



## I-033 – MODELAGEM HIDRÁULICA DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA CIDADE DE SOBRAL-CE

**Luís Henrique Magalhães Costa<sup>(1)</sup>**

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (2003). Doutor em Recursos Hídricos pelo DEHA-Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - UFC e Instituto Superior Técnico de Lisboa (PDEE-CAPEs).

**Lívia Figueira de Albuquerque<sup>(2)</sup>**

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA.

**Simão Albuquerque Paiva<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. da Universidade, 850 - Campus da Betânia - Sobral-CE / CEP: 62.040-370 / Telefone para contato: (88) 3677-4271

### RESUMO

Um dos fatores influenciadores na qualidade de vida da população é o serviço eficiente de saneamento básico. Este é fundamental por estar diretamente relacionado à saúde dos usuários, pois promove o abastecimento de água tratada, por exemplo. Sua atuação de forma adequada dificulta a proliferação de doenças, estas ocasionadas pelo consumo de água contaminada quando tal serviço é escasso ou ineficiente.

Entretanto, a maioria das cidades brasileiras dispõe de sistemas de distribuição de água antigos, e, devido a este fato, uma das dificuldades a se enfrentar pelas operadoras é a deterioração destes sistemas, verificada principalmente na etapa de distribuição, com tubulações apresentando vazamentos de água ou mesmo na falta de abastecimento em áreas da região, por consequência de seu elevado e desordenado crescimento.

Portanto, a fim de prover maior gestão operacional desses sistemas, este projeto tem como objetivo realizar o controle do comportamento hidráulico do sistema de distribuição de água da cidade de Sobral/CE, utilizando a modelagem hidráulica como mecanismo. Através dela, foi possível analisar as condições operacionais da rede em sua situação atual, utilizando o software Epanet para proceder a simulação da rede em estudo.

Pelo fato de a simulação hidráulica ter apresentado, em alguns pontos da rede, regiões falhas que refletem em um mal funcionamento da rede, elaborou-se novos cenários como alternativas de solução para os problemas encontrados, com a finalidade de adequar a rede aos parâmetros hidráulicos e, consequentemente, propiciar a população sobralense um abastecimento contínuo de água potável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem hidráulica, Epanet, Água.

### INTRODUÇÃO

Desde a sua existência, é intrínseco ao ser humano buscar continuamente sua satisfação no que diz respeito a sua vida cotidiana, sua saúde física e psicológica e suas interações sociais. Esta conquista pela qualidade de vida está relacionada a alguns fatores que a influenciam como, por exemplo, a saúde, o trabalho e o meio ambiente.

Em relação ao fator meio ambiente, que diz respeito a tudo que nos rodeia, sua preservação certamente está ligada a uma melhor qualidade de vida. Desde o fornecimento de água potável de qualidade, coleta de lixo, tratamento de esgoto, limpeza das vias públicas até a contenção de enchentes, são formas de preservar o meio ambiente e, por consequência, proporcionar às pessoas um lugar com qualidade para viverem.

Desse modo, é fundamental nas cidades haver um atuante e eficiente serviço de saneamento básico. Este é definido por atividades adotadas numa determinada região visando proporcionar uma situação higiênica e saudável para os habitantes, evitando a proliferação de doenças, provenientes do contato com esgotos a céu aberto ou da ingestão de água com impurezas.



Portanto, para uma melhor qualificação das condições de vida de um país, é necessário que toda a população seja contemplada com as medidas acima apresentadas, o que não ocorre ainda no Brasil em relação aos serviços de abastecimento de água. Este problema se reflete devido a maioria desses sistemas serem antigos e, por esse motivo, uma das dificuldades a se enfrentar pelas operadoras do serviço é a deterioração destes sistemas. Essa deterioração é verificada principalmente na etapa de distribuição.

Na execução desses sistemas, na maioria das vezes, é contemplado a supervalorização da construção, não ocorrendo o mesmo nas etapas de manutenção e operação. Com essa atitude, percebe-se que a curto prazo decorre um comprometimento cada vez maior das funcionalidades da obra devido ao seu não reparo no devido tempo e na medida certa.

Dada esta problemática, um mecanismo para realizar o controle operacional das redes de distribuição de água se dá por meio da modelagem hidráulica. Através dela, permite-se simular o comportamento hidráulico no interior das tubulações e acessórios da rede. É vantajoso pois além de analisar se a rede atua dentro dos parâmetros hidráulicos de distribuição, permite definir novos cenários caso a rede se mostre ineficiente em termos de funcionalidade. Assim, minimiza-se o tempo e os recursos para a avaliação e identificação de alternativas de solução para um problema encontrado.

