

# Modelagem hidráulica do sistema de distribuição de água da região central do Município de Santa Quitéria, Ceará


*Hydraulic modeling of the water distribution system of the central region of the municipality of Santa Quitéria, Ceará*


- **Data de entrada:**  
07/03/2023
- **Data de aprovação:**  
09/08/2023

Francisco Tailan Lima Ribeiro Linhares<sup>1</sup> | Jefferson Sousa Rocha<sup>2\*</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.045>

## ORCID ID

Linhares FTLR  <https://orcid.org/0000-0001-5073-1301>

Rocha JS  <https://orcid.org/0000-0002-4079-033X>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo geral realizar a modelagem hidráulica do sistema de distribuição de água do município de Santa Quitéria, Ceará, apresentando como objetivos específicos: modelar o sistema de distribuição de água do trecho analisado com o auxílio do EPANET; examinar as condições hidráulicas da rede, através da verificação de pressão e perda de carga, bem como a qualidade da água, por meio da análise do decaimento de cloro residual; e apresentar soluções em caso de discordância com os parâmetros normativos. Como resultado do estudo, verificou-se que a rede não está em conformidade com os parâmetros hidráulicos, apresentando regiões em discordância com os limites normativos. Como solução para os problemas encontrados, foi proposto um novo cenário que atendesse os parâmetros hidráulicos e de qualidade da água; para tanto, foi necessária a alteração do diâmetro de alguns trechos específicos da rede analisada e a inserção de uma concentração inicial de cloro de 1,5 mg/L.

**Palavras-chave:** Sistemas de distribuição de água. Modelagem computacional. EPANET.

## Abstract

*This work has as general objective to perform the hydraulic modeling of the water distribution system of the municipality of Santa Quitéria, Ceará, presenting as specific objectives: to model the water distribution system of the analyzed stretch with the help of EPANET; to analyze the hydraulic conditions of the network by verifying the pressure and load loss, as well as the water quality conditions, by the analysis of residual chlorine decay; and to present solutions in case of disagreement with the normative parameters. As a result of the study, it was observed that the network is not in conformity with the hydraulic parameters, presenting regions in disagreement with the normative limits. As a solution to the problems encountered, a new scenario was proposed to meet the hydraulic and water quality parameters; for this purpose, it was necessary to change the diameter of some specific stretches of the analyzed network and to insert an initial chlorine concentration of 1.5 mg/L.*

**Keywords:** Water distribution systems, Computer modeling, EPANET.

<sup>1</sup> Engenheiro Civil

<sup>2</sup> Faculdade Luciano Feijão – Sobral – Ceará – Brasil

\* **Autor correspondente:** jeffersonsrocha@outlook.com

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei nº 11.445/2007 o saneamento básico pode ser determinado como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana (Brasil, 2007). De acordo com Albuquerque (2018), os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) são compostos por diversas etapas, que vão desde a captação da água nos mananciais até o transporte ao consumidor final, sendo este último serviço realizado por meio dos Sistemas de Distribuição de Água (SDA). Uma vez que a população, em todas as suas classes econômicas, dispõe de uma distribuição hídrica igualitária, tem-se uma melhoria dos níveis de higiene, o que contribui significativamente na redução da demanda por serviços de saúde. Diante do exposto, é crucial que órgãos municipais forneçam o abastecimento de água para todos os cidadãos, porém o crescimento desordenado da população gera um obstáculo para concretização desse cenário, pois demanda um maior investimento de recursos financeiros por parte da administração pública. Além disso, a deterioração dos SDAs mais antigos é uma grande dificuldade a ser sanada pelas distribuidoras, uma vez que causa redução de funcionalidade e estanqueidade das tubulações, acarretando vazamentos, e conseqüentemente, perdas de carga e contaminação da água.

Segundo o site do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS, 2020), no Brasil, foi atingido um percentual de 36,7% de perda de água na sua distribuição no ano de 2015. Para o ano de 2020, esse percentual atingiu 40,1%, um aumento de 3,4%. Aliado a isso, a implantação de medidas de inspeção, verificação e recuperação de possíveis anomalias nos sistemas de distribuição acaba se tornando algo de grande complexidade, pois essas estruturas são comumente enterradas. No que se refere à qualidade da água, a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, descreve os procedimentos

e padrões para que a água possa ser utilizada para consumo humano (Brasil, 2021). Dentre eles, para qualificação da água como potável, tem-se a adição de cloro, que, segundo a referida portaria, deve estar presente em concentrações que variam de 0,2 a 2,0 mg/L. A adição de cloro é realizada nas estações de tratamento de água e tende a reduzir ao longo das tubulações de distribuição, de modo que é responsabilidade dos órgãos públicos garantir que essas concentrações estejam sempre dentro dos limites máximos e mínimos no final da distribuição, quando a água é fornecida ao consumidor (Brasil, 2005).

De acordo com Serqueira (2020), as simulações hidráulicas possibilitam avaliar o comportamento do SDA, sendo ferramenta importante na tomada de decisões que objetivem a melhoria da eficiência do sistema por meio de intervenções físicas ou operacionais. Dentre as opções de softwares disponíveis com essa funcionalidade, o EPANET vem se destacando por ser gratuito e de fácil manuseio, sendo constantemente empregado para modelagens hidráulicas e pesquisas de controle e qualidade da água (Dias *et al.*, 2020; Ahmed *et al.*, 2022).

Nos últimos anos, a utilização de ferramentas computacionais capazes de representar os sistemas físicos vem sendo cada vez mais difundida, auxiliando na tomada de decisões destinadas à melhoria da eficiência operacional (Gomes, 2009). O software EPANET destaca-se, sendo o programa mais utilizado mundialmente, principalmente devido à sua disponibilidade nos principais idiomas, além da facilidade de uso, e por ser um software gratuito (Balestro, 2020).

