

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EDMAR DOS SANTOS MENDES TERCEIRO

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: Estudo de
caso em um condomínio na cidade de Santo Amaro - MA

São Luís

2024

EDMAR DOS SANTOS MENDES TERCEIRO

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: Estudo de caso em um condomínio na cidade de Santo Amaro – MA

Projeto de monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas - CCT/UEMA, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Vitor Affonso Sandes Lira

São Luís

2024

Terceiro, Edmar dos Santos Mendes

Dimensionamento de sistema de distribuição de água: estudo de caso em um condomínio na cidade de Santo Amaro – MA / Edmar dos Santos Mendes Terceiro. – São Luis, MA, 2024.

72 f

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Maranhão, 2024.

Orientador: Prof. Esp. Vitor Affonso Sandes Lira

1.Reservação. 2.Distribuição. 3.Abastecimento. 4.Dimensionamento. 5.EPANET. I.Título.

CDU: 626.824(812.1)

EDMAR DOS SANTOS MENDES TERCEIRO

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: Estudo de caso em um condomínio na cidade de Santo Amaro - MA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 15/08/2024

BANCA EXAMINADORA:

Professor Vitor Affonso Sandes Lira (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Professor Jorge Creso Cutrim Demétrio (2º Examinador)
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Professor Rodrigo de Azevedo Neves (2º Examinador)
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

SÃO LUÍS – MA

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo auxílio em todos os momentos da minha vida. À minha família, cujo apoio constante me dá a confiança necessária para enfrentar todos os desafios da vida. Aos mentores e professores que, com paciência e sabedoria, moldaram meu entendimento, em especial ao meu orientador engenheiro Vitor Affonso. Este trabalho é dedicado a todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

RESUMO

Este estudo visa abordar os conhecimentos aplicados em um projeto de abastecimento de água, destacando seus principais componentes e a função de cada um. O sistema de abastecimento apresentado é destinado a um condomínio de alto padrão, com 1.392 habitantes, localizado em Santo Amaro, Maranhão. Os objetivos específicos do trabalho incluem: levantamento de informações da área em estudo, obtenção das vazões de distribuição de água, dimensionamento da reservação e distribuição de abastecimento de água e elaboração de desenhos das unidades.

A metodologia utilizada inicialmente envolveu a coleta de dados e informações para caracterizar as condições do condomínio, seguido pela obtenção das vazões de produção e distribuição de água. Posteriormente, foram determinados os elementos necessários para o dimensionamento das unidades de abastecimento. O dimensionamento de cada unidade foi realizado com o auxílio do software EPANET 2.0, enquanto o software AutoCAD Civil 3D foi utilizado para modelar e detalhar os dados de levantamento topográfico, traçados das canalizações e elaboração das peças gráficas.

Palavras-chave: Reservação. Distribuição. Abastecimento. Dimensionamento. EPANET.

ABSTRACT

This study aims to explore the knowledge applied in a water supply project, highlighting its main components and their functions. The water supply system presented is intended for a high-standard condominium with 1,392 inhabitants, located in Santo Amaro, Maranhão. The specific objectives of the work include gathering information about the study area, obtaining water distribution flow rates, sizing the water storage and distribution system, and preparing unit drawings.

The methodology initially involved collecting data and information to characterize the conditions of the condominium, followed by obtaining the water production and distribution flow rates. Subsequently, the necessary elements for sizing the supply units were determined. The sizing of each unit was performed using the EPANET 2.0 software, while the AutoCAD Civil 3D software was used to model and detail the topographic survey data, pipeline layouts, and preparation of graphic pieces.

Keywords: Storage, Distribution, Supply, Sizing, EPANET.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 -	Ciclo da Água	14
Figura 02 -	Esquema de Sistema de Abastecimento de Água (Rede Setorizada)	20
Figura 03 -	Esquema de Captação Subsuperficial	22
Figura 04 -	Cavalete de Tratamento de Água por Desinfecção	27
Figura 05 -	Tipos de Reservatórios de Água	28
Figura 06 -	Esquema de Rede Ramificada, Malhada e Mista	30
Figura 07 -	Viscosidade em tubos	36
Figura 08 -	Localização de Santo Amaro - MA	45
Figura 09 -	Planta de Localização	46
Figura 10 -	Planta de Implantação	47
Figura 11 -	Topografia	48
Figura 12 -	Planta Modelagem no EPANET 2.0	51
Figura 13 -	Configurações Pré-definidas	55
Figura 14 -	Informações dos Nós	56
Figura 15 -	Informações dos Trechos	57
Figura 16 -	Modelo de Reservatório com Referências de Alturas	59
Figura 17 -	Relatório dos Nós	61
Figura 18 -	Relatório dos Trechos	61

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 -	Crescimento Populacional Aritmético	15
Equação 02 -	Crescimento Populacional Geométrico	16
Equação 03 -	Taxa de Crescimento Geométrico	16
Equação 04 -	Vazão de Projeto	31
Equação 05 -	Relação das Pressões em Sistemas	34
Equação 06 -	Pressão Hidrostática	34
Equação 07 -	Vazão Volumétrica	35
Equação 08 -	Conservação de Massa	36
Equação 09 -	Equação da Continuidade	36
Equação 10 -	Equação de Darcy	37
Equação 11 -	Fator de Atrito	37
Equação 12 -	Hazen Williams	38
Equação 13 -	Linha Piezométrica	39
Equação 14 -	Relação Perda de Carga e Vazão	40
Equação 15 -	Matriz Jacobiana – Parte 01	40
Equação 16 -	Matriz Jacobiana – Parte 02	41
Equação 17 -	Matriz Jacobiana – Parte 03	40
Equação 18 -	Matriz Jacobiana – Parte 04	41
Equação 19 -	Matriz Jacobiana – Parte 05	41
Equação 20 -	Matriz Jacobiana – Parte 06	41
Equação 21 -	Matriz Jacobiana – Parte 07	41
Equação 22 -	População por Lote	48
Equação 23 -	População Total	48
Equação 24 -	Consumo Médio Diário	51
Equação 25 -	Consumo Máximo Diário	51
Equação 26 -	Reservação Mínima	51
Equação 27 -	Vazão de Distribuição	53
Equação 28 -	Vazão por Metro Linear	54
Equação 29 -	Vazão em Marcha	55
Equação 30 -	Pressão Estática	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 CICLO HIDROLÓGICO	13
3.2 CONSUMO DE ÁGUA.....	15
3.3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	18
3.3.1 Captação Subterrânea	20
3.3.2 Adução	23
3.3.3 Tratamento Desinfecção	25
3.3.4 Reservação	27
3.3.5 Redes de Distribuição	29
3.4 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	29
3.4.1 Ramificadas, malhadas e mistas	30
3.5 ASPECTOS NORMATIVOS.....	31
3.5.1 NBRs necessárias para execução de projetos de abastecimento de água	34
3.6 HIDRÁULICA APLICADA A REDES DE DISTRIBUIÇÃO	34
3.6.1 Pressão	34
3.6.2 Velocidade	35
3.6.3 Vazão	36
3.6.4 Equação da Continuidade	36
3.6.5 Perda de Carga	37
3.6.6 Equação Universal	37
3.6.7 Equação Hazen Williams	38
3.6.8 Linha Piezométrica	39
3.7. FERRAMENTAS DE DIMENSIONAMENTO E MÉTODOS DE CÁLCULO.....	40
3.8. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	44
4 METODOLOGIA	45

4.1	ÁREA DE ESTUDO DO EMPREENDIMENTO.....	45
4.2	PLANTA DE URBANIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E CARACTERÍSTICA.....	46
4.3	LEVANTAMENTO DE DADOS.....	48
4.4	POPULAÇÃO E CONSUMO DE ÁGUA PER CAPITA.....	49
4.5	CONCEPÇÃO DO SISTEMA PROJETADO.....	50
4.6	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	52
4.7	DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	53
5	RESULTADOS.....	59
5.1	ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO.....	59
5.2	RESERVAÇÃO.....	59
5.3	REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	60
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63
	APÊNDICES.....	71

1 INTRODUÇÃO

Segundo a ONU (2010) é importante ressaltar que "o acesso à água potável e ao saneamento básico é um direito legal, e não um bem ou serviço providenciado a título de caridade". No entanto, apesar de sua vasta distribuição na Terra, apenas uma pequena fração é de água doce disponível para consumo humano. De acordo com Silveira et al. (2015, apud Shiklomanov, 1990), aproximadamente três quartos da superfície terrestre são cobertos por água, mas apenas 2,5% desse total é água doce, com a maior parte armazenada em calotas polares, geleiras e aquíferos subterrâneos.

De acordo com a ANA (2024), a universalização do acesso ao abastecimento de água potável e esgotamento sanitário é atribuída ao titular desses serviços. Este deve garantir a ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios, contemplando a totalidade dos serviços, atividades, infraestruturas e instalações operacionais associadas (ANA, 2024). Com isso, Libânio (2010) enfatiza que a água é o componente mais abundante nos organismos vivos e funciona como solvente para a maioria das substâncias.

Os serviços de saneamento básico, definidos como um conjunto de ações aplicadas ao meio ambiente, englobam o fornecimento de água potável, a gestão de esgoto, o controle de águas pluviais e a administração de resíduos sólidos, com o objetivo de preservar o bem-estar físico, social e mental das pessoas (Heller e Pádua, 2016).

Um sistema de abastecimento de água se trata de um conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao fornecimento de água potável a uma comunidade para diversos fins, como o consumo doméstico, serviços públicos e o consumo industrial (Azevedo Netto, 1998). Com isso, o dimensionamento de um sistema de distribuição de água é uma etapa crucial no planejamento e projeto de infraestruturas hídricas, com o objetivo de garantir um fornecimento eficiente e confiável de água para os usuários finais, usando-se como referência a NBR12218 (2017) que trata do Projeto de Rede de Distribuição de Água para o Abastecimento Público.

Esse sistema, no que se refere às redes de distribuição de água, torna-se bastante complexo. Conforme Tsutiya (2008), a concepção dos sistemas de abastecimento de água é variável, em função do porte do local, topografia, sua posição em relação aos mananciais, entre outros fatores.

No Brasil, esses serviços são monitorados tanto quantitativa quanto qualitativamente pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e são regulados por agências que estabelecem normas e fiscalizam a prestação de serviços. Com a promulgação do marco legal do saneamento básico, a Lei nº 14.026/2020, a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) foi incorporada ao sistema de regulação, visando uniformizar as regras do setor, facilitar a gestão e atrair investimentos.

O estudo do tema de sistemas de abastecimento de água justifica-se por ser aplicação direta do conhecimento científico na área de engenharia hidráulica, além disto, o correto dimensionamento de sistemas de abastecimento não apenas impacta diretamente na qualidade de vida dos moradores, mas também promove eficiência econômica ao otimizar custos de instalação, evitando problemas operacionais e de manutenção.

Condomínios residenciais são empreendimentos com demandas específicas de abastecimento, sendo assim, o dimensionamento e projeto do sistema de abastecimento é essencial para atender eficientemente às demandas de água da população local.

Por isso, o estudo de caso de um sistema localizado em Santo Amaro - MA fornece uma perspectiva prática e contextualizada, permitindo a identificação de desafios locais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Demonstrar o processo de dimensionamento do sistema de reservação e de distribuição de água em um condomínio localizado em Santo Amaro – MA.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e analisar as demandas específicas de água do condomínio, levando em consideração fatores como número de unidades, padrões de consumo e necessidades operacionais.
- Propor a concepção do sistema, levando em conta as variáveis ambientais específicas de Santo Amaro - MA, como clima, mananciais disponíveis e topografia.
- Dimensionar o sistema de reservação e distribuição do sistema de abastecimento de água, considerando parâmetros de pressão, velocidade, vazão e diâmetro das tubulações.
- Detalhar todas as partes do sistema de abastecimento dimensionadas, apresentando a prancha de detalhamento ao final do trabalho.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

A água é um dos elementos físicos que interferem diretamente na fauna e na flora, e interagindo com os demais elementos da natureza e seu meio. De acordo com a definição fornecida pelo United States Federal Council of Science and Technology, citada por Tucci (1997), a hidrologia é estudada como a ciência que trata da água da Terra, abordando sua ocorrência, circulação e distribuição, assim como suas propriedades físicas e químicas e suas interações com o meio ambiente, inclusive com os seres vivos.

O ciclo hidrológico pode ser definido como as interações entre as diversas fases do comportamento das águas dentro de um sistema fechado. Essas fases não constituem uma sequência simples de processos, mas sim um conjunto de etapas que representam os diferentes caminhos pelos quais a água circula na natureza (Bigarella e Suguio, 1990; Lopes, 2007).

De acordo com Lima (2008), o ciclo da água abrange vários e complexos processos hidrológicos, incluindo evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação e escoamento superficial. Além disso, inclui-se o processo de escoamento subsuperficial.

Para que esse processo de reciclagem ocorra, é preciso que a água se encontre inicialmente no ambiente que favoreça a formação de microgotículas que caracterizam o líquido em seu estado gasoso, o que ocorre em decorrência das condições de fatores relacionados à temperatura e umidade local, através da evaporação (Born, 2021).

Para compreender o ciclo hidrológico, deve-se descrevê-lo como iniciando com a evaporação da água dos oceanos. O vapor d'água resultante é transportado pelo movimento das massas de ar e, sob determinadas condições, condensa-se, formando nuvens que podem resultar em precipitação. A precipitação sobre a terra é dispersa de várias formas. A maior parte da água é temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e, eventualmente, retorna à atmosfera por meio da evaporação e transpiração das plantas. Parte da água restante escoar sobre a superfície do solo ou infiltra-se através dele para os rios (escoamento sub superficial), enquanto outra parte

penetra profundamente no solo, suprindo o lençol d'água subterrâneo (Villela e Mattos, 1975).

No ciclo hidrológico, ilustrado na Figura 01, a água ao alcançar a superfície, se infiltra, abastecendo os lençóis freáticos e aquíferos por meio da percolação e do escoamento subsuperficial. Outra porção da água escoam sobre a superfície através da rede de drenagem. É crucial observar que rios alimentados unicamente pelo escoamento superficial resultante da precipitação são chamados de efêmeros. Aqueles que são alimentados tanto por águas superficiais quanto subsuperficiais são denominados perenes, quando o escoamento é contínuo ao longo do ano, ou intermitentes, quando secam durante períodos de estiagem devido ao rebaixamento do lençol freático e à ausência de chuvas (Bigarella e Suguio, 1990).

Figura 01 - Ciclo da Água



Fonte: U.S. Geological Survey (2019)

O comportamento do fluxo das águas superficiais e subterrâneas no ciclo hidrológico está intrinsecamente relacionado às bacias sedimentares. Identificar essas bacias é crucial para compreender as interações da água com o meio físico, uma vez que a precipitação é a principal fonte de recarga desses reservatórios. Essas

estruturas geológicas são definidas por divisores de água, que determinam a forma das bacias hidrográficas e sua separação (Bertolo, 2015).

O escoamento indireto, que abastece os reservatórios pela infiltração da água no solo, é também conhecido como escoamento de base. A porosidade e a saturação do solo influenciam esse processo. Inicialmente, a água da chuva infiltra-se no solo por percolação, aumentando a saturação do meio e promovendo o escoamento superficial à medida que o escoamento subterrâneo diminui. O lençol freático, que define a região totalmente saturada, limita a infiltração adicional de água (Pinto, 1976; Tucci, 2001).

