



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ISAAC HÔKASAC VIEIRA BENTO DA SILVA**

**DIAGNÓSTICO DO CONSUMO DE ÁGUA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO**  
**ATRAVÉS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL**

**JUAZEIRO DO NORTE - CEARÁ**

**2017**

**ISAAC HÔKASAC VIEIRA BENTO DA SILVA**

**DIAGNÓSTICO DO CONSUMO DE ÁGUA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO  
ATRAVÉS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Cariri como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Paulo Roberto Lacerda Tavares, D.Sc.

JUAZEIRO DO NORTE - CEARÁ

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Cariri  
Sistema de Bibliotecas

- 
- S586d Silva, Isaac Hôkasac Vieira Bento da.  
Diagnóstico do consumo de água em redes de distribuição através de modelagem computacional, Juazeiro do Norte - CE / Isaac Hôkasac Vieira Bento da Silva. – 2017.  
34 f.: il. color., enc.;30 cm.
- TCC (Graduação) – Universidade Federal do Cariri, Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Juazeiro do Norte, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares.
1. Redes de distribuição de água. 2. Modelagem hidráulica. 3. Água - Abastecimento. I. Título.

CDD 628.1

---

Bibliotecário: Jorge dos Santos Nogueira - CRB 3/1218

# DIAGNÓSTICO DO CONSUMO DE ÁGUA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO ATRAVÉS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Cariri como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

---

Isaac Hôkasac Vieira Bento da Silva

Monografia aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## BANCA EXAMINADORA

Orientador: \_\_\_\_\_  
Prof. Paulo Roberto Lacerda Tavares, D.Sc. (UFCA)

1º Examinador: \_\_\_\_\_  
Profa. Celme Torres Ferreira da Costa, D.Sc. (UFCA)

2º Examinador: \_\_\_\_\_  
Prof. Renato de Oliveira Fernandes, D.Sc. (URCA)

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar à Deus, que foi a minha base e sempre esteve ao meu lado me dando discernimento em todas as horas que precisei.

À minha mãe, Maristela. À minha namorada, Andressa, pela compreensão e que sempre esteve ao meu lado. Aos meus irmãos, familiares e amigos pela dedicação, ensinamentos e apoio intenso.

Ao professor Paulo Roberto e todos os outros professores da Universidade Federal do Cariri pelos ensinamentos em sala de aula e pelo tempo e atenção dedicados no desenvolvimento deste trabalho.

E a todos que contribuíram em algum momento da minha vida para que eu conseguisse chegar nessa etapa da minha vida na qual considero muito importante.

## RESUMO

A água é um dos elementos fundamentais para o desenvolvimento humano e para que ela chegue a todos os pontos de distribuição, é necessário a implantação de unidades fixas e lineares, uma rede de distribuição é o elemento mais caro de um sistema de abastecimento de água que vem trazendo dificuldades para as concessionárias de água no combate as perdas de água que tem um alto índice no Brasil, devido o mal dimensionamento e operação das redes de distribuição. Grande parte das redes de distribuição de água no mundo são antigas. O desenvolvimento de softwares para projeto e simulação de redes de distribuição possibilita fazer um dimensionamento e diagnóstico mais preciso. A presente pesquisa busca fazer a modelagem da rede de água do bairro Mirandão, Crato, Ceará, nos softwares EPANET e Sistema UFC. Os resultados foram validados com os dados fornecidos pelo Sociedade Anônima de Água e Esgoto do Crato (SAAEC). Os resultados mostraram que o bairro não foi dimensionado de forma otimizada, pois a rede não atende a alguns critérios estabelecidos pela NBR 1221. Dessa forma, a rede de água não possui perdas significativas, quando comparados os dados fornecidos pela concessionária e os resultados obtidos através da modelagem, mas devido cerca de 70% de suas ligações não possuir hidrômetros, dificulta a operação ótima do sistema. A implantação dos hidrômetros resultaria em uma cobrança justa para o consumidor e possíveis redução.

**Palavras-chaves:** Rede de distribuição de água. Modelagem hidráulica, perdas de água em redes, consumo.

## **ABSTRACT**

Water is one of the fundamental elements for human development and for it to reach all points of distribution, it is necessary to establish fixed and linear units, a distribution network is the most expensive element of a water supply system that has been making it difficult for water concessionaires to combat water losses that have a high index in Brazil due to the poor design and operation of the distribution networks. Most of the world's water distribution networks are old. The development of software for the design and simulation of distribution networks makes it possible to make a more accurate sizing and diagnosis. The present research seeks to model the water network of Mirandão neighborhood, Crato, Ceará, in the EPANET and UFC System software. The results were validated with the data provided by the Crato Water and Sewage Company (SAAEC). The results showed that the district was not optimized, since the network does not meet some criteria established by NBR 1221. Thus, the water network does not have significant losses, when comparing the data provided by the concessionaire and the results obtained through of the modeling, but because about 70% of its connections do not have hydrometers, it hinders the optimal operation of the system. The implantation of the hydrometers would result in a fair collection for the consumer and possible reduction.

Key words: Water distribution network. Hydraulic modeling, water losses in networks, consumption.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.2 PROBLEMÁTICA.....	2
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
2.1 EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE REDES DE ABASTECIMENTO .....	4
2.2 SIMULADORES HIDRÁULICOS .....	7
2.2.1 EPANET.....	8
2.2.2 SISTEMA UFC .....	11
2.3 ESTIMATIVA DE PERDAS DE CARGA.....	11
3. METODOLOGIA .....	13
3.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS .....	13
3.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL USANDO O SISTEMA UFC E O EPANET ....	15
3.3 SIMULAÇÃO DE ALTERNATIVAS NA REDE DE ABASTECIMENTO .....	19
4. RESULTADOS E DISCURSÕES .....	21
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	26
6. REFERENCIAS.....	27
<b>APÊNDICE A – RESULTADOS OBTIDOS NOS NÓS DA REDE .....</b>	<b>29</b>
<b>APÊNDICE B – RESULTADOS OBTIDOS NOS TRECHOS DA REDE .....</b>	<b>32</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos fundamentais ao desenvolvimento da vida. Tem função importante em vários setores essenciais da vida, como no preparo de alimentos, higiene e saneamento, transporte, lazer, geração de energia e serviços de forma geral.

Para que a água seja distribuída para todos os pontos de uso com quantidade, qualidade e pressão adequadas é necessária à implantação de toda uma infraestrutura, composto de um sistema de abastecimento que possui unidades fixas (captação, estação de tratamento (ETA), estações elevatórias e reservatórios) e lineares (adutoras e redes de distribuição de água).

A rede de distribuição, em geral, é o componente que necessita de maior investimento de um sistema de abastecimento de água. São compostas por tubulações, conexões, válvulas e hidrômetros que compreendem toda área do sistema de abastecimento, responsável pela distribuição em escala contínua, com pressão superior à atmosférica.

Muitos fatores influenciam na condução da água através da tubulação. Para o escoamento da água através das tubulações, é necessário que se tenha energia suficiente para vencer as elevações topográficas do sistema e a perda de carga para evitar a necessidade de acréscimo de energia à rede através de estações elevatórias e/ou elevação do nível de reservatórios de abastecimento.

O dimensionamento de redes pressurizadas para distribuição de água potável por muito tempo foi fundamentado em fórmulas empíricas, como a de Hazen-Williams, relacionadas a fundamentos empíricos do melhor diâmetro, vazão e perda de carga no escoamento. No entanto, as aplicações não podem ser generalizadas para todos os locais, sendo eficiente apenas em alguns casos específicos. Na estimativa de perda de carga, por exemplo, as condições de escoamento podem variar de laminar a turbulento gerando uma imprecisão no cálculo da perda de carga e conseqüentemente, no dimensionamento hidráulico (FURUSAWA, 2011).

Com a aplicação de formulações baseadas em conceitos físicos do escoamento dos fluidos, como a Fórmula Universal da Perda de Carga, também denominada Fórmula de Darcy-Weissbach, os problemas apresentam respostas com maior representatividade em relação às perdas de carga nos sistemas hidráulicos em condutos forçados.

Vários estudos preliminares devem ser realizados para um bom projeto de rede de distribuição de água. A NBR 12.218 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1994), por exemplo, apresenta importantes orientações para elaboração do projeto. Na norma citada destacam-se as definições das etapas de implantação, projetos de outras partes do sistema

de abastecimento já elaborado, levantamento planialtimétrico e semicadastral da área do projeto, plano de urbanização e legislação relativa ao uso e ocupação do solo, quando houver.

Com o avanço tecnológico, o desenvolvimento de *softwares* de modelagens hidráulica tem permitido simular diversas situações, tais como a vida útil das tubulações, a energia de funcionamento e o custo do sistema, favorecendo a otimização das redes de distribuição de água.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi fazer um diagnóstico do consumo de água de uma rede de abastecimento urbano através da modelagem hidráulica.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De forma específica, pretende-se:

- Modelagem da rede de distribuição de água de um bairro da cidade do Crato/CE;
- Simular o cenário atual de operação da rede;
- Comparar os resultados da simulação hidráulica com os dados observados para área em estudo.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Um dos principais indicadores de eficiência da operação dos sistemas de abastecimento de água é o índice de perdas, o combate as perdas de água é um grande desafio que vem sendo enfrentado pelos brasileiros do setor público e privado.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013 (ABES), apresenta um diagnóstico das perdas no Brasil, incluindo a análise do nível de perdas das operadoras brasileiras. O cenário brasileiro de perdas de água no setor de saneamento é bastante problemático. A média brasileira de perdas de água é de aproximadamente 40% (incluindo perdas reais e aparentes), mas em algumas empresas de saneamento essas perdas superam 60%. O elevado índice de perdas de água reduz o faturamento das empresas e, conseqüentemente,

sua capacidade de investir e obter financiamentos. Além disso, gera danos ao meio ambiente na medida em que obriga as empresas de saneamento a buscarem novos mananciais. (ABES, 2013)

As perdas de água são muito elevadas no Brasil e têm se mantido em níveis próximos a 40% nos últimos doze anos, ainda que seja possível notar uma leve tendência de queda nos últimos anos. O nível de perdas no Brasil passou de 45,6% em 2004 para 38,8% em 2011, uma queda de 6,8 pontos percentuais no período. O quadro é ainda mais preocupante porque a maior parte das empresas não mede suas perdas de água de maneira consistente (ABES, 2013).