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo realizar a modelagem hidráulica do sistema de distribuição de água da região central do município de Santa Quitéria, Ceará, através da utilização do software EPANET. Além disso, os objetivos específicos são: modelar o sistema de distribuição de água do trecho analisado com o auxílio do software

EPANET; examinar as condições hidráulicas da rede, através da verificação de pressão e perda de carga, e a qualidade da água, por meio da análise do decaimento de cloro residual; e apresentar soluções em caso de discordâncias com os parâmetros normativos.

### 3 METODOLOGIA

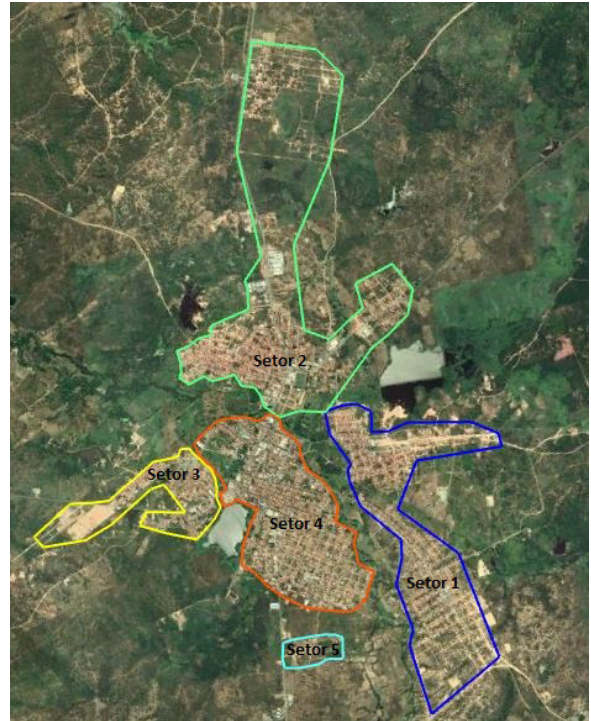
#### 3.1 Área de estudo

O sistema de distribuição de água analisado consiste em uma parcela da rede de abastecimento do município de Santa Quitéria. O município está localizado na região noroeste do estado do Ceará, a uma distância de 222 km da capital Fortaleza; possui uma área territorial de aproximadamente 4.260,681 km<sup>2</sup> e coordenadas geográficas de 04°19'57" latitude sul e 40°09'26" longitude oeste.

De acordo com o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, Santa Quitéria possuía 42.763 habitantes, densidade demográfica de 10,04 hab/km<sup>2</sup> e estimativa de 43.719 habitantes para o ano de 2021. Seu SAA é de responsabilidade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

De acordo com informações disponibilizadas pela Cagece, foi possível analisar que o SAA do município de Santa Quitéria é dividido em cinco zonas, conforme demonstrado na Figura 1. A modelagem será realizada para o setor 4, por se tratar da região central do município e por dispor de informações mais consistentes.

De acordo com Santa Quitéria (2015), o SDA do distrito sede é composto por 53.297 metros de tubulação em PVC, 1.200 metros em ferro fundido e 2.600 metros em cimento amianto, totalizando 57.097 metros de tubulações, com diâmetros variando de 50 a 300 milímetros. A distribuição dos reservatórios REAL02 e REAL03 é realizada por gravidade e ambos são responsáveis pelo abastecimento da rede de distribuição do setor 4, foco de estudo do presente trabalho, ilustrados na Figura 2.



**Figura 1** – Setorização do sistema de distribuição de água de Santa Quitéria-CE.



**Figura 2** – Reservatórios responsáveis pelo abastecimento de água do setor 04.

### 3.2 Elaboração do modelo

Para a modelagem hidráulica da rede de distribuição de água do setor 4 do município de Santa Quitéria, utilizou-se o software EPANET 2.0. Por se tratar de uma região extensa, tornou-se inviável

a inserção de todos os trechos pertencentes à área de estudo no próprio EPANET, o que seria um trabalho oneroso e impreciso. Diante disso, a modelagem foi realizada seguindo o fluxo representado na Figura 3.

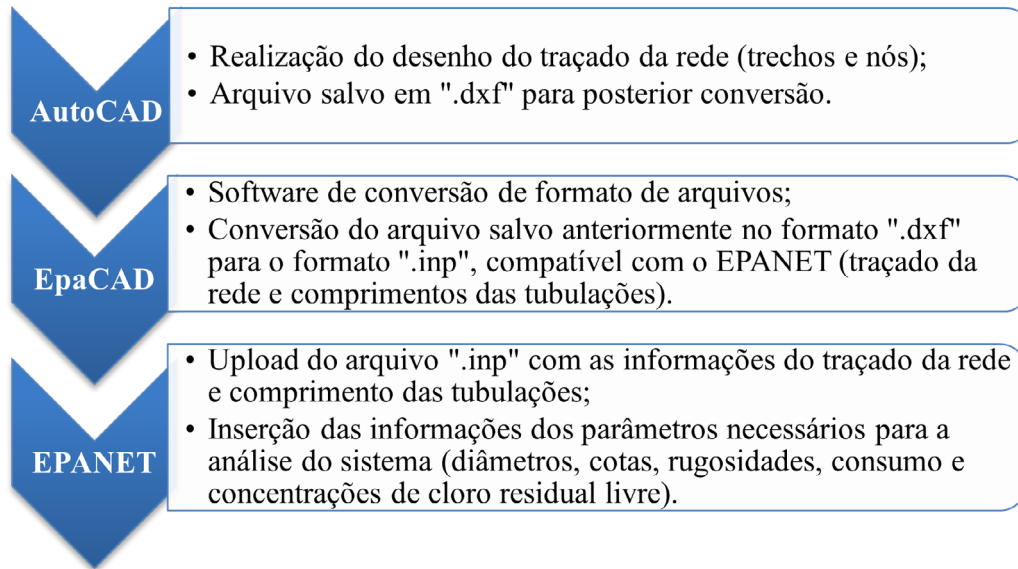


Figura 3 – Procedimento de inserção de dados.

