




Gustavo Lúcio SALOMÃO\*

 <https://orcid.org/0000-0002-6927-9674>


José Henrique da SILVA\*\*

 <https://orcid.org/0000-0003-3714-5839>

Marcelo Jacomini Moreira da SILVA\*\*\*

 <https://orcid.org/0000-0003-3715-8824>

Lincon ZADOROSNY\*\*\*\*

 <https://orcid.org/0000-0003-1239-6201>

Recebido em: 05 de maio de 2023.

Aprovado em: 11 de agosto de 2023.

## AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CRESCIMENTO POPULACIONAL EM UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA\*

### RESUMO

O crescimento populacional é uma das variáveis que pressionam os recursos hídricos, sendo assim faz-se necessário avaliar as demandas futuras por água diante de projeções demográficas, garantindo instrumentos norteadores de ações efetivas contra problemas no abastecimento. O objetivo geral do trabalho é estudar as taxas crescimento populacional de uma região e aplicá-las no consumo de água médio diário de um loteamento, localizado na cidade de Santana da Ponte Pensa (SP). Utilizando simulações computacionais, o estudo avalia o comportamento da rede de abastecimento a cada cinco anos, a fim de verificar os elementos hidráulicos segundo os parâmetros da NBR 12218 (ABNT, 2017). Trata-se de uma pesquisa baseada em projeções populacionais e taxas de crescimento, que serviram de apoio para realização de simulações hidráulicas computacionais de um sistema de abastecimento de água. A rede avaliada localiza-se em Santana da Ponte Pensa/SP e o software utilizado nas simulações foi o Epanet 2.0. No período de 2020 a 2040 a projeção de aumento populacional foi de 1.448 para 1.589 habitantes. Sendo um baixo crescimento, não gerou falhas na rede de distribuição, os problemas surgiram apenas quando o loteamento chegou a 3.278 habitantes.

**Palavras-chave:** Redes de distribuição. Simulações hidráulicas. Crescimento populacional.

## ASSESSING THE IMPACT OF POPULATION GROWTH ON A WATER SUPPLY SYSTEM

### ABSTRACT

Population growth is one of the variables straining water resources, so it is necessary to evaluate future water demands in view of demographic projections, ensuring guiding instruments for effective actions against supply issues. The general purpose of the paper is to investigate the population growth rates of a region and apply them to the average daily water consumption of a subdivision, located in the city of Santana da Ponte Pensa (SP). Using computational simulations, the study evaluates the behavior of the supply network on a five-year basis, to verify the hydraulic elements according to the parameters of NBR 12218 (ABNT, 2017). It is a research based on population projections and growth rates, which served as support for carrying out computational hydraulic simulations of a water supply system. The assessed network is located in Santana da Ponte Pensa/SP and the software used in the simulations was Epanet 2.0. In the period from 2020 to 2040, the population increase projection was from 1,448 to 1,589 inhabitants. Being a low growth, it did not generate failures in the distribution network, the problems arose only when the subdivision reached 3,278 inhabitants.

**Keywords:** Distribution networks. Hydraulic simulations. Population growth.

\* Graduando em Engenharia Civil do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, e-mail: gussalomao@hotmail.com

\*\* Graduando em Engenharia Civil do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, e-mail: jose\_henrique2022@hotmail.com

\*\*\* Doutor, Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, e-mail: silvamjm@gmail.com

\*\*\*\* Doutor, Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, e-mail: lincon\_zad@yahoo.com.br

\* Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Pibic/Unifunec



## 1 INTRODUÇÃO

O acesso a água potável e ao saneamento básico são partes integrantes dos direitos humanos, no entanto, o crescimento urbano acelerado acaba por afetar negativamente a qualidade de vida nas cidades. Neste contexto, o abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, e drenagem de águas pluviais urbanas são fatores fundamentais para a sociedade, e também ao meio ambiente (MOSSORÓ; START, 2016).

De acordo com o relatório “Perspectivas da Urbanização Mundial” (World Urbanization Prospects), produzido pela Divisão das Nações Unidas para a População do Departamento dos Assuntos Econômicos e Sociais, da ONU em 2019, a população global deverá chegar a 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,9 bilhões em 2100, representando grandes desafios para a gestão das cidades. Ainda de acordo com o estudo, em 2019, 54% da população mundial vive em áreas urbanas, e tal população deve aumentar para 66% em 2050 (PASQUAL, 2021).

Conforme apontado por Pavan de Souza et al. (2016), o crescimento populacional é uma das variáveis que pressionam os recursos hídricos. Sendo assim, faz-se necessário avaliar as demandas futuras por água diante de projeções demográficas, garantindo instrumentos norteadores de ações efetivas acerca da disponibilidade hídrica para abastecimento (PROSAB, 2009).

Para acompanhar e prever as tendências de crescimento populacional de uma região, a NBR 12211 (ABNT, 1992) determina que a aplicação de modelos matemáticos deve tomar como base os dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e a projeção populacional adotada deve ser atualizada a cada novo levantamento realizado.

O trabalho partiu do seguinte problema: o aumento da densidade populacional tem o potencial de sobrecarregar os sistemas de abastecimento, ocasionando situações de falta ou excesso de pressão e perda de carga na rede, além da própria falta de água?

Partiu-se da hipótese que o crescimento populacional pressiona o sistema de abastecimento, o que pode vir a ocasionar a falta ou excesso de pressão na rede e desta forma situações de desconforto e insatisfação para os usuários.

Este trabalho se justifica pela importância do planejamento de infraestruturas de abastecimento de água, frente ao aumento do consumo hídrico em função do aumento populacional. O estudo proposto foi realizado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e simulações computacionais, que permitirão obter uma previsão da ocorrência de problemas no abastecimento ao longo do tempo.

O objetivo é estudar o crescimento populacional da região de Santa Fé do Sul – SP, e aplicar as taxas de crescimento no consumo hídrico médio diário de um loteamento de Santana da Ponte Pensa, posteriormente realizar simulações hidráulicas computacionais da rede em um horizonte de vinte anos e avaliar as consequências para o sistema de abastecimento local.

