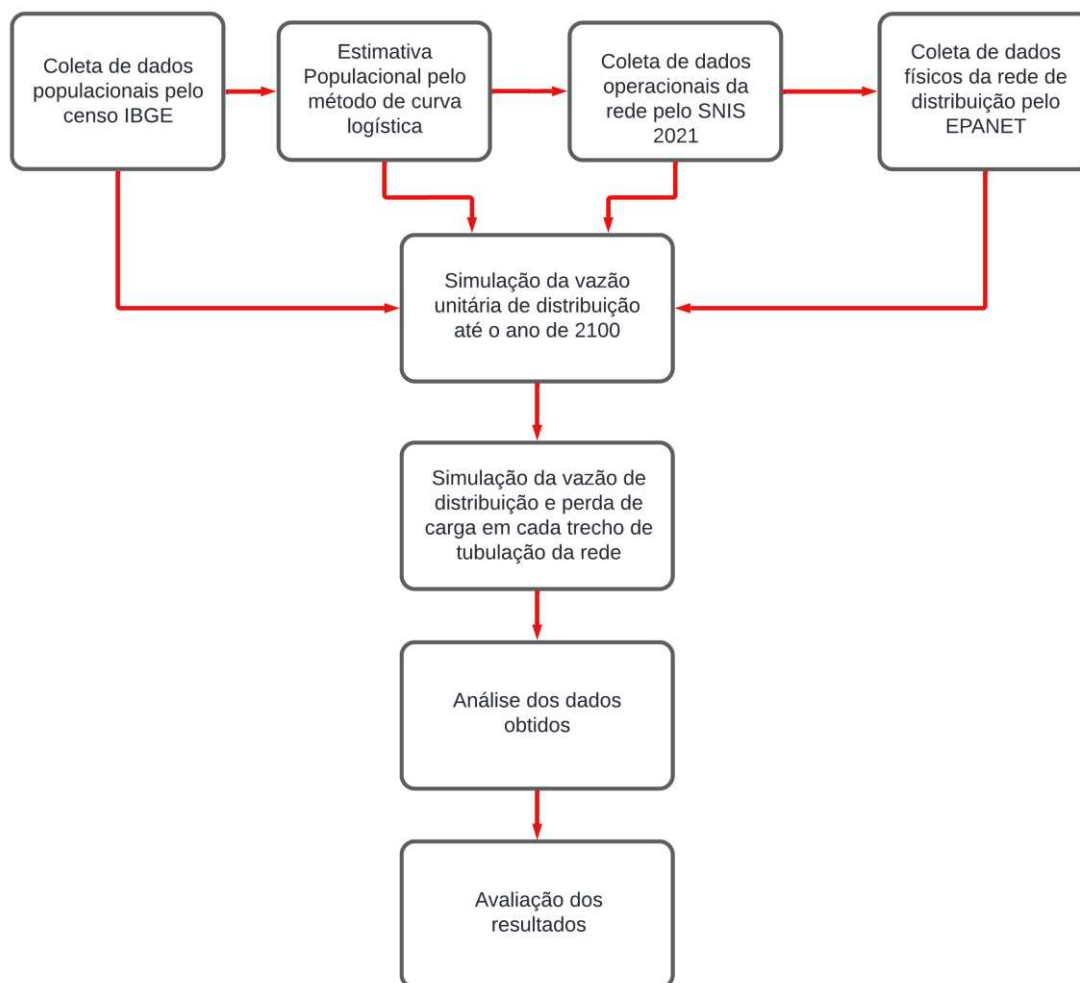
Além destes softwares, o Excel também pode ser uma ferramenta importante no dimensionamento de SAA. Em funcionamento desde 1985, uma grande vantagem do Excel é o seu ambiente familiar para estudo, acompanhado da sua capacidade de criação de tabelas automatizadas, realização de cálculos e análise de dados (MEYER, 2018).

3. METODOLOGIA

A proposta deste trabalho é fazer o prognóstico do atendimento populacional da rede de distribuição de Forquilha/CE, através da obtenção dos dados de vazão de distribuição em cada trecho da rede atual do município, de modo a identificar em qual ano a rede não atenderá aos pré-requisitos normativos de velocidade de escoamento. Para tal, foi seguido uma sequência de etapas na execução do trabalho:

- Etapa 1: Coleta dos dados populacionais de Forquilha pelo Censo do IBGE;
- Etapa 2: Realização da estimativa populacional através do método de curva logística até o ano de 2100;
- Etapa 3: Coleta de dados de consumo *per capita*, perdas de água e população atendida do município;
- Etapa 4: Coleta de dados dos trechos da rede, comprimento dos trechos, rugosidade e diâmetro das tubulações, tudo através do projeto no EPANET;
- Etapa 5: Através do software Excel, encontrar o dado de vazão unitária anual da rede;
- Etapa 6: Encontrar os dados de vazão de distribuição e perda de carga em cada trecho da rede e comparar os resultados encontrados com vazão máxima e mínima, e com a perda de carga limite para cada trecho.
- Etapa 7: Analisar os dados obtidos a partir da comparação com os limites normatizados;
- Etapa 8: Avaliar se os resultados obtidos são coerentes com a realidade de Forquilha/CE.

Figura 1 – Fluxograma metodológico deste trabalho.