Dentre os diversos softwares de modelagem hidráulica, merece destaque o Epanet da EPA (Agência para a Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América, [www.epa.gov](http://www.epa.gov)), desenvolvido por Lewis Rossman em 1993.

O objetivo do presente trabalho consiste em realizar a modelagem hidráulica do sistema de distribuição de água (SDA) da cidade de Sobral/CE no *software* Epanet. Através disso, buscou-se avaliar se as condições operacionais da rede na situação atual funcionam dentro dos limites hidráulicos e, em caso negativo, analisar possíveis soluções para a reabilitação da rede de distribuição.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo, conforme já citado, foi realizado no município de Sobral/CE, cidade situada na região norte do estado, tendo como municípios limítrofes: ao Norte, Alcântaras, Meruoca, Massapê e Santana do Acaraú; ao Sul, Santa Quitéria, Forquilha, Groaíras e Cariré; a Leste, Mirafima e Irauçuba e a Oeste, as cidades de Mucambo e Coreaú. Segundo estimativas do IBGE (2017), apresentava cerca de 205.529 habitantes e seu sistema de abastecimento de água é operado pelo SAAE, Serviço Autônomo de Água e Esgoto.

A cidade de Sobral/CE é caracterizada por ser dividida por um rio que atravessa a mesma (Rio Acaraú), onde adota-se pela população a nomenclatura de margens “esquerda” e “direita”, como representatividade dessas duas regiões existentes devido a divisão do rio. Segundo o SAAE (2017), as duas regiões apresentam sistemas de distribuição de água independentes entre si. Além disso, a margem “esquerda” apresenta insuficiência de informações para a execução deste projeto, devido a sua dimensão mais extensa que a outra margem. Dessa maneira, o projeto proposto limitou-se, a princípio, a margem “direita” da cidade de Sobral por esta ser independente da outra região e apresentar informações suficientes para a realização do objetivo principal do trabalho.

Dos trinta e sete bairros da cidade, esta região abrange 10 deles. A região é abastecida pelo Rio Jaibaras, rio à montante do Rio Acaraú. Este não é utilizado para o abastecimento, por apresentar vazão insuficiente para a demanda populacional da margem. Os usuários do serviço são residências com um ou dois pisos, existindo alguns prédios na região, comércio e indústria.

A abrangência do estudo da região consiste na etapa de distribuição de água, isto é, envolve desde a ETA até a destinação final da água, as residências. A margem “direita” é abastecida por três maneiras. A figura 1 mostra um esquema dessa distribuição. Uma sub-região (detalhamento azul) é abastecida através de um bombeamento direto para a rede, enquanto outra sub-região é abastecida através de uma tubulação ligada a um reservatório apoiado (RAP) que através dele, por gravidade, a água é distribuída (detalhamento verde). Outro detalhe importante a ser destacado é que estes dois caminhos se interligam em algum momento na rede. Além disso,

existe uma outra tubulação que sai da ETA e se interliga exclusivamente a um reservatório elevado no bairro Morada da Boa Vizinhança, para o seu abastecimento (linha vermelha). Devido à pouca habitação do bairro, seu consumo de água não será considerado neste estudo.

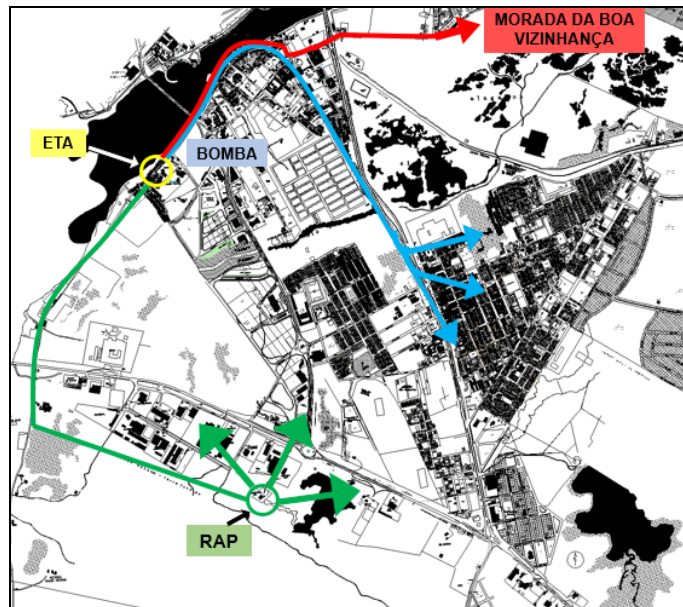


Figura 1 - Distribuição de água da cidade de Sobral/CE. Fonte: Autor, 2018.