Para se obter o objetivo citado anteriormente, o presente projeto foi dividido em etapas, que compreendem os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Projetar o crescimento populacional de uma região segundo dados do censo demográfico realizado pelo IBGE.
- ✓ Avaliar o comportamento da rede de abastecimento a cada cinco anos, utilizando simulação computacional, para verificar os elementos hidráulicos seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma vigente.

Para a inserção de um sistema de rede de abastecimento de água, é necessária a elaboração de estudos e projetos, visando atender determinada população, em geral maior que a atual, equivalente ao crescimento demográfico em um determinado número de anos, ou seja, são determinadas não somente para demandas atuais, mas também para as necessidades futuras. Esse intervalo de tempo corresponde ao período do projeto, ou plano do projeto, que podem ser entre 20 até 30 anos, sendo comum adotar-se períodos de 20 anos (ANDRADE, 2014).

Segundo a NBR 12211 (ABNT, 1992):

A formação de tendências de crescimento, definidas por dados estatísticos suficientes para construir uma série histórica deve observar a aplicação de modelos matemáticos aos dados censitários do IBGE e escolhida como curva representativa de crescimento futuro aquela que melhor se ajuste aos dados censitários. (ABNT, 1992, p. 3-4).

Dentre os métodos matemáticos utilizados pelo IBGE, destaca-se o denominado Método AiBi, esse método se destaca frente aos demais pois é utilizado pelo IBGE no estudo dos crescimentos populacionais, e apresenta grande eficiência nos resultados. Ele utiliza como insumos básicos às populações obtidas das Projeções da População para o Brasil e as Unidades da Federação mais recentes, bem como o crescimento populacional de cada Município na última década, delineado pelas respectivas populações recenseadas nos dois últimos Censos Demográficos realizados. Essas populações recenseadas, que servem de base para o cálculo da tendência de crescimento populacional dos Municípios, podem ser ajustadas em consonância com os ajustes da população adotados nas Projeções da População para o Brasil e as Unidades da Federação (BRITO; CAVENAGHI; JANNUZZI, 2010).

O método tem como princípio fundamental a subdivisão de uma área maior, cuja estimativa já se conhece, em  $n$  áreas menores, de tal forma que seja assegurada ao final das estimativas das áreas menores a reprodução da estimativa, previamente conhecida, da área maior através da soma das estimativas das áreas menores (IBGE, 2020).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020), seu cálculo pode ser expresso pela Equação (1):

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i \quad (1)$$

Para a determinação destes coeficientes utiliza-se o período delimitado por dois Censos Demográficos. Sejam  $t_0$  e  $t_1$ , respectivamente, as datas dos dois Censos. Ao substituir-se  $t_0$  e  $t_1$  na Equação (2), tem-se que:

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i \quad (2)$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i$$

Através da resolução do sistema acima, tem-se que:

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)} \quad (3)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0)$$

No caso das estimativas de população referentes ao ano de 2020, deve-se considerar nas expressões anteriores:

$P_i$ : População do município  $i$ ;

$P$ : População da Unidade da Federação;

$t_0$ : 1º de julho de 2000;

$t_1$ : 1º de julho de 2010;

$t$ : 1º de julho de 2020.

As estimativas de crescimento da população são realizadas também pelo método geométrico, expresso pela Equação (4). Em termos técnicos, para se obter a taxa de crescimento ( $r$ ), subtrai-se 1 da raiz enésima do quociente entre a população final ( $P_t$ ) e a população no começo do período considerado ( $P_0$ ), multiplicando-se o resultado por 100, sendo “ $n$ ” igual ao número de anos no período (IBGE, 2020).

$$r = \left[ \left( \sqrt[n]{\frac{P_t}{P_0}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (4)$$

A rede de distribuição de água é definida por um sistema de condutos e elementos hidráulicos que são capazes de distribuir água a população em boas condições de utilização, por meio da instalação de ramais domiciliares (CARVALHO, 2014).

A distribuição da rede é classificada de acordo com o tipo de canalização, sendo condutos principais ou canalização mestre, o qual possui diâmetro relativamente maior, com função de abastecer as canalizações secundárias. Já os condutos secundários são aqueles que apresentam diâmetro relativamente menor, sendo que sua finalidade é abastecer diretamente os pontos de consumo (SILVA, 2018).

As vazões para dimensionamento de uma rede devem atender a toda área a ser abastecida (grandes e os especiais consumidores, áreas de expansão, prevenção contra incêndio, população flutuante), sendo necessário considerar o índice de perda total (real e aparente). Os coeficientes  $K_1$  (variabilidade máxima diária do fluxo),  $K_2$  (variabilidade máxima horária do fluxo) e  $K_3$  (variabilidade mínima do fluxo), devem ser obtidos a partir dos dados existentes na localidade, conforme previsto na NBR 12218 (ABNT, 2017), deve-se atender os seguintes critérios:

- ✓ Perda de carga unitária máxima 10 m/km;
- ✓ Evitar velocidades mínimas inferiores a 0,40 m/s;
- ✓ Erro máximo na simulação 0,1 L/s e 0,5 kPa;
- ✓ Pressão de serviço estática máxima 400 kPa, com exceções para 500 kPa;
- ✓ Pressões estáticas preferenciais entre 250 kPa e 300 kPa;
- ✓ Pressão dinâmica mínima 100 kPa.

Os métodos iterativos permitem a determinação da distribuição de vazões pelos trechos de uma rede malhada, assim como a determinação das cotas piezométricas nos “nós” dessa rede, adota-se a margem de erro aceitável, tanto para vazão como para pressão, e uma vez que a rede seja considerada “equilibrada”, faz-se a análise das pressões disponíveis nos diversos pontos, e das perdas de carga nos trechos, que se forem inadequados, modifica-se o sistema alterando ou a altura do reservatório ou os diâmetros de alguns trechos, por exemplo (PORTO, 2006).

A simulação hidráulica tem um elevado grau de importância para a aquisição de conhecimento e de controle dos sistemas de abastecimentos, frente ao aumento da demanda por água. O “EPANET” foi o software escolhido para se realizar as simulações, pois é um programa consagrado que foi desenvolvido nos Estados Unidos pela agência EPA e adaptado para as condições brasileiras pela UFRN, o qual permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico, sendo ferramenta de apoio a análises de sistemas de distribuição, permitindo prever diversas situações diferentes e antevendo situações que possam vir a ocorrer durante a execução do projeto.