Devido a existência de redes de distribuição mal dimensionadas, ocorrem as perdas reais que é quando o volume disponibilizado pela concessionária, não é consumido pelos clientes, sendo uma parte desperdiçado. Ou ocorre uma perda aparente que é quando o volume consumido não é devidamente computado nas unidades de consumo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE REDES DE ABASTECIMENTO

Segundo Furusawa (2011), em 97 a.C, Sexto Júlio Frontino, comissário de água de Roma, escreveu os primeiros livros de hidráulica, descrevendo a construção do sistema de abastecimento de água de Roma. A engenharia romana era baseada mais em regras gerais, em vez de princípios científicos. Os primeiros sistemas de água dependiam principalmente de escoamento em canal aberto, porém foram utilizados condutos fechados para o abastecimento de fontes e banheiros públicos.

Mas somente no século XVII, por Benedetto Castelli, que foi formulado a relação entre o fluxo, velocidade e a área do conduto ( $Q = V.A$ ), para, em seguida, no século XVIII, Daniel Bernoulli aplicar as descobertas de Isaac Newton no campo da física e matemática para avaliar as pressões e lançar o seu livro de hidráulica, que serviu como base para a energia usada nos modelos hidráulicos, desenvolvendo a equação 1.

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = \text{constante} \quad (1)$$

Para escoamento turbulento entre dois pontos, a perda de carga pode ser inclusa:

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + \Delta H_{12} \quad (2)$$

Em que:

Z= Elevação (m)

V= Velocidade (m/s)

g= Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

P= Pressão (Pa)

$\Delta h$ = Perda de carga (m)

$\gamma$  = Peso específico do fluido (N/m<sup>3</sup>)

Segundo Furusawa (2011), Antoine Chezy foi o primeiro a estender a ideia que é necessária certa energia para o movimento de fluidos sob pressão numa tubulação, onde mostrou que a perda de carga é proporcional a velocidade ao quadrado, conforme a equação 3.

$$V = \frac{\Delta p * D^2}{32 * \mu * L} \quad (3)$$

Em que:

V= Velocidade (m/s)

$\Delta p$ = Variação de pressão (Pa)

D= Diâmetro da tubulação (m)

$\mu$ = Viscosidade dinâmica do fluido (Pa.s)

L= Comprimento da tubulação

Nesse tipo de regime a resistência ao escoamento é devido inteiramente a viscosidade.

Em 1845, Júlio Weisbach e Henry Darcy desenvolveram uma fórmula mais geral sobre a perda de carga em tubulações, a qual é uma extensão do trabalho de Chezy. (Furusawa, 2011)

$$hf = f * \frac{L * V^2}{2g * D} \quad (4)$$

Em que:

hf= perda de carga (m)

f= coeficiente de atrito

L= comprimento da tubulação (m)

V= Velocidade (m/s)

g= Aceleração (m/s<sup>2</sup>)

D= Diâmetro da tubulação (m)

A equação 4, também conhecida como Fórmula Universal da Perda de Carga, é considerada a fórmula mais abrangente para o cálculo de perda de carga nas tubulações, por possuir sólido embasamento físico.

Apenas em 1883, Osbone Reynolds estudou profundamente os regimes de escoamento, mostrando a diferença entre os regimes turbulentos e laminar através de um número adimensional, a partir da equação 5.

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (5)$$

Em que:

Re= Número de Reynolds

V= Velocidade (m/s)

D= Diâmetro (m)

$\nu$ = Viscosidade cinemática do fluido (m<sup>2</sup>/s)

Re< 2000, regime de escoamento laminar na tubulação

2000<Re<4000, zona de transição

Re> 4000, regime de escoamento turbulento na tubulação

Apesar de Darcy-Weisbach ter desenvolvido a equação 4 para determinar a perda de carga, em 1906, Alan Hazen e G.S. Williams desenvolveram uma equação empírica para perda de carga, devido o coeficiente de atrito da equação 4 não ser obtido facilmente.

$$J = 10,643 * Q^{1,85} * C^{-1,85} * D^{-4,87} \quad (6)$$

Em que:

J= Perda de carga unitária (m/m)

Q= Vazão (m<sup>3</sup>/s)

C= Coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams

D= Diâmetro (m)

Esta equação foi desenvolvida para o regime de escoamento turbulento rugoso, no qual o coeficiente C é obtido por tabelas que dependem do material e o tempo de uso da tubulação, o que facilita a sua utilização, mas possui algumas restrições.

No século XX, alguns cientistas alemães se dedicaram a estudar a relação entre corpos sólidos e fluidos móveis, chegando à conclusão que o contato entre os dois determina o arraste e a perda de carga, identificando três camadas limites nas tubulações: a laminar, transição e turbulento. Johan Nikuradse realizando alguns experimentos que simulava a rugosidade na tubulação, chegando a fato que o coeficiente de atrito é função do número de Reynolds e da rugosidade.

Em 1938, Cyril Colebrook e Cedric White mostraram que tubos que não possuíam rugosidade uniforme, não tinham uma curva de transição propondo uma equação empírica para toda região de regime turbulento equação 7.

$$\frac{1}{f^{0,5}} = -2 * \log \left[ \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re * f^{0,5}} \right] \quad (7)$$

Em que:

$f$ = Coeficiente de atrito

$\varepsilon$ = Espessura ou altura de rugosidade da tubulação (m)

$D$ = Diâmetro da tubulação (m)

$Re$ = Número de Reynolds

Segundo Porto (2006), outras equações foram desenvolvidas para o coeficiente de atrito. Swamee (1976) desenvolveu um cálculo para o coeficiente de atrito equação 8.

$$f = \left\{ \left( \frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \left[ \ln \left( \frac{\varepsilon}{14,8 * Rh} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - (2500/Re)^6 \right] 1^{-16} \right\} 1^{0,125} \quad (8)$$

Em que:

$f$ = Coeficiente de atrito

$\varepsilon$ = Espessura ou altura da rugosidade da tubulação (m)

$Rh$ = Raio Hidráulico (m)

$Re$ = Número de Reynolds

## 2.2 SIMULADORES HIDRÁULICOS

Segundo Kuroda e Pádua (2006), a mecânica computacional começou durante as décadas de 1960 e 1970, usando computadores para auxiliar em cálculo de variáveis para determinados dimensionamentos de grandes obras de engenharia, nos dias atuais na era da informática, existem vários softwares usados no mundo inteiro, que são constituídos por algum algoritmo bastante complexo que resolvem sistemas de equações. Vários estudos sobre algoritmos de cálculo contribuíram para o avanço dos modelos computacionais, tornando-se uma ferramenta fundamental para os engenheiros.

Na década de 1990, com o acesso do sistema de posicionamento geográfico (GPS) tornou mais fácil a determinação das coordenadas dos pontos de interesse para o dimensionamento hidráulico, facilitou o uso dos modelos computacionais.

Os modelos hidráulicos são baseados na ideia de conservação de massa e energia, desta maneira, para cada nó de um sistema hidráulico em conduto forçado, a somatória das vazões afluentes deve ser igual a soma das vazões efluentes, e para cada anel deve-se constatar as equações de perda de carga, em escala real “n” equações podem ser geradas, diante disso, para facilitar e agilizar os cálculos é necessário o uso de ferramentas computacionais (KURODA; PÁDUA, 2006).

Devido à grande capacidade de resposta dos *softwares* em inúmeras situações, tem como objetivo melhor compreender as aplicações mais comuns, sendo dividida nas áreas da engenharia do planejamento de projetos e na operação propriamente dita, que possuem as seguintes aplicações: elaboração de projetos de macrodistribuição, estudos de alterações necessárias no sistema, estudo da circulação da água no sistema, identificação das perdas no sistema, problemas de abastecimento e estudos de sistemas de bombeamento (KURODA; PÁDUA, 2006).

Atualmente, existem vários programas computacionais para a modelagem hidrológica e hidráulica disponíveis nos meios acadêmicos e nas empresas. Há *softwares* para o dimensionamento de condutos livres, como o HEC-RAS que tem a capacidade de realizar cálculos hidráulicos de redes de canais naturais ou artificiais em diferentes regimes de escoamento, desenvolvido pelo corpo de engenharia do exército americano, que desenvolveu também para a simulação hidrológica de bacias hidrográficas, pode-se citar o HEC-HMS. Para condutos forçados, o EPANET é um dos principais para o dimensionamento de redes de distribuição de água.

### 2.2.1 EPANET

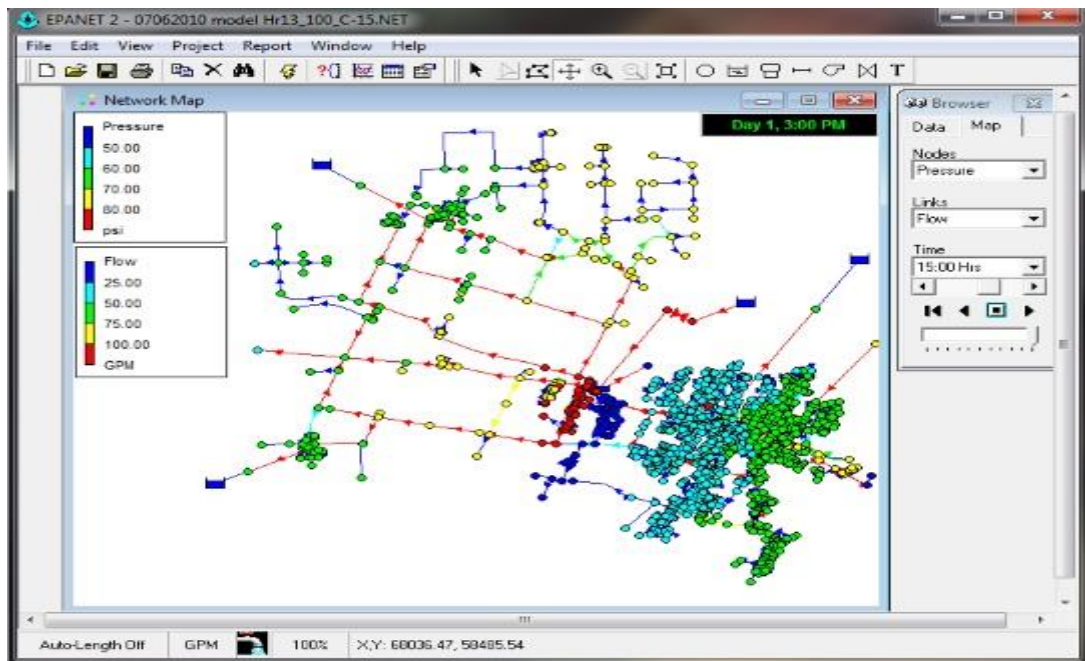
O EPANET é um simulador hidráulico com grande aplicação na área de redes de distribuição. Este *software* foi desenvolvido pela U.S Environmental Protection Agency (EPA), nos Estados Unidos da América, com o objetivo de apoiar as entidades gestoras e distribuição de água que efetua a manutenção de níveis de serviço adequado.