### 3.3 Dados de entrada para análise hidráulica da rede

Para o cálculo da vazão total da rede, utilizou-se a equação (1), proposta por Tsutiya (2006), onde  $P$  é a população (habitantes),  $q$  é o consumo per capita (L/hab.dia),  $K1$  é o coeficiente de máxima vazão diária (adimensional) e  $K2$  é o coeficiente de máxima vazão horária (adimensional).

$$Q = \frac{P \cdot q \cdot K1 \cdot K2}{86400} \quad (1)$$

De posse da informação da quantidade de domicílios, estimou-se um total de 4 habitantes por domicílio, obtendo uma população máxima de 16.956 pessoas. Considerando um padrão médio para as residências, foi utilizado um coeficiente

per capita de 150L/dia com valores de  $K1$  e  $K2$  de 1,2 e 1,5 respectivamente, obtendo-se, portanto, uma vazão máxima de 52,99 L/s. Considerou-se uma vazão igualitária para os nós, de modo que se obteve um consumo nodal de 0,272 L/s para cada um dos 195 nós da rede. Para a maioria das tubulações da rede de distribuição, foi utilizado o valor de rugosidade igual a 130, referente às tubulações de PVC. Para os trechos cujo material era cimento amianto, foi adotado o valor de 120; e, para as demais tubulações, compostas de ferro fundido, 105. Tais rugosidades são necessárias para o cálculo da perda de carga pela fórmula de Hazen-Williams.

Por se tratar de uma simulação dinâmica, fez-se necessária a inserção da curva de demanda (Figura 4), que consiste na consideração de

fatores multiplicativos da vazão de acordo com a demanda horária ao longo do dia. Devido à ausência de informações, os coeficientes utili-

zados no estudo foram baseados nos dados da rede de distribuição de Fortaleza-CE, devido à sua semelhança com o local objeto deste estudo.

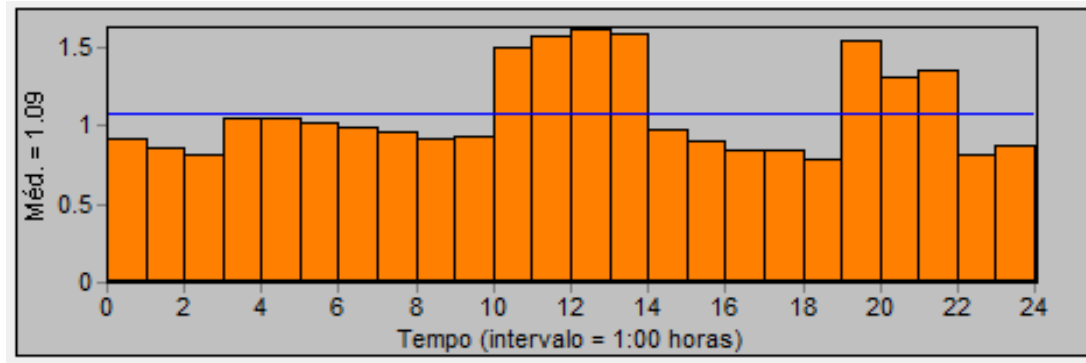


Figura 4 – Curva de demanda utilizada.

### 3.4 Dados de entrada para análise de qualidade da água

#### 3.4.1 Coeficiente de reação no volume ( $K_b$ )

Para a determinação do coeficiente de reação no volume ( $K_b$ ), expresso em dia menos 1 ( $d^{-1}$ ), foi utilizada a metodologia proposta por Azevedo *et al.* (2022), que consiste na determinação de  $K_b$  com base na concentração de nitrogênio ( $N$ ) da água utilizada para o abastecimento em mg/L. Para tal, utilizou-se a equação (2):

$$K_b = 0,4824 \cdot N - 0,4277 \quad (2)$$

Segundo Azevedo *et al.* (2022), a relação entre o cloro e o nitrogênio se deve às altas concentrações de nitrogênio em reservatórios brasileiros, os quais não são removidos plenamente em estações de tratamento de água convencionais, impactando na deterioração do cloro no sistema de distribuição de água. Além disso, há uma diminuição da eficiência da desinfecção devido à reação de cloro com a amônia em alguns casos (Wu *et al.*, 2013).

Para a concentração de nitrogênio do açude Edson Queiroz, foram utilizados os dados disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme, 2022), compreendidos entre o período de maio de 2015 e fevereiro de 2022. Assim, obteve-se a média e os limites inferior e superior das concentrações de nitrogênio, tais como os respectivos valores de  $K_b$  representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Concentrações de nitrogênio do açude Edson Queiroz e seus respectivos coeficientes de reação no volume ( $K_b$ ).

Valor	Concentração de nitrogênio (mg/L)	$K_b$ ( $d^{-1}$ )
Médio	2,565	0,809
Mínimo	1,313	0,206
Máximo	4,838	1,906

Fonte: Adaptado de Funceme (2022).

#### 3.4.2 Coeficiente de reação na parede ( $K_w$ )

A determinação de  $K_w$  foi realizada através da metodologia proposta por Rossman (2009), expressa pela equação (3), onde  $F$  é parâmetro de ajuste (adimensional),  $\epsilon$  é a rugosidade absoluta (mm) e  $D$  é o diâmetro (mm).

$$K_w = \frac{-F}{\log\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)} \quad (3)$$

Destaca-se que, para o parâmetro de ajuste, utilizou-se o valor de 0,5. O valor da rugosidade relativa depende do tipo de material da tubulação, de sorte que foram adotados os valores de 0,0015 mm para

PVC e 0,25mm para ferro fundido. Os diâmetros presentes no sistema de distribuição de água analisado foram: para PVC, 50, 75, 100, 150, 200 e 250 mm; para ferro fundido, 150 e 300 mm. Dessa forma, os valores de  $K_w$  foram calculados com base nos tipos de materiais e dos respectivos diâmetros das tubulações. A Tabela 2 representa os valores de  $K_w$  obtidos.