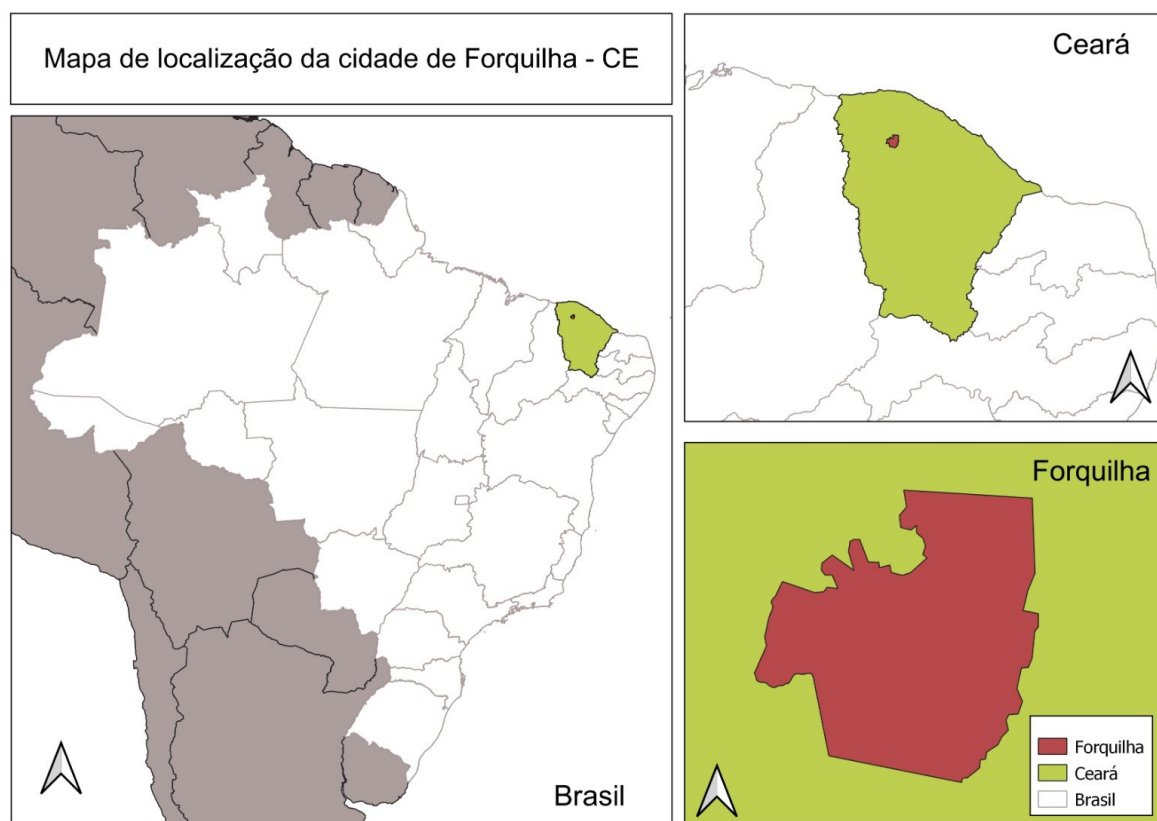


Fonte: Autoria própria (2024).

3.1 Caracterização da área de estudo

Forquilha, localizado no Norte do Ceará, é um município relativamente novo, pois até o ano de 1985 a região era um distrito do município de Sobral, e foi apenas através da lei estadual nº 11.012, de 5 de fevereiro de 1985, que forquilha foi emancipada (FORQUILHA (CE), n.d.). É possível observar a localização do município através da figura de localização abaixo, elaborada a partir da delimitação oficial do IBGE (2023):

Figura 2 – Mapa de localização da cidade de Forquilha/CE



Fonte: Autoria própria (2024).

A cidade recebeu esse nome devido a implantação do açude Forquilha, que teve sua construção iniciada em 7 de maio de 1919 sob responsabilidade do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS). A obra foi concluída apenas em 1928 e possui capacidade de armazenar mais de 50 milhões de metros cúbicos de água, esse açude é um dos principais fatores para o desenvolvimento da região, tendo em vista a sua atuação no combate à seca, que é um fenômeno presente no Brasil, principalmente no semiárido Nordeste. (BRASIL, 2023)

A extensão de seu território consta de 516,993 km², está localizado na bacia hidrográfica do Acaraú, no semiárido brasileiro. Segundo o censo do IBGE, a população da cidade em 2022 estava em volta de 24173 habitantes, onde 71,02% dessa população vive em área urbana e 28,98% em área rural. A grande área rural impacta na densidade populacional do município que é de 47,74 habitantes/km², inferior à média do estado que é de 62,06 habitantes/km².

Sobre o abastecimento de água do município, a CAGECE é a empresa responsável pelo abastecimento público de água e coleta de esgoto da região, de

acordo com os dados do SNIS de 2021, a CAGECE ainda possui muito trabalho a realizar em Forquilha em busca da universalização do acesso à água, pois mesmo constando de uma população pequena dentro de um estado com mais de 8 milhões de pessoas, o abastecimento sofre de muitos défices, uma vez que a rede de distribuição de água local atendia a apenas a 55,82%, o que é cerca de 13790 habitantes atendidos dentro de uma população de 24173, ou seja, mais de dez mil habitantes não são abastecidos pela rede pública (SNIS, 2021). Vale ressaltar que até 2021, toda a comunidade atendida fazia parte dos centros urbanos do município, a população rural não possuía acesso à rede de abastecimento. Outro dado alarmante sobre a rede local é que no município de Forquilha/CE o índice de perdas na distribuição de água é de 41,43%, incluindo perdas reais e aparentes, o que são índices superiores à média estadual e nacional, que são respectivamente 35,32% e 32,51% (SNIS, 2021). Tais perdas geram prejuízos ao município, pois a água perdida foi captada e tratada, e isso requer gastos da concessionária de água, o que resulta no aumento no valor da tarifa para compensar os gastos.

A rede de abastecimento local é composta por 377 trechos de tubulações que variam de 7,33 metros até 372,00 metros. Essas tubulações possuem diâmetros que variam de 50 mm a 250 mm, sendo que apenas as tubulações de 50 mm de diâmetro compõem cerca de 51,12% do comprimento total da rede.

3.2 Coleta dos dados

O levantamento de dados para a execução do trabalho foi executado a partir de pesquisas documentais de várias fontes, sendo as principais fontes o IBGE, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS e um projeto de dimensionamento da rede do município no software EPANET.