Segundo Gomes e Salvino (2009), o programa foi criado para ser uma ferramenta de fundamental importância para verificação de sistemas de distribuição, aperfeiçoado os conhecimentos sobre o trajeto que a água até o consumo humano. O programa ajuda a melhorar a qualidade da água através de mudanças da origem do ponto de saída da água no sistema,



seleção de tubulações para limpeza e substituição, seleção de pontos de recloração, modificação do funcionamento operacional de grupos elevatórios e reservatórios para diminuição da energia e tempo de percurso. A figura 1 mostra a interface do EPANET.

Figura 1 – Interface do EPANET



Fonte: Adaptado do EPANET, 2017.

Para a modelagem de uma rede com todas as tubulações, sem nenhuma simplificação, o EPANET possui um conjunto de recursos para calcular simulações hidráulicas, dentre elas destacam-se:

- Dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada.
- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning.
- Avaliação das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc.
- Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável.
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo.
- Modelagem dos principais tipos de válvulas.
- Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água.

- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo.
- Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores.
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição ou em controles com condições múltiplas.

Além da modelagem hidráulica, o EPANET fornece as seguintes possibilidades relativas à modelagem da qualidade da água:

- Modelagem do transporte de um constituinte não-reativo através da rede ao longo do tempo.
- Modelagem do transporte, mistura e transformação de um constituinte reativo, à medida que este sofre decaimento ou crescimento com o tempo.
- Modelagem do tempo de percurso da água através da rede.
- Cálculo da porcentagem de vazão que, com origem em determinado nó, atinge qualquer outro nó ao longo do tempo.
- Modelagem de reações de decaimento do cloro no volume do escoamento e na parede da tubulação.
- Utilização de cinéticas de ordem “n” para modelar reações no volume do escoamento em tubulações e reservatórios.
- Utilização de cinéticas de ordem 0 ou 1 para modelar reações na parede das tubulações.
- Definição de limites para a transferência de massa na modelagem de reações na parede.
- Permitir que as reações de crescimento ou decaimento sejam controladas por um valor de concentração-limite.
- Aplicação à rede de coeficientes de reação globais, que podem ser modificados individualmente para cada tubulação.
- Possibilidade de relacionar o coeficiente de reação na parede com a rugosidade da tubulação.

- Definição de variação temporal da concentração ou de entrada de massa em qualquer ponto da rede.
- Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável como reatores de mistura completa, de escoamento em êmbolo ou ainda de mistura com dois compartimentos.

### 2.2.2 SISTEMA UFC

Segundo Castro (2006), devido a necessidade atual do gerenciamento dos recursos hídricos que estão cada vez mais escassos, foi a justificativa para o desenvolvimento do sistema UFC para melhor dimensionar os sistemas de redes de distribuição de água, considerando que existe um déficit entre a água consumida e a quantidade de água realmente consumida, o sistema UFC é uma ferramenta essencial para um bom gerenciamento dos recursos hídricos, pois é composto por um conjunto de *softwares*, escritos em diferente linguagens de programação, responsáveis pelo desenho do traçado e o dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento.

Para o dimensionamento de rede, o sistema UFC utiliza os módulos UFC2 e UFC3 com uma interface entre o AutoCAD e o EPANET. Esse procedimento facilita o dimensionamento devido o EPANET não ser um programa de desenho e o sistema UFC amplia, então, a capacidade de inserção e manipulação dos dados gerados pelo dimensionamento realizados por meio do EPANET.

### 2.3 ESTIMATIVA DE PERDAS DE CARGA

Diante do crescimento dos grandes centros urbanos e conseqüentemente, das redes de distribuição, vários estudos vêm sendo realizado na área de distribuição de água por conduto forçado, para analisar redes de distribuição já existentes e identificar os seus pontos críticos, e conseqüentemente, solucionar o problema da melhor forma técnica e econômica.

Segundo Oliveira (2013), que realizou um estudo na cidade de Porto, em Portugal, no panorama nacional no setor de água existem vários e diversificados tipos de intervenientes, de parte do setor administrativo pela entidade regulamentadora dos serviços de águas e resíduos e também pelos órgãos da administração pública, o sistema de abastecimento em Portugal é

compartilhada entre o estado e os municípios para se dividir as responsabilidades.

Segundo ERSAN et al. (2010 *apud* OLIVEIRA et al., 2013), diante de relatórios e dos modelos de gestão foram identificados que vários municípios estavam em baixa com a prestação de serviço de abastecimento de água, devido aos elevados níveis de perdas de água.

Na cidade do Porto foi realizado um estudo mais aprofundado nas redes de distribuição de água, sendo identificado o problema do setor em diversas naturezas. Os problemas de natureza estrutural, pois os níveis de atendimento às populações em quantidade e qualidade ainda não atingem os padrões de qualidade de vida e proteção ambiental; os problemas de natureza operacional, em que a qualidade da água distribuída ainda é deficiente, o elevado nível de água não faturada nos sistemas de abastecimento de água e o rápido envelhecimento e degradação dos sistemas existentes; de natureza econômica e financeira, refere-se as tarifas cobradas e o elevado custo de investimento para se chegar a objetivos estabelecidos (OLIVEIRA, 2013).

Para Oliveira (2013), o controle da pressão nas tubulações foi o grande foco para diminuição das perdas. Com o objetivo de controlar a pressão na rede de distribuição reduzindo a perdas reais, foram feitas modulações com todo o sistema de abastecimento para ser identificado todos os pontos críticos da cidade e para cada ponto crítico foi criada uma nova modulação, para se chegar a uma provável solução.

Ganem; Martinz; Jacob (2013) realizaram a calibração e modelagem de um sistema de distribuição de água, dentro de um período de 24 horas analisaram o diagnóstico do sistema existente para a proposição das melhorias que devem ser feitas no sistema, para um cenário de 20 anos.

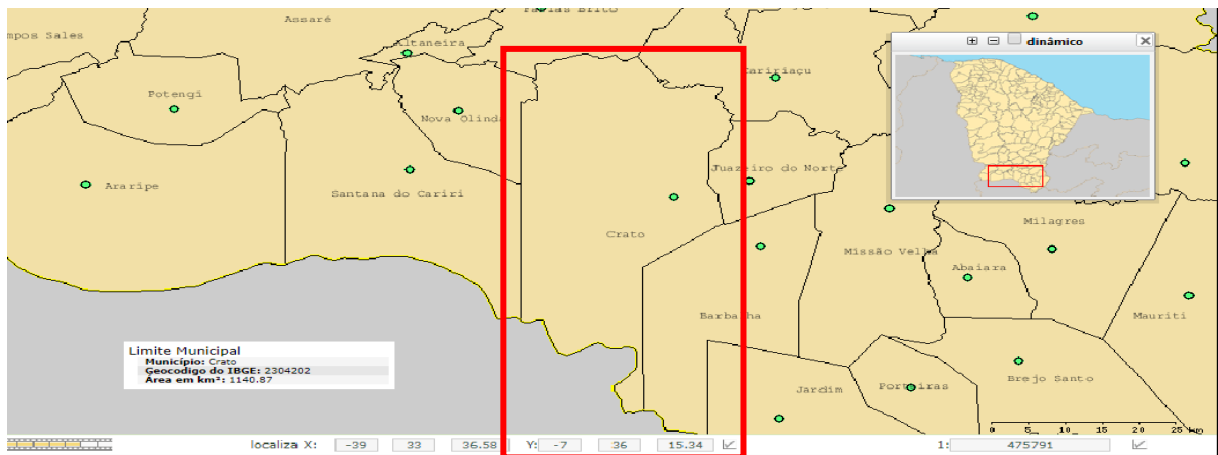
Para Boas (2008), a modelagem de rede permite um profundo conhecimento sobre o funcionamento de uma rede de abastecimento de água, assumindo um papel importante no momento de dimensionar, projetar e diagnosticar uma rede. Uma modelagem computacional diminui o máximo possível a distância entre a realidade e a imagem computacional, para que a modelagem fique o mais fiel da realidade, deve ser feito calibrações no sistema e com o auxilia do EPANET simula toda a rede hidráulica.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

O município do Crato, localizado no estado do Ceará, mais precisamente na região do Cariri, que possui suas limitações territoriais bem definidas, vizinho aos municípios de Juazeiro do Norte, Santana do Cariri e Caririaguçu, foi fundado em 1853 e apresenta uma expressiva importância regional, com destaque na tradicional função de comercialização de produtos rurais provenientes do desenvolvimento agrícola. Segundo o IBGE, dispõe atualmente de uma população de aproximadamente 130.604 habitantes. A Figura 2 mostra o mapa de localização do município do Crato.

Figura 2 – Mapa de localização do município do Crato



Fonte: Adaptado do IPECE, 2017.

Dos mais de trinta bairros que o município do Crato possui, o bairro Mirandão, que possui definição territorial bem definida quanto aos limites, foi escolhido como objeto de estudo para este trabalho, para análise da rede de distribuição de água. A Figura 3 e 4 mostra o bairro Mirandão.

Figura 3 – Imagem de satélite do bairro Mirandão



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2017.

Figura 4 – Limite territorial do bairro Mirandão



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2017.

Para este estudo, todos os dados utilizados foram fornecidos pela SAAEC (Sociedade Anônima de Água e Esgoto do Crato).

Foram fornecidos, através de um arquivo de AutoCAD os dados do reservatório, as curvas de nível, o arruamento, a localização, comprimento, diâmetro e o material de toda a

tubulação da rede de distribuição de água no bairro. A Tabela 1 mostra os dados do reservatório de abastecimento da rede. Em uma planilha foram fornecidos os demais dados: a população de projeto, número de ligações ativas com e sem hidrômetro Tabela 2.

Tabela 1 – Dados do reservatório

Diferença entre N.A mínimo e a cota do terreno(m):	8,5
Diferença entre N.A máximo e a cota do terreno(m):	17,5
Diferença entre o nível de entrada e a cota do terreno(m):	17,6
Diâmetro do tanque(m):	3

Fonte: Adaptado da SAAEC, 2017.

Tabela 2 – Dados da rede de distribuição de água

Número de ligações ativas	760
Número de ligações sem hidrômetro	530
Consumo sem hidrômetro (m <sup>3</sup> )	9435
Número de ligações com hidrômetro	230
Consumo com hidrômetro (m <sup>3</sup> )	3126
Número de pessoas por ligação	3,57
Número médio de ligações a cada 100m	9
Material da tubulação	PVC PBA JEI classe 12

Fonte: Adaptado da SAAEC, 2017.

### 3.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL USANDO O SISTEMA UFC E O EPANET

Segundo Porto (2006), o desenvolvimento do projeto geométrico do sistema do reservatório e tubulações determina uma rede de distribuição, de uma forma geral, uma rede é composta por condutos principais que são aqueles de maior diâmetro, que tem função de abastecer os condutos secundários que são os de diâmetro menor que abastecem diretamente os pontos de consumo do sistema.