As águas subterrâneas, devido à sua invisibilidade e facilidade de captação, frequentemente são subestimadas e negligenciadas nos planos de gerenciamento de recursos hídricos urbanos. No entanto, a industrialização e o crescimento urbano têm impulsionado estudos sobre esses recursos devido à maior demanda por água para atividades básicas. Os setores de irrigação, consumo doméstico e industrial são os principais responsáveis pelo aumento dessa demanda (Hirata, 2019; Fitts, 2014).

Os aquíferos, principais reservatórios de água subterrânea consumível, são delimitados pelas regiões insaturadas e saturadas dos lençóis freáticos. A camada insaturada, com maiores vazios entre os grãos, permite uma maior infiltração da água, enquanto a camada saturada, abaixo da linha do nível freático, oferece maior resistência ao escoamento (Pinto, 1976; Iritani, 2012).

No Brasil, a quantidade de água subterrânea disponível, captada através de poços, é suficiente para atender a demanda nacional. Isso sugere que a água subterrânea poderia, sozinha, suprir as necessidades de abastecimento da população (Hirata, 2019; Feitosa, 2008).

3.2 CONSUMO DE ÁGUA

A implementação de um sistema de abastecimento de água deve ser organizada para atender uma ampla variedade de necessidades, sendo que o dimensionamento eficiente de cada unidade deve considerar não apenas a situação atual, mas também as demandas futuras. Esse período de previsão é conhecido como horizonte de projeto ou alcance de projeto (Funasa, 2020).

A projeção da população atendida pelo sistema de abastecimento é igualmente crucial para garantir sua sustentabilidade ao longo do tempo. Conforme destacado por

Tsutiya (2006) e Heller; Pádua (2006), é necessário projetar o sistema levando em consideração o crescimento populacional esperado ao longo de um período que geralmente varia de 20 a 30 anos. Para isso, são utilizados diversos métodos de projeção, adaptados às características específicas de cada localidade, a fim de garantir que o sistema possa atender às necessidades futuras da população de forma eficiente e sustentável.

Nas palavras de Gomes (2002), este modelo prevê o comportamento de aumento da população de um núcleo urbano através de uma progressão aritmética. Sendo assim, a população ao final do alcance do projeto será dada pela Equação 01, abaixo.

$$P=P_0+r(t-t_0) \quad (1)$$

onde:

P = População na data t;

P₀ = População na data inicial t₀;

r = razão de crescimento da população;

Porém existe uma ressalva na utilização desse método, segundo Tsutiya (2006), onde é inferido que este método considera uma variação linear da população pelo tempo, e isso causa uma acentuada discrepância com a realidade quando utilizado para grandes períodos, sendo assim, este método é indicado apenas para períodos curtos, entre 1 e 5 anos.

“No modelo geométrico, admite-se que o crescimento da cidade nos últimos anos se processou conforme uma progressão geométrica, com as populações dos anos posteriores seguindo a mesma tendência” (Gomes, 2002. p. 15). Para obter os dados necessários para montar a equação deve-se possuir pelo menos 2 dados populacionais de 2 anos distintos (t₁ e t₂). A expressão que calcula a população no tempo final de alcance de projeto é descrita na Equação 2 a seguir:

$$P = P_0 \cdot (g)^{t-t_0} \quad (2)$$

onde:

P = População na data t;

P₀ = População na data inicial t₀;

g = taxa de crescimento geométrico;

A taxa de crescimento geométrico ainda é dada pela Equação 3:

$$g = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P_t}{P_0}} \right) - 1 \right] * 100 \quad (3)$$

P_t = População Final;

P₀ = População Inicial;

A Fundação Nacional da Saúde (2006), na 5ª edição do Manual de Saneamento, estabeleceu uma taxa de crescimento de 2% ao ano para representar a expansão populacional em comunidades rurais, sendo essa taxa aplicável em projetos voltados para pequenas comunidades.

A Agência IBGE (2023) indica que a média de ocupação domiciliar na região norte do Brasil varia entre 3,01 e 3,50 pessoas por domicílio. Ademais, Mancintyre (2021) apresenta, para situações onde sabe-se o layout de residências, uma estimativa de 2 pessoas por quarto social.

A estimativa do consumo de água e da população é um processo fundamental para o planejamento eficaz dos sistemas de abastecimento, como ressaltado por Tsutiya (2006). Essa análise prévia é indispensável, pois permite dimensionar adequadamente os sistemas de acordo com as necessidades locais, considerando fatores como hábitos de consumo, variações sazonais e demandas específicas de diferentes setores, conforme discutido por Netto et al. (1998).

De acordo com Gomes (2009), áreas residenciais situadas em regiões litorâneas ou em zonas turísticas urbanas demonstram um padrão de consumo de água superior à média, especialmente durante os períodos de alta temporada turística. Além disso, para a região do Maranhão, segundo CAEMA (2022), BRK (2023), no

Manual do Empreendedor, e Silva (2014), definem um consumo per capita mínimo de 150 litros por dia.

3.3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A disponibilidade de água é uma necessidade intrínseca à vida humana e ao funcionamento das sociedades, tornando os sistemas de abastecimento de água essenciais para o bem-estar e o desenvolvimento das comunidades, conforme abordado por Pereira e Condurú (2014). Ainda segundo Pereira e Condurú (2014), esses sistemas, complexos em sua natureza, englobam diversas etapas que visam garantir o fornecimento contínuo de água potável aos consumidores finais. Desde a captação da água bruta até sua distribuição nas residências e estabelecimentos, cada fase desse processo demanda uma cuidadosa análise e planejamento para assegurar a qualidade e a quantidade necessárias de água.

Nesse sentido, Tsutiya (2006) ressalta a importância de um estudo minucioso na concepção desses sistemas, enfatizando a necessidade de compreender profundamente a área de estudo, suas características demográficas, a disponibilidade dos recursos hídricos e a demanda por água. A partir dessa análise abrangente, é possível identificar as melhores estratégias para o dimensionamento e a operação do sistema de abastecimento, garantindo sua eficiência e adequação às necessidades da população atendida.

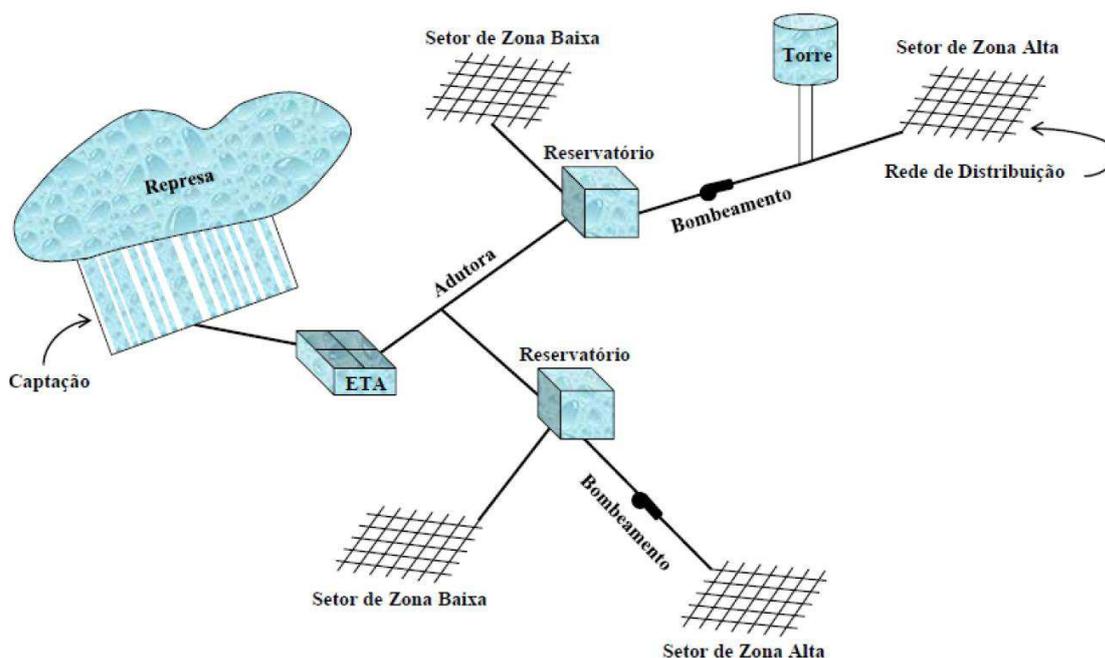
Segundo Gouveia (2012), um sistema se divide em várias unidades construtivas, como: Manancial (represa, rio, lago), captação, adutora, estação elevatória, estação de tratamento, reservatório, rede de distribuição e ligação domiciliar.

- Manancial: o manancial é a fonte de onde se retira água, a qual deve estar em condições sanitárias adequadas para consumo.
- Captação: a captação é o conjunto de instalações utilizadas para a retirada de água do manancial.
- Adução: a adução consiste no conjunto de tubulações, peças, acessórios e obras dispostas, geralmente, entre a captação e a Estação de Tratamento de Água (ETA), e desta até o reservatório de distribuição.

- Tratamento: o tratamento é o conjunto de procedimentos que visam melhorar as características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas da água, a fim de que esta atinja os padrões de potabilidade exigidos.
- Reservação: a reservação é constituída de reservatórios destinados ao armazenamento de água. Eles têm a função de atender às variações do consumo ao longo do dia, garantir a continuidade do abastecimento em casos de paralisação na produção de água, manter a rede adequadamente pressurizada e oferecer uma reserva para combate a incêndios.
- Rede de distribuição: a rede de distribuição é composta por tubulações, conexões, registros e peças especiais que têm a função de distribuir a água aos usuários do sistema.
- Estações elevatórias: as estações elevatórias são instalações destinadas a transportar e elevar a água;
- Ramal predial: o ramal predial é a ligação entre a rede pública de distribuição e a rede domiciliar.

De acordo com Tsutiya (2006), o planejamento das redes de distribuição hidráulica (Figura 02) envolve a segmentação em condutos principais, ou troncos, que possuem diâmetros maiores e têm a função de alimentar as canalizações secundárias, estas últimas são responsáveis por fornecer água diretamente aos pontos de consumo.

Figura 02 – Esquema de Sistema de Abastecimento de Água (Rede Setorizada)



Fonte: Gouveia (2012)

3.3.1 Captação Subterrânea

As águas subterrâneas desempenham um papel crucial no cumprimento dos compromissos da Agenda 2030 e seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) no Brasil. Elas são essenciais para o abastecimento público de milhares de pessoas, sustentam sistemas de irrigação agrícola, servem como insumo na produção industrial e mantêm importantes ecossistemas. A utilização dessas águas promove o desenvolvimento local, contribuindo para o crescimento econômico, erradicação da pobreza, promoção da dignidade humana e bem-estar das populações.

As águas subterrâneas são definidas como aquelas encontradas abaixo da superfície do solo, incluindo tanto as águas da camada não saturada do subsolo quanto as da sua zona saturada. Estas águas podem estar contidas nos vazios intergranulares das rochas sedimentares ou nas fraturas das rochas compactas (Rebouças et al., 1999).

Estima-se que a disponibilidade de água subterrânea no Brasil seja em torno de 14.650 m³/s, embora a sua distribuição pelo território nacional não seja uniforme.

As características hidrogeológicas dos aquíferos variam consideravelmente (Ana, 2020).

As águas provenientes de mananciais subterrâneos constituem uma das mais importantes reservas para abastecimento público e consumo humano. Em grande parte dos casos, essas águas não necessitam de tratamento antes de serem utilizadas pela população, devido ao processo natural de filtragem que ocorre durante a infiltração através das camadas do subsolo. Consideram-se fontes de água subterrânea os poços rasos e profundos, nascentes e galerias de infiltração (Philippi, 2005).

Natal e Nascimento (2014) destacam que o uso da água subterrânea para abastecimento público oferece grandes vantagens. Entre estas, incluem-se o baixo custo da perfuração de poços em comparação com os custos da infraestrutura necessária para a captação de mananciais superficiais, a viabilidade de utilização para o abastecimento de pequenas e médias comunidades e a boa qualidade da água para consumo humano.

Porto (2006), em seu estudo sobre a captação de águas subterrâneas, aborda os diferentes tipos de captação que podem ser utilizados em uma rede de abastecimento. A escolha do método de captação é crucial para definir as características operacionais do sistema, sendo um fator determinante nas possibilidades técnicas viáveis. Os principais métodos de captação incluem o uso de poços subterrâneos, que podem ser classificados como poços rasos ou profundos.

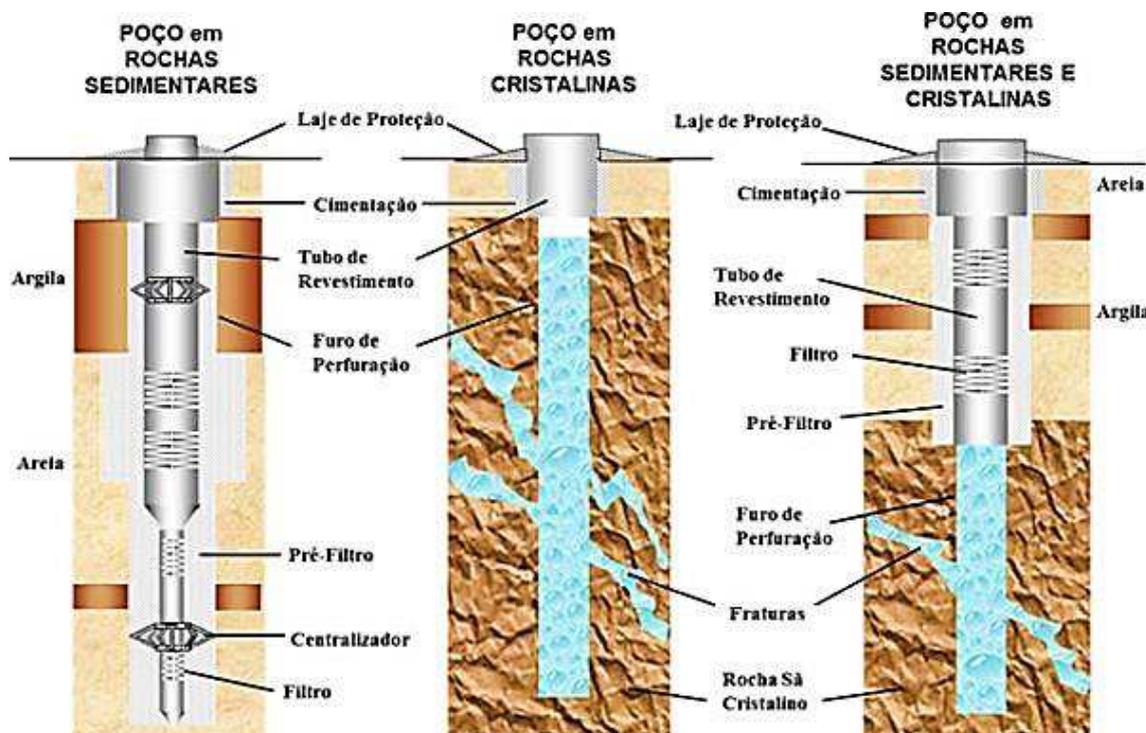
Os poços rasos, também conhecidos como poços escavados, captam água do lençol freático. Esses poços não são projetados para grandes profundidades, mas podem ser vantajosos dependendo da produtividade do aquífero. A execução desses poços é relativamente simples e pode ser concluída rapidamente, permitindo o uso de equipamentos manuais para a perfuração até o nível de captação da água. No entanto, devido à proximidade da superfície, a água captada nesses poços tem maior probabilidade de contaminação em comparação com a água obtida de poços profundos (Born, 2021).