**Tabela 2** – Valores de  $K_w$  utilizados

Material	D (mm)	$\varepsilon$ (mm)	$K_w$ (m/dia)
PVC	50	0,0015	0,1105
PVC	75	0,0015	0,1064
PVC	100	0,0015	0,1037
PVC	150	0,0015	0,1
PVC	200	0,0015	0,0976
PVC	250	0,015	0,0958
Ferro Fundido	150	0,25	0,1799
Ferro Fundido	300	0,25	0,1624

Vale ressaltar que a análise da concentração de cloro no sistema de distribuição de água do setor 4 do município de Santa Quitéria foi realizada com base em cenários propostos pelo próprio autor, tendo em vista a ausência de informações sobre como a inserção de cloro na rede é realizada de forma real. Logo, o estudo destina-se a propor concentrações iniciais de cloro, bem como pontos ideais para sua inserção inicial, de modo que as concentrações satisfaçam os limites normativos ao longo de toda a rede.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizada a simulação para o cenário 0, caracterizado como o cenário real da rede de distribuição em questão, verificou-se que o sistema não apresentou pressões negativas em nenhuma região ao longo das 24 horas do dia, entretanto, a rede apresentou pressões inferiores aos limites da NBR 12.218/2017

(10 mca a 50 mca) próximos aos reservatórios (ABNT, 2017). A Figura 5 apresenta os resultados das pressões para o cenário 0 considerando os horários mais críticos.

Através da observação da Figura 5, é possível observar regiões na coloração em amarelo, caracterizada por uma área com predominância de nós com pressões inferiores a 10 mca. Além disso, percebe-se que os cenários mais críticos ocorrem às 12h00 e às 19h00, por esses horários demandarem maior quantidade de água, sendo denominados de horários de pico. Já às 5h00 e 23h00, apesar de não serem horários de pico, apresentaram uma pequena mancha amarela na parte inferior das imagens, o que ocorre pois os nós inseridos nesta área possuem cotas superiores às dos reservatórios, revelando, portanto, uma maior resistência à chegada de água. Com relação às perdas de cargas, os resultados estão representados na Figura 6.

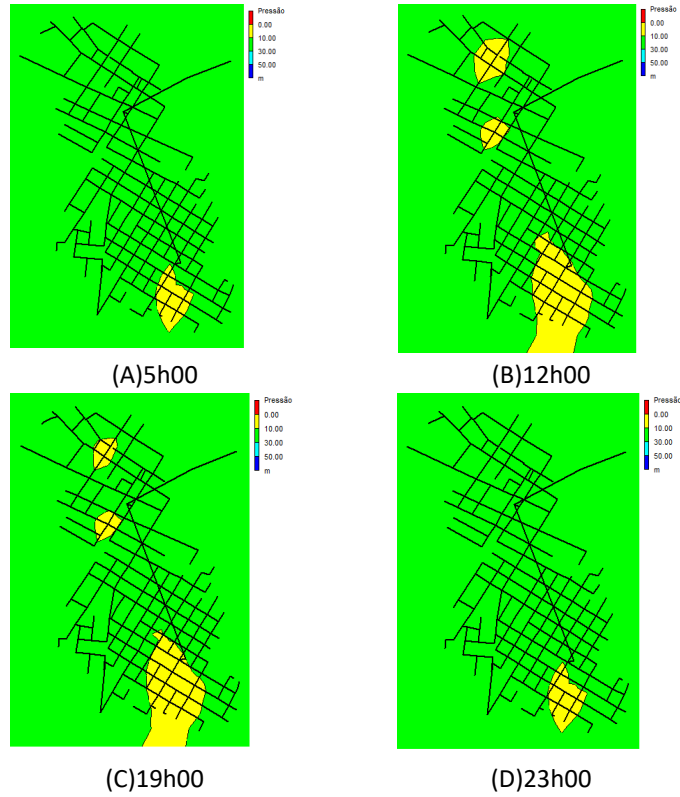


Figura 5 – Pressões nodais para o cenário 0.

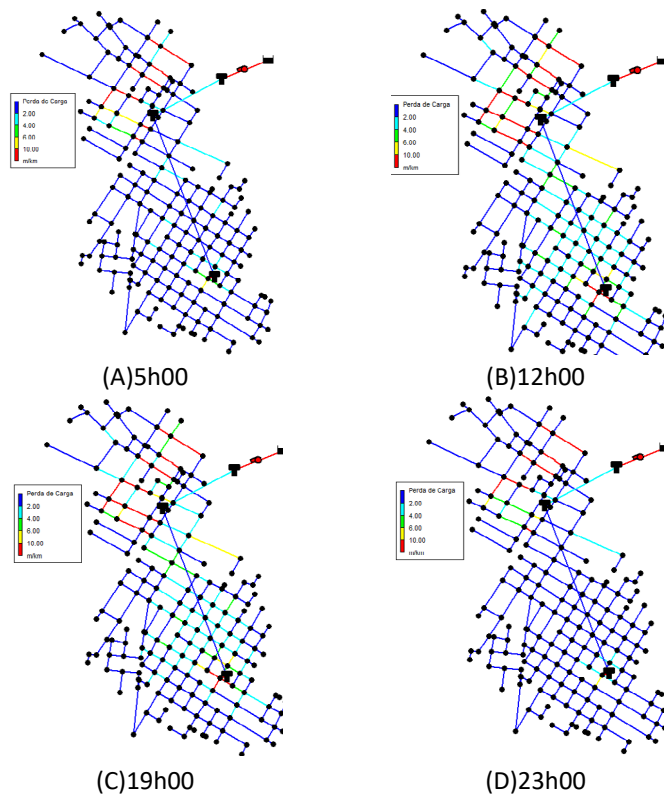


Figura 6 – Perdas de carga para o cenário 0.