Do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foram analisados dados históricos de número de habitantes, e informações como densidade populacional, área urbana e área rural do município.

Foi através do SNIS a obtenção de dados a respeito do funcionamento da rede de distribuição de Forquilha/CE, e sobre o consumo de água no Município. Entre os principais dados obtidos, estão o consumo *per capita*, população atendida pela rede, índice de perdas, entre outros. Vale ressaltar que os dados utilizados na execução

deste trabalho são referentes ao ano de 2021, entretanto, o SNIS já disponibilizou dados referentes ao município até o ano de 2022. Sobre os dados obtidos, vale ressaltar que a qualidade dos mesmos depende da política de hidrometração da cidade, quanto mais eficiente a fiscalização do consumo com a instalação de micromedidores, mais precisos se tornam os dados de consumo *per capita* e mais reais se tornam as perdas apuradas.

Quanto aos dados físicos da rede, como: comprimento das tubulações, diâmetros, rugosidade e trechos da rede, estes dados foram obtidos a partir da representação da rede de Forquilha/CE no software EPANET, as informações foram resgatadas do projeto do município no próprio software.

3.3 Estimativa Populacional pelo método da curva logística

Para a realização do trabalho, um dos primeiros dados a serem obtidos é o valor populacional do município de Forquilha, populações passadas, atuais e das próximas décadas. É impossível estimar com exatidão o valor da população da cidade em datas futuras, porém, é possível executar uma estimativa próxima de crescimento para os próximos anos a partir de modelos matemáticos formados com embasamento teórico.

Dito isto, na execução deste trabalho, foi utilizado o modelo de Verhulst ou Método da Curva logística para a estimativa populacional até o ano de 2100 em Forquilha.

Esse modelo foi desenvolvido pelo matemático belga Pierre-François Verhulst (1804-1849), e continuado por dois cientistas americanos Raymond Pearl e Lowell J. Reed, que conseguiram executar um teste efetivo do modelo comparando os resultados de sua utilização com o crescimento populacional dos estados unidos (CORREA, 2018).

O modelo logístico se baseia na ideia de que o crescimento populacional (de qualquer espécie) tende a estagnação após determinado tempo, e isso se dá por muitos motivos, um dos principais é que a larga densidade populacional ou superpopulação torna a obtenção de recursos para sobrevivência mais escasso, dificultando a sobrevivência. Então, a superpopulação, dependendo da espécie

estudada, pode chegar a alterar o comportamento fisiológico, tal como os hábitos reprodutivos da mesma (CORREA, 2018).

Quando se trata do crescimento populacional humano, muitos fatores podem resultar na estagnação do crescimento populacional. A superpopulação dificulta na obtenção de emprego local, ou seja, de renda estável, o que consequentemente prejudica a aquisição de recursos como comida, transporte, aluguel, energia, água, entre outros. A limitação espacial de um município também afeta o crescimento populacional do mesmo, porque quando a densidade populacional está muito alta e não há espaço para a expansão de áreas residenciais, a obtenção de moradia é dificultada e encarecida. Além disto, a oferta limitada de serviços públicos no município dificulta a convivência no mesmo, como um abastecimento de água insuficiente que não consiga atender a toda a população de maneira eficiente.

Então, sabido disso, a utilização do modelo de Verhulst pareceu coerente com o caso estudado. De modo resumido, a sua aplicação se dá a partir das seguintes equações:

$$P_t = \frac{P_s}{1 + c \times e^{kl \times (t-t_0)}}$$

$$P_s = \frac{2 \times P_0 \times P_1 \times P_2 - P_1^2 \times (P_0 + P_2)}{P_0 \times P_2 - P_1^2}$$

$$Kl = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \left(\frac{P_0 \times (P_s - P_1)}{P_1 \times (P_s - P_0)} \right)$$

$$c = \frac{P_s - P_0}{P_0}$$

Onde:

P_t = Equação da projeção

Kl = Coeficiente

P_s = Coeficiente

c = Coeficiente

Para a execução das equações foram necessários primeiramente dados populacionais passados, para tal, foi utilizado os dados do Censo IBGE referentes aos anos de 2000, 2010 e 2022, fornecidos pelo site <https://sidra.ibge.gov.br>.

Tabela 1 - Censo populacional do IBGE referente ao município de Forquilha/CE.

Ano	População
1991	15245
2000	17488
2010	21786
2022	24173

Fonte: Autoria própria (2024).

Entretanto, para a correta utilização das equações do modelo, o espaçamento temporal entre os dados populacionais deve ser o mesmo, e para isso, foi necessário estimar a população do município para o ano de 2020, pois assim iguala o espaçamento temporal com os dois dados anteriores. Para alcançar esse resultado, a população de 2020 foi estimada a partir do modelo geométrico, que consta com as seguintes equações:

$$P_t = P_0 \times e^{K_g \times (t - t_0)}$$

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$$

Onde:

P_t = Equação da projeção

K_g = Coeficiente

Na determinação da estimativa populacional de 2020 foram utilizados os dados do Censo demográfico de Forquilha/CE dos anos de 2010 e 2022. Aplicando nas equações, o resultado obtido para o ano de 2020 foi de 23758 residentes.

Sabido disto, foi dado continuidade a aplicação do modelo de curva logística. A equação foi executada no Software Excel, o que permitiu a estimativa automatizada de todas as datas futuras desejadas, disponibilizadas através da seguinte tabela:

Tabela 2 - Estimativa populacional de Forquilha/CE até o ano de 2100 pelo método de curva logística.

Ano	População
2000	17488
2010	21786
2020	23758
2025	24226
2030	24507
2035	24673
2040	24771
2045	24828
2050	24861
2060	24892
2070	24902
2080	24906
2090	24907
2100	24908

Fonte: Autoria própria (2024).