Ademais, de acordo com SAAE (2017), a rede de distribuição conta com uma extensão de mais de 65.000 m e é classificada como rede mista. O sistema é constituído por tubulações de Polícloreto de Vinilo (PVC) com diâmetros variando entre 32mm e 200mm e por apenas um trecho próximo ao RAP de ferro fundido com 200mm de diâmetro. Em relação ao consumo total da região, foram contabilizadas um valor de 7600 domicílios, através do cadastro de usuários da região.

### Construção do Modelo Hidráulico

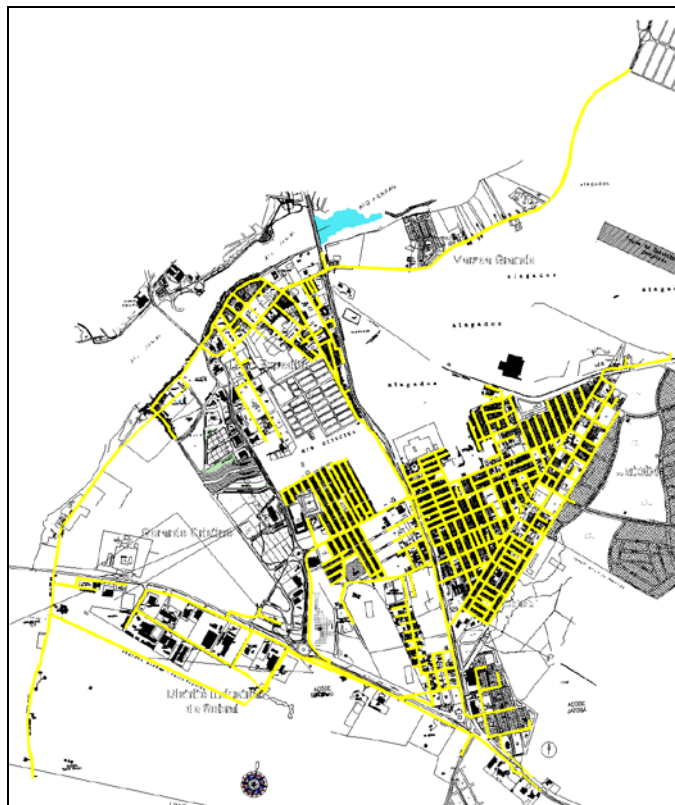
A elaboração do modelo do sistema de distribuição de água da margem “direita” da cidade de Sobral/CE foi formulada através do *software* Epanet 2.0, programa concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano através de simulações feitas no programa.

Pelo fato de a região em estudo tratar-se de uma macrorrede, seria inviável por motivos de precisão do traçado da rede, realizá-la inserindo todos os trechos no próprio Epanet. Dessa forma, a execução da modelagem baseou-se em três etapas, como tentativas de representar o traçado da rede no programa o mais fiel possível. A figura 2 representa as etapas de modelagem.



Figura 2 - Etapas da modelagem hidráulica. Fonte: Autor, 2018.

Inicialmente, por meio de um desenho no programa Autocad contendo o cadastro das tubulações e as curvas de nível da área estudada, foi possível gerar o traçado de toda a rede utilizando polilinhas para a execução (Figura 3).



**Figura 3 - Traçado da tubulação da rede no programa Autocad. Fonte: Autor, 2018.**

Posteriormente, tendo este arquivo salvo em formato .DXF, foi utilizado o programa HTools, proposto por FARIAS, G.M. (2016), para auxiliar na conversão do arquivo .DXF para o formato .INP, compatível com o programa Epanet. Dessa forma, exportou-se para o Epanet o traçado contendo os trechos da rede com seus respectivos comprimentos e os nós com suas cotas e valores de consumo (Figura 4).

Os valores de consumo nodais exportados foram obtidos através da informação no programa HTools da vazão de distribuição do sistema. O cálculo dessa vazão foi baseado nas dimensões médias de terreno dos domicílios e na quantidade de 7600 destes. Considerou-se que todas as residências são de padrão médio, estimando assim 5 pessoas para cada casa, cada uma consumindo 150l/dia de água. Dessa maneira, totalizou-se um consumo total da região de 65,97 l/s.



Figura 4 - Traçado da rede no programa Epanet. Fonte: Autor, 2018.