Ao observar a Figura 6, verificou-se a presença de trechos, próximos aos reservatórios, com a coloração vermelha, cujas perdas de carga são, portanto, superiores a 10 m/km, limite previsto pela NBR 12.218/2017 (ABNT, 2017). Assim como na análise das pressões, percebe-se que os horários críticos para as perdas de carga também ocorrem às 12h00 e às 19h00, quando 7,5% dos trechos da rede apresentaram valores em desconformidade com os normativos; já às 5h00 e às 23h00, esse percentual foi de 5%.

Com base nos resultados obtidos para o cenário 0, constatou-se que, devido à ausência de pressões negativas, a rede não apresenta retorno de fluxo hidráulico e consequente acúmulo de água nas tubulações. Em contrapartida, a presença de pressões e perdas de carga com valores incompatíveis com os normativos afetam o fluxo de água, fazendo com que a rede apresente regiões com possíveis problemas de abastecimento. Dessa forma, fez-se necessário o estudo de possíveis mudanças para reabilitação da rede de distribuição de água em questão.

Como medida de adequação da rede, foi proposto um novo cenário, denominado de cenário 1. Neste, procedeu-se primeiramente à substituição das tubulações compostas de cimento amianto por PVC, devido aos malefícios que o amianto pode proporcionar para a população (Martin-Chenut; Saldanha, 2016). Com esse intuito, todos os trechos que apresentavam rugosidade igual a 120, característico do cimento amianto, foram substituídos por 140, característico do PVC em estado novo.

Além dessa substituição, foi proposto o aumento do diâmetro de algumas tubulações próximas aos reservatórios como medida de redução das perdas de carga e consequente aumento das pressões nos trechos à jusante. A Tabela 3 ilustra o comprimento total dos trechos que sofreram alterações, tais como os seus respectivos diâmetros no cenário 0 e o novo diâmetro considerado no cenário 1.

Após as alterações de readequação da rede, foi realizada uma nova simulação, cujos resultados de pressão estão ilustrados na Figura 7.

**Tabela 3** – Substituição dos diâmetros para o cenário 1.

Comprimento Total	Diâmetro no Cenário 0	Diâmetro no Cenário 1
87,84 m	40 mm	50 mm
965,97 m	50 mm	100 mm
53,21 m	75 mm	100 mm
139,68 m	100 mm	150 mm
69,37 m	100 mm	200 mm
16 m	150 mm	300 mm

Através da Figura 7, conclui-se que as mudanças realizadas para o cenário 1 foram eficientes, pois é possível perceber uma predominância da coloração verde, característica de regiões com pressões iguais ou superiores a 10 mca, nos horários de 5h00, 12h00 e 19h00, apresentando

um nó na coloração azul claro às 23h00, que, apesar de possuir uma pressão de 30,40 mca, não ultrapassa o limite máximo normativo de 50 mca.

Em relação à perda de carga para o cenário 1, os resultados obtidos estão representados na Figura 8.



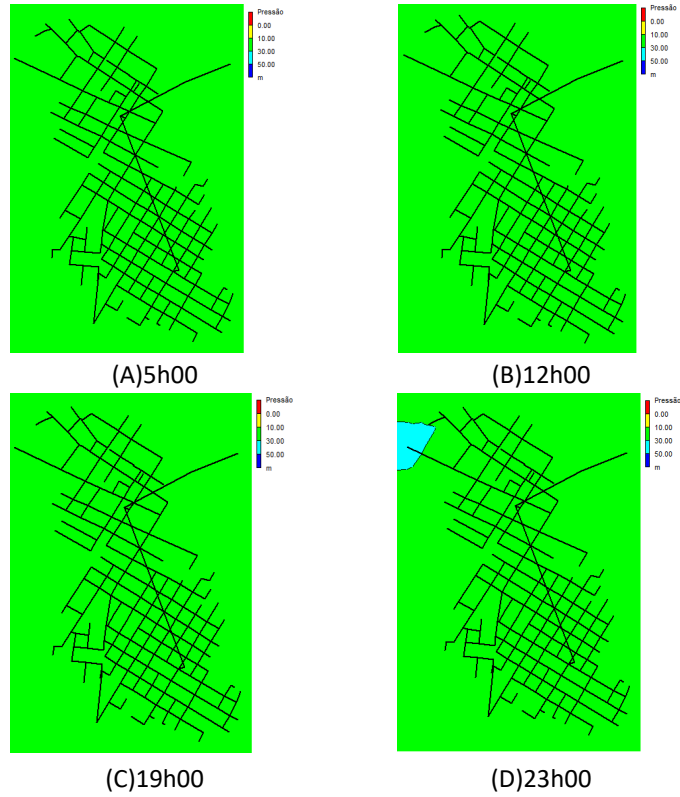


Figura 7 – Pressões nodais para o cenário 1.