O software livre EPANET 2.0 é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico em redes de distribuição. Uma rede é constituída por tubulações, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável. O software foi desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) e disponibilizado em português pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), que faz parte do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal do Paraíba (UFPB, 2000).

Conforme os procedimentos estabelecidos no Manual do Usuário do EPANET 2.0 de Rossman et al. (2000), uma rede completamente caracterizada (ou seja, incluindo todas as tubulações, sem simplificações) e uma modelagem hidráulica confiável constituem pré-requisitos essenciais para as simulações. O EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio a simulação hidráulica, onde se destacam como principais características:

- ✓ Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning
- ✓ Consideração das perdas de carga singulares,
- ✓ Múltiplas categorias de consumo nos “nós”, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo.
- ✓ Dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

A região escolhida como referência para o estudo do crescimento populacional foi o município brasileiro de Santa Fé do Sul, localizado no extremo noroeste paulista, a 626 km da capital. Limita-se a Oeste e Noroeste com o município de Rubinéia, a norte com o município de Santa Clara d'Oeste-SP, a Leste com o município de Três Fronteiras-SP, a sudeste com o município de Nova Canaã Paulista-SP e ao sul com Aparecida d'Oeste-SP. O local foi escolhido por ser uma referência estadual e com expressiva população, de 32.796 moradores, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

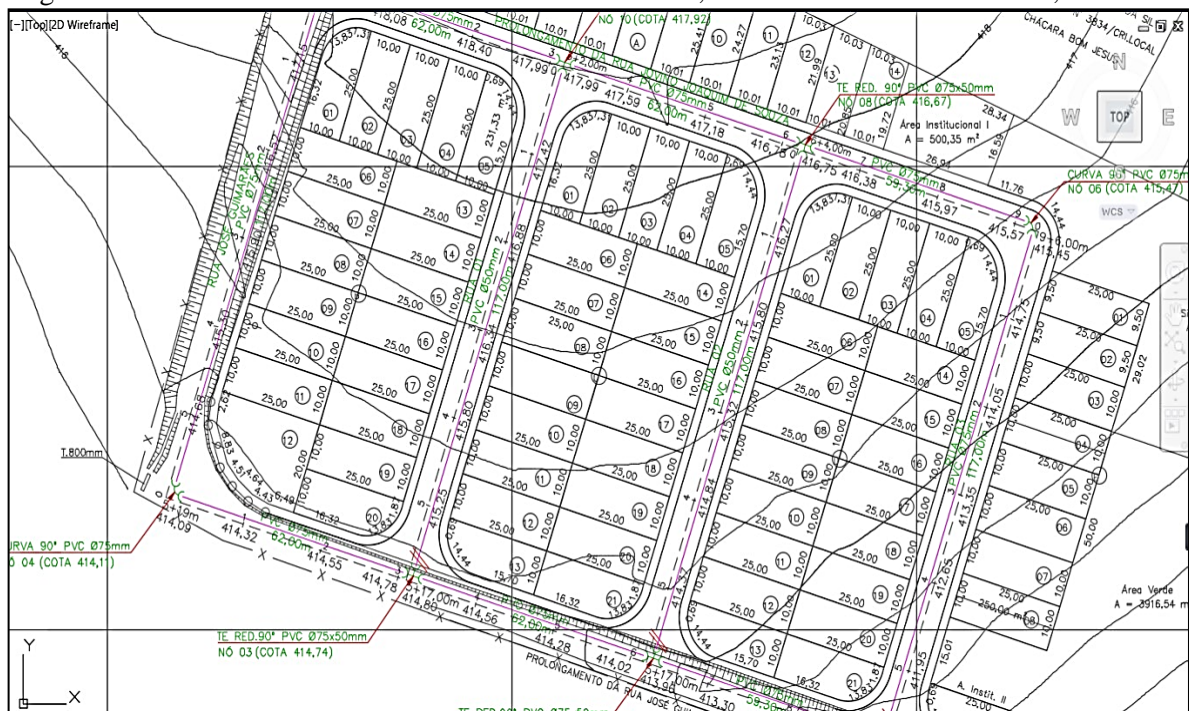
A área delimitada para o estudo do sistema de abastecimento de água foi a cidade de Santana da Ponte Pensa, município brasileiro do estado de São Paulo, pertencente a Região Administrativa de São José do Rio Preto que faz divisa com os municípios de Santa Rita D'Oeste (SP), Santa Salete (SP), Aspásia (SP), Palmeira D'Oeste (SP) e Três Fronteiras (SP).

O município tem uma população estimada em 1.448 habitantes (2020) e possui área de 129,8 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021).

## 2.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE SANTANA DA PONTE PENSA

A pesquisa foi realizada em um loteamento no município de Santana da Ponte Pensa, loteamento este que possui cerca de 84 lotes, cada um com comprimento de 25m e largura de 10m, conforme mostra a Figura 1, possui uma área total de cerca de 36.300 m<sup>2</sup> e aproximadamente 1.300m de tubulação.

Figura 1 - Planta baixa da rede de abastecimento existente, Santana da Ponte Pensa – SP, 2017.



Fonte: Adaptado de Kurion (2017).

Cada conexão da rede foi considerada como um “nó”, de modo que cada um possui uma respectiva cota topográfica, e um número de lotes que são abastecidos, conforme demonstra a Tabela 1. A união de dois “nós” forma o que se chama de “Trecho” da rede, e cada um também possui seu respectivo comprimento e diâmetro de tubulação.