De acordo com a posição da tubulação principal e o sentido do escoamento nas tubulações secundárias, as redes podem ser classificadas em ramificadas ou malhadas. Uma rede é considerada ramificada quando o abastecimento é feito a partir de uma tubulação principal abastecida por um reservatório a montante, com distribuição de água direto para as tubulações secundárias e o sentido da vazão é conhecido em qualquer trecho, os pontos de derivação de vazão e/ou mudança de sentido e diâmetro da tubulação são denominados nós, entre dois nós é chamado de trecho. As redes malhadas são compostas por tubulações principais que formam anéis, no qual, o sentido da vazão pode ser invertido dependendo da demanda de

consumo (PORTO 2006).

Considerando a classificação de redes, o sistema de distribuição do bairro Mirandão é classificado como uma rede ramificada. Todos os nós e trechos foram enumerados para identificação e o cálculo da rede.

Para determinação das demandas nodais foi utilizada Equação 9:

$$Q_{max.dia} = \frac{P * c * K1 * K2}{86400} \quad (9)$$

Em que:

P= População de projeto

c= Consumo per capita [L/(dia.hab)]

K1= Coeficiente de majoração diária

K2= Coeficiente de majoração horária

$Q_{max.dia}$ = Vazão máxima (L/s)

Após o calcular o valor de  $Q_{max.dia}$ , determina-se o valor da vazão de consumo em marcha, q, para se determinar os valores de consumos nodais baseado no comprimento de influência de cada nó da rede:

$$q = \frac{Q_{max.dia}}{\sum(Li)} \quad (10)$$

Em que:

q= Vazão de consumo em marcha (L/s.m)

$\sum Li$ = Comprimento total de todos os trechos da rede (m)

Q= Vazão máxima (L/s)

Para a determinação da perda de carga nos trechos foi utilizado equação 4 de Darcy-Weisbach.

$$hf = \frac{L * V^2}{2g * D} \quad (4)$$

Em que:

hf= perda de carga (m)

f= coeficiente de atrito

L= comprimento da tubulação (m)



V= Velocidade (m/s)

g= Aceleração (m/s<sup>2</sup>)

D= Diâmetro da tubulação (m)

Para determinar todas as pressões disponíveis nos nós, primeiramente é fixado a cota piezométrica<sup>1</sup> para um ponto qualquer da rede ou através no nível da água do reservatório, para a partir desse ponto calcular as cotas piezométricas dos demais pontos, logo, as pressões nos nós são encontradas através da diferença entre a cota piezométrica menos a cota do terreno.

Devido à extensão e à complexidade da rede de abastecimento de água do bairro Mirandão, foi usado o software UFC, módulo UFC2, em conjunto com o EPANET para auxiliar na simulação da rede. Para o uso do software foram seguidos alguns passos, descritos a seguir:

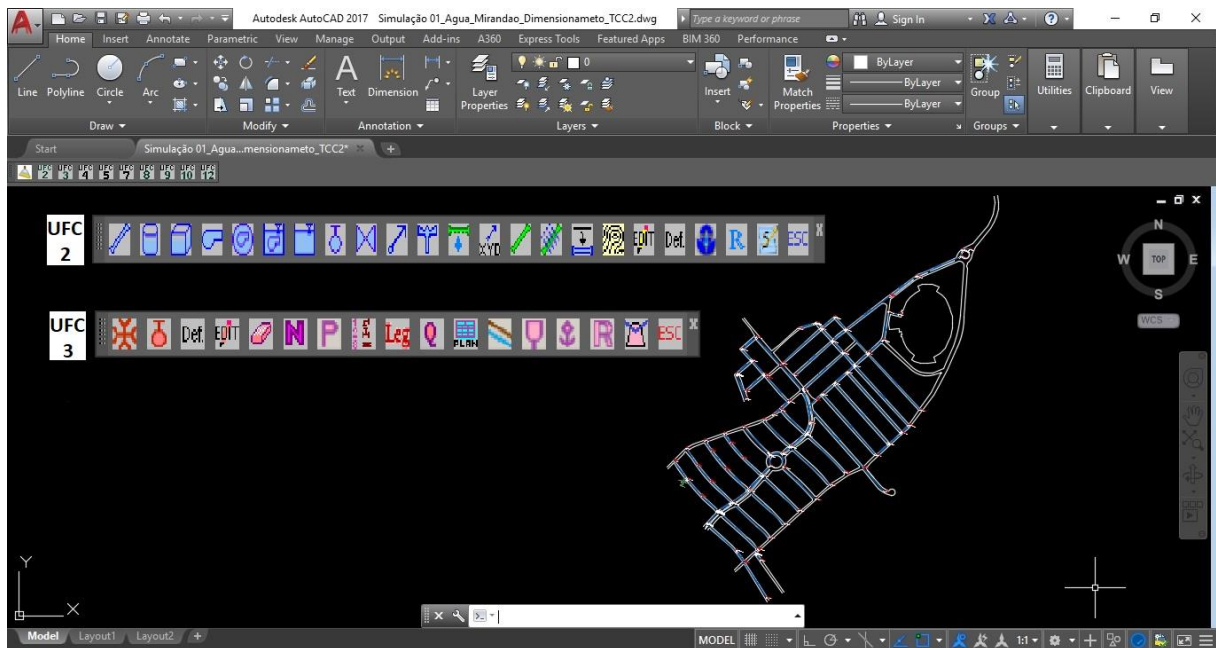
Passos para utilização do sistema UFC:

- Inicia-se um arquivo de AutoCAD, com as curvas de nível do terreno, que podem estar em forma de Splines, LW-polylines e Polylines 2D, desde que a coordenada “z” de cada linha seja a cota da curva de nível traçada no AutoCAD;
- Inserir outro arquivo de AutoCAD na forma de bloco, contendo arruamento da área, que será utilizado como orientação de desenho para rede;
- Salva-se o projeto com um novo nome para identificação da rede.
- No sistema UFC, foi usado, inicialmente, o módulo UFC2, que responsável pela simulação de redes de distribuição. A Figura 5 mostra a interface do sistema UFC.

---

<sup>1</sup> Cota Piezométrica: É a altura da lamina de água em determinado ponto, obtido através da soma da cota geométrica e da pressão dinâmica no ponto determinado.

Figura 5 – Interface do sistema UFC



Fonte: Adaptado do Sistema UFC, 2017.

- No ícone Def. do módulo do UFC2 são definidos todos os padrões da rede como: população de projeto, material da tubulação, consumo per capita de água, coeficientes e a fórmula da perda de carga;
- No ícone “reservatório circular” é adicionado o reservatório juntamente com todas as suas características como: a diferença de nível entre a entrada e a cota do terreno, entre o N.A. máximo e a cota do terreno, entre o N.A. mínimo e a cota do terreno e o diâmetro do tanque;
- O ícone “tubo de rede” é acionado para inserção da tubulação a partir do reservatório e prosseguindo o traçado clicando nos nós da rede;
- Após o traçado, a rede é exportada para o EPANET através do ícone “gerar arquivo do EPANET”, a partir desse passo a rede começa a ser simulada gerando todos os dados da rede como: pressão, consumo e as cotas.
- Além do procedimento descrito, o Sistema UFC também é capaz de fornecer o quantitativo do material usado na rede e a otimização do sistema a partir da utilização dos módulos UFC3 e UFC4.

### 3.3 SIMULAÇÃO DE ALTERNATIVAS NA REDE DE ABASTECIMENTO

O sistema UFC2 possui duas opções de entrada de dados para simulação da rede. Foram usadas as duas opções a fim de comparar os resultados obtidos em cada simulação, com os dados fornecidos pela SAAEC.

- **Simulação 01:** foi realizada usando os dados baseados na população de projeto, encontrado através das 760 ligações ativas e o número de 3,57 pessoas por ligação chegando a 2713,2 pessoas que são abastecidas pelo sistema. Essa simulação é a mais usada para o dimensionamento de redes de abastecimento de água.
- **Simulação 02:** foi baseada no número médio de ligações a cada 100 metros. Com o auxílio de imagens do Google Earth foi calculada a média de residências a cada 100 metros, resultando o número de 9 residências/100m com 3,57 pessoas em cada residência. Esse método não é tão utilizado, pois os terrenos que não possuem ligação acabam sendo incluídos na simulação, disfarçando um pouco os resultados.

Na entrada de dados o consumo per capita de água utilizado foi retirado da norma 12218 (ABNT, 1994), enquanto os coeficientes do dia e da hora de maior consumo, que deveria ser usado os valores de 1,5 e 1,2 respectivamente, mas como a rede não foi dimensionada para ser utilizada na pior situação, foi usado o valor de um para os dois coeficientes. A Figura 6 mostra a entrada de dados das simulações.

Figura 6 – Entrada de dados das simulações

The image shows a dialog box titled "Definição de padrões" with a close button (X) in the top right corner. The dialog has five tabs: "Tubulações", "Hidráulica", "Material", "Geral", and "Operação". The "Hidráulica" tab is selected. Inside the dialog, there is a section titled "Opções para o cálculo das demandas" with three radio button options: "Baseado na população de projeto" (which is selected and has a dashed border around it), "Baseado no número médio de ligações", and "Apenas demandas especiais". Below these are input fields for "População de projeto" (with a browse button "..."), "Número médio de ligações a cada 100m", "Número de pessoas por ligação", "Consumo per capita de água (L/hab.dia)", "Coeficiente do dia de maior consumo (k1)", and "Coeficiente da hora de maior consumo (k2)". Below this section is another section titled "Fórmula para cálculo da perda de carga:" with two radio button options: "Darcy-Weisbach" (selected) and "Hazen-Williams". Below these are input fields for "Kb (1/dia)" and "Expoente de descarga do emissor". At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancelar" buttons.

Opções para o cálculo das demandas	Valor
<input checked="" type="radio"/> Baseado na população de projeto	População de projeto: 2713.2
<input type="radio"/> Baseado no número médio de ligações	Número médio de ligações a cada 100m: 9
	Número de pessoas por ligação: 3.57
<input type="radio"/> Apenas demandas especiais	Consumo per capita de água (L/hab.dia): 150
	Coeficiente do dia de maior consumo (k1): 1
	Coeficiente da hora de maior consumo (k2): 1

Fórmula para cálculo da perda de carga:	Valor
<input checked="" type="radio"/> Darcy-Weisbach	Kb (1/dia): -2.5
<input type="radio"/> Hazen-Williams	Expoente de descarga do emissor: 0.5

Fonte: Adaptado do Sistema UFC, 2017.