### Lançamento das Variáveis de Entrada e dos Parâmetros

Depois de obtido o traçado no Epanet, foram inseridos os valores dos diâmetros de cada tubulação, variando de 32mm a 200mm e sua respectiva rugosidade (C), parâmetro este variável de acordo com o tipo de tubulação. Para a maior parte das tubulações que são de PVC, utilizou-se  $C=140$ , e para o único trecho de ferro fundido a montante do RAP, considerou-se do tipo “usado” e adotou-se  $C=90$ .

Em seguida, para gerar a simulação foi inserido um reservatório de nível fixo (RNF) nas proximidades da ETA (R-ETA) com o parâmetro de nível da água considerando a cota altimétrica do terreno, 63,4m, mais 4m de elevação da água, totalizando um nível de 67,7m. A escolha do RNF para representar a ETA se justifica pois a simulação a ser executada é estática, ou seja, a variação da água ao longo do dia é irrelevante. Além disso, um outro RNF foi inserido para representar o reservatório apoiado (RAP) existente na região com o nível da água representando apenas a cota altimétrica de 86m, visto que o reservatório apresenta pouco acúmulo de água devido a constante demanda na sub-região.

Para representar a bomba de recalque existente, inseriu-se a curva característica em função da vazão e perda de carga adequados, de acordo com o SAAE (2017). A figura 5 apresenta a curva característica inserida no programa.

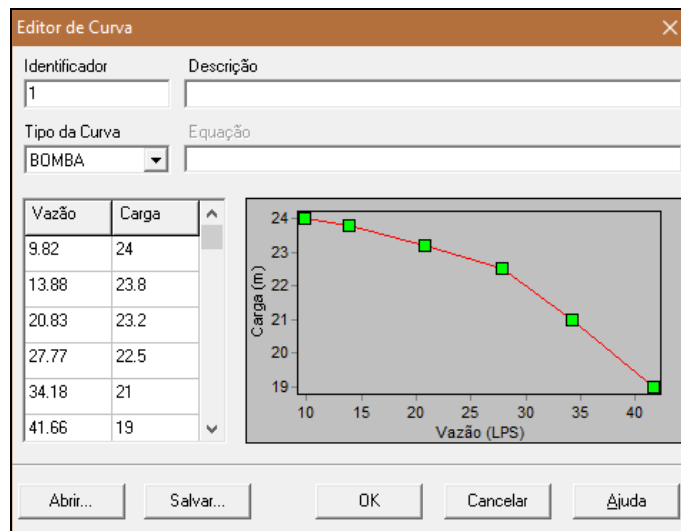


Figura 5 - Curva característica da bomba da região estudada. Fonte: Autor, 2018.

Realizada todas as inserções dos parâmetros de entrada da modelagem, executou-se a simulação hidráulica da margem "direita" da cidade de Sobral/CE.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Feita a análise do sistema em sua situação original, o primeiro cenário retratou de forma real o funcionamento atual da rede. Em avaliação, foram observadas pressões negativas em algumas regiões, mais precisamente próximo ao RAP (Figura 6). Além disso perdas de cargas, também nas proximidades do RAP, encontravam-se altas (Figura 7).

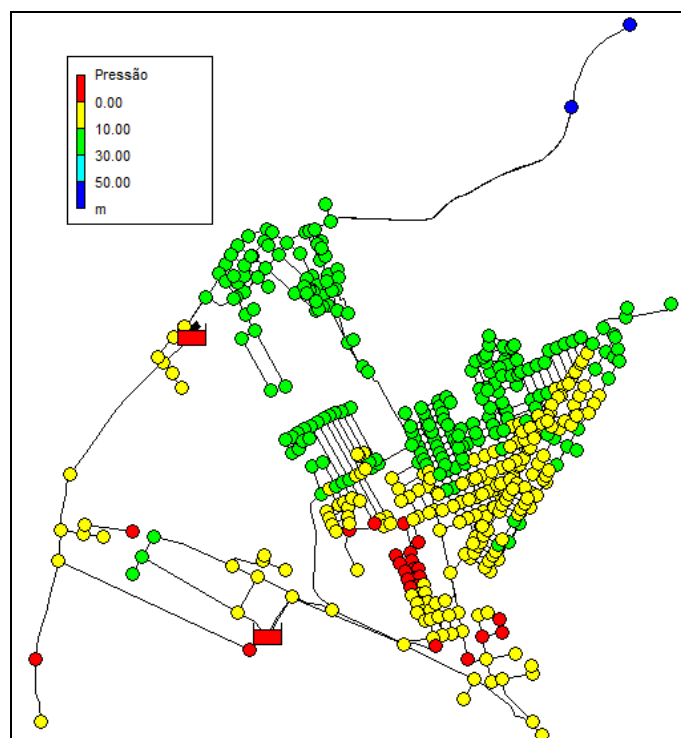


Figura 6 - Pressões nodais da margem "direita" da cidade de Sobral/CE. Fonte: Autor, 2018.