## 3 MODELAGEM DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO NO EPANET

Para desenvolver o modelo do sistema de abastecimento escolhido no EPANET, inicialmente foram colocados todos os “nós” da rede e posteriormente os mesmos foram interligados pelos “Trechos”, conforme mostra a Figura 2, todos enumerados e com suas

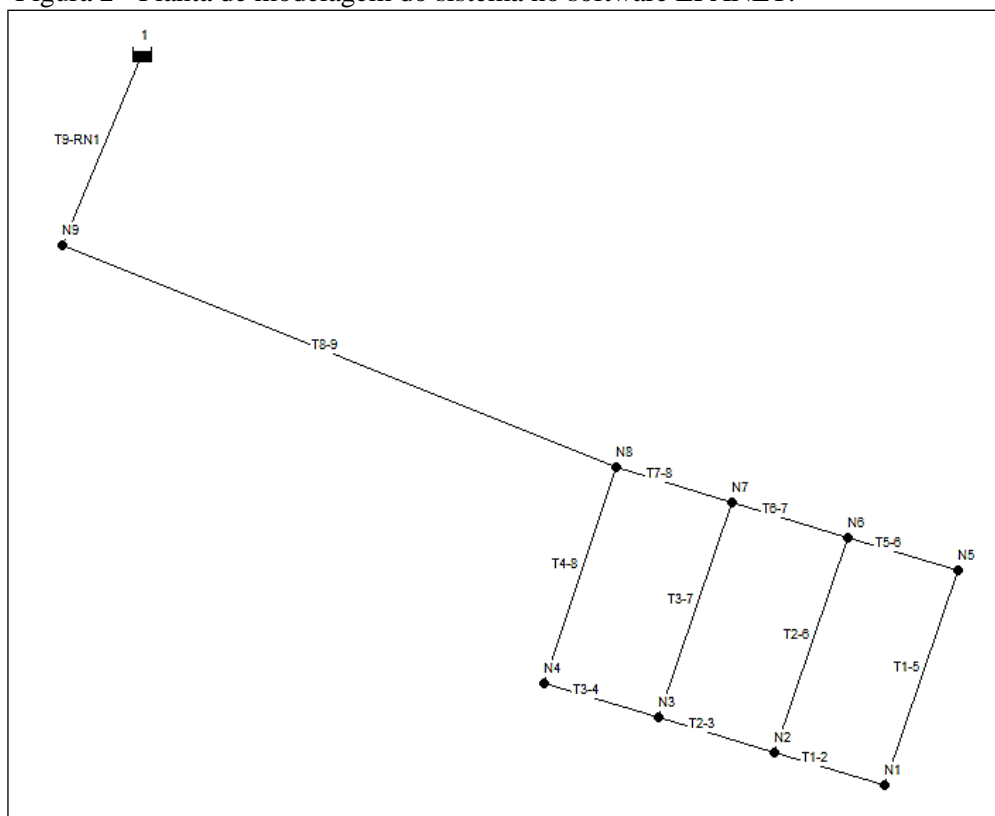
respectivas cotas topográficas. Na origem do sistema foi adicionado um Reservatório de nível fixo (RNF).

Tabela 1 – Dados da rede de abastecimento de água de Santana da Ponte Pensa-SP.

DADOS NOS “NÓS”			TRECHOS DA REDE E SEUS COMPRIMENTOS		
NÓ	COTA (m)	Nº DE LOTES	TRECHOS	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO (mm)
N1	411,81	9	T1-2	59,30	75
N2	413,83	10	T2-3	62,00	75
N3	414,74	10	T3-4	62,00	75
N4	414,11	5	T1-5	117,00	75
N5	415,47	10	T2-6	117,00	50
N6	416,67	15	T3-7	117,00	50
N7	417,92	16	T4-8	117,00	75
N8	417,77	9	T5-6	59,30	75
N9	421,11	0	T6-7	62,00	75
-	-	-	T7-8	62,00	75
-	-	-	T8-9	307,70	75
-	-	-	T9-RN1	90,50	75

Fonte: Dos próprios autores.

Figura 2 - Planta de modelagem do sistema no software EPANET.



Fonte: Dos próprios autores.

## 4 SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

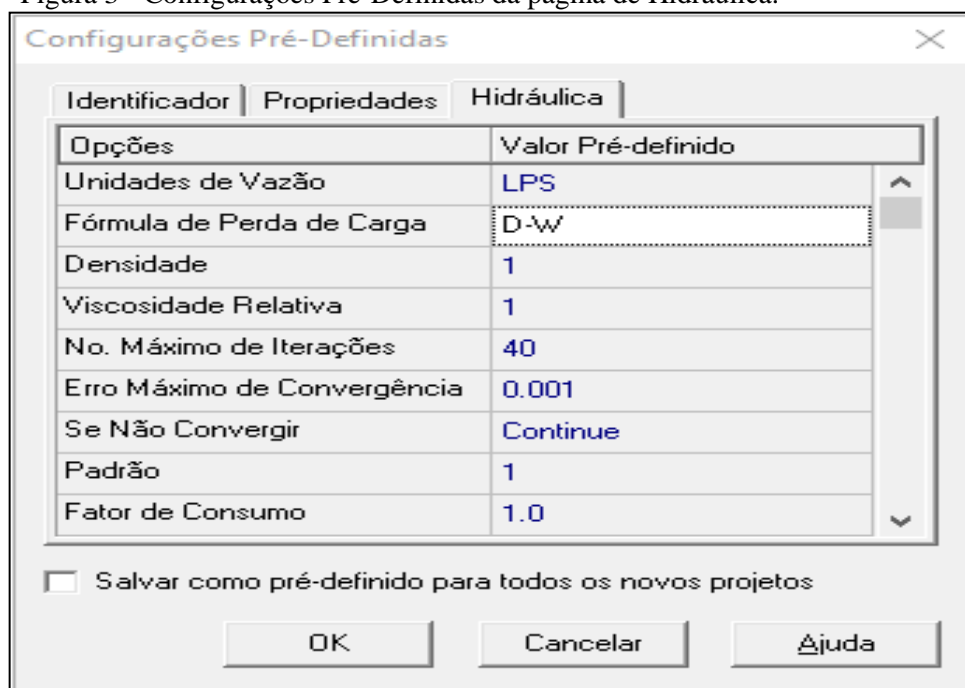
Para executar uma simulação hidráulica deve-se selecionar “Projeto” >> “Executar Simulação”. O progresso da simulação é mostrado na janela “Estado da Simulação”, qualquer erro ou mensagem de advertência aparecerá na janela do “Relatório de Estado”.