## 4. RESULTADOS E DISCURSÕES

Os resultados obtidos para as simulações 1 e 2 estão sintetizados nas Tabelas 3 e 4, com a indicação das colunas em numeração 1 e 2. Na Tabela 3 pode-se verificar o valor das pressões nos nós que não está em conformidade dentre os 85 nós e na Tabela 4 têm-se os resultados da vazão e da velocidade nos trechos da rede que estão em conformidade dentre os 89 trechos.

Tabela 3 – Resultados obtidos nos nós da rede que estão em desacordo “continua”.

1	BASEADO NA POPULAÇÃO DE PROJETO										
2	BASEADO NO NÚMERO MÉDIO DE LIGAÇÕES										
NÓ	CONSUMO (L/s)		COTA (m)	CARGA (m)		PRESSÃO DINÂMICA (mca)		PRESSÃO ESTÁTICA (mca)		VOLUME CONSUMIDO MENSAL(m <sup>3</sup> )	
	1	2		1	2	1	2	1	2	1	2
2	0.05	0.04	450.37	459.14	459.17	<b>8.77</b>	<b>8.8</b>	8.92	8.92	129.6	103.68
3	0.02	0.02	451.21	459.14	459.17	<b>7.93</b>	<b>7.96</b>	8.08	8.08	51.84	51.84
4	0.04	0.04	449.57	458.15	458.33	<b>8.58</b>	<b>8.76</b>	9.72	9.72	103.68	103.68
6	0.05	0.05	447.71	457.13	457.46	<b>9.42</b>	<b>9.75</b>	11.58	11.58	129.6	129.6
14	0.12	0.11	444.34	453.09	454.05	<b>8.75</b>	<b>9.71</b>	14.95	14.95	311.04	285.12
15	0.1	0.1	442.4	449.72	451.21	<b>7.32</b>	<b>8.81</b>	16.89	16.89	259.2	259.2
16	0.02	0.02	441.13	447.93	449.7	<b>6.8</b>	<b>8.57</b>	18.16	18.16	51.84	51.84
17	0.06	0.05	440.29	446.27	448.29	<b>5.98</b>	<b>8</b>	19	19	155.52	129.6
18	0.04	0.03	438.73	444.46	446.77	<b>5.73</b>	<b>8.04</b>	20.56	20.56	103.68	77.76
19	0.06	0.05	439.29	444.46	446.76	<b>5.17</b>	<b>7.47</b>	20	20	155.52	129.6
20	0.05	0.04	447.9	456.96	457.32	<b>9.06</b>	<b>9.42</b>	11.39	11.39	129.6	103.68
21	0.04	0.04	448.39	456.96	457.31	<b>8.57</b>	<b>8.92</b>	10.9	10.9	103.68	103.68
22	0.02	0.02	447.39	456.96	457.31	<b>9.57</b>	<b>9.92</b>	11.9	11.9	51.84	51.84
24	0.05	0.05	445.37	453.09	454.05	<b>7.72</b>	<b>8.68</b>	13.92	13.92	129.6	129.6
25	0.03	0.03	445.33	453.09	454.05	<b>7.76</b>	<b>8.72</b>	13.96	13.96	77.76	77.76
29	0.04	0.04	442.83	449.72	451.2	<b>6.89</b>	<b>8.37</b>	16.46	16.46	103.68	103.68
30	0.03	0.03	442.47	449.72	451.2	<b>7.25</b>	<b>8.73</b>	16.82	16.82	77.76	77.76
31	0.01	0.01	441.28	449.72	451.2	<b>8.44</b>	<b>9.92</b>	18.01	18.01	25.92	25.92
33	0.04	0.03	438.44	446.27	448.29	<b>7.83</b>	<b>9.85</b>	20.85	20.85	103.68	77.76
34	0.12	0.11	437.27	443.14	445.65	<b>5.87</b>	<b>8.38</b>	22.02	22.02	311.04	285.12
35	0.12	0.11	434.21	440.87	443.73	<b>6.66</b>	<b>9.52</b>	25.08	25.08	311.04	285.12
36	0.03	0.02	432.79	439.64	442.69	<b>6.85</b>	<b>9.9</b>	26.5	26.5	77.76	51.84
37	0.12	0.11	431.58	438.13	441.41	<b>6.55</b>	<b>9.83</b>	27.71	27.71	311.04	285.12
38	0.11	0.1	428.9	438.1	441.38	<b>9.2</b>	12.48	30.39	30.39	285.12	259.2
39	0.03	0.03	431.16	438.1	441.38	<b>6.94</b>	10.22	28.13	28.13	77.76	77.76
40	0.1	0.09	430.24	437.76	441.09	<b>7.52</b>	10.85	29.05	29.05	259.2	233.28
47	0.04	0.04	432.83	437.46	440.84	<b>4.63</b>	<b>8.01</b>	26.46	26.46	103.68	103.68
48	0.02	0.02	434.39	437.46	440.84	<b>3.07</b>	<b>6.45</b>	24.9	24.9	51.84	51.84
49	0.01	0.01	435.56	437.46	440.84	<b>1.9</b>	<b>5.28</b>	23.73	23.73	25.92	25.92

Tabela 3 (continuação) – Resultados obtidos nos nós da rede que estão em desacordo

53	0.04	0.03	436.55	443.14	445.65	<b>6.59</b>	<b>9.1</b>	22.74	22.74	103.68	77.76
54	0.03	0.03	434.53	440.87	443.73	<b>6.34</b>	<b>9.2</b>	24.76	24.76	77.76	77.76
71	0.05	0.05	429.17	437.25	440.66	<b>8.08</b>	11.49	30.12	30.12	129.6	129.6
72	0.05	0.05	427.48	437.23	440.64	<b>9.75</b>	13.16	31.81	31.81	129.6	129.6
74	0.1	0.1	427.91	437.44	440.82	<b>9.53</b>	12.91	31.38	31.38	259.2	259.2
77	0.11	0.1	428.19	437.47	440.85	<b>9.28</b>	12.66	31.1	31.1	285.12	259.2
78	0.09	0.09	428.7	437.5	440.87	<b>8.8</b>	12.17	30.86	30.86	233.28	233.28
79	0.1	0.09	428.9	437.69	441.04	<b>8.79</b>	12.14	30.39	30.39	259.2	233.28
80	0.02	0.02	430.05	437.88	441.19	<b>7.83</b>	11.14	29.24	29.24	51.84	51.84
1	-4.71	-4.31	459.29	459.29	459.29	0	0	0	0	12182.4	11249.28

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 4 – Resultados obtidos nos trechos da rede que estão nos conformes.

1	BASEADO NA POPULAÇÃO DE PROJETO									
2	BASEADO NO NÚMERO MÉDIO DE LIGAÇÕES									
TRECHO	NÓ INI	NÓ FIN	L (m)	DN (mm)	Q (L/s)		V (m/s)		P.C. (m/Km)	
					1	2	1	2	1	2
1	1	2	9.81	75	4.71	4.31	1.01	0.92	14.85	12.56
3	2	4	68.5	75	4.64	4.25	0.99	0.91	14.44	12.22
4	4	5	72.08	75	4.6	4.21	0.98	0.9	14.19	12.01
13	13	14	63.7	50	3.95	3.61	1.68	1.54	60.66	51.21
14	14	15	63.27	50	3.68	3.37	1.57	1.44	53.28	44.99
15	15	16	38.1	50	3.45	3.15	1.47	1.35	46.96	39.67
16	16	17	35.8	50	3.43	3.13	1.46	1.34	46.38	39.18
17	17	18	41.17	50	3.33	3.05	1.42	1.3	43.94	37.13
33	18	34	32.56	50	3.19	2.92	1.36	1.25	40.61	34.32
34	34	35	63.51	50	2.99	2.73	1.28	1.17	35.77	30.24
35	35	36	39.2	50	2.79	2.55	1.19	1.09	31.38	26.54
36	36	37	49.08	50	2.76	2.52	1.18	1.08	30.81	26.06

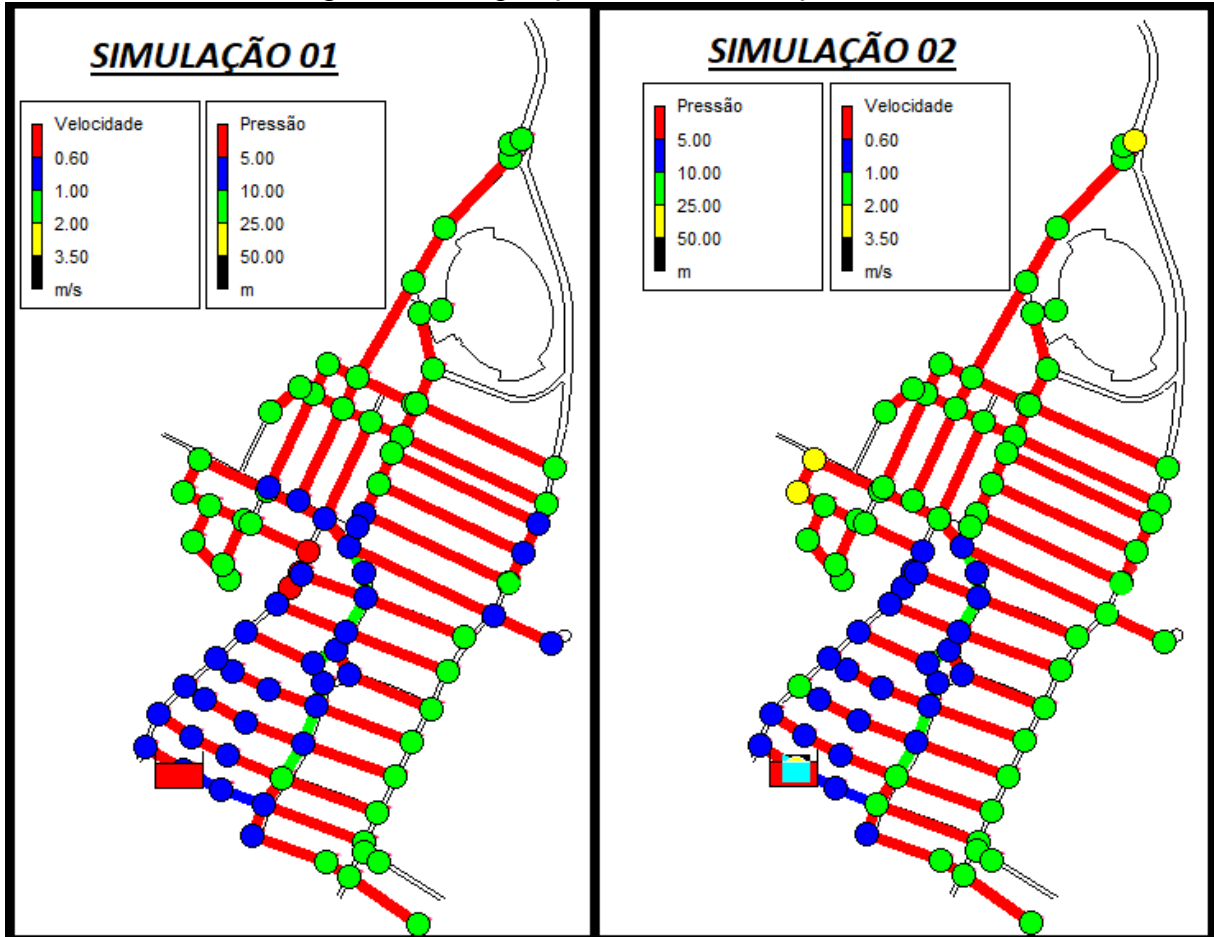
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A NBR 12218 (ABNT, 1994), indica que as pressões dinâmicas devem ser de, no mínimo, 10 mca e as pressões estáticas de, no máximo, 50 mca e a velocidade nas tubulações deve permanecer entre 0,6m/s e 3,5m/s. Baseando-se nos valores de referência da norma, constata-se, com os resultados das duas simulações, que a rede não está dimensionada para funcionar da melhor forma possível. Os valores discordantes da norma estão representados na figura 6 para o instante crítico. Em termos percentuais, têm-se que 45% dos nós e 87% dos

trechos não atendem as recomendações da NBR 12218.