Segundo Netto et al. (1998), a captação de água subterrânea, especialmente de lençóis freáticos ou subsuperficiais, é geralmente realizada em fundos de vale ou suas proximidades. Este processo pode envolver o uso de um sistema de drenos

coletores para captação horizontal, ou a perfuração de poços rasos para captação vertical. No caso dos drenos coletores, tubos perfurados são utilizados para reunir a água em um ponto específico, de onde ela é conduzida para tratamento e posterior uso. Em relação aos poços rasos, Heller e Pádua (2006) explicam que essas escavações manuais ou mecânicas possuem uma seção cilíndrica e profundidade suficiente para atingir a zona saturada, onde a água é coletada, definida pelo nível do lençol freático ou do aquífero.

Netto et al. (1998) também discutem a captação de água de lençóis profundos ou artesianos, demonstrado na Figura 03. Esses mananciais, geralmente encontrados entre duas camadas impermeáveis que os protegem da contaminação, requerem a perfuração de poços tubulares profundos para a extração da água. Este método é eficaz para alcançar e aproveitar esses recursos hídricos mais profundos, garantindo um abastecimento de água relativamente protegido de poluentes superficiais.

Figura 03 - Esquema de Captação Subsuperficial



Fonte: Edison Fiori (2018)

Os poços profundos diferem significativamente dos poços rasos não apenas pela profundidade de perfuração, que pode atingir milhares de metros, mas também pelas diferenças qualitativas em seu processo de construção. A construção de poços

profundos requer o emprego de tecnologias e equipamentos mais especializados, além de mão de obra habilitada para executar as etapas construtivas de maneira a minimizar, ou preferencialmente eliminar, problemas durante e após a perfuração (BORN, 2021).

O local escolhido para a implantação do poço deve permitir o acesso dos equipamentos de perfuração e considerar a proximidade dos pontos de fornecimento de energia elétrica necessários para o funcionamento dos dispositivos do sistema. Além disso, a localização deve facilitar o alcance à fonte de água no aquífero a ser explorado, reduzindo custos de execução e manutenção e considerando também fatores econômicos no processo (GIAMPÁ, 2013).

Os diferentes tipos de poços são geralmente classificados de acordo com o método de construção empregado, que pode envolver escavação ou uso de trado manual, além de técnicas de percussão, como nos poços de ponteira, ou perfuração mecanizada com sonda perfuratriz. No entanto, exceto para poços construídos com técnicas de perfuração mecanizada, a execução é limitada a poços rasos em locais de depósitos não consolidados para captação de água subterrânea.

A perfuração mecanizada é recomendada para poços que exigem maior complexidade construtiva e maior profundidade. Existem basicamente três tipos de perfuração mecanizada amplamente empregados nesses casos: percussora, rotativa e roto-pneumática (FREEZE, 2017).

3.3.2 Adução

O transporte de água entre unidades do sistema de abastecimento, conhecido como adução, pode ocorrer de duas formas: adução de água bruta, quando a água ainda não passou por etapas de tratamento, e adução de água tratada. Esse transporte pode ser realizado por gravidade, quando as características topográficas permitem, ou por bombeamento, especialmente em sistemas que utilizam água subterrânea (Nucase, 2008).

Segundo Tsutiya (2006), adutoras são classificadas com base na natureza da água que transportam: adutoras de água bruta, que transportam água sem tratamento, e adutoras de água tratada, que transportam água após o tratamento. Além disso, Netto et al. (1998) classificam as adutoras de acordo com a energia utilizada para

movimentar a água: por gravidade, por recalque, ou uma combinação das duas (mista).

Tsutiya (2006) descreve que adutoras por gravidade conduzem água de uma cota mais elevada para uma mais baixa, podendo operar em condutos forçados, quando a pressão da água é maior que a atmosférica, ou em condutos livres, quando a pressão da água é igual à atmosférica. As adutoras por recalque, por outro lado, elevam a água de uma cota mais baixa para uma mais alta utilizando estações elevatórias. As adutoras mistas combinam trechos por gravidade e por recalque.

Essas tubulações não possuem derivações para alimentar distribuidores de rua ou ramais prediais, embora, em alguns casos, a adutora principal possa se subdividir em sub-adutoras que abastecem pontos adicionais no sistema de abastecimento de água (Côrrea, 2014).

O bombeamento de água subterrânea utiliza um conjunto motor-bomba, geralmente submerso no poço, para realizar a sucção da água. Embora outros tipos de equipamentos possam ser utilizados, eles são geralmente menos eficientes. A escolha do motor depende da vazão prevista: motores do tipo radial são utilizados para vazões até 35 m³/h, enquanto motores semi-radiais são usados para vazões superiores (Tsutiya, 2006).

Para traçar o perfil de uma adutora de recalque, Tsutiya (2006) recomenda várias atividades: inspeção de campo para escolher o melhor traçado, levantamento topográfico da faixa de terreno ao longo do traçado, obtenção de dados geotécnicos do subsolo através de sondagens, lançamento do eixo da adutora a cada 20 metros na planta da faixa, e elaboração do perfil do terreno e da adutora.

A tubulação usada nos sistemas de adução geralmente é feita de ferro fundido ou aço galvanizado, com diâmetros variando de 50 a 250 mm. Também podem ser utilizadas tubulações de PVC e, em casos específicos, mangueiras flexíveis, que são mais comuns em sistemas de extensão reduzida. Entre a captação e o armazenamento da água, é essencial a instalação de um cavalete com dispositivos de controle de vazão, como manômetros e válvulas de gaveta (Feitosa, 2008; Tsutiya, 2006).

Quanto aos tipos de tubulações, Heller e Pádua (2006) explicam que se utilizam, em adutoras de condutos forçados por gravidade, tubulações de aço, ferro fundido, PVC, polietileno ou polipropileno. Nas adutoras de recalque, as tubulações

de aço ou ferro fundido dúctil são preferíveis devido à sua maior resistência às variações de pressão interna provocadas por golpes de aríete.

3.3.3 Tratamento Desinfecção

As águas provenientes de Soluções Alternativas Coletivas (SAC), como os poços artesianos, geralmente não passam por nenhum tratamento. Conseqüentemente, elas podem não atender aos parâmetros de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS n.º 888. Para garantir que a água de poço artesiano seja segura para o consumo humano, é necessário submetê-la a processos de filtração e desinfecção (cloração), além de monitorar sua qualidade por meio de análises periódicas (Micro Ambiental, 2021).

O tratamento de água tem como objetivo principal garantir a qualidade estética e a segurança microbiológica da água. A desinfecção, um componente crítico deste processo, envolve a remoção e inativação de microrganismos patogênicos presentes na água através de métodos físicos e/ou químicos (Filho, 2017). A eficácia da desinfecção é influenciada pelas características da água, tais como a presença de materiais em suspensão e compostos orgânicos que podem reduzir a eficiência da inativação dos patógenos.

A CONAMA n°357 (2005), que dispõe sobre o enquadramento dos corpos hídricos, classifica as águas doces como aquela com salinidade igual ou inferior a 0,5%, e as águas doces por sua vez são classificadas como sendo de Classe I, Classe II, Classe III, Classe IV e Classe Especial, contido na Tabela 01. Ainda segundo a CONAMA (2005), n° 357, no Art. 4º, item I, descreve que as classes especiais se enquadram ao consumo de abastecimento para consumo humano, com desinfecção. No Quadro 2, estão dispostos cada classe e os critérios de enquadramento da água para abastecimento humano, bem como o tipo de tratamento requerido para que esta água se adeque aos padrões de potabilidade.

Tabela 1 – Enquadramento de Água para Consumo Humano

Tipo de Classe	Tratamento Requerido
Classe Especial	Desinfecção
Classe I	Tratamento Simplificado
Classe II	Tratamento Convencional
Classe III	Tratamento Convencional e Avançado
Classe IV	Não se aplica

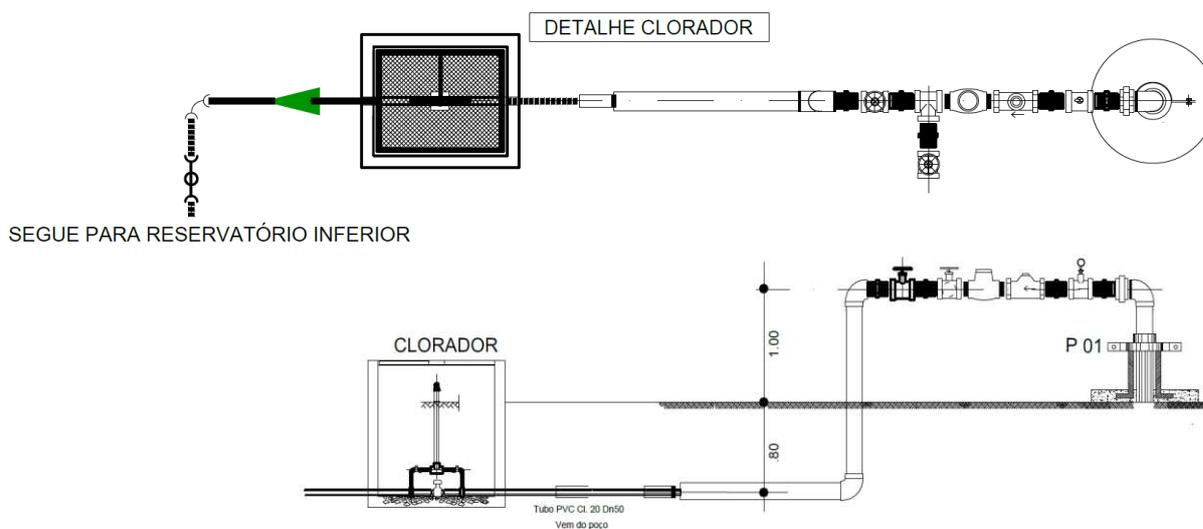
Fonte: CONAMA (2005)

Os métodos de desinfecção química incluem a utilização de cloro e seus compostos, ozônio e iodo. Já a desinfecção física pode ser realizada por meio de calor, luz ultravioleta e radiação gama (Brasil, 2006). Os agentes químicos, exceto o ozônio, geralmente agem destruindo ou danificando a parede celular dos microrganismos, permitindo que o desinfetante penetre na célula e cause inativação. Os agentes físicos, por outro lado, interferem na biossíntese e na reprodução celular, danificando ácidos nucleicos, coenzimas ou estruturas celulares através de ações fotoquímicas (Libânio, 2010).

O cloro é o desinfetante mais comumente utilizado devido à sua eficácia comprovada na eliminação de organismos patogênicos. Ele é frequentemente aplicado na forma de cloro molecular (Cl_2), tanto em estado líquido quanto gasoso (Brasil, 2014). No entanto, a cloração pode levar à formação de subprodutos, como os trihalometanos, que surgiram como uma preocupação significativa na década de 1970 devido ao seu potencial cancerígeno. Esses compostos são subprodutos da desinfecção com cloro em águas com alto teor de matéria orgânica. Embora os trihalometanos sejam os mais estudados, não são os únicos subprodutos da desinfecção (Brasil, 2006).

Diversos equipamentos são utilizados no processo de cloração da água, como demonstrado na Figura 04. Entre eles, destacam-se as bombas dosadoras elétricas de diafragma e pistão, hidrojatores a vácuo, dosadores de nível constante, cloradores de pastilha, geradores de hipoclorito e sistemas automatizados. A escolha do equipamento depende da complexidade ou simplicidade do sistema de cloração em questão (Funasa, 2014).

Figura 04 – Cavalete de Tratamento de Água por Desinfecção



Fonte: BRK (2022)

3.3.4 Reservação

Para dimensionar o volume de reservação em projetos onde faltam dados para traçar a curva de variação diária de consumo, o volume mínimo necessário para compensar essa variação deve ser igual ou maior a 1/3 do volume distribuído no dia de maior consumo (PNB 594/77).

A NBR 12217/1994, define como reservatório de distribuição a unidade do sistema de abastecimento designada para regularização das variações entre as vazões de adução e de distribuição, bem como controle das pressões da rede. Essa mesma norma, apresenta também o reservatório elevado como condicionante das pressões da rede, estando este localizado em áreas de cotas topográficas mais altas.

Os reservatórios de montante, conforme definido nos tópicos 3.3 e 3.4 da NBR-12217/1994, são responsáveis por fornecer água à rede de distribuição, enquanto os de jusante podem tanto fornecer quanto receber água.

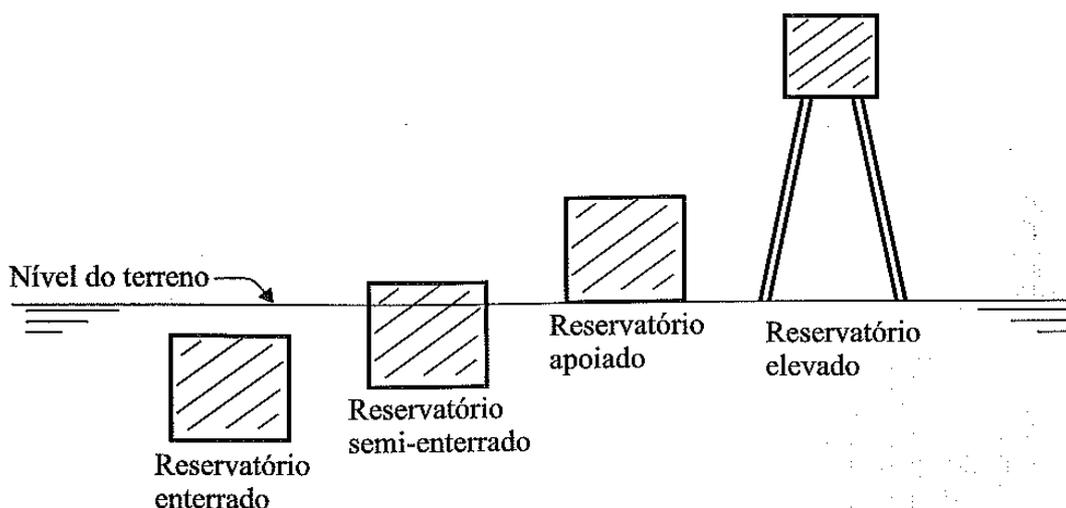
Segundo as diretrizes estabelecidas pela NBR-12217/1994, os reservatórios de distribuição desempenham um papel crucial nos sistemas de abastecimento, em que atuam na regulação das vazões e na manutenção das pressões na rede (Netto et al., 1998). Esses reservatórios podem assumir diferentes configurações, como enterrados, semienterrados, apoiados, elevados, de montante ou de jusante, dependendo de sua estrutura e posição em relação à rede.

Segundo Costa (1997), reservatórios de água podem se dividir em dois grandes grupos, que seriam o grupo dos reservatórios térreos e o grupo dos reservatórios elevados. Os reservatórios térreos se caracterizam como aqueles onde as cargas de água existentes são descarregadas diretamente sob a fundação. Já os reservatórios elevados são compostos de toda uma estrutura que fica a cargo de descarregar o peso da água na fundação. O autor, ainda denota que os reservatórios são compostos das partes citadas abaixo:

- 1) Cuba: área com a finalidade de armazenar água.
- 2) Fundações: componentes estruturais em contato com o solo, com o intuito de alcançar as reações necessárias para o equilíbrio da estrutura.
- 3) Torre: elemento da estrutura que se encarrega da transmissão das cargas da cuba até a fundação. Só é encontrada em reservatórios elevados, podendo ser em forma de pilar ou de fuste.

Tsutiya (2006) ressalta que, ao projetar reservatórios, sejam eles terrestres ou elevados, como representador na Figura 05, é essencial prever tubulações de entrada, saída e extravasão, além de dispositivos controladores de nível na entrada para evitar transbordamentos. Ademais é necessário manter uma folga mínima de 0,30 metros entre a tampa do reservatório e o nível máximo de água do extravasor.