O parâmetro "Erro Máximo de Convergência" é utilizado para indicar o erro aceitável para a conclusão da simulação, enquanto o parâmetro "Nº Máximo de Iterações" representa o valor informado para encerrar a simulação caso não haja solução para os equilíbrios hidráulicos encontrados.

O valor que deve ser informado ao EPANET para "Erro Máximo de Convergência" é calculado como a soma de todos os incrementos de vazão dividida pela soma da vazão em todos os trechos (ROSSMAN *et al.*, 2000), permitindo o ajuste para erros menores que 0,1 L/s conforme especificado na NBR 12218 (ABNT, 2017).

A configuração pré-definida do software indica que seu “Erro Máximo de Convergência” é de 0,001 L/s, indicado na Figura 3, isso demonstra que o programa atende e demanda mais do que os requisitos normativos. Caso seja necessário, serão realizadas adequações para modelagem do projeto.

Figura 3 - Configurações Pré-Definidas da página de Hidráulica.



Fonte: Dos próprios autores.

## 5 ESTUDO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL DE SANTA FÉ DO SUL

Foi obtido o crescimento populacional na região de Santa Fé do Sul nos períodos de 2020 a 2040, demonstrado na Tabela 2, fornecidos pelo IBGE (2020), com o objetivo de posteriormente aplicar as taxas de crescimento no consumo hídrico médio diário e na população de Santana da Ponte Pensa (SP).

Tabela 2 – Projeção da população de Santa Fé do Sul-SP.

<b>GRUPO ETÁRIO –</b>					
<b>ANOS DE</b>	2020	2025	2030	2035	2040
<b>REFERÊNCIA</b>					
<b>SANTA FÉ DO SUL –</b>					
<b>TOTAL HABITANTES</b>	32.563	33.600	34.544	35.255	35.733

Fonte: Adaptado (IBGE, 2020).

A taxa de crescimento foi calculada realizando a diferença entre o valor do ano atual (usado como referência) e o valor anterior, dividido pelo valor (novamente) anterior e depois multiplicado por 100, conforme mostra a Equação (5). O resultado foi expresso em uma porcentagem e indica o quanto cresceu a população em um período de 5 anos.

$$i = 100 \frac{(P - P_0)}{P_0} \quad (5)$$

Onde:

i é a variação percentual

P é a população do ano considerado referência

P<sub>0</sub> é a população de 5 anos anteriores ao ano P

## 6 DADOS ADOTADOS PARA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

Com relação a vazão adotada por ligação residencial, foi utilizada como diretriz a norma Sabesp (NTS 181), na qual o consumo médio diário por lote no ano de 2020 é de 800 L/dia (SABESP, 2017). A vazão em cada nó foi calculada com base no número de lotes na área de abrangência.

A Equação (6), também conhecida como fórmula de vazão, foi utilizada para efetuar o dimensionamento da rede (PORTO, 2006).

$$Q = \frac{K1 * K2 * q * POP}{86400} \quad (6)$$

Onde:

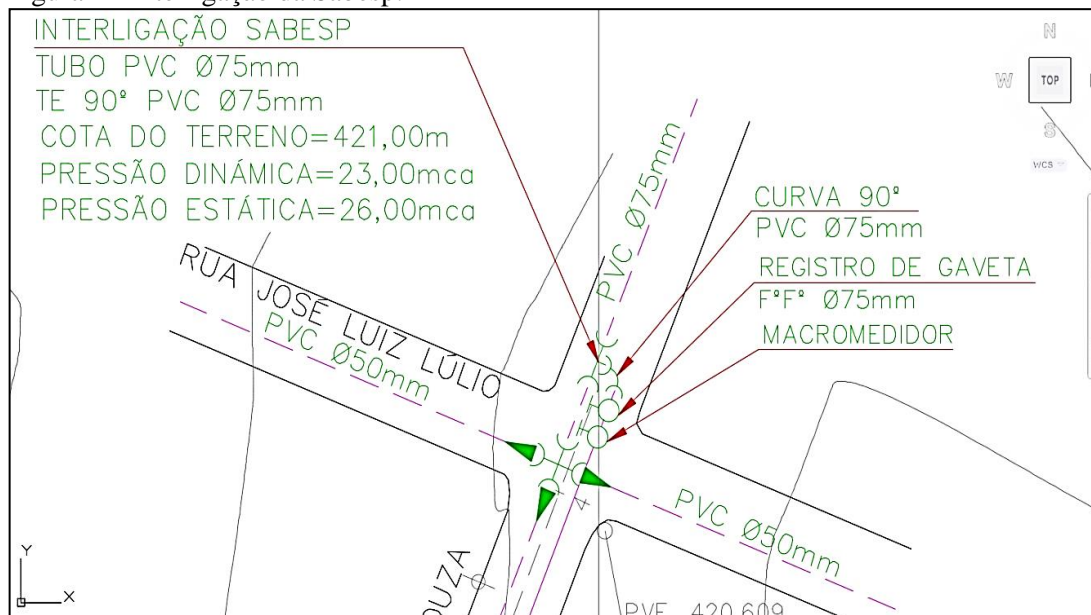
✓ k1 = 1,2; (adotado conforme norma);

- ✓  $k_2 = 1,5$ ; (adotado conforme norma);
- ✓  $q$  = Consumo per capita (L/hab.dia);
- ✓ POP = população atendida (hab);
- ✓  $Q$  = vazão de distribuição (L/s)

Para a simulação hidráulica, foram definidos todos os “nós” da rede naquele momento, sendo um para cada conexão da rede do loteamento.

Foi utilizado uma temperatura de trabalho de 20 °C e um coeficiente de rugosidade ( $\epsilon$ ) de 0,003mm (AMANCO, 2019). A pressão dinâmica mínima na interligação Sabesp (Figura 4), localizada ao oeste (W) do loteamento, é de 23 m.c.a., enquanto a pressão estática máxima é de 26 m.c.a. (KURION, 2017).

Figura 4 - Interligação da Sabesp.



Fonte: Adaptado (KURION, 2017).