Os nós e trechos em desacordo com a norma estão apresentados nas cores azul e vermelha na Figura 7.

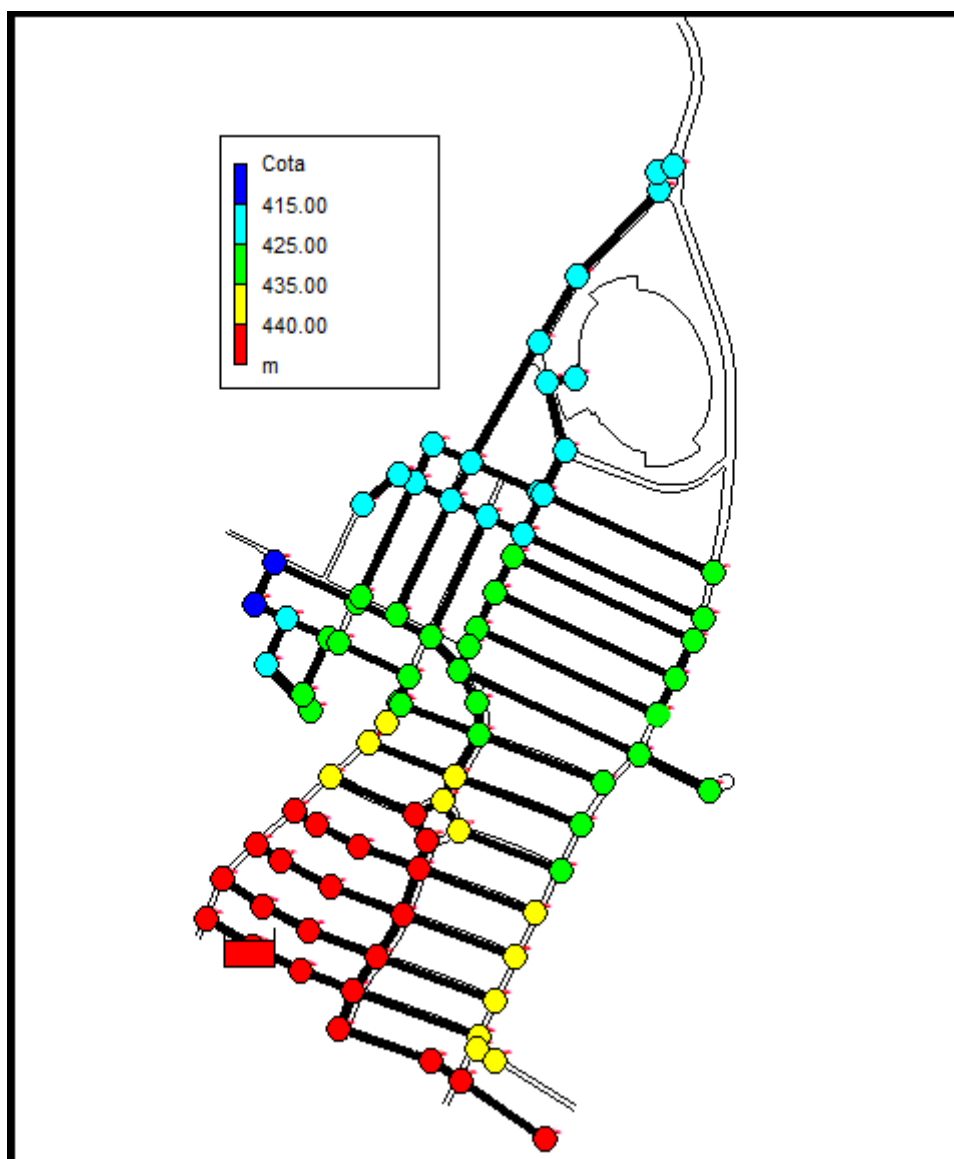
Figura 7 – Comparação entre as simulações no EPANET



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Podemos notar que os nós que apresentaram valores pressão em desacordo com a norma 12.218/1994, são os que possuem uma cota topográfica maior, que estão marcados na cor vermelha e amarela, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Cota topográfica dos nós da rede



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Diante dos dados de consumo fornecidos pela SAAEC foi feita uma comparação. A simulação 01 teve um consumo mensal de 12.182,40 m<sup>3</sup> e a simulação 02 teve um consumo de 11.249,28 m<sup>3</sup>, ambos inferiores ao valor de 12.561,00 m<sup>3</sup> disponibilizado pela SAAEC, mas que são valores muito próximos, indicando que a simulação computacional está próxima do funcionamento real da rede. A simulação 01 é a mais indicada para avaliar o bairro Mirandão, devido a distribuição ser feita de acordo com a necessidade de consumo da população, pois a média do número de ligações a cada 100 metros pode disfarçar os resultados devido alguns locais que passa a rede de distribuição, mas não existe ainda pontos de ligação. A Tabela 5 mostra os dados de consumo da rede.



Tabela 5 – Comparativo de consumo da rede

			<b>Consumo Médio Mensal (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo Médio Por Ligação (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo Diário Por Pessoa (L)</b>
Dados fornecidos pela SAAEC	Nº de ligações ativas	760	12.561,00	16,53	154,32
	Nº de ligações sem hidrômetro	530	9.435,00	17,80	166,22
	Nº de ligação com hidrômetro	230	3.126,00	13,59	126,90
Simulação 01	-	-	12.182,40	16,03	149,67
Simulação 02	-	-	11.249,28	14,80	138,20

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O bairro Mirandão é abastecido exclusivamente por um único reservatório, que não atende a outros bairros, o consumo médio mensal calculado pela SAAEC considera o consumo medido nos hidrômetros, adicionadas as ligações sem hidrômetro. Para as ligações sem hidrômetro, a companhia considera um valor fixo consumido por cada ligação. O consumo médio mensal obtido com as simulações são inferiores ao valor que a companhia considera consumido, sugerindo que os valores reais consumidos são inferiores ao considerado utilizado.

Da mesma forma, analisando o consumo diário por pessoa, as simulações apresentaram resultados inferiores aos 150 L/hab. dia, estabelecidos pela NBR 12.218/1994. Sendo que o valor atualmente considerado pela companhia de abastecimento é de 154.32 L/hab. dia.

Os resultados das simulações indicam que a companhia pode estar trabalhando com valores superiores aos realmente consumidos. Neste sentido, fica recomendado, para a população, a instalação dos hidrômetros em todas as unidades consumidoras.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a modelagem hidráulica da rede de abastecimento de água do bairro Mirandão foi possível reproduzir a distribuição dos consumos de água que foram comparados aos dados fornecidos pela Sociedade Anônima de Água e Esgoto do Crato (SAAEC).

As simulações mostraram que na rede de água atual existem condições de funcionamento discordantes da norma, com pressões dinâmicas e vazões inferiores aos valores estabelecidos pela NBR 12.218 necessitando um estudo de otimização da rede.

Comparando o consumo médio mensal encontrado nas simulações com os dados fornecidos pela SAAEC não foram verificadas perdas de água significativas no sistema, mas o consumo de água obtido com a modelagem difere do valor adotado pela SAAEC para cobrança nas economias sem hidrômetros. O consumo per capita obtido pela simulação 1 foi de próximo ao valor de 150 L/hab. dia e pela simulação 2 o valor foi de 138 L/hab. dia, enquanto que o valor utilizado pela SAAEC é de 154 L/hab. dia, superior aos valores sugeridos pela modelagem hidráulica.

A grande quantidade de ligações sem hidrômetro dificulta a operação ótima do sistema, que depende da quantificação correta entre oferta e demanda, resultando na cobrança justa pelo consumo. Neste sentido, as simulações indicaram que o consumo médio mensal real é inferior ao consumo taxado pela concessionária, sendo recomendável aos consumidores a instalação de hidrômetro.

Este estudo realizado no bairro Mirandão tem caráter preliminar se considerada toda a rede de água instalada no município do Crato e que não apresenta modelos de simulação e operação. Recomenda-se para as próximas pesquisas ampliar o desenvolvimento de modelos para outros bairros do município e o aprimoramento dos dados de entrada por meio de estudos estatísticos e calibração de parâmetros.

## 6. REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. **Perdas em sistemas de água**: Diagnósticos, potencial de ganhos com a sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.211**: Estudo de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

BOAS, Pedro Ricardo Villas. **Modelação de uma rede de distribuição de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

CASTRO, Marcos Aurélio Holanda. **Manual sistema de abastecimento de água simulação e dimensionamento de redes de água e adutoras módulos: UFC2, UFC3, UFC4, UFC5 E UFC6**. Universidade Federal do Ceará, UFC, 2006.

FURUSAWA, Rubens. **Contribuição ao Dimensionamento de Rede de Distribuição de Água por Critério de Custo Global**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

GANEM, Livia; MARTINEZ, Carlos Barreira; JACOB, Ana Cláudia. **Calibração e proposição de melhorias de um sistema de abastecimento de água de uma pequena localidade utilizando o software EPANET**. XX Simpósio brasileiro de recursos hídricos – Bento Gonçalves/RS: 2013.

GOMES, H. P; SALVINO, M. M. **EPANET Manual do usuário**. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – Universidade Federal da Paraíba, UFPB, 2009.

KURODA, E. K.; PÁDUA, L. V. (ORG). **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006, 859 p.

OLIVEIRA, Flávio Miguel Reis. **Redução de perdas reais em sistema de abastecimento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

PORTO, Rodrigo Melo. **Hidráulica básica**. São Carlos: EESC/USP, 2006. 540 p.