3.4 Determinação da vazão de distribuição e vazão unitária

Com os dados populacionais e informações a respeito da rede de Forquilha, bastou determinar um método para medir o estado de funcionamento da rede. Neste trabalho, para fazer o diagnóstico e prognóstico do atendimento do município, foram utilizados os parâmetros de velocidade de escoamento mínimo e máximo estabelecidos pela NBR 12218 para avaliar o funcionamento da Rede de distribuição em Forquilha.

Segundo a NBR 12218 de 2010, a velocidade máxima e mínima de escoamento da água em uma rede de distribuição são respectivamente 3,5 m/s e 0,6 m/s. Entretanto, vale apontar que na atualização mais recente da Norma, a NBR 12218 de 2017, a velocidade máxima foi removida, e surgiu um novo parâmetro limitador que é a partir da perda de carga nos trechos. Segundo a norma, o máximo de perda de carga deve ser de 10 m/km, enquanto a velocidade mínima foi reduzida para 0,4 m/s, mas é aceito valores inferiores, se forem devidamente justificados.

Sabido disto, e visando conferir os parâmetros normativos, foi necessário primeiramente determinar a vazão de distribuição e vazão unitária na rede de Forquilha. Para a vazão de distribuição, foi utilizada a equação:

$$Q = \left(\frac{P \times Pa \times q \times K1 \times K2}{86400} \right) \times (1 + C_{perdas})$$

Onde:

Q = Vazão do reservatório até a rede de distribuição, em l/s;

P = População estimada para fim de plano, em hab;

q = Consumo per capita de água no município, em l/hab.dia;

K1 = Coeficiente do dia de maior consumo, adimensional;

K2 = Coeficiente da hora de maior consumo, adimensional;

C_{perdas} = Percentual de perdas na rede;

Pa = Percentual de população atendida.

Os dados populacionais foram decorrentes das estimativas executadas anteriormente, enquanto o consumo *per capita*, Perdas e porcentual de população atendida foram adquiridos através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2021); para os coeficientes K1 e K2 foram utilizados os valores estabelecidos na norma 12218, que são respectivamente 1,2 e 1,5. Esses valores são recomendados para quando não há dados históricos na região.

Tabela 3 - Dados de entrada para cálculo da vazão de distribuição.

Dados de Entrada	Valor	Unidade
Coeficiente k1:	1,2	-
Coeficiente k2:	1,5	-
Cons. <i>Per capita</i> (q):	118	l/dia
População atendida:	100	%
Perdas:	41,4	%

Fonte: Autoria própria (2024).

Vale ressaltar que essa equação determina a vazão necessária para atender a população em cada ano dentro do município, de acordo com a população estimada anteriormente.

Outro ponto atentado, é que segundo o SNIS (2021), apenas 55,88% da população de Forquilha possui acesso a água pela rede de abastecimento do município. Entretanto, para efeitos de estudos, e considerando o princípio fundamental da universalização do acesso ao saneamento básico estabelecido pela lei federal nº

11.445/2007, as simulações analisadas e estudadas na execução deste trabalho consideram cenários em que toda a população do município é, e será atendida pela rede de abastecimento de água local. Quanto às perdas, o município apresenta perdas equivalentes a 41,4% do consumo de água da cidade, devido a este alto valor, é correto considerar essas perdas no cálculo da vazão de distribuição, uma vez que esta água perdida está sendo igualmente tratada e distribuída na rede.

Para determinar a vazão em cada trecho de tubulação, foi calculado a vazão unitária da rede. Para tal, foi considerada a hipótese simplificadora de que a distribuição de água em todo o município é uniforme, sendo assim, foi necessário apenas dividir a vazão de distribuição pelo comprimento total da rede, ou seja, a soma do comprimento de todas as tubulações, conforme a equação:

$$Q_{unit} = Q/L$$

Onde:

Q_{unit} = Vazão unitária, em $m^3/s.m$;

Q = Vazão de distribuição, em m^3/s ;

L = Comprimento de todos os trechos da rede, em metros.

Com os dados das vazões unitárias anuais na rede, basta multiplicar estes valores pelo comprimento de cada trecho de tubulação da rede para determinar a vazão de distribuição em cada segmento da rede.

3.5 Vazão máxima e mínima em cada trecho da rede

Para conferir se a rede de Forquilha apresenta ou apresentará estrangulamentos futuros em seus trechos da rede, foi adotado uma análise prática do seu sistema de distribuição, através das equações da continuidade desenvolvidas por Darcy Weisbach e de Colebrook White:

$$Q = A \times V$$

Onde:

Q = Vazão de distribuição, em m^3/s ;

A = Área da seção transversal da tubulação, em m^2 ;

V = Velocidade do escoamento, em m/s .

Para a aplicação da equação da continuidade, foram consideradas as velocidades limites estabelecidas em norma, a mínima de 0,4 m/s estabelecida pela NBR 12218/2017 e a velocidade máxima de 3,5 m/s. Junto a isto, foram utilizados os diâmetros de cada trecho da tubulação para determinar a área da seção transversal das tubulações. A partir disto, foi calculado a vazão de distribuição máxima e mínima em cada segmento da rede, estes valores serviram como parâmetro de comparação para avaliar o estado atual e futuro da Rede de distribuição de água do município. Vale ressaltar que nesta análise foi considerado o escoamento de fluidos em condutos forçados, em regime permanente, uniformes e de seção circular (CAMARGO, 2001).

3.6 Obtenção da Perda de carga no sistema

Para que a rede de Forquilha cumpra as normas técnicas atuais de rede de distribuição de água, é importante que seus componentes também estejam dentro dos limites de perda de carga. Nesse caso, a perda de carga em cada trecho deve ser inferior a 10 m/km, essa limitação é estabelecida, pois além da rede necessitar atender à população quanto a vazão, é importante que outros aspectos como a pressão também sejam respeitados, e um alto índice de perda de carga pode gerar impactos negativos na pressão.