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL

Com base nos dados populacionais fornecidos pelo IBGE (2020), como mostrado na Tabela 2, calculou-se a taxa de crescimento de 2020 a 2025 conforme mostra a Equação (7). Os demais resultados estão expressos na Tabela 3.

$$i = 100 * (P_{2025} - P_{2020}) / P_{2020} \quad (7)$$

$$i = 100 * (33.600 - 32.563) / 32.563; i = 3,18310329\%$$

Tabela 3 – Taxas de crescimento populacional referente a Santa Fé do Sul-SP

<b>GRUPO ETÁRIO – ANOS DE REFERÊNCIA</b>	2020	2025	2030	2035	2040
<b>TAXAS DE CRESCIMENTO (%)</b>	-	3,1831	2,8118	2,0583	1,3561

Fonte: Dos próprios autores.

## 7.2 APLICAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO NO CONSUMO HÍDRICO MÉDIO DIÁRIO DE SANTANA DA PONTE PENSEA

No período de 2020 a 2025 o consumo médio diário foi calculado conforme mostra a Equação (8). Os demais resultados estão demonstrados na Tabela 4.

$$q(P_{2025}) = q(P_{2020}) + \text{Taxa}_{2025} * q(P_{2020}) \quad (8)$$

$$q(P_{2025}) = 800 + 0,031831 * q(P_{2020}) = 825,4648 \text{ L/Dia}$$

Tabela 4 – Consumo hídrico médio diário estimado de Santana da Ponte Pensa-SP.

<b>GRUPO ETÁRIO – ANOS DE REFERÊNCIA</b>	2020	2025	2030	2035	2040
<b>TAXAS DE CRESCIMENTO (%)</b>	-	3,1831	2,8118	2,0583	1,3561
<b>CONSUMO MÉDIO DIÁRIO (L/Dia)</b>	800	825,4648	848,6759	866,1444	877,8903

Fonte: Dos próprios autores.

## 7.3 CÁLCULO DA VAZÃO POR LOTE

Com base na fórmula de vazão, mostrada no item 6.5, realizou-se a equação utilizando os novos valores obtidos de consumo médio diário a cada 5 anos, conforme mostra a Equação (9) e a Tabela 5.

$$Q_{\text{Lote}2020} = \frac{[k_1.k_2.(q.P_{2020})]}{86400} = \frac{[1,2.1,5.(800)]}{86400} \rightarrow Q_{\text{Lote}2020} = 0,01667 \text{ l/s} \quad (9)$$

Tabela 5 – Vazão por lote

<b>GRUPO ETÁRIO – ANOS DE REFERÊNCIA</b>	2020	2025	2030	2035	2040
<b>CONSUMO MÉDIO DIÁRIO (L/Dia)</b>	800	825,4648	848,6759	866,1444	877,8903
<b>VAZÃO POR LOTE (L/s)</b>	0,01667	0,01720	0,01768	0,01804	0,01829

Fonte: Dos próprios autores.

## 7.4 APLICAÇÃO DA VAZÃO POR LOTE

Cada “nó” abastecerá certa quantidade de lotes, sendo assim, para determinação da vazão total ( $Q_a$ ) em cada “nó”, multiplicou-se o respectivo consumo por lote de cada ano, pela quantidade de terrenos que cada um abastece. Conforme representa a Tabela 6.

Tabela 6 – Vazão total em cada nó de 2020 a 2040

DADOS NOS NÓS			2020	2025	2030	2035	2040
NÓ	COTA (m)	Nº DE LOTES	VAZÃO $Q_a$ (L/s)	VAZÃO $Q_a$ (L/s)	VAZÃO $Q_a$ (L/s)	VAZÃO $Q_a$ (L/s)	VAZÃO $Q_a$ (L/s)
N1	411,81	9	0,1500	0,1548	0,1591	0,1624	0,1646
N2	413,83	10	0,1667	0,1720	0,1768	0,1804	0,1829
N3	414,74	10	0,1667	0,1720	0,1768	0,1804	0,1829
N4	414,11	5	0,0833	0,0860	0,0884	0,0902	0,0914
N5	415,47	10	0,1667	0,1720	0,1768	0,1804	0,1829
N6	416,67	15	0,2500	0,2580	0,2652	0,2707	0,2743
N7	417,92	16	0,2667	0,2752	0,2829	0,2887	0,2926
N8	417,77	9	0,1500	0,1548	0,1591	0,1624	0,1646
N9	421,11	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>ERRO MÁXIMO NA SIMULAÇÃO</b>			0,0714	0,0692	0,0673	0,0660	0,0651

Fonte: Dos próprios autores.

Conforme a NBR 12218 (ABNT,2017), as vazões para dimensionamento de uma rede devem atender o critério de erro máximo na simulação de menor ou igual a 0,1 L/s.

## 7.5 SIMULAÇÃO DA REDE DE ABASTECIMENTO

Com o auxílio do software EPANET realizou-se as simulações hidráulicas do sistema em todos os anos compreendidos. O objetivo foi analisar a pressão em cada “nó” da rede conforme a Tabela 7 e verificar a perda de carga nos trechos, demonstrada na Tabela 8.

Tabela 7- Pressões de simulação (m.c.a) da rede de abastecimento de água de 2020 a 2040

Nós	2020	2025	2030	2035	2040
N1	34,18	34,13	34,07	34,03	34,00
N2	32,17	32,11	32,06	32,01	31,99
N3	31,27	31,21	31,16	31,12	31,09
N4	31,91	31,86	31,81	31,77	31,74
N5	30,52	30,47	30,41	30,37	30,34
N6	29,33	29,27	29,22	29,18	29,15
N7	28,09	28,04	27,99	27,95	27,92
N8	28,30	28,24	28,19	28,15	28,13
N9	25,68	25,67	25,65	25,65	25,64

Fonte: Dos próprios autores.

A primeira coluna da Tabela 7 indica todos os “nós” da rede, as próximas demonstram as pressões em cada um dos pontos dos anos estudados. A partir de uma análise detalhada verifica-se uma diminuição de pressão nas conexões da rede ao longo dos anos, causada pelo aumento nos níveis de consumo, que aumentou conforme o crescimento da população do município. Por exemplo, o “nó” 6 tem uma pressão de 29,33 m.c.a em 2020 e 29,15 m.c.a no último ano de estudo. Não é um declínio expressivo, pois a região em estudo apresenta uma baixa taxa de crescimento populacional.