SOCIEDADE ANÔNIMA DE ÁGUA E ESGOTO DO CRATO – SAAEC. **Rede de distribuição de água**. Crato, 2017.

## APÊNDICE A – RESULTADOS OBTIDOS NOS NÓS DA REDE

1 BASEADO NA POPULAÇÃO DE PROJETO											
2 BASEADO NO NÚMERO MÉDIO DE LIGAÇÕES											
NÓ	CONSUMO (L/s)		COTA (m)	CARGA (m)		PRESSÃO DINÂMICA (mca)		PRESSÃO ESTÁTICA (mca)		VOLUME CONSUMIDO MENSAL(m³)	
	1	2		1	2	1	2	1	2	1	2
2	0.05	0.04	450.37	459.14	459.17	<b>8.77</b>	<b>8.80</b>	8.92	8.92	129.60	103.68
3	0.02	0.02	451.21	459.14	459.17	<b>7.93</b>	<b>7.96</b>	8.08	8.08	51.84	51.84
4	0.04	0.04	449.57	458.15	458.33	<b>8.58</b>	<b>8.76</b>	9.72	9.72	103.68	103.68
5	0.11	0.10	447.28	457.13	457.46	<b>9.85</b>	10.18	12.01	12.01	285.12	259.20
6	0.05	0.05	447.71	457.13	457.46	<b>9.42</b>	<b>9.75</b>	11.58	11.58	129.60	129.60
7	0.05	0.05	441.36	457.11	457.45	15.75	16.09	17.93	17.93	129.60	129.60
8	0.05	0.05	440.08	457.11	457.45	17.03	17.37	19.21	19.21	129.60	129.60
9	0.04	0.04	440.16	457.11	457.45	16.95	17.29	19.13	19.13	103.68	103.68
10	0.06	0.05	439.05	457.13	457.46	18.08	18.41	20.24	20.24	155.52	129.60
11	0.01	0.01	439.20	457.13	457.46	17.93	18.26	20.09	20.09	25.92	25.92
12	0.01	0.01	438.08	457.13	457.46	19.05	19.38	21.21	21.21	25.92	25.92
13	0.11	0.10	446.15	456.96	457.32	10.81	11.17	13.14	13.14	285.12	259.20
14	0.12	0.11	444.34	453.09	454.05	<b>8.75</b>	<b>9.71</b>	14.95	14.95	311.04	285.12
15	0.10	0.10	442.40	449.72	451.21	<b>7.32</b>	<b>8.81</b>	16.89	16.89	259.20	259.20
16	0.02	0.02	441.13	447.93	449.70	<b>6.80</b>	<b>8.57</b>	18.16	18.16	51.84	51.84
17	0.06	0.05	440.29	446.27	448.29	<b>5.98</b>	<b>8.00</b>	19.00	19.00	155.52	129.60
18	0.04	0.03	438.73	444.46	446.77	<b>5.73</b>	<b>8.04</b>	20.56	20.56	103.68	77.76
19	0.06	0.05	439.29	444.46	446.76	<b>5.17</b>	<b>7.47</b>	20.00	20.00	155.52	129.60
20	0.05	0.04	447.90	456.96	457.32	<b>9.06</b>	<b>9.42</b>	11.39	11.39	129.60	103.68
21	0.04	0.04	448.39	456.96	457.31	<b>8.57</b>	<b>8.92</b>	10.90	10.90	103.68	103.68
22	0.02	0.02	447.39	456.96	457.31	<b>9.57</b>	<b>9.92</b>	11.90	11.90	51.84	51.84
23	0.05	0.05	437.60	456.95	457.31	19.35	19.71	21.69	21.69	129.60	129.60
24	0.05	0.05	445.37	453.09	454.05	<b>7.72</b>	<b>8.68</b>	13.92	13.92	129.60	129.60
25	0.03	0.03	445.33	453.09	454.05	<b>7.76</b>	<b>8.72</b>	13.96	13.96	77.76	77.76
26	0.01	0.01	443.60	453.09	454.05	<b>9.49</b>	10.45	15.69	15.69	25.92	25.92
27	0.05	0.04	436.78	453.09	454.05	16.31	17.27	22.51	22.51	129.60	103.68
28	0.05	0.04	435.30	449.72	451.20	14.42	15.90	23.99	23.99	129.60	103.68
29	0.04	0.04	442.83	449.72	451.20	<b>6.89</b>	<b>8.37</b>	16.46	16.46	103.68	103.68
30	0.03	0.03	442.47	449.72	451.20	<b>7.25</b>	<b>8.73</b>	16.82	16.82	77.76	77.76
31	0.01	0.01	441.28	449.72	451.20	<b>8.44</b>	<b>9.92</b>	18.01	18.01	25.92	25.92
32	0.04	0.04	433.22	444.46	446.76	11.24	13.54	26.07	26.07	103.68	103.68
33	0.04	0.03	438.44	446.27	448.29	<b>7.83</b>	<b>9.85</b>	20.85	20.85	103.68	77.76
34	0.12	0.11	437.27	443.14	445.65	<b>5.87</b>	<b>8.38</b>	22.02	22.02	311.04	285.12
35	0.12	0.11	434.21	440.87	443.73	<b>6.66</b>	<b>9.52</b>	25.08	25.08	311.04	285.12
36	0.03	0.02	432.79	439.64	442.69	<b>6.85</b>	<b>9.90</b>	26.50	26.50	77.76	51.84

## APÊNDICE A (CONTINUAÇÃO) – RESULTADOS OBTIDOS NOS NÓS DA REDE

1 BASEADO NA POPULAÇÃO DE PROJETO											
2 BASEADO NO NÚMERO MÉDIO DE LIGAÇÕES											
NÓ	CONSUMO (L/s)		COTA (m)	CARGA (m)		PRESSÃO DINÂMICA (mca)		PRESSÃO ESTÁTICA (mca)		VOLUME CONSUMIDO MENSAL(m³)	
	1	2		1	2	1	2	1	2	1	2
37	0.12	0.11	431.58	438.13	441.41	<b>6.55</b>	<b>9.83</b>	27.71	27.71	311.04	285.12
38	0.11	0.10	428.90	438.10	441.38	<b>9.20</b>	12.48	30.39	30.39	285.12	259.20
39	0.03	0.03	431.16	438.10	441.38	<b>6.94</b>	10.22	28.13	28.13	77.76	77.76
40	0.10	0.09	430.24	437.76	441.09	<b>7.52</b>	10.85	29.05	29.05	259.20	233.28
41	0.07	0.06	427.59	437.64	441.00	10.05	13.41	31.70	31.70	181.44	155.52
42	0.05	0.05	413.87	437.54	440.91	23.67	27.04	45.42	45.42	129.60	129.60
43	0.03	0.03	413.33	437.51	440.88	24.18	27.55	45.96	45.96	77.76	77.76
44	0.05	0.05	418.57	437.48	440.86	18.91	22.29	40.72	40.72	129.60	129.60
45	0.05	0.04	426.24	437.47	440.85	11.23	14.61	33.05	33.05	129.60	103.68
46	0.03	0.03	427.42	437.47	440.85	10.05	13.43	31.87	31.87	77.76	77.76
47	0.04	0.04	432.83	437.46	440.84	<b>4.63</b>	<b>8.01</b>	26.46	26.46	103.68	103.68
48	0.02	0.02	434.39	437.46	440.84	<b>3.07</b>	<b>6.45</b>	24.90	24.90	51.84	51.84
49	0.01	0.01	435.56	437.46	440.84	<b>1.90</b>	<b>5.28</b>	23.73	23.73	25.92	25.92
50	0.04	0.04	421.68	437.48	440.85	15.80	19.17	37.61	37.61	103.68	103.68
51	0.03	0.02	426.84	437.48	440.85	10.64	14.01	32.45	32.45	77.76	51.84
52	0.02	0.02	425.41	437.47	440.84	12.06	15.43	33.88	33.88	51.84	51.84
53	0.04	0.03	436.55	443.14	445.65	<b>6.59</b>	<b>9.10</b>	22.74	22.74	103.68	77.76
54	0.03	0.03	434.53	440.87	443.73	<b>6.34</b>	<b>9.20</b>	24.76	24.76	77.76	77.76
55	0.05	0.05	431.58	443.14	445.64	11.56	14.06	27.71	27.71	129.60	129.60
56	0.05	0.05	426.10	440.87	443.72	14.77	17.62	33.19	33.19	129.60	129.60
57	0.08	0.08	424.12	437.39	440.78	13.27	16.66	35.17	35.17	207.36	207.36
58	0.10	0.09	423.17	437.26	440.67	14.09	17.50	36.12	36.12	259.20	233.28
59	0.09	0.08	422.27	437.23	440.64	14.96	18.37	37.02	37.02	233.28	207.36
60	0.03	0.02	421.17	437.23	440.64	16.06	19.47	38.12	38.12	77.76	51.84
61	0.02	0.02	420.79	437.23	440.64	16.44	19.85	38.50	38.50	51.84	51.84
62	0.03	0.03	420.23	437.23	440.64	17.00	20.41	39.06	39.06	77.76	77.76
63	0.12	0.11	421.64	437.23	440.64	15.59	19.00	37.65	37.65	311.04	285.12
64	0.03	0.03	423.62	437.23	440.64	13.61	17.02	35.67	35.67	77.76	77.76
65	0.12	0.11	424.72	437.40	440.79	12.68	16.06	34.57	34.56	311.04	285.12
66	0.11	0.10	423.66	437.38	440.77	13.72	17.11	35.63	35.63	285.12	259.20
67	0.05	0.04	422.73	437.37	440.77	14.64	18.04	36.56	36.56	129.60	103.68
68	0.04	0.03	421.11	437.37	440.76	16.26	19.65	38.18	38.18	103.68	77.76
69	0.01	0.01	421.30	437.37	440.76	16.07	19.46	37.99	37.99	25.92	25.92
70	0.07	0.07	425.87	437.37	440.76	11.50	14.89	33.42	33.42	181.44	181.44
71	0.05	0.05	429.17	437.25	440.66	<b>8.08</b>	11.49	30.12	30.12	129.6	129.60
72	0.05	0.05	427.48	437.23	440.64	<b>9.75</b>	13.16	31.81	31.81	129.6	129.60