Devido a disponibilidade dos dados de rugosidade, comprimento dos trechos e diâmetro das tubulações pelo do projeto da rede de Forquilha no EPANET, foi aplicado a equação de Hazen-Williams para perda de carga:

$$H_f = \frac{10,65 \times Q^{1,852} \times 1000}{C^{1,852} \times D^{4,87}}$$

Onde:

Q = Vazão de Distribuição, m^3/s ;

C = Coeficiente de Rugosidade;

D = Diâmetro da tubulação, em metros;

Nesta equação, foram utilizados os dados de vazão de distribuição em cada trecho obtidos previamente neste mesmo trabalho, quanto ao comprimento, foi utilizado 1000 metros para todos os trechos pois o objetivo é encontrar a perda de carga em m/km.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estimativa Populacional

O município de Forquilha é uma pequena cidade do interior do Ceará, o seu número de habitantes representa muito bem isto. Como já foi estabelecido, segundo o Censo do IBGE de 2022, a sua população neste mesmo ano constava de 24173 moradores. Utilizando do modelo logístico para estimativa populacional do município, esse dado populacional não apresentou grande crescimento até o ano de 2050 conforme mostra os resultados obtidos:

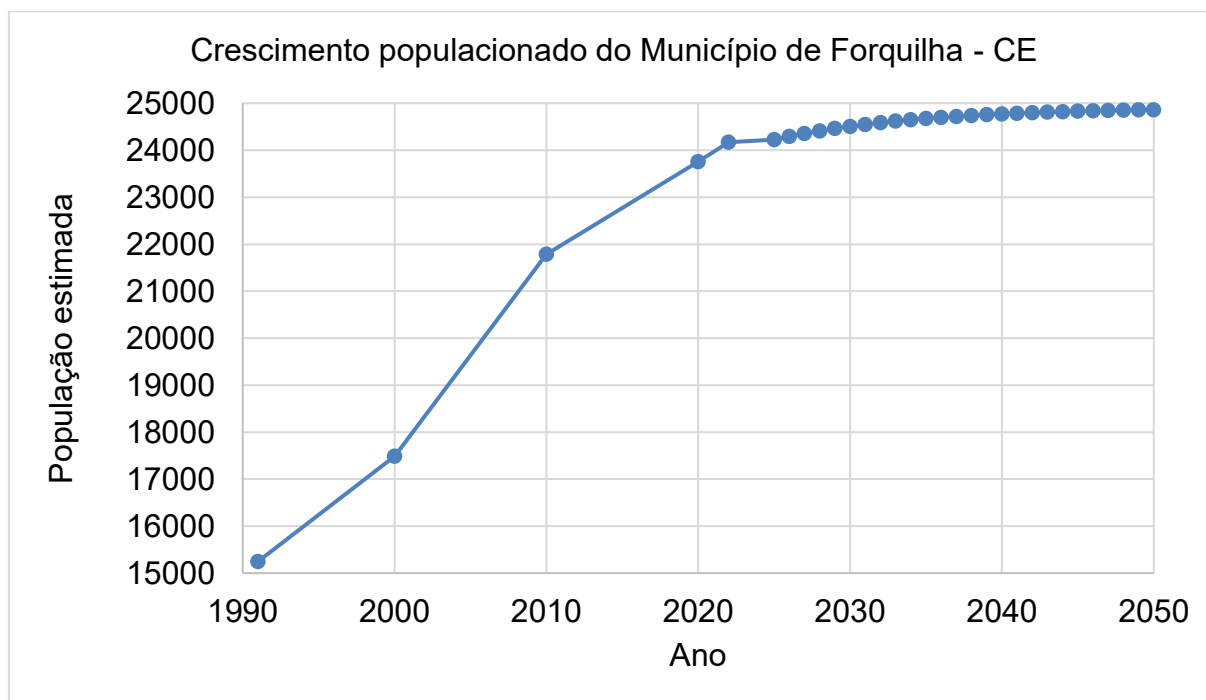
Tabela 4 - Estimativa populacional de Forquilha até o ano de 2050.

Ano	População
2022	24173
2025	24226
2026	24295
2027	24356
2028	24412
2029	24462
2030	24507
2031	24548
2032	24584
2033	24617
2034	24647
2035	24673
2036	24697
2037	24719
2038	24738
2039	24755
2040	24771
2041	24785
2042	24798
2043	24809
2044	24819
2045	24828
2046	24836
2047	24844
2048	24850
2049	24856
2050	24861

Fonte: Autoria própria (2024).

Observando os resultados, nota-se que em 2050 a população estimada foi de 24861 habitantes, a diferença populacional entre 2022 e 2050 é de apenas 688 pessoas, um crescimento pequeno que se reflete do número de habitantes do município, que também é baixo.

Gráfico 1 – Estimativa populacional de Forquilha/CE até o ano de 2050.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Analisando o gráfico do crescimento populacional, percebe-se que a curva no mesmo é característica do modelo de Verhulst, uma curva em formato de “S”, onde se inicia com um crescimento acentuado, tendendo a estagnação com o passar dos anos.

No que se refere ao crescimento populacional de 2050 até 2100, o crescimento populacional se estagnou ainda mais:

Tabela 5 - Estimativa populacional de Forquilha/CE de 2050 a 2100 pelo método de curva logística.

Ano	População
2050	24861
2060	24892
2070	24902
2080	24906
2090	24907
2100	24908

Fonte: Autoria própria (2024).

O crescimento de 2050 até 2100 foi de apenas 47 habitantes, um valor baixo que em um contexto de sistema de abastecimento de água não impacta significativamente.

De modo geral, o crescimento populacional estimado total de 2022 para 2100 foi baixo, constando de um valor total de 735 habitantes. Este valor faz sentido considerando aspectos como: Forquilha ser um município de baixo porte, distante em 145 km da capital; não é cidade turística; possui oportunidades de emprego limitada; entre outros fatores limitantes.