Figura 05 – Tipos de Reservatórios de Água



Fonte: Tsutiya (2006)

3.3.5 Redes de Distribuição

Sendo o foco principal do trabalho, as redes de distribuição de água que são vitais para o fornecimento de água potável, transportando-a dos reservatórios aos consumidores, serão abordadas de forma mais detalhada no item 3.5.

3.4 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Tsutiya (2006) caracteriza as redes de distribuição de água como sistemas que transportam água potável até os consumidores, assegurando quantidade, qualidade e pressão apropriadas. Estas redes são constituídas por tubulações principais, de maior diâmetro, que abastecem as tubulações secundárias, de diâmetro menor, as quais fornecem água diretamente aos pontos de consumo.

Conforme Heller e Pádua (2006), o dimensionamento das tubulações de uma rede de distribuição de água pode ser realizado através de métodos específicos, tais como o dimensionamento trecho-a-trecho, com ou sem seccionamento fictício, apropriado para áreas pequenas, e o dimensionamento por áreas de influência, que utiliza pontos nodais e é aplicado a áreas maiores. No método trecho-a-trecho com seccionamento fictício, a rede malhada é transformada em uma rede ramificada por meio de pontos que originam extremidades livres, simplificando o cálculo.

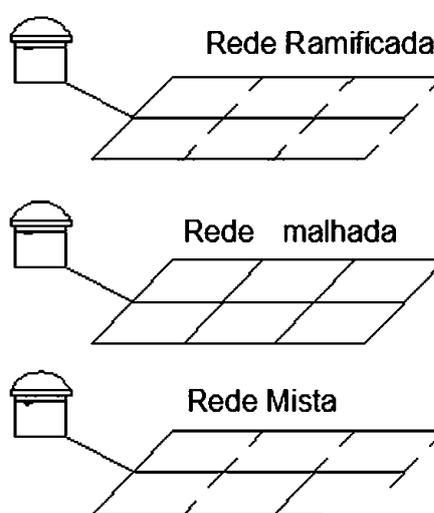
Os tubos na rede de distribuição trabalham em regime forçado, e conforme apresentado por Luiz Mário Marques Couto em seu livro "Elementos da Hidráulica" (2019), um conduto forçado é um componente crucial nos sistemas hidráulicos utilizado para o transporte de fluidos. Esse conduto possui uma seção transversal fechada, estando completamente cheio de líquido, com uma pressão interna que difere da pressão atmosférica, geralmente sendo superior a ela. O fluxo dentro desse conduto se desloca da seção de maior energia para as outras, independentemente da posição relativa entre as seções.

Adicionalmente, Tsutiya (2006) explica que as tubulações principais, ou troncos, são caracterizadas por maiores diâmetros e destinam-se a abastecer as tubulações secundárias. Estas tubulações secundárias são responsáveis por distribuir a água diretamente aos pontos de consumo, completando a configuração funcional das redes de abastecimento de água.

3.4.1 Ramificadas, malhadas e mistas

Heller e Pádua (2006) também identificam dois tipos principais de traçado das redes de distribuição, ilustradas na Figura 06: as redes ramificadas, onde as tubulações principais seguem a direção predominante da área de distribuição, e as redes malhadas, que permitem interligações entre as tubulações em ambas as extremidades, promovendo uma maior segurança operacional.

Figura 06 – Esquema de Rede Ramificada, Malhada e Mista



Fonte: Alves (2019)

O procedimento de cálculo para determinar as variáveis de uma rede ramificada é simplificado, pois trata-se de um processo de cálculo determinado, dado que o sentido da vazão em cada trecho é conhecido (Porto, 2006). Segundo a NBR 12218/2017, "O dimensionamento dos trechos ramificados pode ser feito, admitida à distribuição uniforme do consumo ao longo do trecho", ou seja, considerando que a vazão demandada é distribuída uniformemente ao longo do trecho, conhecido como distribuição em marcha. Adicionalmente, a norma NBR 12218/2017 especifica que as perdas de carga devem ser calculadas considerando a soma da vazão a jusante do trecho com a metade da vazão distribuída ao longo do trecho, o que é denominado vazão fictícia.

Um aspecto relevante da NBR 12218 (2017) é o item 5.6.6, que afirma que o dimensionamento de circuitos fechados, constituídos por condutos principais, e a análise do funcionamento global da rede devem ser realizados por métodos de cálculo

iterativo. Esses métodos devem garantir resíduos máximos de vazão e de carga piezométrica de 0,1 l/s e 0,5 Kpa, respectivamente.

Há diversos métodos que atendem às condições normativas para o dimensionamento de redes de distribuição de água. Antes do advento dos processos computadorizados, métodos simplificados como o do seccionamento fictício e o Hardy Cross eram empregados para realizar cálculos manualmente. Com o avanço da tecnologia, métodos automatizados, como o Método Híbrido Nó-Malha, também conhecido como Método do Gradiente e utilizado no software EPANET (ROSSMAN, 2000), foram desenvolvidos para facilitar e tornar mais eficiente o dimensionamento de grandes sistemas.

3.5 ASPECTOS NORMATIVOS

No contexto de um projeto real, inicialmente são analisadas as zonas de pressão da área em estudo para, posteriormente, dimensionar as redes de distribuição de água conforme as etapas especificadas no tópico 4.1.2 da NBR 12218 (2017). De acordo com Gomes (2002), ao estabelecer a demanda de água para um projeto de sistema de abastecimento, devem ser consideradas duas variações principais: uma estacional, que ocorre ao longo do ano, e outra horária, que ocorre ao longo do dia.

Para a variação estacional, a vazão pode oscilar entre 20% e 50%, sendo representada pelo coeficiente k_1 , que define o dia de maior consumo. Esse coeficiente é mais relevante em países de clima temperado devido à maior amplitude térmica anual. No Brasil, o valor usualmente adotado para k_1 é de 1,2 (Gomes, 2002). A variação horária, por sua vez, é significativamente influenciada pelo uso de reservatórios domiciliares, que tendem a reduzir os picos de consumo máximo ao longo do dia. O coeficiente k_2 , representando a hora de maior consumo, é adotado em 1,5, dado que a maioria das residências brasileiras possuem reservatórios domiciliares (Gomes, 2002).

Para o dimensionamento das tubulações de uma rede de abastecimento de uma cidade, a vazão de projeto deve considerar a pior situação possível, levando em conta tanto o dia de maior consumo quanto a hora de maior consumo, garantindo assim a eficiência e a confiabilidade do sistema. Por isso, a vazão de projeto é dada pela Equação 4:

$$Qd = \frac{k1.k2.P.qm}{86400} (l/s) \quad (4)$$

onde:

Qd = vazão de projeto para fim de plano;

k1 e k2 = coeficientes das vazões, respectivamente, do dia de maior consumo e da hora de maior consumo;

P = população esperada para o final de plano;

qm = consumo médio per capita da cidade.

De acordo com a norma NBR 12211 (1992), consumidores singulares são definidos como aqueles que, ocupando parte de uma área específica, apresentam um consumo específico consideravelmente maior que o produto da vazão específica da área pela área por eles ocupada. Esses consumidores são caracterizados por grandes demandas de água, significativamente superior ao consumo típico da região. Exemplos incluem escolas, hospitais e indústrias. As vazões destes grandes consumidores devem ser alocadas no nó que representa a zona de influência do respectivo grande consumidor.

O estudo baseou-se no tópico 5.3.1 da NBR 12218 (2017), que especifica que a pressão estática máxima nas tubulações de distribuição deve ser de 400 kPa, podendo chegar a 500 kPa (aproximadamente 50 metros de coluna de água - m.c.a) e a pressão dinâmica mínima deve ser de 100 kPa (aproximadamente 10 m.c.a).

A norma estabelece explicitamente um limite para a perda de carga unitária de 10 m/km, e esse parâmetro é crucial, especialmente em áreas de topografia plana, onde as perdas de carga podem ser um fator limitante para as condições de pressão do sistema.

Para garantir que as pressões especificadas pela NBR 12218 (2017) sejam alcançadas, o coeficiente de rugosidade C, utilizado no dimensionamento pelo método de Hazen-Williams, deve ser considerado. Segundo Luiz Mário (2019), o coeficiente C varia conforme a natureza do material e as condições das paredes do tubo. Inicialmente, o polietileno apresenta uma rugosidade de C=140, que pode variar conforme a vazão, diâmetro e pelo desgaste devido ao tempo.

A NBR 12218 (2017) também especifica a velocidade do fluido na rede de distribuição, exigindo uma velocidade mínima de 0,4 m/s e uma máxima de 3,0 m/s

para assegurar que o sistema atenda adequadamente tanto às necessidades iniciais quanto às finais do projeto. Tsutiya (2006) observa que velocidades menores contribuem para a longevidade das tubulações e preservam a qualidade da água, enquanto velocidades maiores podem reduzir os diâmetros dos tubos e diminuir os custos, embora possam aumentar a abrasão e as perdas de carga.

Segundo a norma NBR 12218 (2017), o diâmetro mínimo das tubulações deve ser de 50 mm. Martins (1976) apresenta uma correlação entre diâmetro, velocidade máxima e vazão máxima na rede, como demonstrado na Tabela 2. O Policloreto de Vinila (PVC), tanto nas variantes Policloreto de Vinila com Borracha Acrílica (PBA) com ponta e bolsa quanto Dioctil Ftalato com Óxido de Ferro (DEFOFO) com ponta lisa, é atualmente o material mais utilizado em redes de distribuição de pequenos diâmetros. Este material está disponível em bitolas que variam de 50 a 270 mm para PVC PBA e de 100 a 600 mm para PVC DEFOFO, com classes de pressão variando entre 60 a 100 m.c.a. As juntas mais comuns para esses materiais são do tipo elástica e ponta bolsa, conforme descrito por Alem Sobrinho e Contrera (2013, citado por Guedes, 2018).

Tabela 2 – Velocidades máximas na rede de distribuição em função do diâmetro

D (mm)	V_{máx} (m/s)	Q_{máx} (l/s)
50	0,50	1,0
75	0,50	2,2
100	0,60	4,7
150	0,80	14,1

Fonte: Adaptado Tsutiya, 2006

Para o cálculo das vazões nos trechos de uma rede de abastecimento, partindo dos nós nas extremidades onde as vazões são nulas de jusante a montante, considera-se a vazão de jusante como zero. A vazão de demanda em marcha é obtida multiplicando-se a vazão específica (q_m) pelo comprimento do trecho. A vazão de montante é então a soma da vazão de jusante com a vazão em marcha. A vazão fictícia no trecho, Q_t , é determinada pela média das vazões a montante e marcha, garantindo uma modelagem precisa do comportamento hidráulico da rede.

Ao sair dos "nós" nas extremidades, onde as vazões são nulas de montante a jusante, procede-se ao cálculo da vazão de montante, da vazão de demanda em operação, da vazão de jusante e da vazão no segmento fictício, conforme a equação de Hazen-Williams.

3.5.1 NBRs necessárias para execução de projetos de abastecimento de água

- a) NBR 12.211/1992 – Estudo de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água;
- b) NBR 12.212/2017 – Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea;
- c) NBR 12.213/1992 – Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público;
- d) NBR 12.214/1992 – Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público;
- e) NBR 12.215-1/2017 – Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público;
- f) NBR 12.216/1992 – Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público;
- g) NBR 12.217/1994 – Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento público;
- h) NBR 12.218/2017 – Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público.

3.6 HIDRÁULICA APLICADA A REDES DE DISTRIBUIÇÃO

3.6.1 Pressão

Segundo a lei de Pascal, "a pressão aplicada a um fluido confinado é transmitida integralmente a todas as partes do fluido e às paredes do seu recipiente" (UNESP, 2016). Esta lei tem aplicações práticas significativas, como em sistemas hidráulicos, onde uma força aplicada em um pistão é transmitida através do fluido, resultando em uma força ampliada em um pistão de área maior. A equação fundamental que descreve essa transmissão está na Equação 5, a seguir:

$$P_1 = P_2 \quad (5)$$

onde:

P_1 e P_2 representam as pressões nos dois lados.

A lei de Pascal também se relaciona com a pressão hidrostática, que é a pressão exercida por um fluido em equilíbrio devido à força da gravidade. Esta pressão é dada pela Equação 6:

$$P = \gamma h \quad (6)$$

onde:

γ é o peso específico do fluido e h é a altura da coluna de fluido (UNESP, 2016).

Além disso, a lei de Lewin, aplicada em contextos hidráulicos, se baseia no princípio de que a pressão em um ponto de um fluido em repouso é a mesma em todas as direções. Esta lei é crucial para o entendimento da pressão em diferentes pontos de um fluido estático e complementa a aplicação prática da lei de Pascal.

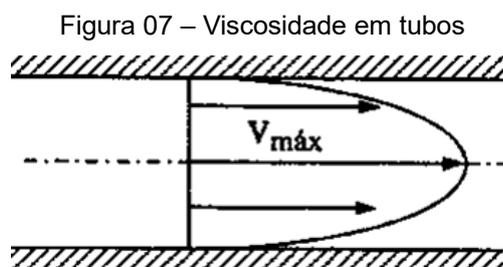
3.6.2 Velocidade

Segundo Manzi (2020), a velocidade de escoamento no interior de uma tubulação de distribuição de água, por exemplo, costuma ser expressa em termos de um valor médio de velocidade na seção, todavia, é importante não esquecer velocidades das partículas em escoamento no interior de uma tubulação variam consideravelmente em função da sua posição transversal no interior do tubo.

O princípio da aderência da lei de Newton apresenta que a velocidade de uma partícula em contato com uma superfície sólida tem a velocidade desta superfície. Logo, uma partícula de água em contato com a superfície interna de uma tubulação tem a velocidade do tubo, ou seja, nula.

As partículas vizinhas no sentido do raio da tubulação, teoricamente não estão aderidas a nenhuma parede sólida. Possuem velocidades maiores que zero e crescentes até um ponto no interior da tubulação que equidistante das paredes

internas e, portanto, possui a maior independência das paredes internas, podendo ser observadas na Figura 07. Em condições ideais, esse ponto é o centro da tubulação, apresenta a máxima velocidade interna e a distribuição de velocidades, que interliga estes pontos no interior da seção em escoamento, é denominada Perfil de Velocidades. (Manzi, 2020)



Fonte: Adaptado Marinho (2020)

3.6.3 Vazão

Ainda segundo Manzi (2020) A vazão volumétrica (Q) refere-se ao volume de fluido que passa por uma seção transversal de um conduto por unidade de tempo. A Equação 7 descreve a vazão volumétrica:

$$Q=A \cdot V \quad (7)$$

onde:

Q é a vazão volumétrica (m^3/s),

A é a área da seção transversal do conduto (m^2),

V é a velocidade média do escoamento na seção considerada (m/s).

3.6.4 Equação da Continuidade

Segundo a UNESP (2016), admitindo-se o princípio da conservação da massa em um fluxo de conduto, temos a equação da continuidade, que é fundamental para entender o comportamento dos fluidos. Em um conduto com áreas de seção transversal A_1 e A_2 , onde A_2 é menor que A_1 , as quantidades de fluido escoadas nas seções são expressas como $W_1=\gamma A_1 V_1$ e $W_2=\gamma A_2 V_2$ com γ representando o peso específico do fluido e V a velocidade média.

Para um fluido incompressível e um fluxo permanente, onde a quantidade de fluido escoada é constante, W_1 é igual a W_2 . Simplificando, obtemos a Equação 8, clássica de continuidade:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (8)$$

Generalizando para várias seções do tubo, temos a Equação 9:

$$Q_1 = Q_2 = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = \dots = A_n \cdot V_n = Q_n = \text{constante} \quad (9)$$

Essa equação mostra que a vazão volumétrica, Q , permanece constante ao longo de um conduto para um fluido incompressível em fluxo permanente.