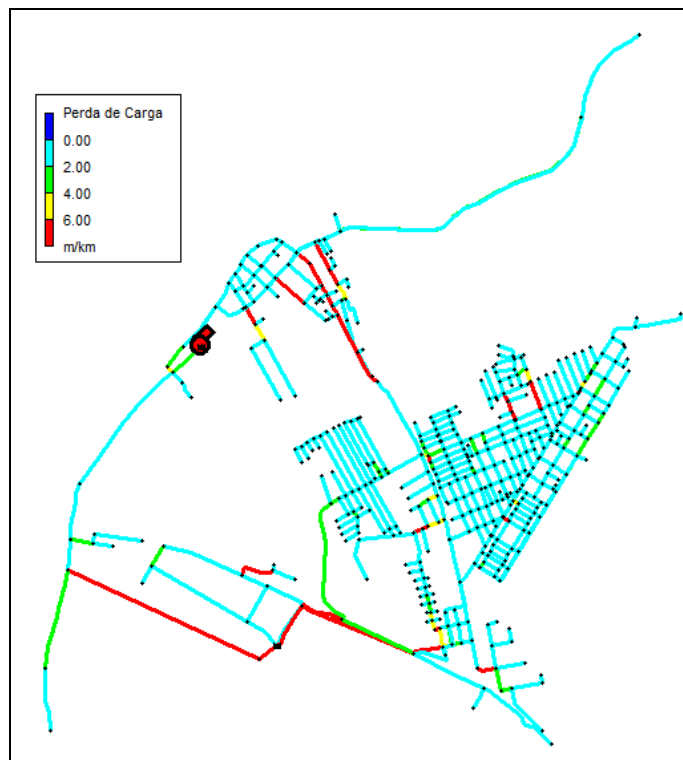


Figura 7 - Perdas de carga da margem "direita" da cidade de Sobral/CE. Fonte: Autor, 2018.

Portanto, constatou-se que a rede não está com um funcionamento eficiente, visto que perdas de cargas altas causam perdas de energia de modo a afetar o fluxo da água e que pressões negativas refletem um retorno do fluxo hidráulico, gerando pontos de acúmulo na tubulação. A figura 8 mostra a região com maior desconformidade.

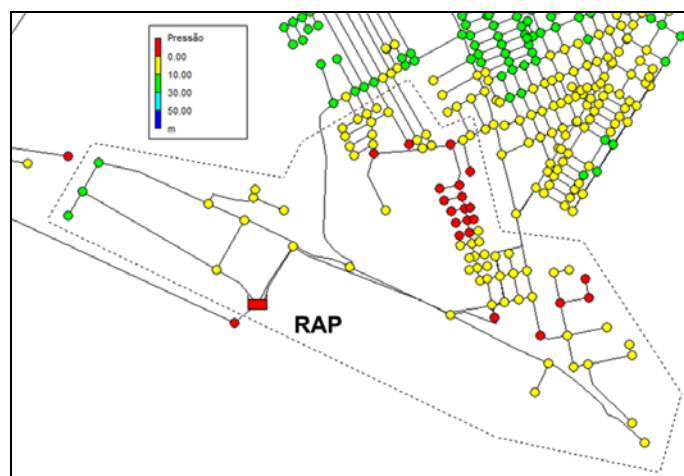


Figura 8 - Pressões: cenário 1. Fonte: Autor, 2018.

Desse modo, fez-se necessário realizar estudos para possíveis mudanças a fim de reabilitar o conjunto da região próxima ao RAP, devido às suas pressões e perdas de cargas desconformes com a norma. Então, para encontrar a melhor solução foram propostos três novos cenários para o sistema.

No segundo cenário foi proposto, para a solução do problema encontrado, a elevação do RAP. Essa nova configuração é considerada como possibilidade de solução pois elevar o reservatório gera um aumento de

pressões à jusante do mesmo. Então, para gerar uma simulação bem-sucedida, foi necessário elevar o RAP em 13m para que as pressões negativas inexistissem (Figura 9).