Entretanto, essa estimativa pode se apresentar completamente incorreta com a realidade futuramente, uma vez que vários acontecimentos podem impactar diretamente no crescimento populacional da cidade nos próximos anos, por exemplo: a instalação de uma faculdade pública na região; crescimento econômico do município, que aumentem as ofertas/oportunidades de emprego; melhorias na qualidade de vida com o aperfeiçoamento do sistema de abastecimento de água e coleta de esgoto; melhorias no sistema público de saúde; investimento na educação, segurança pública, habitação adequada; entre outros.

4.2 Vazão de distribuição e vazão unitária

A vazão de distribuição calculada para o município de Forquilha no intervalo de 2024 a 2100 pode ser observado na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Vazão de distribuição de Forquilha/CE até o ano de 2100.

Ano	População	Vazão de distribuição (m³/s)
2024	24151	0,083950
2025	24226	0,084210
2026	24295	0,084450
2027	24356	0,084660
2028	24412	0,084860
2029	24462	0,085030
2030	24507	0,085190
2031	24548	0,085330
2032	24584	0,085460
2033	24617	0,085570
2034	24647	0,085670
2035	24673	0,085770
2036	24697	0,085850
2037	24719	0,085920
2038	24738	0,085990
2039	24755	0,086050
2040	24771	0,086110
2041	24785	0,086150
2042	24798	0,086200
2043	24809	0,086240
2044	24819	0,086270
2045	24828	0,086300
2046	24836	0,086330
2047	24844	0,086360
2048	24850	0,086380
2049	24856	0,086400
2050	24861	0,086420
2060	24892	0,086530
2070	24902	0,086560
2080	24906	0,086580
2090	24907	0,086580
2100	24908	0,086580

Fonte: Autoria própria (2024).

A vazão encontrada para o ano de 2024 foi de 83,95 litros/s, enquanto no ano de 2100 essa vazão subiu para 86,58 litros/s. Um aumento de 3,13%. Esta é uma pequena variação se considerado o intervalo de 76 anos, mas o valor condiz com a condição de estudo na qual foi estabelecida no trabalho. O aumento da vazão de distribuição está totalmente condicionado ao crescimento populacional do município, os outros fatores que interferem na determinação da vazão de distribuição como as perdas, coeficientes de dia e hora de maior consumo, consumo per capita e

porcentagem de população atendida, se mantiveram constantes durante todo o intervalo de tempo. Então, como o crescimento populacional foi baixo, o aumento da vazão de distribuição refletiu esse resultado.

É difícil estimar com exatidão o consumo de um município em um horizonte de projeto tão longo. Assim como muitos fatores podem influenciar no crescimento populacional, o mesmo se diz a respeito da vazão de distribuição. A existência da variável do índice de perdas por si só já torna a estimativa muito complexa e inexata, pois o seu valor pode variar tanto para baixo quanto para cima com o decorrer dos anos, e isso depende do rumo que o desenvolvimento da cidade irá tomar, é possível que ocorra um crescimento desordenado de áreas residenciais na cidade e a instalação de micromedidores seja insuficiente para cobrir todas as novas habitações ligadas a rede, gerando aumento das perdas aparentes e um consequente aumento da demanda de água no município. Por outro lado, também é possível que o Município fortaleça sua política de hidrometração, junto disto, torne mais rigorosa a fiscalização por consumos não autorizados e isso diminua as perdas aparentes, rebaixando o percentual de perdas para próximo do zero. Neste trabalho, foi considerado o índice de perdas do município fornecido pelo SNIS no ano de 2021, que é de 41,4%, e este valor foi utilizado até o ano de 2100.

Quanto a vazão unitária, seu valor é obtido pela razão entre a vazão de distribuição e o comprimento linear de todas as tubulações da rede, assim sendo, é possível observar os valores calculados na tabela 7:

Tabela 7 - Vazão Unitária anual da rede de Forquilha até 2100.

Ano	Vazão unitária (m³/s.m)
2024	0,00000293812
2025	0,00000294729
2026	0,00000295561
2027	0,00000296311
2028	0,00000296987
2029	0,00000297596
2030	0,00000298145
2031	0,00000298639
2032	0,00000299084
2033	0,00000299484
2034	0,00000299843
2035	0,00000300167
2036	0,00000300458
2037	0,00000300719
2038	0,00000300954
2039	0,00000301165
2040	0,00000301354
2041	0,00000301525
2042	0,00000301678
2043	0,00000301815
2044	0,00000301938
2045	0,00000302049
2046	0,00000302148
2047	0,00000302238
2048	0,00000302318
2049	0,00000302389
2050	0,00000302454
2060	0,00000302827
2070	0,00000302953
2080	0,00000302996
2090	0,00000303011
2100	0,00000303015

Fonte: Autoria própria (2024).

Sobre os valores obtidos, a vazão unitária variou de aproximadamente 0,002995 litros/s.m para 0,003030 litros/s.m nos anos de 2024 e 2100, respectivamente. Um aumento pequeno, proporcional à vazão de distribuição.

Vale ressaltar que na execução da vazão unitária, o dado de comprimento total das tubulações foi constante em todos os anos, pois a proposta do trabalho é realizar o prognóstico do dimensionamento atual da rede do município, logo, expansões ou reduções não foram consideradas.

4.3 Perda de carga nos trechos das tubulações

A NBR 12218 de 2017 estabelece que a perda de carga máxima permitida nas tubulações é de 10 m/km. Dito isto, com a utilização da equação de perda de carga de Hazen-Wiliams em uma planilha do Excel, encontramos os seguintes resultados tabelados:

Tabela 8 - Perda de Carga encontrada em cada trecho da rede.