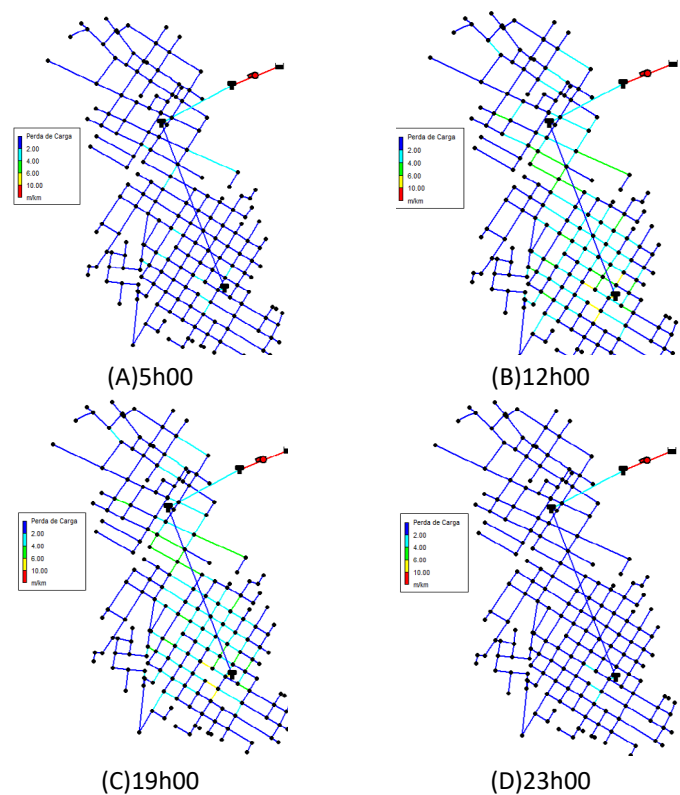
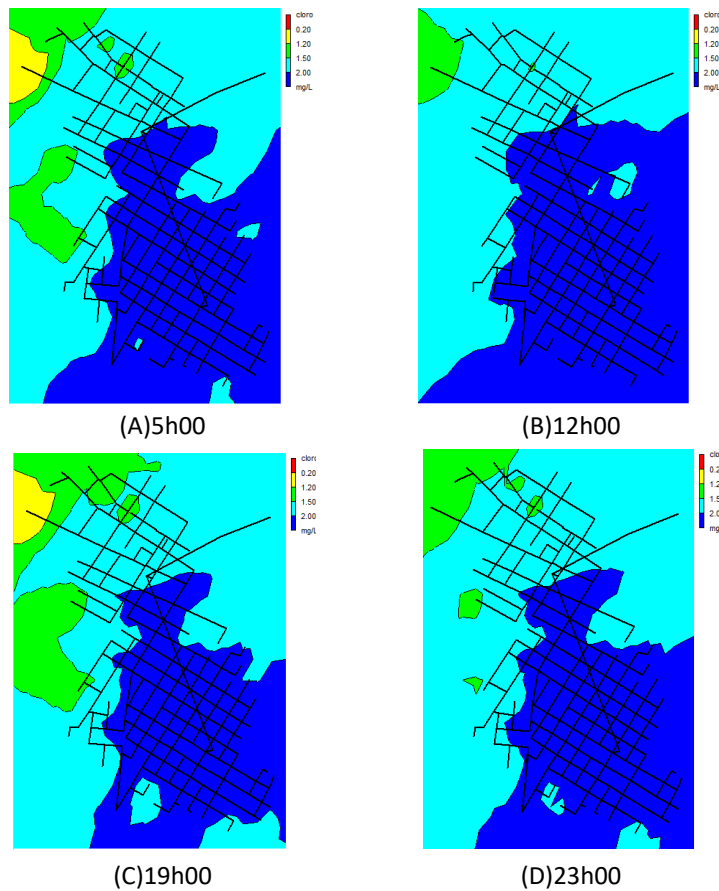


Figura 8 – Perdas de carga para o cenário 1.

Assim, percebe-se que o cenário 1 atende aos padrões da NBR 12.218/2017 (ABNT, 2017), pois nenhum dos trechos da rede atingiu valores superiores a 10 m/km. O horário no qual se obteve os maiores valores de perda de carga foi às 12h00 nos trechos localizados próximos ao reservatório, na parte inferior da imagem, ilustrados na cor amarela, nos quais foi verificado um valor máximo de 9,35 m/km.

O cenário 1 demonstrou ser uma solução eficiente para a reabilitação da rede com relação aos parâmetros hidráulicos, porém o estudo em questão propôs-se também a analisar os parâmetros de qualidade da água através da verificação das concentrações de cloro residual livre no SDA, de forma a obter um cenário que atenda às exigências hidráulicas e de qualidade da água de forma conjunta.

Dentre as análises realizadas, considerando o cenário 1 como inicial, verificou-se que o REL03 tem uma maior influência na rede, sendo este o ponto escolhido como fonte inicial de cloro. Assim, para o segundo cenário (cenário 2) foi inserida uma concentração inicial de 2,7 mg/L no REL 03, em razão de ser esta a concentração média utilizada pela Cagece. Além disso, nesse cenário, utilizou-se a concentração máxima de nitrogênio no açude Edson Queiroz (4,838 mg/L), caracterizada como a situação em que o decaimento de cloro ao longo da rede também será máximo e o valor para o coeficiente  $K_b$  é de  $-1,906 \text{ d}^{-1}$ . Os valores do coeficiente  $K_w$  foram inseridos conforme a Tabela 2 já ilustrada. A Figura 9 apresenta os resultados desse cenário.



**Figura 9** – Resultado do cenário 2 (REL03=2,7 mg/L;  $K_b = -1,906 \text{ d}$ ).

Pelos resultados obtidos para o cenário 2, percebe-se que as concentrações de cloro permanecem acima dos 0,2 mg/L (mínimo) em toda a rede. Em contrapartida, é possível notar, na região próxima à fonte de cloro, uma persistência de concentrações acima da máxima permitida, chegando a um percentual de 67% dos nós com concentrações superiores a 2mg/L no horário de 12h00. Dessa forma, é perceptível que a concentração inicial de 2,7 mg/L é excessiva, devendo, portanto, ser adotados valores de concentrações iniciais inferiores.