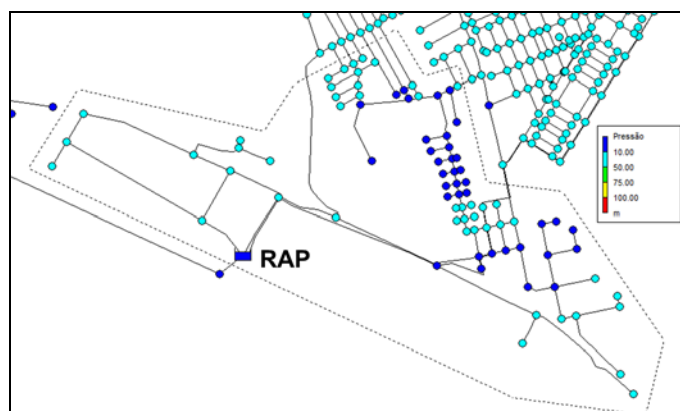


Figura 9 - Pressões: cenário 2. Fonte: Autor, 2018.

O terceiro cenário propôs o aumento do diâmetro de alguns trechos com perdas de cargas elevadas nas proximidades do RAP. A proposta de aumentar o diâmetro dos trechos mais próximos do reservatório resultaria numa redução da perda de carga e, conseqüentemente, elevaria as pressões de trechos à jusante, segundo a fórmula de Hazen Willians. Abaixo, a Figura 10 mostra as tubulações que sofreram alteração com seus comprimentos, diâmetros no primeiro cenário, diâmetros no cenário proposto e seu respectivo valor.

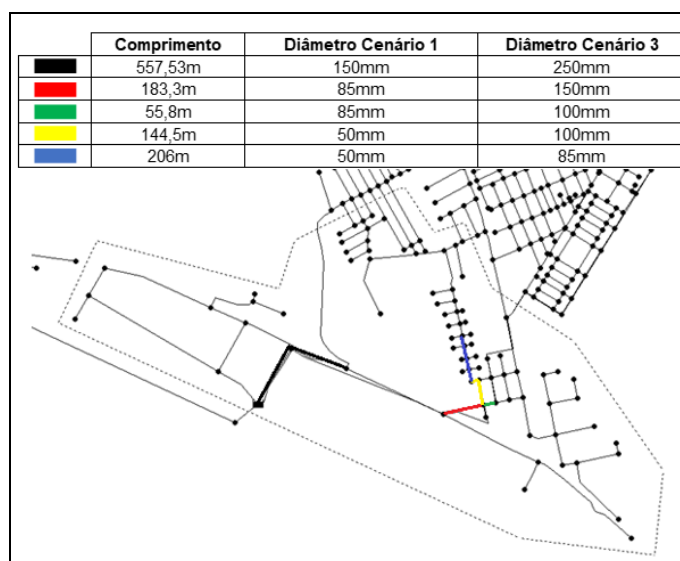


Figura 10 - Alteração dos diâmetros do cenário 3. Fonte: Autor, 2018.

Mesmo com esta alteração, alguns pontos permaneceram com pressões negativas por estarem em uma cota mais elevada, ou seja, alterar mais trechos não seria tão eficaz e tornaria uma modificação inviável economicamente. Então, considerou-se uma simulação não sucedida (Figura 11).



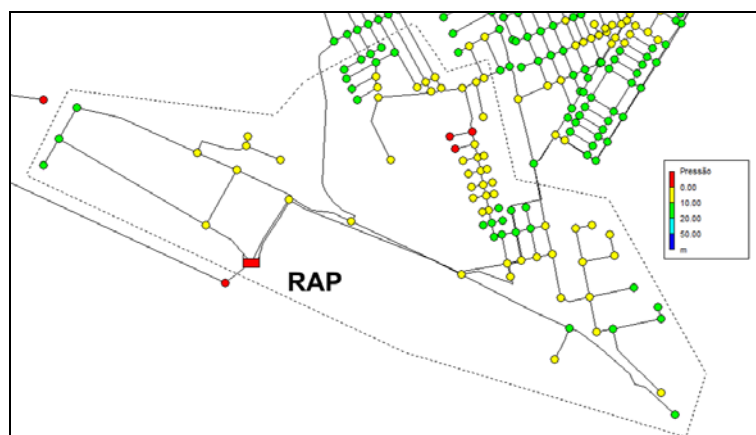


Figura 11 - Pressões: cenário 3. Fonte: Autor, 2018.