Trechos	Diâmetro (mm)	Rugosidade	Ano		
			2025	2050	2100
			Perda de carga (m/km)		
p3	50	130	0,235711	0,247281	0,248132
10	50	130	0,006425	0,006741	0,006764
p247	100	130	0,006501	0,006820	0,006844
p248	50	130	6,174132	6,477181	6,499463
p250	50	130	0,161199	0,169111	0,169693
p251	75	130	0,309848	0,325056	0,326175
p254	50	130	0,969762	1,017362	1,020862
p255	50	130	9,254631	9,708882	9,742282
p256	50	130	1,763957	1,850538	1,856904
p261	75	130	0,057142	0,059947	0,060153
p262	50	130	0,183452	0,192456	0,193118
p265	50	130	0,264487	0,277469	0,278424

Fonte: Autoria própria (2024).

Muitos elementos interferem na determinação da perda de carga num trecho: o diâmetro da tubulação, o material da tubulação e a vazão. Dito isto, não é de se surpreender que a perda de carga não superou o limite até o ano de 2100, apesar da rede de Forquilha apresentar cerca de 50% dos seus trechos com diâmetros de 50 mm, os baixos valores de vazão obtidos foram suficientes para reduzir essa perda e atingir valores que respeitem o limite normatizado. Entretanto, se observarmos bem a tabela, o trecho “p255” apresentou uma perda de carga de valor de 9,72m/km, este valor está próximo ao limite normatizado, isto implica que caso haja um aumento inesperado da demanda de água no município, essa tubulação vai ultrapassar o limite normatizado e problemas decorrentes da perda de carga podem começar a aparecer.

4.4 Atendimento populacional através da vazão nos trechos da rede

Neste trabalho, foi calculada a vazão máxima permitida em cada trecho da rede em função da área da seção das tubulações e da velocidade máxima de 3,5 m/s e mínima de 0,4 m/s, parâmetros estabelecidos pela NBR 12218/2010 e NBR 12218/2017. Com os dados de vazão máxima e mínima em cada trecho, foi possível efetuar uma comparação direta destes valores com os dados de vazão calculados em cada tubulação com o passar dos anos. Determinando assim quais trechos estão acima ou abaixo do máximo e mínimo, e se algum será “estrangulado” com o passar do tempo.

Como se trata de uma composição de 377 trechos de tubulações, em um intervalo de 76 anos, foi utilizada a função de formação condicional em todas as células afim de identificar quantas e quais tubulações não respeitaram os limites estabelecidos com o passar dos anos.

Tabela 9 - Vazão de distribuição encontrada em cada trecho.

Trechos	Qmáx (m³/s)	Qmin (m³/s)	Ano		
			2025	2050	2100
			Vazão de distribuição (m³/s)		
p3	0,006872234	0,000785398	0,000151	0,000155	0,000155
10	0,006872234	0,000785398	0,000022	0,000022	0,000022
p247	0,027488936	0,003141593	0,000135	0,000138	0,000138
p248	0,006872234	0,000785398	0,000881	0,000904	0,000906
p250	0,006872234	0,000785398	0,000123	0,000126	0,000127
p251	0,015462526	0,001767146	0,000509	0,000522	0,000523
p254	0,006872234	0,000785398	0,000324	0,000333	0,000333
p255	0,006872234	0,000785398	0,001096	0,001125	0,001127
p256	0,006872234	0,000785398	0,000448	0,00046	0,000461
p261	0,015462526	0,001767146	0,000204	0,00021	0,00021
p262	0,006872234	0,000785398	0,000132	0,000135	0,000136
p265	0,006872234	0,000785398	0,000161	0,000165	0,000165

Fonte: Autoria própria (2024).

O resultado obtido é que entre os anos de 2024 e 2100 não existiram tubulações que ultrapassaram o limite máximo de vazão permitido, muito pelo contrário, 99,5% das tubulações apresentam vazão inferior ao mínimo encontrado no trabalho, mesmo no ano de 2100. A tabela mostra apenas alguns trechos da planilha de cálculo, e conforme é observado, os únicos trechos de todos os 377 calculados

que ficaram dentro do intervalo de vazão máxima e mínima foram os trechos “p248” e “p255”.

Analisando tal resultado, levando em consideração os parâmetros da velocidade máxima e mínima de escoamento, é possível concluir que a rede de distribuição de Forquilha está “superdimensionada” para a população do município, pois a folga de atendimento na rede é suficiente para abastecer o dobro da população estimada pelo método da curva logística para o ano de 2100.

Entretanto, vale ressaltar que o diâmetro utilizado em 51,12% de toda a rede foi o de 50mm, que é o diâmetro mínimo permitido em norma, logo, estes não podiam ser reduzidos no dimensionamento.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, a rede de distribuição de água atual do município de Forquilha/CE apresenta um dimensionamento tal, que seus elementos serão suficientes para atender as futuras populações estimadas até o ano de 2100. Isto, no que se diz respeito à sua vazão de distribuição. Não obstante, a rede atual tem estrutura para atender a demanda estimada do município com muita folga, o que abre espaço para variações imprevistas no crescimento populacional, sem preocupação de que haja estrangulamento nos elementos da rede.

Apesar da capacidade de atendimento da demanda do município com muita folga, no requisito de perda de carga alguns trechos da rede estão próximos de alcançar o limite estabelecido em norma, logo, pequenos aumentos no consumo do município ou um crescimento populacional maior que o estimado será suficiente para que estes elementos ultrapassem o limite normatizado.

Outro ponto a se atentar, é que medidas ainda devem ser tomadas para prolongar a vida útil da rede de distribuição, apesar do dimensionamento atual abastecer a população até 2100, é necessário que manutenções sejam recorrentes, junto com a substituição dos trechos da rede, pois o horizonte estimado neste projeto foi de cerca de 76 anos e nesse intervalo as tubulações irão envelhecer, aumentar sua rugosidade, acumular sedimentos, fraturar, romper, etc. Prejuízos que devem ser prevenidos para promover a intermitência do funcionamento.