Também é possível perceber níveis de pressões mais elevadas em pontos mais distantes da interligação, tal fato acontece em função da diferença topográfica entre as localidades, por exemplo o “nó” 1 tem uma cota de 411,81m e a origem, ou seja, o ponto mais distante da interligação possui uma cota de 421,00m, resultando em uma diferença de 9,19m.

É importante acompanhar o aumento do consumo, pois este fator pode diminuir significativamente os níveis de pressão da rede a longo prazo, podendo chegar em algum momento a pressão mínima de 10 m.c.a estabelecido pela NBR 12218 (ABNT, 2017).

Tabela 8 – Perda de carga da simulação da rede de abastecimento de água de 2020 a 2040

Trecho	Perda de	Perda de	Perda de	Perda de	Perda de
	carga (m/Km)	carga (m/Km)	carga (m/Km)	carga (m/Km)	carga (m/Km)
	2020	2025	2030	2035	2040
T1-2	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
T2-3	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20
T3-4	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31
T1-5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T2-6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
T3-7	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08
T4-8	0,36	0,39	0,40	0,42	0,43
T5-6	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07
T6-7	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34
T7-8	0,82	0,87	0,91	0,94	0,96
T8-9	2,35	2,48	2,61	2,70	2,77
T9-RN1	2,35	2,48	2,61	2,70	2,77

Fonte: Dos próprios autores.

Pode-se perceber, a partir da Tabela 8, que a perda de carga nos trechos vem aumentando conforme o aumento do consumo ao longo dos anos. O aumento do consumo ocorreu por conta do aumento populacional, mas também pode advir do aumento de atividades industriais ou comerciais, e até mesmo por conta do aumento da qualidade de vida.

No trecho “T1-5” não foi verificado, por meio do software, perda de carga em nenhum dos anos em estudo, este fato se deve a baixa turbulência do fluido, causada pela pequena diferença de cota entre os “nós” e também por ser o trecho mais distante da interligação.

Como previsto, é possível verificar, por exemplo, que no Trecho “T8-9” quanto maior é o comprimento da tubulação, maior será a perda de energia no transporte da água. No caso em estudo os resultados são satisfatórios, e em nenhum dos anos abrangidos a perda de carga atingiu o limite de 10 m/km estabelecido pela NBR 12218 (ABNT, 2017).

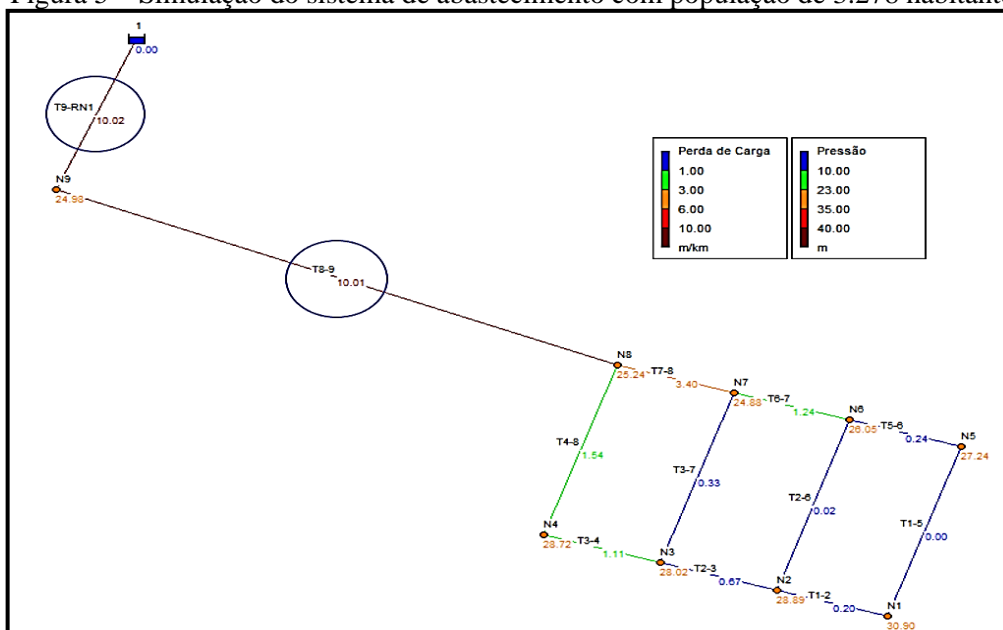
Os resultados foram satisfatórios, porém para ter uma análise mais aprofundada do sistema, calculou-se qual seria o número máximo de habitantes para qual a rede continuaria funcionando dentro dos parâmetros estabelecidos pelas normas. Como mostra a Tabela 9, quando o loteamento atingir 3.278 habitantes a rede começará a apresentar problemas segundo o critério de perda de carga. Os valores obtidos estão apresentados na Figura 5.

Tabela 9 – Pressão e perda de carga segundo o número de habitantes.

NÚMERO DE HAB	PRESSÃO	PERDA DE CARGA
2100	OK	OK
2200	OK	OK
2500	OK	OK
2800	OK	OK
3000	OK	OK
3278	OK	PROBLEMA

Fonte: Dos próprios autores.

Figura 5 – Simulação do sistema de abastecimento com população de 3.278 habitantes.



Fonte: Dos próprios autores.

Os trechos circulados “T8-9” e “T9-RN1” resultaram no valor máximo de perda de carga aceitos pela NBR 12218 (ABNT, 2017), valores elevados aumentam a turbulência do fluido e causam perda de pressão distribuída no tubo, fazendo com que a pressão total vá diminuindo gradativamente ao longo do trecho. Para isso ser corrigido é necessário por exemplo aumentar o diâmetro da tubulação, o que pode gerar um gasto econômico significativo e execução complexa.