## APÊNDICE A (CONTINUAÇÃO) – RESULTADOS OBTIDOS NOS NÓS DA REDE

1 BASEADO NA POPULAÇÃO DE PROJETO											
2 BASEADO NO NÚMERO MÉDIO DE LIGAÇÕES											
NÓ	CONSUMO (L/s)		COTA (m)	CARGA (m)		PRESSÃO DINÂMICA (mca)		PRESSÃO ESTÁTICA (mca)		VOLUME CONSUMIDO MENSAL(m³)	
	1	2		1	2	1	2	1	2	1	2
73	0.09	0.08	427.25	437.43	440.81	10.18	13.56	32.04	32.04	233.28	207.36
74	0.10	0.10	427.91	437.44	440.82	<b>9.53</b>	12.91	31.38	31.38	259.20	259.20
75	0.10	0.09	425.42	437.44	440.82	12.02	15.40	33.87	33.87	259.20	233.28
76	0.11	0.10	426.90	437.52	440.89	10.62	13.99	32.39	32.39	285.12	259.20
77	0.11	0.10	428.19	437.47	440.85	<b>9.28</b>	12.66	31.10	31.10	285.12	259.20
78	0.09	0.09	428.70	437.50	440.87	<b>8.80</b>	12.17	30.86	30.86	233.28	233.28
79	0.10	0.09	428.90	437.69	441.04	<b>8.79</b>	12.14	30.39	30.39	259.20	233.28
80	0.02	0.02	430.05	437.88	441.19	<b>7.83</b>	11.14	29.24	29.24	51.84	51.84
81	0.08	0.08	419.66	437.16	440.59	17.50	20.93	39.63	39.63	207.36	207.36
82	0.08	0.07	419.86	437.15	440.58	17.29	20.72	39.43	39.43	207.36	181.44
83	0.05	0.05	416.25	437.14	440.57	20.89	24.32	43.04	43.04	129.60	129.60
84	0.01	0.01	415.78	437.14	440.57	21.36	24.79	43.51	43.51	25.92	25.92
85	0.01	0.01	415.26	437.14	440.57	21.88	25.31	44.03	44.03	25.92	25.92
1	-4.71	-4.31	459.29	459.29	459.29	0	0	0	0	12182.40	11249.28

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

## APÊNDICE B – RESULTADOS OBTIDOS NOS TRECHOS DA REDE

1	BASEADO NA POPULAÇÃO DE PROJETO									
2	BASEADO NO NÚMERO MÉDIO DE LIGAÇÕES									
TRECHO	NÓ INI	NÓ FIN	L (m)	DN (mm)	Q (L/s)		V (m/s)		P.C. (m/Km)	
					1	2	1	2	1	2
1	1	2	9.81	75	4.71	4.31	1.01	0.92	14.85	12.56
2	2	3	68.97	75	0.02	0.02	<b>0</b>	<b>0</b>	0	0
3	2	4	68.50	75	4.64	4.25	0.99	0.91	14.44	12.22
4	4	5	72.08	75	4.60	4.21	0.98	0.90	14.19	12.01
5	5	6	52.93	100	0.20	0.18	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>	0.01	0.01
6	6	7	124.95	50	0.15	0.13	0.06	0.06	0.14	0.1
7	7	8	44.00	50	0.09	0.09	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	0.04	0.04
8	8	9	131.87	50	0.04	0.04	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
9	5	10	171.30	50	0.08	0.07	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	0.04	0.03
10	10	11	14.98	50	0.02	0.02	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.01
11	11	12	27.82	50	0.01	0.01	<b>0</b>	<b>0</b>	0	0
12	5	13	51.85	100	4.21	3.86	<b>0.54</b>	<b>0.49</b>	3.34	2.84
13	13	14	63.70	50	3.95	3.61	1.68	1.54	60.66	51.21
14	14	15	63.27	50	3.68	3.37	1.57	1.44	53.28	44.99
15	15	16	38.10	50	3.45	3.15	1.47	1.35	46.96	39.67
16	16	17	35.80	50	3.43	3.13	1.46	1.34	46.38	39.18
17	17	18	41.17	50	3.33	3.05	1.42	1.30	43.94	37.13
18	18	19	44.24	50	0.10	0.09	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	0.05	0.04
19	13	20	94.13	75	0.11	0.10	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.01	0.01
20	20	21	65.39	75	0.06	0.05	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.01
21	21	22	63.09	75	0.02	0.02	<b>0</b>	<b>0</b>	0	0
22	13	23	161.35	50	0.05	0.05	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
23	14	24	98.20	50	0.10	0.09	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	0.05	0.04
24	24	25	73.09	50	0.04	0.04	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
25	25	26	37.09	50	0.01	0.01	<b>0</b>	<b>0</b>	0.01	0.01
26	14	27	154.86	50	0.05	0.04	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
27	15	28	159.96	50	0.05	0.04	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
28	15	29	81.53	50	0.08	0.08	<b>0.04</b>	<b>0.03</b>	0.04	0.04
29	29	30	62.19	50	0.04	0.04	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
30	30	31	34.34	50	0.01	0.01	<b>0</b>	<b>0</b>	0.01	0
31	19	32	141.24	50	0.04	0.04	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
32	17	33	119.01	50	0.04	0.03	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	0.02	0.02
33	18	34	32.56	50	3.19	2.92	1.36	1.25	40.61	34.32
34	34	35	63.51	50	2.99	2.73	1.28	1.17	35.77	30.24
35	35	36	39.20	50	2.79	2.55	1.19	1.09	31.38	26.54
36	36	37	49.08	50	2.76	2.52	1.18	1.08	30.81	26.06



## APÊNDICE B (CONTINUAÇÃO) – RESULTADOS OBTIDOS NOS TRECHOS DA REDE

1	BASEADO NA POPULAÇÃO DE PROJETO									
2	BASEADO NO NÚMERO MÉDIO DE LIGAÇÕES									
TRECHO	NÓ INI	NÓ FIN	L (m)	DN (mm)	Q (L/s)		V (m/s)		P.C. (m/Km)	
					1	2	1	2	1	2

37	37	38	255.59	50	0.14	0.13	<b>0.06</b>	<b>0.05</b>	0.12	0.09
38	38	39	100.66	50	0.03	0.03	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.01
39	37	40	56.62	50	1.20	1.09	<b>0.51</b>	<b>0.47</b>	6.54	5.55
40	40	41	102.69	50	0.45	0.41	<b>0.19</b>	<b>0.18</b>	1.12	0.96
41	41	42	117.75	50	0.38	0.35	<b>0.16</b>	<b>0.15</b>	0.85	0.72
42	42	43	57.59	50	0.33	0.30	<b>0.14</b>	<b>0.13</b>	0.65	0.56
43	43	44	46.97	50	0.30	0.27	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	0.54	0.47
44	44	45	58.53	50	0.18	0.16	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>	0.22	0.18
45	45	46	13.07	50	0.11	0.10	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	0.05	0.05
46	46	47	101.37	50	0.07	0.06	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	0.03	0.03
47	47	48	35.61	50	0.03	0.03	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.01
48	48	49	29.74	50	0.01	0.01	<b>0</b>	<b>0</b>	0.01	0
49	44	50	63.59	50	0.07	0.06	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	0.03	0.03
50	50	51	83.46	50	0.03	0.02	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.01
51	45	52	78.78	50	0.02	0.02	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.01
52	34	53	119.31	50	0.04	0.03	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	0.02	0.02
53	35	54	107.24	50	0.03	0.03	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.02	0.01
54	34	55	172.70	50	0.05	0.05	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.03	0.02
55	35	56	170.21	50	0.05	0.05	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
56	40	57	170.42	50	0.65	0.59	<b>0.28</b>	<b>0.25</b>	2.14	1.83
57	57	58	49.66	50	0.74	0.68	<b>0.32</b>	<b>0.29</b>	2.72	2.32
58	58	59	51.98	50	0.29	0.26	<b>0.12</b>	<b>0.11</b>	0.51	0.44
59	59	60	23.53	50	0.04	0.04	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
60	60	61	58.97	50	0.02	0.02	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.01
61	59	62	53.47	50	0.11	0.10	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	0.05	0.05
62	62	63	52.89	50	0.07	0.07	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	0.04	0.03
63	63	58	55.11	50	0.31	0.28	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	0.57	0.49
64	63	64	96.57	50	0.03	0.03	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.01
65	57	65	53.33	50	0.18	0.16	<b>0.08</b>	<b>0.07</b>	0.22	0.18
66	65	66	55.97	50	0.28	0.26	<b>0.12</b>	<b>0.11</b>	0.49	0.42
67	66	67	63.66	50	0.10	0.09	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	0.05	0.04
68	67	68	89.93	50	0.05	0.04	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
69	68	69	34.69	50	0.01	0.01	<b>0</b>	<b>0</b>	0.01	0
70	66	70	241.90	50	0.07	0.07	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	0.04	0.03
71	58	71	161.51	50	0.05	0.05	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02
72	59	72	162.98	50	0.05	0.05	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.02	0.02

## APÊNDICE B (CONTINUAÇÃO) – RESULTADOS OBTIDOS NOS TRECHOS DA REDE

1	BASEADO NA POPULAÇÃO DE PROJETO									
2	BASEADO NO NÚMERO MÉDIO DE LIGAÇÕES									
TRECHO	NÓ INI	NÓ FIN	L (m)	DN (mm)	Q (L/s)		V (m/s)		P.C. (m/Km)	
					1	2	1	2	1	2
73	65	73	253.68	50	0.13	0.12	<b>0.06</b>	<b>0.05</b>	0.09	0.08
74	73	74	33.29	50	0.22	0.20	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	0.31	0.28
75	74	75	255.05	50	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>	0	0
76	75	76	53.07	50	0.54	0.50	<b>0.23</b>	<b>0.21</b>	1.58	1.34
77	76	77	254.38	50	0.17	0.15	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>	0.2	0.16
78	77	78	52.37	50	0.27	0.25	<b>0.11</b>	<b>0.10</b>	0.46	0.39
79	78	79	255.60	50	0.36	0.33	<b>0.15</b>	<b>0.14</b>	0.77	0.66
80	79	76	52.09	50	0.82	0.75	<b>0.35</b>	<b>0.32</b>	3.28	2.81
81	65	75	30.42	50	0.45	0.41	<b>0.19</b>	<b>0.17</b>	1.11	0.94
82	77	74	52.88	50	0.33	0.30	<b>0.14</b>	<b>0.13</b>	0.63	0.55
83	79	80	24.74	50	1.28	1.18	<b>0.55</b>	<b>0.50</b>	7.43	6.32
84	80	37	32.97	50	1.30	1.19	<b>0.56</b>	<b>0.51</b>	7.62	6.48
85	63	81	175.67	50	0.23	0.21	<b>0.1</b>	<b>0.09</b>	0.36	0.31
86	81	82	100.09	50	0.15	0.14	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	0.15	0.11
87	82	83	151.93	50	0.07	0.07	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	0.03	0.03
88	83	84	21.80	50	0.02	0.02	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.01
89	84	85	21.29	50	0.01	0.01	<b>0</b>	<b>0</b>	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.