É relevante mencionar que os dados de consumo do município utilizados neste trabalho são decorrentes do ano de 2021, é possível realizar um estudo utilizando os dados do SNIS do ano de 2022 e comparar com os resultados obtidos neste trabalho. Além disso, também é possível executar o prognóstico do atendimento populacional da rede utilizando outro modelo para a estimativa populacional. Outro método adequado para o cálculo da estimativa populacional é o método dos mínimos quadrados, pode-se aplica-lo e conferir quais mudanças que isto implica no abastecimento, comparando com os resultados obtidos aqui.

Também se pode apontar que várias variáveis influenciam diretamente no abastecimento, as quais não foram consideradas aqui, deixando espaço para outras pesquisas futuras. Como: O estudo a respeito do custo energético e operacional da rede do município; e a análise dos mananciais que fornecem água para Forquilha. Para garantir a operação contínua da rede até 2100, é crucial que a rede opere com

um custo sustentável, e que os mananciais que abastecem o município possuam uma recarga hídrica adequada para atender à demanda da população até a data prevista, sem que ocorra a exaustão dos recursos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, H. et al. **Performance Indicators for Water Supply Services**, IWA Publishing, Second Edition, 2006.

BATALHA, B.H.L. Tratamento de água e os riscos à saúde. Revista de Gerenciamento Ambiental, São Paulo, n. 6, p. 32-38, março/abril, 1999.

BATISTIC, R. M. Estação de tratamento de água: como funciona e quais são as exigências legais. **NEOWATER**, 2022. Disponível em: <https://www.neowater.com.br/post/estacao-tratamento-agua-eta>. Acesso em: 04 mar. 2024.

BEZERRA, M. Plano Estratégico de Saneamento Básico é entregue oficialmente na DAS. **Secretaria do Desenvolvimento Agrário**, 2023. Disponível em: <https://www.sda.ce.gov.br/2023/04/20/plano-estrategico-de-saneamento-basico-e-entregue-oficialmente-na-sda/#:~:text=Aprovado%20no%20dia%2014%20de%20julho%20de%202022%2C,a%20situa%C3%A7%C3%A3o%20atual%20do%20Saneamento%20B%C3%A1sico%20no%20Estado>. Acesso em: 06 mar. 2024.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra a Seca. **Açude Forquilha:** garantia de água e incentivo ao desenvolvimento na região norte do Ceará: DNOCS constrói obra que contribui para impulsionar a economia do município de Forquilha e região. [Brasília]: Departamento Nacional de Obras Contra a Seca, 12 set. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/nossas-historias/acude-forquilha-garantia-de-agua-e-incentivo-ao-desenvolvimento-na-regiao-norte-do-ceara>. Acesso em: 15 abr. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília: Presidência da República, [2007]. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 29 jan. 2024.

BRK. Proteger os mananciais de água é dever de toda sociedade. *In*: brkmbiental. **Saneamento em pauta**. 2022. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/mananciais/>. Acesso em: 13 abr. 2024.

CAMARGO, L. A. Análise de escoamento em condutos forçados. Uso das equações de Darcy-Weisbach e de Colebrook-White. **Web-site HidroTec Calculador**, 2001.
CORREA, R. P. **Ajuste de uma curva logística a partir de dados censitários**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CULLINANE M. J.; LANSEY K.E.; MAYS L.W. Optimization- Availability- Based Design Of Water-Distribution Networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 118, n. 3, p. 420-441, 1992.

EVANS, H. B. *Water distribution in Ancient Forquilha (CE)*. ([s.d.]). Gov.br. Recuperado 29 de janeiro de 2024, de <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/forquilha.html>

FORQUILHA (CE). Prefeitura. Disponível em: <https://www.forquilha.ce.gov.br/omunicipio.php>. Acesso em: 22 jun. 2021.

GOMES, H. P.; FILHO, L.A.P.; CASTRO, F. T. D. *Dimensionamento de redes malhadas de abastecimento de água—Método Pimentel Gomes*. **XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracajú**, 2001.

IBGE. **Sidra**: sistema **IBGE** de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/200>. Acesso em: 29 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Portal de mapas do IBGE. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em: 12 abr. 2023.

LENHS. EPANET. **Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – LENHS/UFPB**, 2020. Disponível em:

<https://ct.ufpb.br/lenhs/contents/menu/assuntos/epanet>. Acesso em: 18 fev. 2024.

MALISSARD, A. *La cultura del agua en la Roma antigua: los romanos y el agua*. Barcelona: Her-der, 1996.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (BRASIL). **Manual de saneamento**. Funasa, 2006.

MENESES, R. A. et al. Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande. 2011.

MEYER, M. O que é Excel?. **Aprenderexcel**, 2018. Disponível em:

<https://www.aprenderexcel.com.br/2013/tutoriais/o-que-e-excel#:~:text=O%20Excel%20%C3%A9%20um%20programa%20de%20software%20que,tabelas%20em%20esquemas%20atrativos%20e%20criar%20gr%C3%A1ficos%20simples.> Acesso em 22 mar. 2024.

NBR, A. B. N. T. 12.218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. **Rio de Janeiro**, 2017.

Rome: the evidence of Frontinus. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1997.

SILVA FILHO, J. A. et al. Diagnóstico do abastecimento de água para a região do Médio Piranhas no semiárido paraibano: Uma análise em nível de setor censitário do IBGE. In: **Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**. 2015.

SNIS. Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto. [S. l.: s. n.], 2023.

Disponível em: www.snis.gov.br. Acesso em: 15 abr. 2024.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série Histórica**, 2021. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica>. Acesso em: 03 abr. 2024

SOARES, H.. Capítulo 2 – escoamento em condutos forçados simples, 2015. 24 slides. Disponível em:

https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Homero_Cap2_10112015_V1.pdf. Acesso em 22 mar. 2024.

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

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água – 3ª Edição – Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica da USP. **São Paulo**, 2006.