## 8 CONCLUSÃO

Um sistema de abastecimento de água adequado garante a qualidade de vida e o desenvolvimento de uma comunidade. Deste modo, o estudo do crescimento urbano associado a tecnologia das simulações hidráulicas, possibilita uma análise minuciosa da rede ao longo dos anos e assegura o controle de ações de qualidade que vão garantir a integridade e a eficiência do abastecimento hídrico.

A fim de alcançar o objetivo do presente trabalho, foram realizadas as simulações hidráulicas considerando o crescimento do número de consumidores. Como o aumento do número de habitantes da região não foi expressivo ao avaliar o comportamento da rede de abastecimento de Santana da Ponte Pensa (SP), concluiu-se que os elementos hidráulicos continuarão dentro dos limites estabelecidos pelas normas ao longo de 20 anos.

Entretanto, é necessária atenção, pois verificou-se que quando o loteamento atingir uma quantidade de 3.278 habitantes, o mesmo apresentará problemas relacionados a perda de carga, o que eleva a turbulência do fluido, fazendo com que a pressão total vá diminuindo gradativamente ao longo do trecho.

O crescimento populacional traz consequências significativas, que são grandes desafios para os operadores dos sistemas de distribuição, uma vez que, a solução para um possível problema passa pela reabilitação e redimensionamento da infraestrutura, o que possui um elevado custo e execução complexa.

A proposta do uso de uma ferramenta computacional livre e de fácil acesso para modelagem do comportamento hidráulico ao longo do tempo, pode ser um forte aliado dos gestores na tomada de decisão ou gerenciamento do sistema de distribuição, pois oferece maior controle dos pontos críticos do abastecimento, levando em conta as alterações de uso e população a médio e longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. B. de. **Notas de aula - Saneamento básico**: sistema de abastecimento de água. 2014. 94 f. Notas de aula da Disciplina de Saneamento Básico - Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Goiás, Goiânia - GO, 2014. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/58705691/sb-agua-ucg20190325-52107-18dqrnh.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211**; 04/1992: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento. São Paulo: ABNT, 1992. 14 p. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5604/nbr12211-estudos-de-concepcao-de-sistemas-publicos-de-abastecimento-de-agua-procedimento>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12215-1**: Projeto de adutora de água - Parte 1: Conduto forçado: ABNT, 2017. 26 p. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12097/nbr12215-1-projeto-de-adutora-de-agua-parte-1-conduto-forcado>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**; 05/2017: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento: ABNT, 2017. 23 p. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5611/nbr12218-projeto-de-rede-de-distribuicao-de-agua-para-abastecimento-publico-procedimento>.
- BRITO, L. P. G. de; CAVENAGHI, S.; JANNUZZI, P. de M. Estimativas e projeções populacionais para pequenos domínios: uma avaliação da precisão para municípios do Rio de Janeiro em 2000 e 2007. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 27, n. 1, p. 35–57, jan. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-30982010000100004>.
- CARVALHO, H. R. F. **Redução de perdas reais de água em sistemas de abastecimento de água: definição de critérios para delimitação de zonas de medição e controle**. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia - FEUP, Porto, 2014. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/74771>. Acesso em: 07 mar. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 06 novembro 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Método AiBi**. 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santana-da-ponte-pensa/panorama>. Acesso em: 19 set. 2021.
- KURION, Incorporação e Empreendimentos Imobiliários – EIRELI. **Projeto**: sistema de abastecimento de água do Município de Santana da Ponte Pensa - SP. Fernandópolis – SP, 25 set. 2017.

MOSSORÓ, RN. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Mossoró/RN:** Produto C. Mossoró, RN: Prefeitura Municipal, 2016. Disponível em: <https://www.prefeiturademossoro.com.br/wp-content/uploads/2019/12/Produto-F-Plano-de-Execu%C3%A7%C3%A3o-PMSB-Mossor%C3%B3-FINAL.pdf>

PASQUAL, J. **O contexto do nexa água-energia-alimentos no cenário do biogás e biometano.** 2021. Disponível em: <https://nrghub.com.br/2021/05/27/o-contexto-do-nexo-agua-energia-alimentos-no-cenario-do-biogas-e-biometano/#:~:text=O%20relat%C3%B3rio%20E2%80%9CPerspectivas%20da%20Urbaniza%C3%A7%C3%A3o,10%2C9%20bilh%C3%B5es%20em%20100%2C>. Acesso em: 04 dez. 2021.

PAVAN DE SOUZA, F. *et. al.* Aplicação do método de valoração contingente para mensurar a percepção sócio ambiental dos moradores que vivem no entorno da Lagoa do Vigário. **Humanas Sociais & Aplicadas**, v. 6, n. 15, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.25242/88766152016971>.

PORTO, R. de M. **Hidráulica básica.** 4.ed. São Carlos, SP: EESC-USP, 2006. 540 p., il. (Projeto Reenge). Disponível em: <http://www.shs.eesc.usp.br/hidraulicabasica>.

PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** Ricardo Franci Goncalves (coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2009. Disponível em: [http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5\\_tema\\_5.pdf](http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_5.pdf).

ROSSMAN, L. A. *et al.* **EPANET 2.0 manual do usuário.** Brasil: Universidade Federal da Paraíba, UFPB, 2000. 201 p. Disponível em: [http://ct.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/programa-epanet/manual\\_do\\_epanet\\_brasil.pdf](http://ct.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/programa-epanet/manual_do_epanet_brasil.pdf). Acesso em: 28 abr. 2022.

SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Norma Técnica NTS 181:** dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – primeira ligação. 4. ed. São Paulo, 2017. 23 p. Disponível em: <https://www3.sabesp.com.br/normastecnicas/nts/NTS181.pdf>. Acesso em: 19 set. 2021.

SILVA, M. L. da. **Avaliação hidráulica e orçamentária de alternativa para dimensionamento de redes ramificadas de abastecimento de água.** 2018. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Formiga - Unifor, Formiga, 2018. Disponível em: [https://repositorioinstitucional.uniformg.edu.br:21015/xmlui/bitstream/handle/123456789/796/TCC\\_MarianaLuizaSilva.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioinstitucional.uniformg.edu.br:21015/xmlui/bitstream/handle/123456789/796/TCC_MarianaLuizaSilva.pdf?sequence=1&isAllowed=y).