3.6.5 Perda de Carga

De acordo com a UNESP (2016), quando um fluido se movimenta de um ponto para outro, parte da energia dissipa-se para o meio na forma de calor. Essa diferença de energia é chamada de perda de carga (h_f) e assume grande importância na Hidráulica. principal ou distribuída: a que ocorre nos trechos retilíneos das tubulações, sendo geralmente predominante em relação às perdas de carga localizadas; localizada: também chamada perda de carga acidental, ocorre em pontos diferenciados da canalização – nas chamadas singularidades -, como por exemplo: ampliações, curvas, uniões, medidores, válvulas etc., sendo mais importantes quantitativamente em instalações com grande número de acessórios (instalações prediais, estações de bombeamento, e etc.). Em qualquer circunstância, a perda de carga significa uma resistência ao fluxo. No regime laminar, a resistência se dá somente pela viscosidade (atrito interno), pois, junto à parede do conduto forma-se uma película do fluido, com velocidade zero.

3.6.6 Equação universal

A equação universal foi desenvolvida por Júlio Weisbach e Henry Darcy em 1845, como uma extensão do trabalho de Chézy, e é considerada universal devido à

sua aplicabilidade a diversos fluidos. Ela leva em conta tanto as propriedades geométricas da seção quanto as características do material do conduto e do fluido. A principal dificuldade na utilização desta equação é a determinação do coeficiente de atrito "f" (Furuzawa, 2011). A equação universal (para condutos de seção transversal circular) é mostrada pela Equação 10:

$$LW = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Sendo:

hf = Perda de carga (m);

f = Coeficiente de atrito ou coeficiente de Darcy;

L = Comprimento da tubulação (m);

V = Velocidade média do fluxo (m/s);

g = Aceleração da gravidade (m/s²);

D = Diâmetro interno da tubulação (m).

Segundo Andrade (2001), Swamee-Jain, propuseram uma fórmula geral (Equação 11) que permite o cálculo do fator de atrito (f) independentemente do regime de escoamento, do número de Reynolds e da rugosidade relativa.

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5x \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7xD} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (11)$$

3.6.7 Equação Hazen Williams

A equação de Hazen Williams que também é amplamente utilizada em redes de distribuição de água, adutoras e sistemas de recalque, segundo Porto (2006), a equação de Hazen-Williams é adequada para escoamento turbulento de transição, sendo aplicável a líquidos como a água a 20°C (não considerando o efeito viscoso), para diâmetros geralmente iguais ou superiores a 4 polegadas, e baseada em dados experimentais tratados estatisticamente. A equação de Hazen – Williams para perda de carga unitária é exposta a seguir na Equação 12:

$$J=10,65 \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85}D^{4,87}} \quad (12)$$

Sendo:

J = perda de carga unitária (m/m);

Q = Vazão (m³/s);

C = Coeficiente de rugosidade de Hazen – Williams;

D = Diâmetro interno da tubulação (m).

Segundo Azevedo Neto (1998), ocorre um desgaste progressivo no tubo de PVC ao longo do tempo, o que impacta diretamente o coeficiente de rugosidade do material, demonstrado na Tabela 3 abaixo. Esse desgaste resulta em um aumento de perda de carga unitário. Consequentemente, para o dimensionamento de tubos de PVC, recomenda-se utilizar um coeficiente de 130, considerando esse efeito acumulado do desgaste.

Tabela 3 – Valores de Coeficiente de Rugosidade C

Tubos	Novos	Usados 10 anos	Usados 20 anos
<i>Ferro Fundido, Revestimento Epóxico</i>	140	130	120
<i>Cobre</i>	140	135	130
<i>Plástico (PVC)</i>	140	135	130

Fonte: Adaptado Azevedo Neto, 1998

3.6.8 Linha Piezométrica

Manzi (2020) complementa ao explicar que a linha piezométrica representa a distribuição das cargas hidráulicas ao longo de uma tubulação, considerando também as elevações do terreno ou a localização da própria tubulação. Além disso, Manzi (2020) esclarece que, para fins de cálculo, a água pode ser considerada incompressível, mantendo a densidade γ em 10.000 N/m³. Sendo expressa pela Equação 13:

$$L_p = \left(\frac{P}{\gamma}\right) + \left(\frac{v^2}{2g}\right) + z \quad (13)$$

Em que:

L_p = Linha Piezométrica

P/γ = Carga de Pressão (m)

v = Carga Cinética

z = Carga de Posição, Cota (m)

3.7 FERRAMENTAS DE DIMENSIONAMENTO E MÉTODOS DE CÁLCULO

Diversos métodos atendem às condições normativas para o dimensionamento de redes de distribuição de água. Alguns métodos são simplificados, devido à necessidade de cálculos manuais antes da computação, como o método do seccionamento fictício e o método de Hardy Cross.

De acordo com Porto (2006), deve-se adotar uma sequência de cálculo para dimensionar os trechos de uma rede ramificada, como mostrado a seguir:

- 1- Número do trecho, do trecho final para o trecho inicial;
- 2- Extensão L do trecho em metros;
- 3- Vazão a jusante, considerando na ponta seca $Q=0$;
- 4- Vazão em marcha sendo $q.L$;
- 5- Vazão a montante do trecho pela expressão: $Q_m = Q_j + q.L$;
- 6- Vazão fictícia pela expressão: $Q_f = Q_m + Q_j^2$;
- 7- Determinação do diâmetro do trecho;
- 8- Perda de carga unitária "J", calculada pela equação universal (conforme norma);
- 9- Perda de carga total no trecho, em metros, $\Delta H = J.L$;
- 10- Cotas topográficas do terreno;
- 11- Cotas piezométricas de montante e jusante de cada trecho;
- 12- Cargas de pressão disponíveis em cada nó;

Outros métodos, mais modernos e automatizados, reduzem o esforço manual e possibilitam o dimensionamento eficiente de sistemas de grande porte. Um exemplo é o Método Híbrido Nó-Malha, ou Método do Gradiente, utilizado no software EPANET (Rossman, 2000).

Conforme Saldaña (2014), o Método do Gradiente resolve equações de tubulações determinando simultaneamente as incógnitas de cargas e vazões. Embora este método possa gerar um número de equações maior em comparação com outras formulações, sua aplicação é favorecida pela rápida convergência alcançada durante as iterações.

As equações de continuidade e conservação da energia, assim como a relação entre vazão e perda de carga, definem as condições de equilíbrio hidráulico de uma rede em um dado instante. O Método Híbrido Nó-Malha, sendo um dos mais simples, foi escolhido para determinar os valores de vazão e cota piezométrica na rede, utilizando o software EPANET (Rossman, 2000).

De acordo com Rossman (2000), a relação entre vazão e perda de carga em uma tubulação entre os nós "i" e "j" pode ser expressa pela Equação 14:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad (14)$$

Onde:

H = cota piezométrica no nó

h = perda de carga total

r = termo de perda de carga

Q = vazão

n = expoente da vazão

m = coeficiente de perda de carga localizada

O Método do Gradiente começa com uma distribuição inicial de vazões nas tubulações, que não precisa satisfazer imediatamente as equações de continuidade nos nós. Em cada iteração, novas cotas piezométricas são calculadas resolvendo-se a seguinte matriz demonstrada na Equação 15:

$$A * H = F \quad (15)$$

Onde:

A = matriz Jacobiana de (N x N)

H = vetor de incógnitas em termos de cota piezométrica (N x 1)

F = vetor dos termos do lado direito da equação (N x 1).

Os elementos da diagonal da matriz Jacobiana (Equação 16) são:

$$A_{ij} = \sum j p_{ij} \quad (16)$$

Os elementos não nulos fora da diagonal são descritos na Equação 17:

$$A_{ij} = - p_{ij} \quad (17)$$

p_{ij} = inverso da derivada da perda de carga total no trecho entre os nós "i" e "j" em relação a vazão.

Para tubulações temos a Equação 18:

$$P_{ij} = \frac{1}{nr |Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|} \quad (18)$$

Para tubulações, os termos do lado direito da matriz incluem uma parcela referente ao balanço de vazão no nó, à qual se adiciona um fator de correção de vazão vista na Equação 19:

$$F_i = (\sum j Q_{ij} - D_i) + \sum j Y_{ij} + \sum f P_{if} H_f \quad (19)$$

Sendo o último termo aplicável a qualquer trecho que ligue um nó "i" a um nó "f" de cota piezométrica fixa e o fator de correção de vazão, y_{ij} , e dado pela Equação 20, expressão para tubulações:

$$Y_{ij} = P_{ij} (r|Q_{ij}|^n + m|Q_{ij}|^2) \text{sgn}(Q_{ij}) \quad (20)$$

Após calcular as cotas piezométricas resolvendo a matriz Jacobiana, as novas vazões (Equação 21) podem ser obtidas usando a seguinte equação:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - (Y_{ij} - P_{ij} (H_i - H_j)) \quad (21)$$

Conforme Rossman (2000), se a soma de todas as variações de vazão (em valor absoluto) em relação à vazão total em todos os trechos for superior à tolerância especificada (por exemplo, 0,001), as equações serão resolvidas novamente. A nova vazão obtida satisfaz o princípio da continuidade da vazão nos nós após a primeira iteração.

Segundo Rossman (2000), “O EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade de água em redes de distribuição pressurizada”. O EPANET é excelente para simulação hidráulica capaz de obter diversos valores de dimensionamento, necessários para a realização de um projeto, sendo eficaz para

“calcular as perdas de carga por atrito através das fórmulas de Hazen-Williams, Darcy Weisbach ou Chezy-Manning; perdas de carga localizadas; simulação de bombas, com velocidade de rotação fixa ou variável; calcula a energia de bombeamento e o seu respectivo custo, modela os principais tipos de válvulas, modela reservatórios de nível fixo ou variável; possibilita a simulação com diversas regras de operação do sistema, dentre outras”. (Salvino, 2009)

Desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (EPA) e licenciado como de domínio público, seu Manual do Usuário explica que este é um programa de computador que permite executar simulações estatísticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição constituídas por tubulações, bombas, válvulas e reservatórios de nível fixo (RNF) e/ou variável (RNV).

O LENHSNET, utilizado em conjunto com o EPANET, opera partindo de uma configuração inicial de diâmetros mínimos e dinamicamente substituindo os trechos pelo diâmetro subsequente disponível, conforme descrito por Salvino (2009). Em cada alteração, verifica-se se os parâmetros do projeto são atendidos. O ganho de pressão e o custo de cada modificação são comparados, sendo escolhida a modificação que proporciona o melhor ganho de pressão ao menor custo. Este processo continua até que o dimensionamento esteja concluído.

3.8. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Os blocos de ancoragem, conforme explicado por Tsutiya (2006), são elementos essenciais para proteger as adutoras contra esforços gerados em curvas, reduções e válvulas fechadas, dissipando essas forças no solo de maneira adequada para garantir a integridade do sistema.

Quanto às válvulas, tanto reguladoras de vazão quanto redutoras de pressão desempenham funções cruciais no controle do fluxo e da pressão da água na rede de distribuição, como destacado por Heller e Pádua (2006) e Tsutiya (2006), respectivamente. Enquanto as primeiras controlam o volume de água que passa pela tubulação, as segundas mantêm a pressão constante independente das variações no sistema.

As válvulas de retenção, segundo Netto et al. (1998), permitem o fluxo unidirecional da água, evitando o retorno indesejado do líquido na tubulação. Já as válvulas aliviadoras de pressão, conforme explicam Heller e Pádua (2006), são projetadas para reduzir a pressão interna das tubulações, especialmente em casos de golpe de aríete, fenômeno descrito por Netto et al. (1998).

Além disso, as ventosas e descargas desempenham um papel importante na manutenção do sistema, como mencionado por Heller e Pádua (2006), facilitando a remoção de ar não arrastado pelo fluxo de água e permitindo a liberação controlada de água nos pontos mais baixos, quando necessário.

Por fim, os medidores de vazão e pressão são essenciais para monitorar o desempenho das tubulações, como ressaltado por Netto et al. (1998), fornecendo dados importantes para avaliar a eficácia do sistema de abastecimento.

As estações elevatórias desempenham um papel crucial no processo de abastecimento de água, pois, de acordo com Heller e Pádua (2006), são responsáveis por transportar a água a pontos mais elevados ou aumentar a capacidade de adução do sistema, contribuindo para a eficiência do processo.

4 METODOLOGIA

Neste tópico serão abordadas as informações necessárias ao dimensionamento das unidades do sistema de abastecimento de água para um condomínio residencial localizado em Santo Amaro-MA.

Para a realização do projeto foi necessária análise técnica de projetos já desenvolvidos de topografia, arquitetura, captação e adução da rede de abastecimento, para calcular a demanda populacional, layout para modelagem dos trechos, determinações de nós com vazões pontuais, níveis do terreno, e demais dados para a obtenção de resultado ótimo, realizado no software EPANET.

4.1 ÁREA DE ESTUDO DO EMPREENDIMENTO

O município de Santo Amaro do Maranhão, localizado no litoral maranhense, foi criado pela Lei nº 6.127, de 10 de novembro de 1994. A sede do município é no Povoado Santo Amaro, anteriormente parte do município de Primeira Cruz e subordinado à Comarca de Humberto de Campos. Santo Amaro do Maranhão está situado nas coordenadas de latitude -2.50068 e longitude -43.238 (Brasil, 2024).

Ainda, segundo Brasil (2024), o município de Santo Amaro – MA limita-se ao Norte com o Oceano Atlântico; a Leste com o município de Barreirinhas; a Oeste com o município de Primeira Cruz e ao Sul com o município de Barreirinhas, como ilustrado na Figura 08. Ademais, possui uma área territorial de 1.582,806 km², uma população residente de 13.949 pessoas e um IDHM de 0,518 (IBGE, 2024).

Figura 08 - Localização de Santo Amaro – MA



Fonte: IBGE (2024)

A região caracteriza-se por um padrão climático equatorial tropical, com chuvas relativamente bem distribuídas ao longo do ano, apresentando maior volume entre novembro e maio, e um período de estiagem relativa entre junho e setembro. A área situa-se em baixas altitudes, apresentando um relevo suave e plano. (Climate Data, 2024)

4.2 PLANTA DE URBANIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E CARACTERÍSTICAS

O condomínio localizado em Santo Amaro – Maranhão, como visto na planta de localização na Figura 09, possui uma área de 102.840 m², e abriga 232 lotes organizados em ruas identificadas por letras. A entrada é marcada pela Avenida Dunas, e as ruas são numeradas de A a H.

Figura 09 - Planta de Localização



Fonte: Autor (2024)

Inicialmente, para o projeto de uma rede de distribuição de água, foi realizado um estudo das unidades disponíveis, onde foram analisadas a topografia, o layout de implantação, o perfil dos consumidores, a população, os locais de consumo pontual e a localização do poço. O layout está representado na Figura 10.