Já o quarto cenário, estabeleceu a combinação dos outros dois cenários, isto é, alterou-se tanto a elevação do reservatório (cenário 2) como o diâmetro dos trechos do cenário 3, como tentativa de analisar a eficácia de ambas as alterações atuando conjuntamente, gerando uma simulação bem-sucedida (Figura 12).

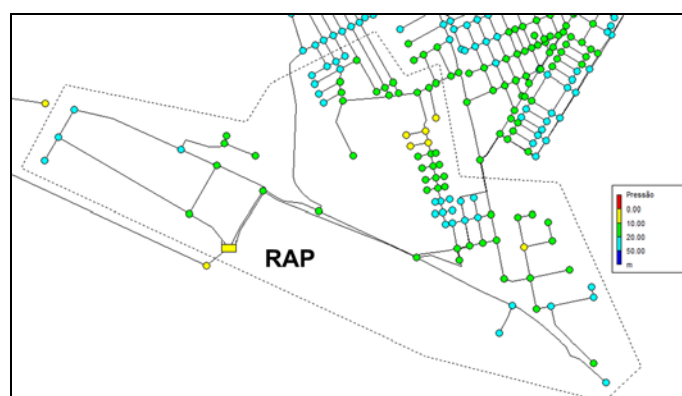


Figura 12 - Pressões: cenário 4. Fonte: Autor, 2018.

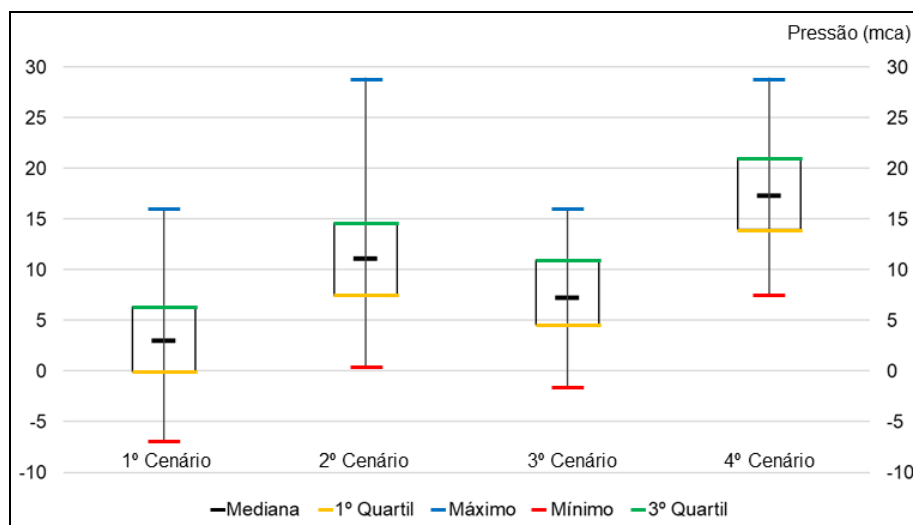
De forma geral, essas modificações podem ser destacadas pela Tabela 1.

Tabela 1 - Cenários. Fonte: Autor, 2018.

CENÁRIO	DIÂMETROS NAS TUBULAÇÕES	RAP
1	Inalterados (Situação real da rede)	Inalterado (Situação real da rede)
2	Inalterados	Elevação em 13m
3	Aumento do diâmetro de trechos à jusante do reservatório CDI (Figura 12)	Inalterado
4	Aumento do diâmetro de trechos à jusante do reservatório CDI (Figura 12)	Elevação em 13m

### Análise das Pressões

Para uma melhor análise comparativa entre o cenário original e os três novos cenários e da necessidade de averiguar o parâmetro mais influente no trabalho, executou-se o gráfico *Boxplot* (Figura 13) em função das pressões nodais da região mais afetada da rede. Este gráfico permite fazer um comparativo de distribuição, utilizando como parâmetros os valores máximos e mínimos das pressões, 1º e 3º quartil e mediana, conforme mostra a seguir.



**Figura 13 - Gráfico comparativo entre os 4 cenários do tipo Boxplot. Fonte: Autor, 2018.**

De acordo com o gráfico acima, o primeiro cenário confirma que sua simulação identificou que 25% das pressões da zona analisada encontram-se abaixo de zero, refletindo em uma rede com um mal funcionamento. Portanto, através do gráfico pode-se observar que, em relação ao primeiro cenário, a alteração da elevação do reservatório no segundo cenário foi satisfatória, mesmo não atendendo o critério normativo de a pressão ser no mínimo 10mca. O posicionamento do gráfico mais acima representa a alteração das pressões em quase sua totalidade, inclusive as pressões negativas em questão, ou seja, o segundo cenário seria uma ótima solução para a rede.