Tendo em vista os resultados do cenário 2, foi proposto um novo cenário (cenário 3), no qual foi substituída a concentração inicial de cloro para o valor de 1,5 mg/L, mantendo-se a concentração

máxima de nitrogênio no açude Edson Queiroz (4,838 mg/L), e conseqüentemente, utilizando o mesmo valor para o coeficiente  $K_b$  de  $-1,906 \text{ d}^{-1}$ . Vale ressaltar que os valores de  $K_w$  permanecem os mesmos, pois eles dependem exclusivamente do tipo de material e diâmetro das tubulações, que permanecem inalterados. Os resultados obtidos para o cenário 3 estão ilustrados na Figura 10.

Com a redução da concentração inicial de cloro, obteve-se uma melhoria significativa. Durante toda a simulação, as concentrações na rede mantiveram-se dentro dos limites normativos (0,2 – 2,0 mg/L), apresentando valores compreendidos entre o intervalo de 0,2 e 1,50 mg/L, sendo as maiores concentrações próximas à fonte de cloro; e as menores nas extremidades da rede.

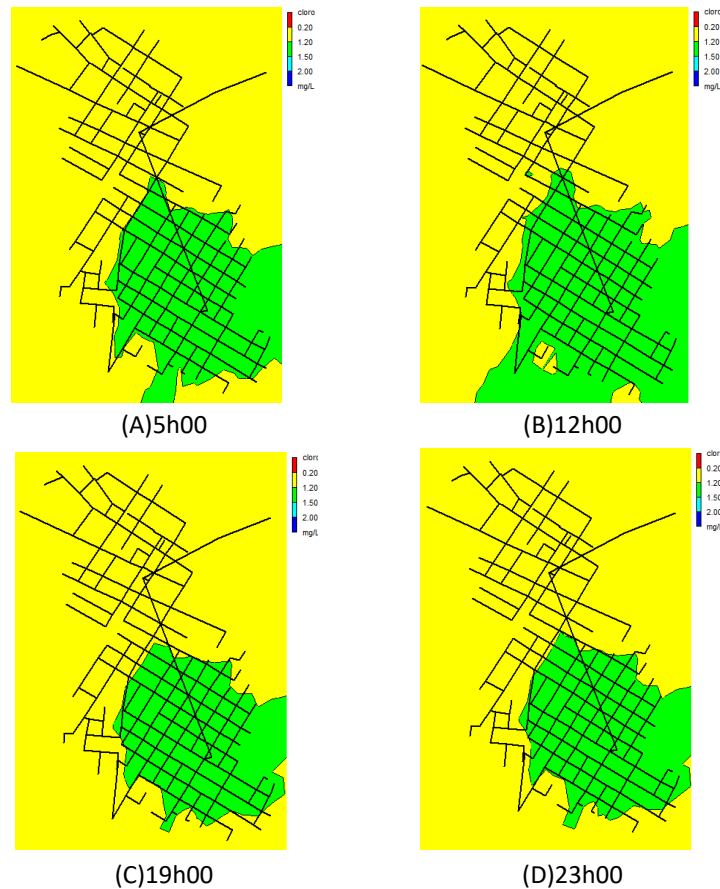
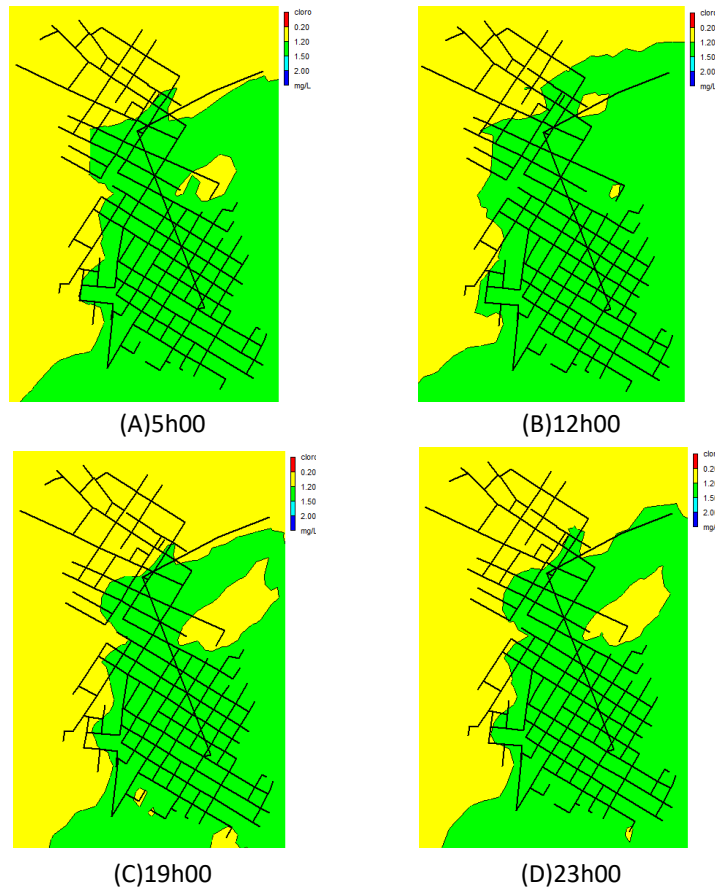


Figura 10 – Resultado do Cenário 3 (REL03= 1,5 mg/L;  $K_b = -1,906 \text{ d}^{-1}$ ).

Apesar dos resultados significativos do cenário 3, fez-se necessária a análise de um quarto cenário (cenário 4), no qual foi considerada a mesma concentração inicial de cloro de 1,50 mg/L, porém com a concentração de nitrogênio mínimo no açude Edson Queiroz (1,313 mg/L), resultando

no coeficiente  $K_b$  igual a  $-0,206$ . Essa análise se fez necessária para verificar se, nas situações em que o decaimento de cloro na rede for mínimo, as concentrações permanecem inferiores ou iguais ao limite máximo de 2,0 mg/L. Os resultados para o cenário 4 estão representados na Figura 11.



**Figura 11** – Resultados do cenário 4 (REL03=1,50 mg/L;  $K_b = -0,206$  d)

Ao compararmos as Figuras 10 e 11, referentes aos cenários 3 e 4, percebe-se um aumento significativo das concentrações de cloro, ilustrada pelo aumento da mancha verde na rede. Porém, ainda assim, as taxas mantiveram-se, durante toda a simulação, inferiores a 2,0 mg/L. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização da con-

centração inicial de cloro de 1,50 mg/L no REL03 é uma opção eficiente, pois foi possível manter as concentrações de cloro ao longo da rede dentro dos limites normativos, além de ter havido uma redução nos custos com produtos químicos.

Foram realizadas, ainda, simulações utilizando valores de concentração inicial de cloro no REL03

inferiores a 1,5 mg/L, considerando os valores máximo e mínimo de Kb, e verificou-se que toda a rede satisfaz os limites 0,2 – 2,0 mg/L até a concentração inicial de 0,6 mg/L. Para valores iniciais inferiores a este, a rede apresentou regiões com concentrações abaixo de 0,2 mg/L.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho executou a modelagem hidráulica do SDA da região central do município de Santa Quitéria, com o auxílio do software EPANET, o qual permitiu observar o comportamento hidráulico, através da verificação dos parâmetros de pressões e perdas de carga ao longo da rede, bem como a qualidade da água, por meio da análise do decaimento de cloro residual.

Realizada a modelagem hidráulica, percebeu-se que a rede não está em conformidade com as exigências hidráulicas. Como medida de readequação, foi criado, sem a necessidade de modificações em campo, um novo cenário, sugerindo-se a alteração do diâmetro de alguns trechos específicos da rede, a fim de adequar os parâmetros hidráulicos aos limites normativos.

Ainda como objetivo do trabalho, foi analisado o decaimento de cloro residual no novo cenário proposto. Como resultado, verificou-se que a inserção inicial de 2,7 mg/L de cloro no RAPO3 é excessiva, apresentando regiões, ao longo da rede, com concentrações de cloro acima do limite máximo estabelecido. Dessa forma, propôs-se a redução da concentração inicial de cloro para o valor de 1,5 mg/L, com resultados satisfatórios de concentrações de cloro ao longo de toda a rede.

## 6 CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

**Conceituação:** Linhares TLR, Rocha JS; **Metodologia:** Linhares TLR, Rocha JS; **Redação – Primeira versão:** Linhares TLR; **Redação – Revisão & Edição:** Rocha JS; **Recursos:** Linhares TLR, Rocha JS; **Supervisão:** Rocha JS.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.218:** projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- AHMED, T.; ALSAYAB, H.; MABROK, M. A.; SAAD, A. Modeling and Simulations of Water Network Distribution to Assess Water Quality: Kuwait as a Case Study. *Alexandria Engineering Journal*, v. 61, n. 12, p. 11859-11877, 2022.
- ALBUQUERQUE, L. F. **Modelagem hidráulica do sistema de distribuição de água da cidade de Sobral-Ceará:** margem direita. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2018.
- AZEVEDO, L. A. D.; LIMA NETO, I. E.; XIMENES JÚNIOR, C. L.; Yu, S.; Yu, T.; ZHANG, T. Chlorine Decay in Water Supply Pipelines: Impact of Nitrogen Concentration in the Source Waters. *Desalination and Water Treatment*, v. 254, p. 160-168, 2022.
- BALESTRO, F. Avaliação da utilização do programa EPANET para modelagem hidráulica de redes de chuveiros automáticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10., 2020, Online. *Anais*. Disponível em: [https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/10192020\\_141021\\_5f-8dcb11c5268.pdf](https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/10192020_141021_5f-8dcb11c5268.pdf). Acesso em: 21 fev. 2024.
- BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União:* seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. 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:* seção 1, Brasília, DF, n. 85, p. 127, 7 mai. 2021.
- BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF: Presidência da República, 2007. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm). Acesso em: 21 fev. 2024.
- DIAS, C. G.; LIBRANTZ, A. F. H.; SANTOS, F. C. R. Modelagem e simulação de um sistema inteligente para controle de dosagem da pós-cloração em estações de tratamento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 2, p. 323-332, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020173961>.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Portal hidrológico do Ceará**. [2022]. Disponível em: <http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/mi/midia/show/152>. Acesso em: 4 out. 2022.

GOMES, H. P. **Sistemas de abastecimento de água**: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Santa Quitéria. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/santa-quitéria/panorama>. Acesso em: 22 mai. 2022.

MARTIN-CHENUT, K.; SALDANHA, J. O caso amianto: os limites das soluções locais para um problema de saúde global. **Lua Nova**, São Paulo, v. 98, p. 141-170, 2016.

ROSSMAN, L. A. **Epanet 2.0 Brasil**: manual do usuário. João Pessoa: Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba, 2009. Disponível em: [https://www.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/programa-epanet/manual\\_do\\_epanet\\_brasil.pdf](https://www.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/programa-epanet/manual_do_epanet_brasil.pdf). Acesso em: 24 fev. 2024.

SANTA QUITÉRIA. **Plano municipal de saneamento básico: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Santa Quitéria: Prefeitura de Santa Quitéria, 2015.

SERQUEIRA, J. M. **Modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água da cidade de Jaguapitã – PR**. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) –Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Abastecimento de água**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/ab>. Acesso em: 23 fev. 2024.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

WU, Q.; ZHANG, L.; ZHAO, X.; ZHOU, G. Assessment and Management of the Performance Risk of a Pilot Reclaimed Water Disinfection Process. **Journal of Environmental Sciences**, v. 25, n. 10, p. 1992-2002, 2013.