Figura 10 - Planta de Implantação

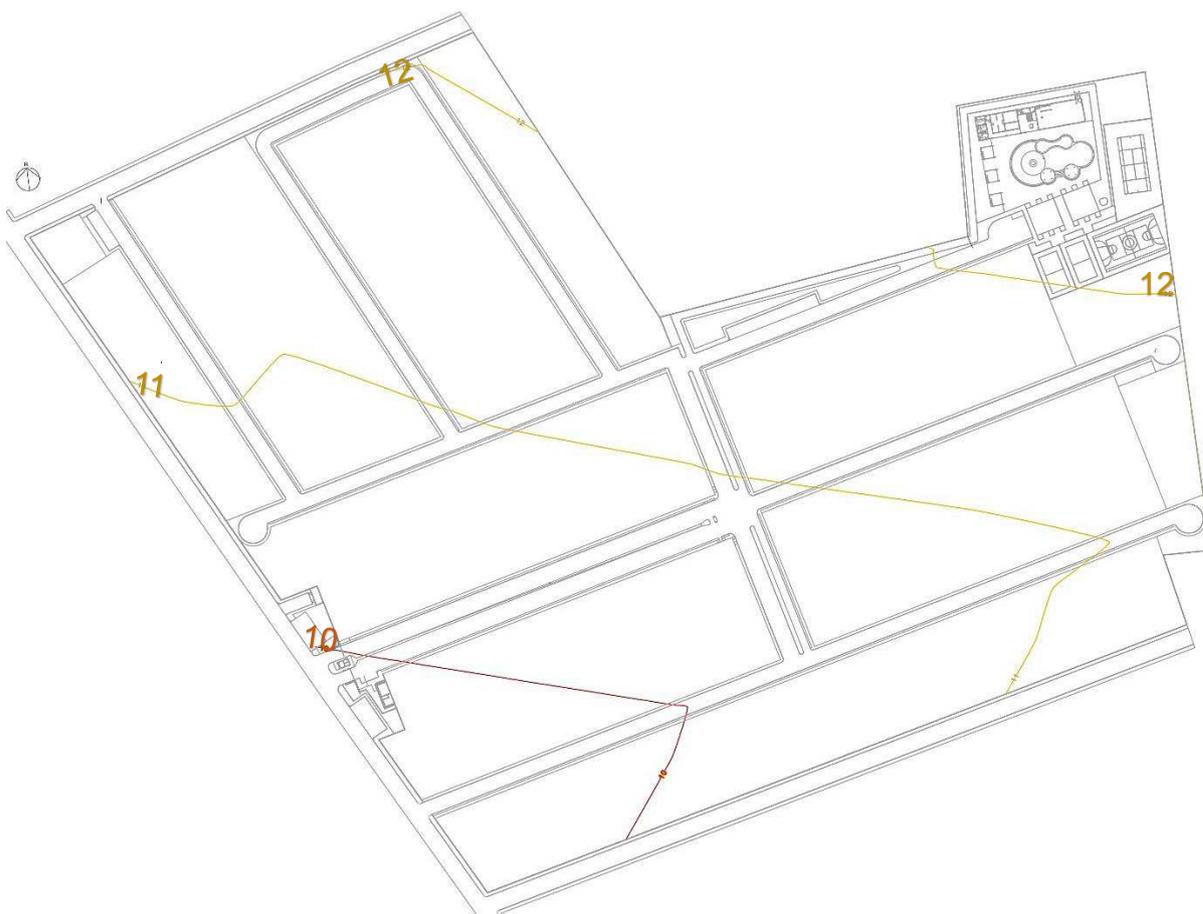


Fonte: CAP (2024)

4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

O processo metodológico começou com o levantamento de dados e informações relevantes para compreender as condições locais, incluindo características do terreno, quantidade de habitantes e consumo per capita. O levantamento planialtimétrico da área de estudo foi inserido no AutoCAD Civil 3D, gerando a superfície do terreno em formato de curvas de nível, conforme mostrado na Figura 11. Isso permitiu identificar visualmente as melhores áreas para a instalação do reservatório elevado de distribuição de água e os pontos ideais para singularidades, como válvulas de descarga e registros de ventosa.

Figura 11 – Topografia



Fonte: Autor (2024)

Na Figura 10, observa-se que o ponto mais alto da topografia local está no canto do Bosque, identificado na Figura 9 com a identificação 10, com cota altimétrica de 12,751 metros. O reservatório elevado de distribuição foi, portanto, posicionado no

lote mais alto da parte frontal do condomínio, facilitando o acesso, com elevação de aproximadamente 11,82 metros.

4.4 POPULAÇÃO E CONSUMO DE ÁGUA PER CAPITA

O empreendimento contará com 232 unidades habitacionais, com uma média de 6 habitantes por unidade. Esta média baseia-se em dados do IBGE (2023), que indicam 3,5 pessoas por residência no Maranhão, e no estudo de Macintyre (2020), que recomenda 2 pessoas por quarto, considerando que cada unidade possui 4 quartos. Como é um condomínio fechado, a população foi considerada fixa, sem cálculos de crescimento populacional.

$$P_u = \frac{Q \cdot 2 + 3,5}{2} \quad (22)$$

Onde:

P_u = Pessoas por Unidade Habitacional

Q = N° de Quartos

Obteve-se a população total do condomínio;

$$P = U_n \cdot P_u \quad (23)$$

Onde:

U_n = Unidade Habitacionais

P_q = Pessoas por Quartos

Além disso, foi considerada uma vazão singular para a população da área de lazer, devido ao uso intenso por convidados durante períodos de férias. A área de lazer foi projetada para acomodar 349 pessoas, considerando a recomendação de Macintyre (2020) de uma pessoa a cada 2,5 m².

4.5 CONCEPÇÃO DO SISTEMA PROJETADO

A ausência de fornecimento de água potável pela concessionária local levou à utilização do manancial subterrâneo da área em estudo, conforme diretrizes da carta de viabilidade técnica da concessionária. As águas subterrâneas do aquífero aflorante na região serão utilizadas para atender à demanda do sistema.

Com isso, o sistema projetado para o abastecimento de água das residências inicia-se com a captação subterrânea, realizada por meio de um poço artesiano do condomínio. A água captada passa por um processo de tratamento, onde é realizada a desinfecção com cloro, garantindo que a água esteja livre de contaminantes microbiológicos e segura para uso humano.

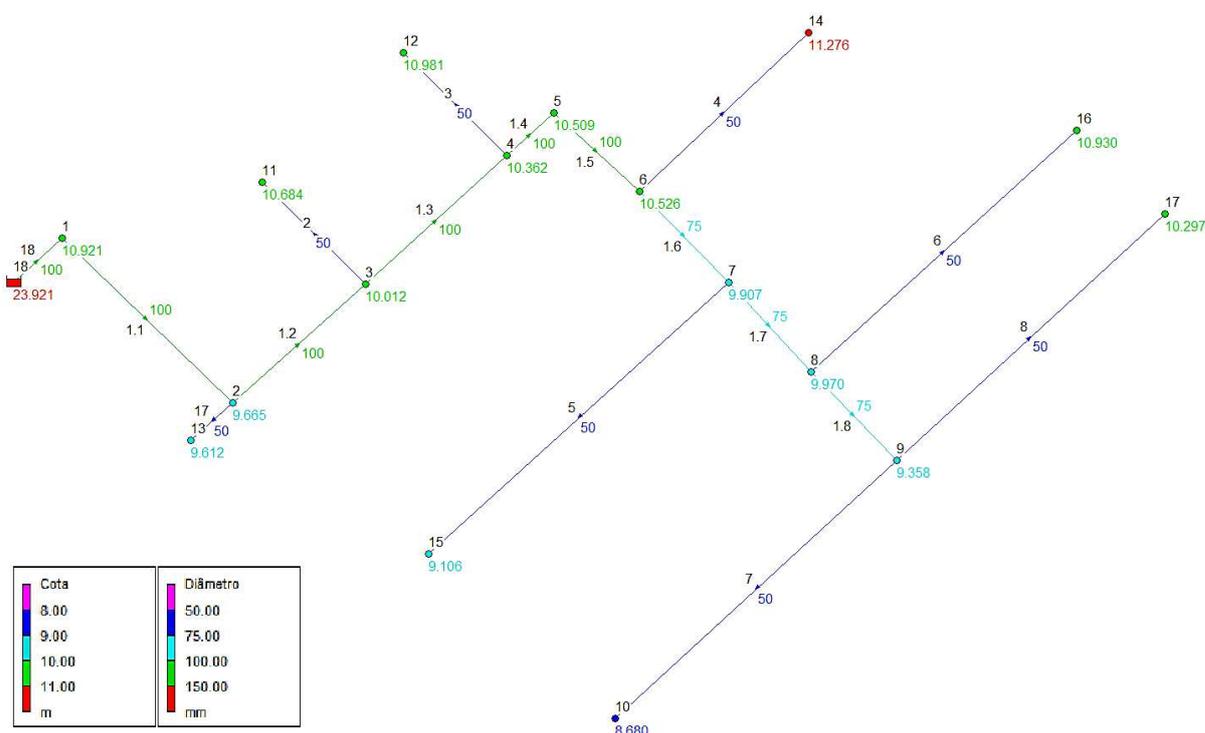
Após a desinfecção, a água é aduzida até o reservatório elevado. A partir do reservatório elevado, a água é distribuída através de uma rede de tubulações dimensionada para atender à demanda do condomínio. Esta rede passa por diversas ramificações que conduzem a água até os pontos de consumo, assegurando que cada residência receba a quantidade de água demandada.

Finalmente, a água é armazenada em reservatórios individuais em cada residência, de onde é então utilizada pelos moradores para suas necessidades diárias. Este sistema garante um fornecimento contínuo e confiável de água.

A rede de água tem uma extensão de 1337,94 m, com diâmetros de tubulações variando entre 100 mm e 50 mm. A pressão mínima no ponto mais desfavorável deve ser superior a 10 m.c.a., sendo calculada em 10,27 m.c.a. no final da rua C. A pressão máxima estática calculada foi de 16,24 m.c.a., com a máxima admissível na rede sendo de 50 m.c.a. E para suportar as pressões aplicadas serão adotados registros de manobra de latão.

A profundidade mínima de recobrimento é de 0,90 m nas ruas, com distâncias mínimas de 1,00 m entre tubulações de água e esgoto. A tubulação de água deve estar, no mínimo, 0,20 m acima da tubulação de esgoto, conforme estabelecido pela NBR 12266 (12266). O esquema da rede, modelado no EPANET 2.0, com indicações dos nós e trechos, é ilustrado na Figura 12. No croqui demonstrativo na Figura 12, o nó "1" representa o início da rede.

Figura 12 - Planta Modelagem no EPANET 2.0



Fonte: Autor (2024)

Registros de manobra serão instalados em cada derivação, facilitando futuras manutenções, e um registro a montante da derivação principal será instalado. Registros de descarga, localizados na cota mais baixa do empreendimento, terão como objetivos a limpeza da rede, remoção de materiais incrustados, manutenção dos níveis de cloro residual, esvaziamento das tubulações para reparos ou interligações e eliminação de pontos de pressão neutra.

Os blocos de ancoragem, confeccionados em concreto simples, serão instalados na rede de distribuição de água, nas adutoras, nos pontos de deflexão e mudança de diâmetro, nas instalações de aparelhos, peças especiais e conexões com juntas elásticas, nos terminais de linha e nos trechos inclinados sujeitos a deslizamento. Isso visa absorver os esforços resultantes da pressão exercida pela água. A Tabela 4 apresenta um resumo do sistema proposto.

Tabela 04 - Resumo de dimensionamento da rede de distribuição

Diâmetro (mm)	Extensão (m)	Pressão Dinâmica Mín. (mca)	Pressão Estática Máx. (mca)
50	855,03	10,27	15,241
75	136,32	11,53	14,563
100	346,59	11,49	14,256
Extensão Total da Rede:			1337,94 m

Fonte: Autor (2024)

4.6 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

Para atender às necessidades da região e garantir a conformidade com as normas e distribuidoras locais, decidiu-se pela instalação de um reservatório apoiado na cota mais alta do terreno com acesso à via do condomínio. Isso assegura pressões estáticas e dinâmicas dentro dos limites estabelecidos. A cota piezométrica do reservatório de 23,924 m, na elevação mínima de 13 metros, e o abastecimento será feito por uma bomba de recalque a partir da captação subterrânea.

As edificações serão abastecidas por um reservatório individual, que receberá água do castelo d'água, alimentado pelo poço artesiano a ser perfurado no local. Segundo BRK (2022), o reservatório elevado pode ter um volume mínimo de 1/3 do consumo máximo diário. No projeto, o consumo médio diário (Cmd) foi calculado multiplicando-se a população total (Pa) pelo consumo per capita (q), conforme a Equação 24. Em seguida, este valor foi multiplicado pelo coeficiente K1 (1,2) para obter o consumo máximo diário (Cmáxd), conforme a Equação 25. A reservação mínima (Rmín) foi determinada como 1/3 do consumo máximo diário, somados os consumos das demais áreas, conforme observado na Equação 26.

$$Cmd = Pa \times q \quad (24)$$

$$Cmáxd = Cmd \times 1,2 \quad (25)$$

$$Rmín = \frac{Cmáxd}{3} \quad (26)$$

O reservatório incluirá sistemas de extravasão e limpeza, utilizando materiais de ferro fundido (F^oF^o), flangeado. Quando acionados, esses sistemas direcionarão os efluentes para a rede de drenagem do empreendimento.

Operando em regime de distribuição, o reservatório receberá água recalçada do poço, que será aduzida e distribuída para as unidades de consumo. Para estabilizar a pressão mínima de 10,27 m.c.a. na rede de distribuição, será necessária uma torre de equilíbrio com a laje de fundo a 13 metros de altura em relação ao nível do solo.

Características do Reservatório:

Material: Concreto armado

Forma: Retangular

Altura da laje de fundo: 13,00 m

Volume mínimo: 89,97 m³

4.7 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

O método de dimensionamento de redes de água pelo Gradiente Hidráulico, utilizado pelo software EPANET, baseia-se no cálculo iterativo das equações de continuidade e de energia para determinar o equilíbrio hidráulico em uma rede de distribuição. Este método considera as vazões e pressões nos nós da rede, ajustando iterativamente os valores até que a convergência seja alcançada.

Além disso, utilizando a fórmula de Hazen-Williams para perda de carga e outras correlações hidráulicas, o EPANET simula o comportamento da rede sob diversas condições operacionais, permitindo uma análise precisa da distribuição de pressões e fluxos em cada trecho da tubulação. Dessa forma, o software auxilia no dimensionamento otimizado e na gestão eficiente do sistema de abastecimento de água, garantindo que todas as demandas sejam atendidas com as pressões e vazões adequadas.

O material escolhido para as tubulações foi o polietileno de alta densidade, cuja vida útil de 20 anos resulta em um coeficiente de rugosidade de $C=130$ (AZEVEDO NETO, 1998). A perda de carga unitária máxima admitida foi de 10 m/km, conforme a NBR 12218 (2017).

Em projetos reais, as zonas de pressão são analisadas primeiramente para posterior dimensionamento das redes de distribuição de água, conforme descrito no tópico 4.1.2 da NBR 12218 (2017). No entanto, neste estudo, simplificou-se o

processo considerando a área em estudo como inserida em uma única zona de pressão. Analisaram-se os nós que apresentaram pressões dinâmicas e estáticas dentro e fora dos limites estabelecidos por norma.

A NBR 12218 (2017) estabelece que a pressão estática máxima nas tubulações de distribuição seja de 500 kPa (aproximadamente 50 m.c.a) e a pressão dinâmica mínima seja de 100 kPa (aproximadamente 10 m.c.a).

Etapas Realizadas:

1) Determinação da vazão média e da hora de maior consumo (Q_c): Usada como vazão de distribuição. O consumo per capita de água foi considerado como 150 litros/habitante/dia. Os coeficientes de variação de consumo foram: $K_1=1,20$ para o dia de maior consumo, $K_2=1,50$ para a hora de maior consumo, e $K_3=0,50$ para a hora de menor consumo.

$$Q_c = \left(\frac{1,2 \times 1,5 \times Cmd}{86400} \right) \quad (27)$$

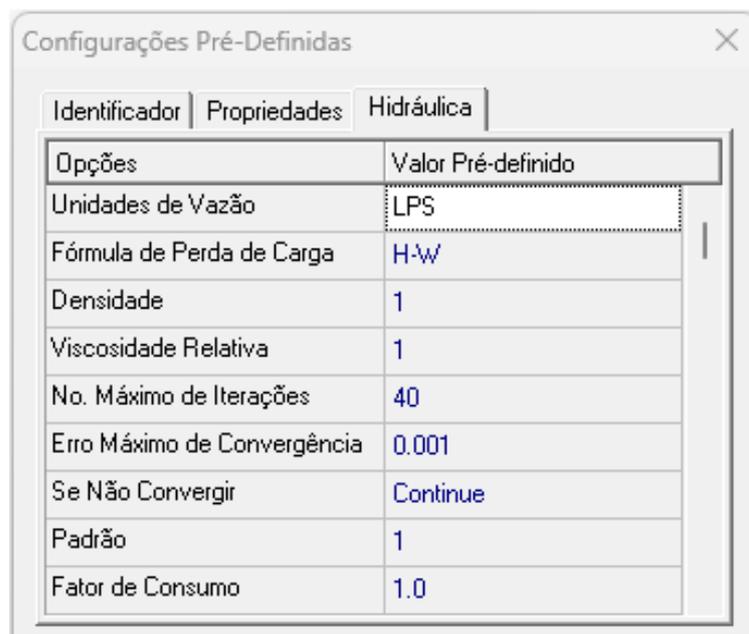
2) Análise das vazões singulares: A vazão da área de lazer foi identificada como 17.450 L/s.

3) Traçado da concepção da rede: Esta etapa foi realizada no AutoCAD, onde se geraram os trechos e nós para o EPANET. Os trechos da rede foram numerados de montante a jusante, tomando como referência inicial o reservatório de distribuição.

4) Inserção do reservatório na rede: O reservatório foi inserido no nó 18 da rede, buscando as cotas mais elevadas disponíveis para auxiliar nas pressões dinâmicas.

5) Configurações predefinidas: Antes de iniciar qualquer simulação operacional do sistema, definiu-se os parâmetros de cálculo para os cálculos hidráulicos. Na janela mostrada na Figura 13, foram definidos, entre outros, a unidade de vazão (litros por segundo), a fórmula da perda de carga (Hezen Williams), o número de iterações (40), e o erro máximo de convergência entre as iterações (0.001).

Figura 13 – Configurações Pré Definidas



Opções	Valor Pré-definido
Unidades de Vazão	LPS
Fórmula de Perda de Carga	H·w
Densidade	1
Viscosidade Relativa	1
No. Máximo de Iterações	40
Erro Máximo de Convergência	0.001
Se Não Convergir	Continue
Padrão	1
Fator de Consumo	1.0

Fonte: Autor (2024)

6) Após isso, foram verificados os trechos que teriam ou não distribuição de água, atribuindo de forma representativa a letra S para os que tiveram, e a letra N para os que não tiveram, para dessa forma ter os trechos que influenciarão na vazão de marcha;

7) Foram calculados o comprimento total dos trechos com distribuição de água e a vazão específica de distribuição por metro de tubulação, e disso, foram calculadas as vazões em marcha, através da multiplicação da vazão específica de distribuição pelo comprimento de cada trecho. Os trechos que não tiveram distribuição de água, a vazão em marcha foi nula. Vazão específica de distribuição (q_m) está representada na Equação 28.

$$q_m = \frac{Q_{hmc} \text{ l/s}}{L(\text{total}) \text{ m}} \quad (28)$$

Em que:

Q_{hmc} - vazão de distribuição (vazão da hora de maior consumo)

$L(\text{total})$ - comprimento total dos trechos com distribuição de água

Vazão em marcha (Q_e):

$$Q_e = qm \times L \text{ (trecho)} \quad (29)$$

Em que:

$Q_e =$

$L(\text{trecho})$ - comprimento do trecho

8) Adicionar informações sobre a rede: Nesta etapa, devem-se inserir alguns dados fundamentais para o dimensionamento da rede. Adicionam-se os nomes e comprimentos dos trechos da rede (Figura 14), além das identificações dos nós, das cotas e dos consumos bases de cada nó (Figura 15) e da definição de um reservatório e sua cota de fundo.

Figura 14 – Informações de Nós

Identificador do Nó	Cota m	Consumo LPS
Nó 1	10.921	0,30
Nó 2	9.665	0,35
Nó 3	10.012	0,48
Nó 11	10.684	0,31
Nó 4	10.362	0,48
Nó 12	10.981	0,31
Nó 5	10.509	0,00
Nó 6	10.526	0,42
Nó 14	11.276	0,42
Nó 7	9.907	0,35
Nó 15	9.106	0,36
Nó 8	9.970	0,41
Nó 16	10.930	0,42
Nó 9	9.358	0,72
Nó 17	10.297	0,37
Nó 10	8.680	0,35
Nó 13	9.612	0,03
RNF 18	23.921	-6,08

Fonte: Autor (2024)

Figura 15 – Informações de Trechos

Identificador do Trecho	Comprimento m	Diâmetro mm	Rugosidade
Tubulação 1.1	141.14	100	130
Tubulação 1.2	70.54	100	130
Tubulação 2	142.18	50	130
Tubulação 1.3	70.56	100	130
Tubulação 1.4	29.5	100	130
Tubulação 1.5	4.65	100	130
Tubulação 1.6	59.92	75	130
Tubulação 5	173.80	50	130
Tubulação 1.7	4.2	75	130
Tubulação 1.8	69.12	75	130
Tubulação 7	161.30	50	130
Tubulação 4	150.79	50	130
Tubulação 6	190.78	50	130
Tubulação 8	172.66	50	130
Tubulação 3	141.56	50	130
Tubulação 17	10.52	50	130
Tubulação 18	10	100	130

Fonte: Autor (2024)

9) Foram escolhidos os diâmetros das tubulações referentes a cada trecho, buscando obedecer ao tópico 5.7.1 da NBR-12218/2017 para as velocidades de 0,40 m/s no mínimo e 3,5 m/s no máximo. Além disso, a variação de diâmetros influencia na perda de carga unitária máxima de 10 m/km, calculadas pelo EPANET através da fórmula de Hazen-Williams e as perdas de cargas totais através da multiplicação das perdas de cargas unitárias pelos comprimentos dos trechos.

10) Foram obtidas as pressões dinâmicas pelo programa, e as estáticas através da subtração entre a cota piezométrica do reservatório e as cotas dos terrenos à jusante. Sendo necessário variar a altura de fundo do reservatório em relação ao nível do terreno para a rede ter um funcionamento excelente;

$$Pe = Cpr - Ct \quad (30)$$

Em que:

Pe = Pressão Estática (jusante)

Cpr = Cota Piezométrica do Reservatório

Ct = Cota do Terreno no Ponto Analisado

11) Foram conferidas as diferenças entre as pressões calculadas para cada ponto enumerado. Segundo Heller; Pádua (2006), o método do seccionamento fictício é corretamente realizado quando a maior diferença entre as pressões calculadas for inferior a 10% da média das pressões obtidas para o ponto considerado. O que foi atendido, visto a pouca variação de pressão em todos os nós.

12) Depois de realizado o dimensionamento, foram gerados relatórios da rede, em que se gerou relatórios através das opções inclusas no EPANET, por meio da aba "Relatório", que gera relatórios diversos, dentre os quais estão os dados de trechos e nós do projeto.

5 RESULTADOS

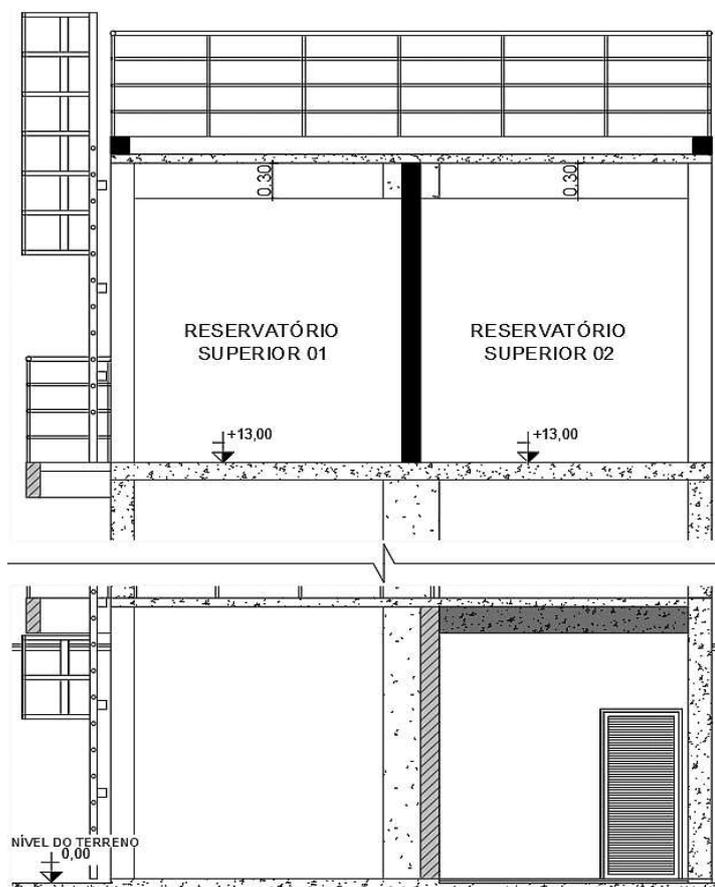
5.1 ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO

A população total foi estimada multiplicando-se o número de unidades habitacionais (232) pela média de habitantes por unidade (6), resultando em 1.392 habitantes

5.2 RESERVAÇÃO

Para o cálculo da reservação, que foi usado como modelo o reservatório da Figura 16, utilizou-se o consumo médio diário (Cmd) de 222,427 m³. Multiplicando-se Cmd por 1,2 (k1), obteve-se o consumo máximo diário (Cmáxd) de 266,912 m³, resultando em uma reservação mínima de 88,97 m³, conforme recomendação da BRK (2022).

Figura 16 – Modelo de Reservatório com Referências de Alturas



Fonte: CAP (2024)

Como visto na Figura 16 acima, a altura do reservatório elevado foi estabelecida em 13,00 metros da laje de fundo em relação ao nível do solo, resultando em uma cota piezométrica de 23,921 metros para a rede de distribuição. Os cálculos hidráulicos demonstraram que todas as pressões nos trechos da rede atenderam aos limites da NBR 12218 (2017), com pressão dinâmica mínima de 10,27 mca e pressão estática máxima de 15,24 mca.

5.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Para atender à população, foi dimensionada uma rede de distribuição com 1337,94 metros de extensão e 16 trechos, observada no apêndice A. O diâmetro das tubulações nas extremidades é de 50 mm, sendo ajustado para 100 mm no trecho inicial (1-5). Nos trechos 6-8, o diâmetro foi aumentado para 75 mm para garantir uma pressão dinâmica mínima de 10,27 mca, conforme exigido pela NBR 12218 (2017).

O cálculo da vazão de distribuição da rede resultou em 6,08 l/s ou 21,888 m³/h. Dividindo essa vazão pela extensão total da rede (1337,94 m), obteve-se uma vazão por metro linear de 0,004225 l/s x m.

Observou-se uma área de vazão pontual na área de lazer do condomínio, com uma população de 349 pessoas. Considerando um consumo de 50 litros per capita, conforme indica Macintyre (2020), a vazão específica para essa área é de 0,202 L/s.

A velocidade máxima de escoamento foi mantida abaixo do limite máximo estipulado pela norma NBR 12218/2017 de 3,5 m/s. Em alguns trechos, porém, não foi possível alcançar a velocidade mínima exigida de 0,4 m/s, devido aos diâmetros mínimos de 50 mm.

Os dados obtidos estão demonstrados na planta baixa contida no Apêndice B, assim como nos relatórios de nós (Figura 16) e trechos (Figura 17) estão representados abaixo.

Figura 17 – Relatório dos Nós

Identificador do Nó	Cota m	Consumo LPS	Carga Hidráulica m	Pressão m
Nó 1	10.921	0,30	23,85	12,92
Nó 2	9.665	0,35	22,87	13,21
Nó 3	10.012	0,48	22,44	12,43
Nó 11	10.684	0,31	22,31	11,63
Nó 4	10.362	0,48	22,12	11,76
Nó 12	10.981	0,31	21,99	11,01
Nó 5	10.509	0,00	22,03	11,52
Nó 6	10.526	0,42	22,01	11,49
Nó 14	11.276	0,42	21,77	10,50
Nó 7	9.907	0,35	21,52	11,61
Nó 15	9.106	0,36	21,31	12,21
Nó 8	9.970	0,41	21,50	11,53
Nó 16	10.930	0,42	21,20	10,27
Nó 9	9.358	0,72	21,35	11,99
Nó 17	10.297	0,37	21,14	10,84
Nó 10	8.680	0,35	21,17	12,49
Nó 13	9.612	0,03	22,87	13,26
RNF 18	23.921	-6,08	23,92	0,00

Fonte: Autor (2024)

Figura 18 – Relatório dos Trechos

Identificador do Trecho	Comprimento m	Diâmetro mm	Rugosidade	Vazão LPS	Velocidade m/s	Perda de Carga m/km
Tubulação 1.1	141.14	100	130	5,78	0,74	6,90
Tubulação 1.2	70.54	100	130	5,40	0,69	6,09
Tubulação 2	142.18	50	130	0,31	0,16	0,90
Tubulação 1.3	70.56	100	130	4,61	0,59	4,54
Tubulação 1.4	29.5	100	130	3,82	0,49	3,21
Tubulação 1.5	4.65	100	130	3,82	0,49	3,21
Tubulação 1.6	59.92	75	130	2,98	0,67	8,22
Tubulação 5	173.80	50	130	0,36	0,18	1,18
Tubulação 1.7	4.2	75	130	2,27	0,51	4,96
Tubulação 1.8	69.12	75	130	1,44	0,33	2,14
Tubulação 7	161.30	50	130	0,35	0,18	1,12
Tubulação 4	150.79	50	130	0,42	0,21	1,57
Tubulação 6	190.78	50	130	0,42	0,21	1,57
Tubulação 8	172.66	50	130	0,37	0,19	1,24
Tubulação 3	141.56	50	130	0,31	0,16	0,90
Tubulação 17	10.52	50	130	-0,03	0,02	0,01
Tubulação 18	10	100	130	6,08	0,77	7,58

Fonte: Autor (2024)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao abordar o tema, reconhece-se a importância do estudo de sistemas de abastecimento de água para compreender seu funcionamento e as principais técnicas utilizadas. Durante este estudo, percebeu-se que informações sobre as características da área a ser abastecida são essenciais para a determinação dos dispositivos a serem implantados. A obtenção das vazões de distribuição e a aplicação das normas técnicas foram fundamentais para o dimensionamento do sistema de abastecimento analisado.

Este sistema foi projetado para um condomínio de alto padrão localizado em Santo Amaro, na região litorânea do Maranhão. O estudo objetivou demonstrar o conhecimento aplicado em um projeto de abastecimento de água, destacando os principais dispositivos e suas funções. A utilização de informações baseadas em referências bibliográficas e exemplos citados contribuiu para aproximar a análise de uma situação ideal.

Conclui-se que o tema proporcionou um melhor entendimento sobre os sistemas de abastecimento de água, evidenciando a importância e complexidade de sua concepção para garantir o fornecimento de água potável para consumos diversos e garantindo o acesso de água adequado a todos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA IBGE. **País tem 90 milhões de domicílios, 34% a mais que em 2010.** Agência de Notícias IBGE, 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37238-pais-tem-90-milhoes-de-domicilios-34-a-mais-que-em-2010#:~:text=No%20pa%C3%ADs%2C%20a%20m%C3%A9dia%20de,4%2C5%20hab%2Fkm%C2%B2>. Acesso em: 25 maio 2024. 2023. 150 p.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Resolução ANA nº 192, de 2024.** Brasília: ANA, 2024.

ALVES, Marisa Isabel Marques. **Dimensionamento viável de redes de distribuição de água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2019.

ANA. **Agência Nacional de Água e Saneamento Básico.** Conjuntura Recursos Hídricos Brasil, 2020.

ANDRADE, L.; CARVALHO, J. de A. **Análise da equação de Swamee-Jain para cálculo do fator de atrito.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 3, p. 554-557, 2001. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: jul de 2024

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12.218: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12217: **Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Sistemas de abastecimento de água.** LTC, 1998.

BERTOLO, R. A. **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos.** São Paulo: Editora Universitária, 2015.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K. **A origem e as características da água na Terra**. São Paulo: Editora de Geociências, 1990.

BORN, Cristiano R.; BARBOSA, Nazaré A.; STEIN, Ronei T.; et al. **Hidrogeologia**. Grupo A, 2021. 178p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 dez. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)**. Brasília, 2003.

BRK MARANHÃO. **Manual do Empreendedor**. Revisão 03 - SAA. 2022.

CAEMA. **Manual do Empreendedor**. 2022.

CIDADES DO MEU BRASIL. **Tudo sobre a cidade de Santo Amaro do Maranhão Estado do Maranhão**. Disponível em: https://www.cidadesdomeubrasil.com.br/ma/santo_amaro_do_maranhao. Acesso em: 2024.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Santo Amaro do Maranhão: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Santo Amaro do Maranhão**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/maranhao/santo-amaro-do-maranhao-697377/>. Acesso em: julho de 2024.

CÔRREA, F. M. **Saneamento básico**. Notas de aula, 2014.

COUTO, L.M.M. **Elementos da Hidráulica**. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Editora Interciência, 2008.

FEITOSA, F. A. **Hidrologia: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora XYZ, 2008.

FILHO, J. C. **Tratamento de água para consumo humano: fundamentos e tecnologias**. São Paulo: Editora XYZ, 2017.

FITTS, C. R. **Groundwater Science**. 2. ed. London: Academic Press, 2014.

FREEZE, Allan R.; CHERRY, John A. **Águas subterrâneas**. São Paulo: Everton de Oliveira, 2017.

FUNASA. **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2020.

FUNASA. **Manual de Saneamento**. 5. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2020.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando clorador simplificado desenvolvido pela FUNASA**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2014.

GIAMPÁ, Carlos Eduardo; GALDIANO, V. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

GOMES, A. **Impacto do Turismo no Consumo de Água em Áreas Costeiras: Estudo de Caso**. Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 9, n. 1, p. 45-58, 2009.

HELLER, F.; PÁDUA, M. **Análise dos padrões de consumo e projeção populacional em sistemas de abastecimento de água**. Journal of Water Supply Research, 18(2), 78-92, 2006.

HELLER, F.; PÁDUA, M. **Sistemas de Abastecimento de Água: Componentes e Funcionalidades**. Revista de Engenharia Hidráulica, 15(2), 78-91, 2006.

HELLER, F.; PÁDUA, M. **Traçados de Redes de Distribuição: Ramificações e Malhas**. Revista de Engenharia Hidráulica, 15(3), 101-115, 2006.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. A. **Água e saúde: aspectos atuais e desafios para o futuro**. Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 50-60, 2006.

HÉLLER, L.; PÁDUA, V. L. **Saneamento: Direitos Humanos, Saúde e Sustentabilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2016.

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

HIRATA, R. **Hidrogeologia e gestão de aquíferos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

HIRATA, R., et al. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências, 2019.

IRITANI, M. A. **Recursos Hídricos Subterrâneos**. 2. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2012.

LIBÂNIO, M. A. C. **A água: substância da vida**. Ciência Hoje, São Paulo, v. 47, n. 281, p. 32-36, 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 4. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal e manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

LOPES, J. E. G. **Ciclo hidrológico e sua importância no meio ambiente**. São Paulo: Editora Universitária, 2007.

MANCINTYRE, A. J. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 2021.

MANZI, J. **Dimensionamento de Redes de Abastecimento de Água**. São Paulo: Editora de Engenharia, 2020.

MARINHO, F. **Viscosidade dos fluidos: exercícios resolvidos**. 2020. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/viscosidade-fluidos-exercicios-resolvidos/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

MARTINS, J. R. **Redes de Distribuição de Água**. São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 1976.

MICROAMBIENTAL. **Como tratar água de um poço artesiano para consumo humano?** Disponível em: <https://www.microambiental.com.br>. Acesso em: 2024.

NATAL, L.; NASCIMENTO, R. **Águas subterrâneas: conceitos e controvérsias**. Boletim Mídia Ambiente, São Paulo, ano II, n. 6, out./nov. 2004. Disponível em: <http://www.midiaambiente.org.br/UserFiles/File/Boletins/Boletim.2004.out.nov.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2024.

NETTO, J. M. A., et al. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

NETTO, R. et al. **Componentes Hidráulicos em Sistemas de Abastecimento de Água: Funções e Aplicações**. Journal of Water Supply Engineering, pág. 45-59, 1998.

NETTO, R. et al. **Diversidade de usos da água e considerações sobre perdas e desperdícios em sistemas de abastecimento**. Water Resources Management Review, pág. 201-215, 1998.

NETTO, R. et al. **Sistemas de Abastecimento de Água: Configurações e Funcionalidades**. Revista de Engenharia Sanitária, 10(2), 45-56, 1998.

NUCASE. **Manual de Sistemas de Abastecimento de Água**. Rio de Janeiro: Editora ABC, 2008.

OLIVEIRA, J. **Gestão de Recursos Hídricos e Meio Ambiente: Desenvolvimento de Indicadores e Métodos**. São Paulo: Editora Atlas, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Resolução 64/A/RES/64/292**. 2010.

PEREIRA, A.; CONDURÚ, J. **Sistemas de abastecimento de água**. Revista de Engenharia Civil, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 45-56, 2014.

PHILLIPPI Jr., A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Barueri, 2005.

PINTO, M. S. **Hidrologia: princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Polígono, 1976.

PIZZO, H. S.; A. C. **Ajuste do Coeficiente de Rugosidade de Hazen-Williams à Perda de Carga Obtida pela Equação de Darcy-Weisbach em Tubos de PVC**. Advance Researches in Civil Engineering, 4(1), 1-13, 2020.

PNB. **Normas Brasileiras - NB - 594/77**. Elaboração de projeto hidráulico de redes de distribuição para abastecimento público.

PORTO, M. **Planejamento e gestão de recursos hídricos: estudo de caso na bacia hidrográfica**. São Paulo: Editora Universitária, 2006.

PORTO, M. **Planejamento e Operação de Sistemas de Abastecimento de Água**. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

REBOUÇAS, A. C.; BENEDITO, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Ed. Escrituras, 1999.

ReCESA. **Guia do Profissional em Treinamento, Nível 2: Construção, Operação e Manutenção de Redes de Distribuição de Água**. São Paulo: Editora ReCESA,

DOU. **RESOLUÇÃO No 357**. nº 053, págs. 58-63. Março, 2005

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2 user's manual: U.S.** Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000.

SALDANA, E. A. A. **Metodologia eficiente para análise de redes complexas de abastecimento de água**. 2014, 178 f. Tese de Doutorado (Engenharia Civil - Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas, 2014. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257965/1/ArandaSaldana_EdwinAntonio_D.pdf. Acesso em: 10 jun. 2024.

SILVA, Raimundo Nonato Medeiros. **Avaliação do consumo per capita de água no município de Itapecuru Mirim (MA)**. 2014.

SALVINO, M. M. **Método de dimensionamento e controle operacional otimizado para redes de distribuição de água**. 76 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica). João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2009.

SILVEIRA, A. et al. **Distribuição da água no planeta**. Revista Água e Meio Ambiente, Brasília, v. 10, n. 2, p. 15-24, 2015.

SILVEIRA, L. et al. **Água no Século XXI: Escassez e Gestão no Brasil**. São Paulo: Editora UNESP, 2015.

SWAMEE, P. K.; JAIN, A. K. **Explicit Equations for Pipe-Flow Problems**. Journal of the Hydraulics Division, v. 102, n. 5, p. 657-664, 1976.

TSUTIYA, A. **Aspectos Práticos na Implantação de Redes de Distribuição de Água Potável**. Journal of Water Supply Engineering, 2006.

TSUTIYA, A. **Estimativa do consumo de água e projeção populacional: fundamentos para o planejamento de sistemas de abastecimento.** Revista de Engenharia Hidráulica, 45-58, 2006.

TSUTIYA, M. **Planejamento e gestão de recursos hídricos.** São Paulo: Editora Universitária, 2006.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

TSUTIYA, M. T. **Planejamento de sistemas de abastecimento de água.** Oficina de Textos, 2008.

TSUTIYA, M. T. **Projeto de redes de distribuição de água.** Oficina de Textos, 2006.

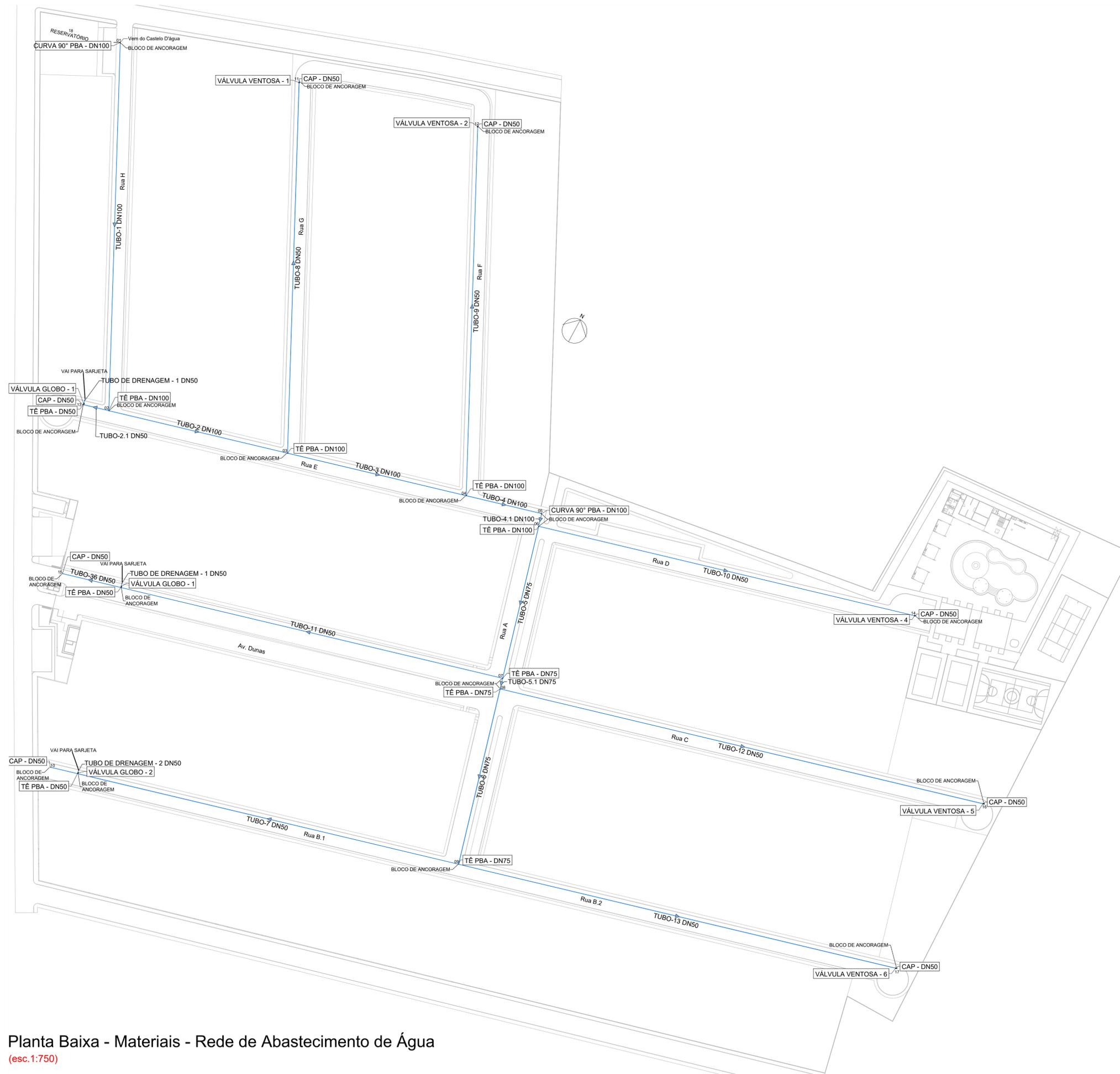
TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Universidade/UFRGS, ABRH, 1997. 946 p.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **O ciclo d'água, The water cycle, Portuguese.** Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-cycle>. Acesso em: 02 jun 2024.

VIANNA, M. L. **Manual de Saneamento Básico.** 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1997.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw Hill, 1975. 247 p.

APÊNDICES – REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA



APÊNDICE B - MATERIAIS DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

TUBULAÇÃO				
TRECHO	TIPO	DN (mm)	COMPRIMENTO (m)	DECLIVIDADE (m/m)
TUBO-1.1	PBA	100	141,14	-0,89%
TUBO-1.2	PBA	100	70,54	0,90%
TUBO-1.3	PBA	100	70,56	0,90%
TUBO-1.4	PBA	100	29,50	0,90%
TUBO-1.5	PBA	100	4,65	-0,50%
TUBO-1.6	PBA	75	59,92	-0,50%
TUBO-1.7	PBA	75	4,12	-0,50%
TUBO-1.8	PBA	75	69,12	-0,50%
TUBO-2	PBA	50	142,48	0,51%
TUBO-3	PBA	50	141,86	0,50%
TUBO-4	PBA	50	148,74	0,50%
TUBO-5	PBA	50	174,10	0,52%
TUBO-6	PBA	50	191,08	0,50%
TUBO-7	PBA	50	161,30	-0,50%
TUBO-8	PBA	50	172,96	0,50%
TUBO-17	PBA	50	10,15	0,90%
TUBO DE DRENAGEM - 1	PBA	50	1,82	1,6%
TUBO DE DRENAGEM - 2	PBA	50	1,07	2,5%
TOTAL	PBA	75	133,16	-
		50	1145,56	-

CONEXÕES	
NOME	QUANTIDADE
CAP - DN50	14
CURVA 90° PBA - DN50	6
CURVA 90° PBA - DN100	2
TÊ PBA - DN50	3
TÊ PBA - DN75	3
TÊ PBA - DN100	4

EQUIPAMENTOS	
NOME	QUANTIDADE
VÁLVULA GLOBO - DN50	3
VÁLVULA VENTOSA - DN50	5



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
ÁREA TÉCNICA: ABASTECIMENTO DE ÁGUA **LOCAL:** SANTO AMARO - MARANHÃO
DESCRIÇÃO: - Planta Baixa - Cálculo - Rede de Abastecimento de Água **PROJETO:** LOTEAMENTO DE UNIDADES HABITACIONAIS
ESCALA: INDICADAS **DATA:** JUL/2024
ALUNO: EDMAR DOS SANTOS MENDES TERCEIRO **FOLHA:** 02/02

A1
 ESCALA: 1:1000/100

Planta Baixa - Materiais - Rede de Abastecimento de Água
 (esc. 1:750)