Já o terceiro cenário permaneceu quase na mesma posição que o primeiro, melhorando a proporção das pressões, mas ainda permanecendo algum nós negativos. Isso se reflete pelo fato de que, durante a simulação, a alteração dos trechos com maiores perdas de cargas em alguns pontos fazia com que permanecesse pressões negativas por estarem em uma cota mais elevada, ou seja, alterar mais trechos não seria tão eficaz e tornaria uma modificação inviável economicamente.

A análise do gráfico ainda permitiu inferir que o quarto cenário, combinação do segundo e terceiro cenários, resultou em uma melhoria significativa. Entretanto, ambas as alterações seriam muito onerosas para adaptar-se à realidade, tendo em vista que o segundo cenário é semelhante a este.

Então, de acordo com as três simulações e a análise comparativa pelo gráfico, conclui-se que apenas a elevação do reservatório apoiado em 13m seria o mais viável para a reabilitação da região. Apesar de, conforme citado, as pressões não obedecerem ao critério normativo mínimo de 10mca para trabalhabilidade do sistema, o fato de as pressões não serem negativas já reflete em um bom funcionamento da rede, uma vez que pressões negativas geram um retorno do fluxo hidráulico, formando pontos de acúmulo de água.

## CONCLUSÕES

A modelagem hidráulica de um sistema de distribuição de água é um processo complexo que exige uma grande compreensão da funcionalidade do sistema da área estudada antes da execução da simulação em si. Executando-a, foi possível ampliar a visão de que a ela é uma ferramenta útil de gestão para as empresas operadoras do serviço de saneamento.

Em vista disso, o presente trabalho executou um mecanismo que serve de apoio para a análise de pressões, velocidades e vazões da rede, onde visa o combate ao desperdício, possibilitando melhorias no serviço de distribuição de água. Realizada na cidade de Sobral/CE, região da margem “direita”, permitiu-se observar o



comportamento hidráulico do SDA e percebeu-se que a rede apresenta desconformidade em relação aos padrões hidráulicos, utilizando o programa Epanet como ferramenta.

Sendo as proximidades do RAP a região mais afetada, foram criadas, sem alterações na rede em campo, possíveis soluções para o problema encontrado. Como dito, sugeriu-se que seria mais eficaz e viável economicamente a alteração da elevação do reservatório apoiado em 13m, tendo, dessa forma, o objetivo do trabalho alcançado.

Portanto, este trabalho possibilitou ao SAAE usufruir de uma ferramenta para gerir o funcionamento da rede de parte da cidade de Sobral/CE. Além disso, caso a operadora do serviço adapte à realidade a sugestão proposta, beneficiará a população sobralense com um abastecimento contínuo, devido ao aumento das pressões.

Quanto aos trabalhos futuros, seria interessante estender a área de modelagem para a região não contemplada por este estudo, a margem “esquerda”, a fim de permitir os mesmos estudos e análises feitas neste projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994. 4 p.
2. Brasil perde quase 40% da água tratada com vazamentos e fraudes, aponta estudo. São Paulo: G1, 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/brasil-perde-quase-40-da-agua-tratada-com-vazamentos-e-fraudes-aponta-estudo.ghtml>>. Acesso em: 21 mar. 2018.
3. FARIAS, Guilherme Marques. AUTOMATIZAÇÃO DOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE REDES DE SANEAMENTO A PARTIR DE ARQUIVOS DA PLATAFORMA CAD, In: XVII SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2016.
4. [http://www.lenhs.ct.ufpb.br/?page\\_id=34](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/?page_id=34), acessado em 16/03/2017.
5. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico, 2017.
6. NETTO, A. Manual de Hidráulica. 8ª. ed. São Paulo, 1998. 342 p.
7. PORTO, R.M. Hidráulica Básica. 4ª ed. São Paulo, 2006. 540 p.
8. ROSSMAN, L.A. EPANET2 – Manual do Usuário. Traduzido pelo LENHS/UFPB, 2007. 157p.
9. SAAE – Serviço de Autônomo de Água e Esgoto, 2017.
10. TSUTUYIA, M.T. Abastecimento de água. 3ª. ed. São Paulo, 2006. 643 p.
11. [www.imbil.com.br](http://www.imbil.com.br), acessado em 29/03/2017.
12. XIMENES, Clenilton Lima. MODELAGEM HIDRÁULICA DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE FORQUILHA CE, 2014. 45p. Dissertação de trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA).