



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – DECA

DAYANA KARLA DE SOUZA GABRIEL

**DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UMA  
ÁREA DELIMITADA DO MUNICÍPIO DE JAPI-RN COM A UTILIZAÇÃO DO  
SISTEMA UFC**

JOÃO PESSOA  
2018

DAYANA KARLA DE SOUZA GABRIEL

**DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UMA  
ÁREA DELIMITADA DO MUNICÍPIO DE JAPI-RN COM A UTILIZAÇÃO DO  
SISTEMA UFC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental- DECA, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Karine Cristiane de Oliveira Souza

JOÃO PESSOA  
2018

G118d Gabriel, Dayana Karla de Souza

Dimensionamento de uma rede de abastecimento de água de uma área delimitada do município de Japi- RN com a utilização do Sistema UFC./ Dayana Karla de Souza Gabriel. – João Pessoa, 2018.

56f. il.:

Orientador: Profa. Dra. Karine Cristiane de Oliveira Souza.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I  
UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1.Dimensionador hidráulico 2.Modelos 3.Otimizador 4.Simulador  
hidráulico 5.Sistema UFC. I. Título

BSCT/UFPB

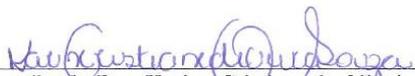
CDU: 2.ed 626(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

DAYANA KARLA DE SOUZA GABRIEL

**DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UMA  
ÁREA DELIMITADA DO MUNICÍPIO DE JAPI-RN COM A UTILIZAÇÃO DO  
SISTEMA UFC**

Trabalho de Conclusão de Curso em 19/06/18 perante a seguinte Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Dra. Karine Cristiane de Oliveira Souza  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

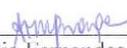
Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Matrícula Siapc: 1668619  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho a Deus, o primeiro em minha vida, a meus pais, Genilda e Arimatéia e a meu noivo, Vitoriano, por todo amor, motivação e apoio.

*“Ora, àquele que é poderoso para fazer infinitamente mais do que tudo quanto pedimos ou pensamos, conforme o seu poder que opera em nós...”*

*Ef3:20*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por ter permitido a concretização de um sonho, Ele que é meu pai e amigo presente, onisciente e onipotente, que me sustentou em todos os dias e se fez mais real nos momentos mais difíceis. A Deus devo tudo.

A minha avó Áurea (*in memoriam*) por ter me ensinado a ser forte e nunca desistir de nada, sei que estaria mais feliz e orgulhosa que eu com essa realização.

A minha mãe Genilda que sempre foi e será um exemplo de força e perseverança, que sempre acreditou em mim e esteve ao meu lado me encorajando quando o desânimo me alcançava e a meu pai, José de Arimatéia, por juntos me apoiarem, me amarem e buscarem me dar o melhor, sem medir esforços independente das circunstâncias. Tenho certeza que fiz por onde deixá-los orgulhosos. A vocês minha vida. Amo vocês incondicionalmente.

A minha irmã Géssyca que sempre esteve pronta a ajudar a realizar meus objetivos acadêmicos e sempre torceu por mim.

Aos meus tios Jorge e Rizete por todo apoio e confiança no meu potencial. Obrigada por acreditarem em mim.

Ao meu pastor, pai e amigo Gentil Menezes, e toda sua família, por abrirem sua casa e família para me acolherem por todos esses anos. Deus os retribua. Sou muito grata a vocês.

Ao meu noivo Vitoriano, a quem amo de forma inigualável e imensurável. Sua presença foi de extrema importância nesta conquista, meu companheiro de estudos, de profissão e de vida. Muito obrigada por existir e ser tão presente em minha vida.

A minha orientadora Karine Oliveira, por todo o empenho em ajudar e ensinar, guiando esse trabalho até sua conclusão. Minha admiração pela competência, atenção, disponibilidade e contribuição que tornaram o período de elaboração do TCC mais leve.

A todos os professores que contribuíram nessa longa jornada acadêmica.

E a todos os meus amigos e familiares, pois sei que a minha realização também é de todos vocês, obrigada por torcerem e orarem por mim.

## RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água, embora de extrema importância para o acesso adequado de água potável à população, ainda existem problemas de atendimento, especialmente nas áreas rurais. É fundamental que o sistema de abastecimento de água opere sem falhas, sendo importante uma boa concepção do projeto. Com o avanço da tecnologia, as tarefas referentes a um projeto de abastecimento de água têm sido facilitadas, os diversos e repetitivos cálculos matemáticos necessários para se encontrar os valores de velocidade e pressão na rede hoje são feitos por modelos de simulação hidráulica, o que garante economia de tempo e dinheiro. Inserido nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo geral dimensionar uma rede de distribuição de água para abastecimento público de uma área delimitada localizada na cidade de Japi-RN por meio do programa computacional Sistema UFC. Com o arquivo (dwg) contendo as curvas de níveis e o arruamento do município, arquivo base para a utilização do Sistema UFC, a caracterização da área de projeto realizada, horizonte de projeto definido, estimativa populacional elaborada, etapas de implantação estabelecidas, nível de atendimento fixo, as estimativas de consumo e vazão de distribuição calculadas, foi possível dimensionar uma rede com a utilização do programa citado. Obteve-se como resultados os comprimentos dos trechos, diâmetros das tubulações, perdas de carga, pressões e velocidades. O Sistema UFC mostrou-se elaborar o dimensionamento de forma prática e rápida, pois realiza todas as tarefas referentes ao traçado e o dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento.

**Palavras-chave:** Dimensionador hidráulico, Modelos, Otimizador, Simulador hidráulico, Sistema UFC.

## ABSTRACT

The water supply systems, although extremely important for proper access to drinking water to the population, attention problems still exist, especially in rural areas. It is essential that the system of water supply operate without flaws, being important a good conception of the project. With the progress of the technology, the tasks regarding a project of water supply have been facilitated, the several and repetitive necessary mathematical calculations to find the values of speed and pressure today in the net are made by models of hydraulic simulation, what guarantees economy of time and money. Inserted in that context, the present study had for objective general of dimensioning a net of distribution of water for public provisioning of an area delimited located in the city of Japi-RN through the program computational System UFC. With the file (dwg) containing the curves of levels and the municipality's street, file base for System UFC use, the characterization of the project area accomplished, horizon of defined project, elaborated population estimate, established implantation stages, level of fixed service, the consumption estimates and distribution flow made calculations, it was possible to size a network using the mentioned program. It was obtained as results the lengths of the passages, diameters of the piping, load losses, pressures and speeds. The UFC System has shown to design the sizing in a practical and fast way, as it performs all the tasks related to the sizing and hydraulic dimensioning of provisioning networks.

**Keywords:** Hydraulic sizer, Models, Optimizer, Hydraulic simulator, UFC system.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Rede ramificada.....  | 20 |
| <b>Figura 2:</b> Rede malhada em blocos. ....  | 21 |
| <b>Figura 3:</b> Rede Mista.....   | 21 |
| <b>Figura 4:</b> Mapa de localização do município do Japi – RN.....                            | 30 |
| <b>Figura 5:</b> Vista aérea do município do Japi – RN.....                                    | 30 |
| <b>Figura 6:</b> Acesso Natal-Japi.....  | 31 |
| <b>Figura 7</b> Área de trabalho delimitada.....   | 34 |
| <b>Figura 8:</b> Ícone e sub-ícone UFC2. ....  | 36 |
| <b>Figura 9:</b> Dimensionamento do reservatório. ....   | 38 |
| <b>Figura 10:</b> Diferenças de níveis adotadas.....   | 39 |
| <b>Figura 11:</b> Definição de padrões iniciais.....   | 40 |
| <b>Figura 12:</b> Distribuição de vazões nos nós UFC.....                                      | 41 |
| <b>Figura 13:</b> Anel e trecho.....   | 41 |
| <b>Figura 14:</b> Janela de opções do EPANET.....  | 42 |
| <b>Figura 15:</b> Restrições impostas ao sistema I.....  | 42 |
| <b>Figura 16:</b> Relatório de advertência gerada pelo EPANET.....                             | 46 |
| <b>Figura 17:</b> Otimização por algoritmo genético do primeiro anel realizado pelo UFC4 ..... | 47 |
| <b>Figura 18:</b> Dimensionamento do primeiro anel realizado pelo UFC4 .....                   | 48 |
| <b>Figura 19:</b> Visão geral do dimensionamento da rede realizado pelo UFC4.....              | 48 |
| <b>Figura 20:</b> Dimensionamento da rede realizado pelo UFC4.....                             | 49 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1:</b> Vazões e reservação calculadas para os anos de 2010 a 2038..... | 45 |
| <b>Tabela 2:</b> Relatório final do dimensionamento gerado pelo UFC4.....        | 50 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| <b>Gráfico 1:</b> População Urbana no município do Japi de 1970-2010..... | 44 |
|---|----|

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

|                |   |
|----------------|---|
| <b>CAERN</b>   | Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte   |
| <b>DATASUS</b> | Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde |
| <b>MCID</b>    | Ministério das Cidades                                |
| <b>SAA</b>     | Sistema de Abastecimento de Água                      |
| <b>SNSA</b>    | Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental           |
| <b>SNIS</b>    | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento      |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | 16 |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....   | 18 |
| <b>2.1 Objetivo geral</b> .....                                     | 18 |
| <b>2.2 Objetivos específicos</b> .....                              | 18 |
| <b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....                               | 19 |
| <b>3.1 Importância do Sistema de Abastecimento de Água</b> .....    | 19 |
| <b>3.2 Redes de distribuição</b> .....                              | 20 |
| <b>3.3 Normas Regulamentadoras</b> .....                            | 22 |
| <b>3.4 Estudo populacional e de demanda</b> .....                   | 22 |
| 3.4.1 Horizonte do projeto.....                                     | 22 |
| <b>3.5 Métodos de previsão da população</b> .....                   | 23 |
| 3.5.1 Estimativa populacional .....                                 | 23 |
| 3.5.1.1 Métodos gráficos .....                                      | 23 |
| 3.5.1.2 Métodos matemáticos.....                                    | 24 |
| <b>3.6 Softwares utilizados em dimensionamento hidráulico</b> ..... | 25 |
| 3.6.1 EPANET.....   | 26 |
| 3.6.2 Sistema UFC .....   | 26 |
| <b>4. METODOLOGIA</b> .....   | 29 |
| <b>4.1 Área de estudo</b> .....                                     | 29 |
| 4.1.1 Localização.....  | 29 |
| 4.1.2 Aspectos climáticos.....                                      | 31 |
| 4.1.3 Aspectos físicos e ambientais.....                            | 31 |
| <b>4.2 Infraestrutura existente</b> .....                           | 32 |
| <b>4.3 Projeção da população</b> .....                              | 32 |
| <b>4.4 Dimensionamento</b> .....                                    | 33 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.4.1 Nível de atendimento .....          | 33        |
| 4.4.2 Estimativa de consumo.....          | 34        |
| 4.4.3 Vazão de distribuição .....         | 35        |
| <b>4.5 Utilização dos softwares .....</b> | <b>36</b> |
| <b>5. RESULTADOS .....</b>                | <b>44</b> |
| <b>6. CONCLUSÕES.....</b>                 | <b>52</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                  | <b>53</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Para que exista vida na Terra é necessário um recurso primordial: a água; sua má utilização e acesso inadequado trazem consequências graves à humanidade, como sua escassez. É de extrema importância que a população tenha acesso a água potável, que seja atendida com água em quantidade e qualidade necessária às suas atividades e que os critérios relacionados à saúde sejam supridos.

Na antiguidade, já existiam sistemas rudimentares como os aquedutos. Atualmente em centros urbanos, as pessoas têm acesso à água potável porque existem sistemas de abastecimento de água – SAA's.

Os sistemas de abastecimento de água, embora de extrema importância para o acesso adequado de água potável à população, ainda existem problemas de atendimento, especialmente nas áreas rurais, o que podemos constatar segundo os dados do SNIS (2016), onde o índice de atendimento total do Brasil é de 83,3% dentro do qual 93% refere-se a zona urbana, enquanto na região nordeste o índice total é de 73,6%, destes 89,3% na área urbana.

Sabe-se que um sistema de abastecimento de água de forma geral é composto por manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento, reservatório e rede de distribuição de água. Sendo a rede, a etapa do sistema mais próxima ao consumidor.

Com o avanço da tecnologia, as tarefas referentes a um projeto de abastecimento de água têm sido facilitadas, os diversos e repetitivos cálculos matemáticos necessários para se encontrar os valores de velocidade e pressão na rede, são hoje feitos por modelos hidráulicos, simulados por computadores, o que garante economia de tempo e dinheiro. Inserido nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo dimensionar uma rede de distribuição de água para abastecimento público de uma área delimitada localizada na cidade de Japi - RN por meio do programa computacional Sistema UFC.

De acordo com o manual, AGENCY (2002), o Sistema UFC é um conjunto de softwares capaz de realizar todas as etapas referentes ao traçado e o dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento de água, adutoras e redes de esgotamento sanitário. Para este trabalho foram utilizadas somente as funções referentes a redes de abastecimento.

O EPANET é um programa simulador hidráulico, muito utilizado em todo o mundo. A versão mais recente – EPANET 2.0 – foi publicada em Setembro de 2000 e tornou o programa comparável, tanto do ponto de vista funcional como da sua facilidade de utilização (AGENCY, 2002).

De forma geral, o trabalho desenvolveu-se em seis capítulos, sendo este o capítulo um, introdutório. No capítulo dois foram abordados os objetivos geral e específico. A fundamentação teórica foi explanada no capítulo três através de tópicos sobre a Importância do Sistema de Abastecimento, Redes de Distribuição, Normas Regulamentadoras, Estudo Populacional e de Demanda, Métodos de Previsão, Taxa de Crescimento e Apresentação do Software de forma mais ampla. O capítulo quatro descreve a metodologia utilizada e no capítulo cinco veem-se os resultados obtidos. Conclui-se, portanto, o presente trabalho no capítulo seis.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é dimensionar uma rede de distribuição de água para uma comunidade através do programa computacional (Sistema UFC).

### **2.2 Objetivos específicos**

Visando o alcance do objetivo geral deste trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Definir a demanda e a reservação de água potável para a comunidade de Japi-RN;
- Avaliar a aplicação dos dois programas no dimensionamento da rede de distribuição de água para a comunidade.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Importância do Sistema de Abastecimento de Água**

Segundo a Lei nº 9.433/1997 a água é considerada um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. A criação de sistemas que possam distribuí-la de forma adequada e mediante parâmetros, como qualidade, para garantir sua potabilidade, é de extrema importância para a população (BRASIL, 2010).

Saneamento básico é um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de quatro condicionantes: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; drenagem urbana e manejo de águas pluviais; e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (LSB, 11445/07). A Lei 11.445/2007 da Política Nacional do Saneamento estabelece diretrizes nacionais e a política federal que regem o saneamento básico em cada município.

O sistema de abastecimento de água, que é um dos pilares do saneamento básico, consiste na captação da água da natureza, tratamento adequado ao uso para garantia da sua qualidade, adução da água, elevatória quando preciso e o seu fornecimento em quantidade adequada às necessidades da população (TSUTIYA, 2006).

O Manual de Saneamento da Funasa BRASIL (2015) define o Sistema de Abastecimento Público de Água como o conjunto de obras, instalações e serviços, destinados a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população. Assim sendo, sua valorização dá-se devido a sua importância social e sanitária, pois colabora no controle e prevenção de doenças, auxilia a limpeza pública, propicia conforto e bem-estar da população, auxilia na implantação de hábitos higiênicos e, aumenta a esperança de vida da população, resultando em uma redução da mortalidade e aumento da produtividade humana.

Um sistema de abastecimento, segundo Tsutyia (2006), é composto por várias etapas até o seu destino final, dentre as quais se podem citar: manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento, reservatório e rede de distribuição de água.

### 3.2 Redes de distribuição

As redes de distribuição são formadas pelas tubulações e acessórios com o objetivo de distribuir a água potável ao consumidor de forma ininterrupta, com qualidade e pressão adequada (TSUTIYA, 2006).

Rede de distribuição de água consiste no trajeto das unidades do sistema de abastecimento até as ligações prediais e é constituída por dois tipos de canalizações: a principal, de maior diâmetro e responsável pelo abastecimento da rede secundária, e as secundárias, consideradas de menor diâmetro e que fornecem água diretamente aos ramais prediais (TSUTIYA, 2006).

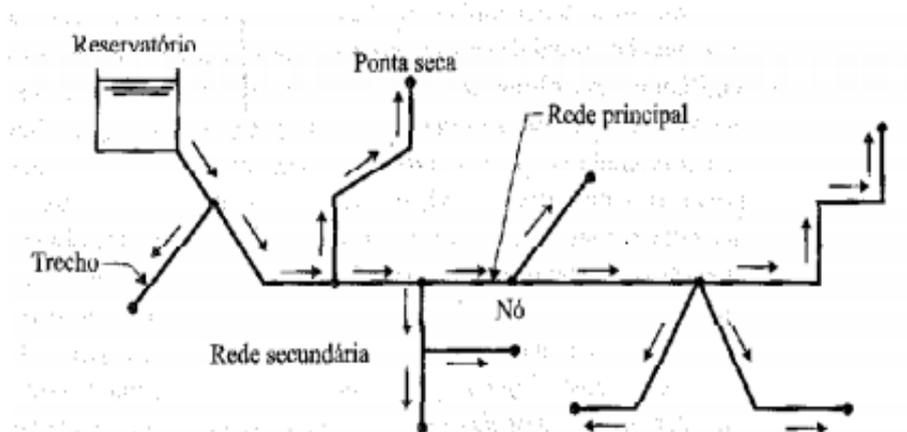
Além dessa classificação, de acordo com a disposição das canalizações, a rede pode ser classificada em ramificada, malhada ou mista, como se pode observar nas Figuras 1, 2 e 3.

A rede ramificada é classificada dessa forma quando o abastecimento se faz diretamente de um reservatório ou estação elevatória alimentando o conduto principal ou tronco e este último por sua vez este alimenta os demais condutos secundários, conhecendo-se assim o sentido e vazão em qualquer trecho.

Os traçados das redes ramificadas podem ser ainda classificados, de acordo com a disposição dos tubos, como:

- Redes em espinha de peixe;
- Redes em grelha.

**Figura 1:** Rede ramificada.

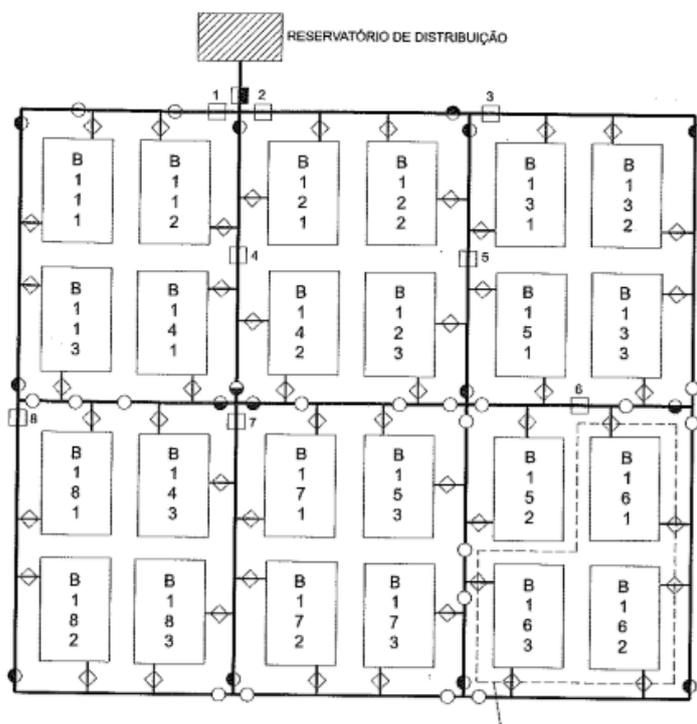


Fonte: Tsutiya, 2006.

As redes malhadas são formadas por condutos que formem anéis, de modo que qualquer ponto do sistema pode ser abastecido por mais de um caminho, garantindo flexibilidade em

satisfazer a demanda e manutenção da rede. Pode ser em forma de anéis ou blocos (TSUTIYA, 2006).

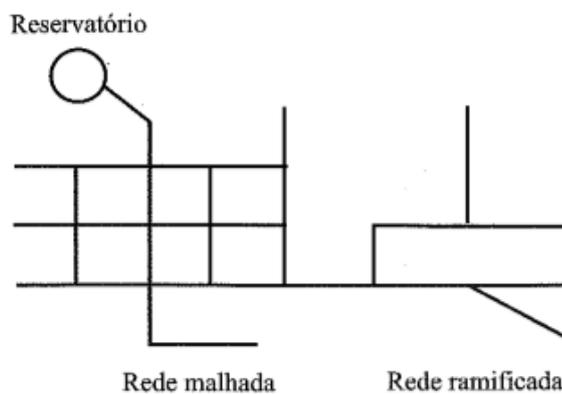
**Figura 2:** Rede malhada em blocos.



Fonte: Tsutiya, 2006.

As redes mistas são formadas pela junção de redes ramificadas e malhadas. Conforme vê-se na Figura 3 (TSUTIYA, 2006).

**Figura 3:** Rede Mista.



Fonte: Tsutiya, 2006.

### **3.3 Normas Regulamentadoras**

As normas tem o objetivo de fixar as condições exigíveis para a elaboração de um determinado estudo (ABNT, 1992). Desta forma, as normas da ABNT aplicáveis ao projetos de redes de abastecimento de água estão listadas abaixo:

- NBR 12.211: Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água, publicada em 1992;
- NBR 12.213: Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público, publicada em 1992;
- NBR 12.214: Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público, publicada em 1992;
- NBR 12.215: Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público, publicada em 1991;
- NBR 12.216: Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público, publicada em 1992;
- NBR 12.217: Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público, publicada em 1994;
- NBR 12.218: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público, publicada em 1994;

### **3.4 Estudo populacional e de demanda**

O sistema de abastecimento só é considerado eficiente se a água distribuída for capaz de suprir à demanda em quantidade e qualidade.

Para projetar um sistema de abastecimento de água é necessário o conhecimento da população total que será abastecida em um período de tempo futuro. A previsão da população futura é realizada através de métodos matemáticos que simulam o crescimento da população para um período de tempo especificado.

#### **3.4.1 Horizonte do projeto**

Antes de se realizar o cálculo da população deve se estabelecer o período de projeto ou plano de projeto, também chamado de horizonte de projeto. O horizonte de projeto é o tempo

em que o sistema funcionará com utilização plena de sua capacidade sem deficiências ou sobrecarga na distribuição comprometendo a qualidade e quantidade de água potável (HELLER & PÁDUA, 2010; TSUTIYA, 2006).

No Brasil, o prazo adotado geralmente varia de vinte a trinta anos, prazo geralmente utilizado devido à amortização integral do capital gasto nas obras (VON SPERLING, 2015).

### **3.5 Métodos de previsão da população**

#### 3.5.1 Estimativa populacional

Segundo Borges *et al.* (2006) e Beneiti (2007), a estimativa de uma população futura é de extrema importância, na medida em que serve de base para qualquer projeto na área de políticas públicas, bem como na prospecção de novos padrões de consumo ou novas demandas no setor privado.

Diversos são os métodos de estimativa de população, logo, não existe um método definitivo, pois os mesmos podem apresentar diferenças, principalmente quando ocorrem mudanças imprevisíveis na variação da população, tais como: implantação de uma grande indústria, descoberta de recursos naturais, implantação de pólo turístico, mudanças de políticas governamentais, etc. Nenhum método tem condição de prever eventos dessa natureza, que resultam em mudanças populacionais bruscas e inesperadas Farias (2009).

Farias (2009) mostra que a projeção da população entre um determinado período pode ser feita através da equação compensadora ou a equação de equilíbrio populacional. Ainda, para se estimar a população podem ser empregados métodos gráficos e matemáticos.

##### 3.5.1.1 Métodos gráficos

A estimativa da população pelos métodos gráficos pode ser feita através do processo de prolongamento da curva de crescimento e pelo processo das curvas de crescimento de outras cidades. Vale enfatizar que se forem utilizadas séries de dados antigas, pode se reproduzir disparidades, pois a natalidade no país tem diminuído de forma acelerada e os dados antigos tendem a majorar o crescimento ou se houver qualquer evento que altere o ritmo de crescimento da população, O método envolve a projeção gráfica dos dados antigos da população. Os dados populacionais de outras cidades similares são plotados de tal maneira que

as curvas sejam coincidentes no valor atual da população da cidade em estudo. Estas curvas são utilizadas como referências na projeção futura da cidade em estudo (QASIM, 1985).

### 3.5.1.2 Métodos matemáticos

Já segundo Von Sperling (2015), utilizando os métodos matemáticos de estimativa populacional, os mais utilizados são:

- Método aritmético;
- Método geométrico;
- Método da curva logística;
- Método do ajustamento linear;
- Método baseado na equação da curva de potência;
- Método baseado na equação exponencial;
- Método baseado na equação logarítmica;
- Método das componentes demográficas;
- Método de tendência de crescimento demográfico.

Sousa (2001) menciona ainda dentro dos métodos matemáticos, o Método dos mínimos quadrados, também citado na NBR 12.211. Este método resume-se no cálculo da equação da reta dos mínimos quadrados para valores obtidos em censos anteriores e a sua extrapolação para anos futuros.

Tsutiya (2006) destaca os três métodos matemáticos mais utilizados nas projeções populacionais, por terem a previsão da população futura estabelecida através de uma equação matemática, cujos parâmetros são obtidos a partir de dados conhecidos: método aritmético, método geométrico e método da curva logística.

Todos os métodos possuem vantagens e desvantagens; o método aritmético é recomendado para projeções pequenas, de 1 a 5 anos, e o método da curva logística precisa atender alguns parâmetros matemáticos (os parâmetros são determinados a partir de três pontos conhecidos  $P_0$  ( $t_0$ ),  $P_1$  ( $t_1$ ) e  $P_2$  ( $t_2$ ) igualmente espaçados no tempo, isto é,  $t_1 - t_0 = t_2 - t_1$ ; os pontos  $P_0$ ,  $P_1$  e  $P_2$  devem ser tais que  $P_0 < P_1 < P_2$  e  $P_0 * P_2 < P_1^2$ ). O método da curva logística mostra tendência de estabilização, usado para grandes cidades.

O método geométrico considera o tempo como um exponencial para o incremento anual sobre a taxa. O crescimento populacional é função da população existente a cada instante.

Fórmula da projeção geométrica:

$$P_t = P_2 * \left(1 + \frac{kg}{100}\right)^{(t-t_2)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde a taxa de crescimento é uma constante:

$$Kg = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Equação 2}$$

- Kg: taxa de crescimento geométrico;
- P<sub>2</sub> e P<sub>1</sub>: população final e inicial conhecidas;
- P<sub>t</sub>: população de projeto;
- t<sub>2</sub> e t<sub>1</sub>: ano final e inicial conhecidos;
- t: ano de final de projeto.

### 3.6 Softwares utilizados em dimensionamento hidráulico

Para se alcançar agilidade e maior precisão muitos modelos de simulação hidráulica tem sido desenvolvidos. Segundo Andrade (2000), utilizações pioneiras de simulação em recursos hídricos são remetidas à década de 1950, com as primeiras publicações sobre pesquisas no desenvolvimento de simulação de sistemas de reservatórios.

Farias (2009) definiu simulação como uma representação matemática dos fenômenos físicos que ocorrem em um sistema e tem como finalidade estudar o seu comportamento sob determinadas condições iniciais.

O dimensionamento de redes de abastecimento pode ser realizado através de diversos modelos de simulação hidráulica como WaterCAD, CRede , EPANET, Sistema UFC, entre outros.

Segundo OGAWA (2015) WaterCAD é um modelo de gestão e distribuição de água, possibilita a modelagem da operação e qualidade da água. Foi desenvolvido pela Bentley e possui como maior vantagem sua capacidade de integração com outros softwares já o CRede é um software desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica da USP e que pode ser usado desde as fases do traçado da rede até a fase de orçamento final (SAMPAIO, 2005). Os programas EPANET e Sistema UFC serão abordados nos próximos tópicos.

### 3.6.1 EPANET

O EPANET, originalmente desenvolvido pela USEPA em 1993, é um software de distribuição gratuita, com código aberto, o que possibilita que qualquer usuário possa modificá-lo de acordo com suas necessidades e seu conhecimento (OGAWA, 2015).

De acordo com Ogawa (2015), a versão nacional foi traduzida e adaptada pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – LENHS, da Universidade Federal da Paraíba – UFPB e funciona nos sistemas operacionais Microsoft® Windows 98 e em suas versões mais recentes. O LENHS adicionou também a extensão LENHSNET, método de dimensionamento econômico de sistemas de distribuição de água. Em seu manual (AGENCY, 2002) são destacadas as principais ferramentas que podem ser usadas nas modelagens, dentre elas:

- Número ilimitado de componentes da rede;
- Cálculo da perda de carga por Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Cálculo de perdas locais;
- Modelagem de bombas, cálculo de energia e seus custos;
- Modelagem dos principais tipos de válvulas;
- Modelagem de reservatórios – tanto de nível fixo quanto de nível variável;
- Modelagem da relação pressão-vazão efluente de dispositivos emissores (aspersores);

Além de poder modelar a qualidade da água, o EPANET é capaz de executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento da água de sistemas de distribuição em pressão.

Ainda segundo o manual, a simulação hidráulica tem como dados de entrada: trechos, a posição dos nós, o consumo base e cota de cada nó, o diâmetro inicial das tubulações, e os dados referentes ao reservatório. Após as simulações, o modelo calcula as cotas piezométricas em cada nó e as velocidades nos trechos, as perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos (ROSSMAN, 2000).

### 3.6.2 Sistema UFC

De acordo com Castro (2017), o Sistema UFC é um conjunto de softwares escritos em diversas linguagens de programação, que executam todas as tarefas referentes ao traçado e dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento de água, adutoras e redes de esgoto sanitário. Desenvolvido pelo Laboratório de Hidráulica Computacional (LAHC) da Universidade Federal do Ceará, tem como principal objetivo a criação de um arquivo de entrada para um programa de simulação hidráulica, que é o EPANET. Composto por sete módulos, onde cada um corresponde a uma atividade, estes são:

- UFC2 - Módulo de desenho e/ou Adutoras no AutoCAD e Interface AutoCAD/EPANET;
- UFC3 - Módulo de inserção de Conexões, numeração dos nós e trechos e elaboração dos Quantitativos em redes de distribuição de água;
- UFC4 - Módulo de Dimensionamento de redes de abastecimento de água;
- UFC5 - Módulo de Seleção de Bombas Hidráulicas;
- UFC7 - Módulo para análise e simulação computacional do Golpe de Aríete em adutoras;
- UFC8 - Módulo de Dimensionamento de Redes de Microdrenagem Urbana;
- UFC9 - Módulo para Traçado e Dimensionamento Hidráulico de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário e Estações Elevatórias de Esgoto.

O módulo UFC2, programado em AutoLISP – linguagem de programação do AutoCAD, é aquele em que a rede e os seus elementos devem ser traçados; ao ser executado, este módulo carrega uma palheta no AutoCAD com os ícones disponíveis para desenho dos elementos da rede a ser modelada, como: tubulação da rede, reservatórios (tipos circular e retangular), booster, poço profundo, estação de bombeamento, manancial, registro, válvula controladora de pressão, conexões, demanda especial, arquivo da demanda, aspersor, adutora e gerador de arquivos do EPANET (CASTRO, 2017).

O sistema UFC utiliza as curvas de nível para definir as cotas dos nós por meio de interpolação e define automaticamente os valores dos coeficientes de rugosidade, a partir da escolha do material e do método de cálculo. As vazões de consumo nodais são encontradas pela vazão em marcha, dependendo assim do comprimento dos trechos (CASTRO, 2017).

O UFC3 define o detalhamento da rede, em relação às peças, importando a rede para o EPANET e exporta os resultados do mesmo, caso seja necessário, de volta para o AutoCAD (CASTRO, 2017).

O UFC4 realiza o dimensionamento de redes por dois métodos distintos: o primeiro é o dimensionamento pela pressão mínima, máxima e velocidade máxima e o segundo é a otimização por algoritmo genético, onde se busca um menor diâmetro possível que atenda os valores de vazão e pressão estabelecidos, garantindo um menor custo (CASTRO, 2017).

O método por algoritmo genético é um método populacional de pesquisa dirigida baseada em probabilidade, resolve problemas que são considerados complexos na aplicação de procedimentos matemáticos tradicionais (OLIVEIRA, 2017)

## **4. METODOLOGIA**

Este trabalho refere-se ao dimensionamento de uma rede de distribuição de água com a utilização dos dois programas computacionais, Sistema UFC e EPANET. O primeiro passo deu-se com a escolha de uma cidade que tivéssemos acesso aos arquivos com curvas de níveis com formatação necessária para o Sistema UFC funcionar corretamente, arquivos estes com as cotas das curvas de níveis na elevação em Z. Escolheu-se a cidade e prosseguiu-se com sua caracterização.

O presente trabalho limita-se ao dimensionamento de uma rede de distribuição a partir do reservatório; não englobando captação, sistema de bombeamento, adutora e estação de tratamento.

### **4.1 Área de estudo**

A localidade de Japi, que era fazenda desde 1784, desenvolveu-se com grande movimentação pastoril agrícola, e a partir da construção da Capela de São Sebastião, surgiu o novo povoado em 1870. Somente no século XIX, devido à movimentação agrícola e pastoril, nasceu o povoado que daria origem ao município, consolidada com a construção de uma capela dedicada a São Sebastião. O nome Japi foi dado pelos tupis xexéu. De ia-pu, o barulho, o ruído, o que faz rumor. O Distrito criado com a denominação de Japi em 21 de dezembro de 1953, subordinado ao município de São José Campestre, foi elevado à categoria de município com a denominação de Japi, em 18 de maio de 1959, desmembrado assim de São José do Campestre. Possui divisão territorial datada de 1 de julho de 1960, o município é constituído apenas do distrito sede. Assim permanecendo em divisão territorial datada de 2007 (IBGE, 2018).

#### **4.1.1 Localização**

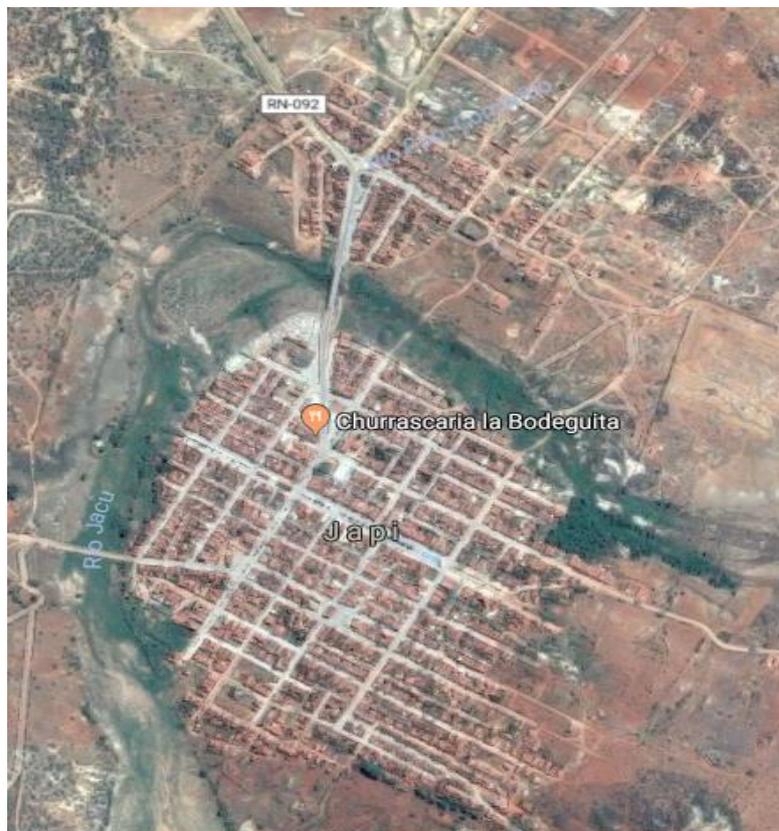
Segundo dados do IBGE (2018a), o município de Japi situa-se na região Nordeste e na unidade da federação do Rio Grande do Norte, localizado na mesorregião geográfica Agreste Potiguar e na microrregião Borborema Potiguar, faz limite com os municípios de São Bento do Trairi, Santa Cruz, Tangará, São José do Campestre e com duas cidades do Estado da Paraíba, Cuité e Araruna. Possui uma área de aproximadamente 200 km<sup>2</sup>. Apresenta-se o município em destaque na Figura 4. Na Figura 5, vê-se a vista aérea do núcleo urbano do município.

**Figura 4:** Mapa de localização do município de Japi – RN.



Fonte: Wikipedia, 2018.

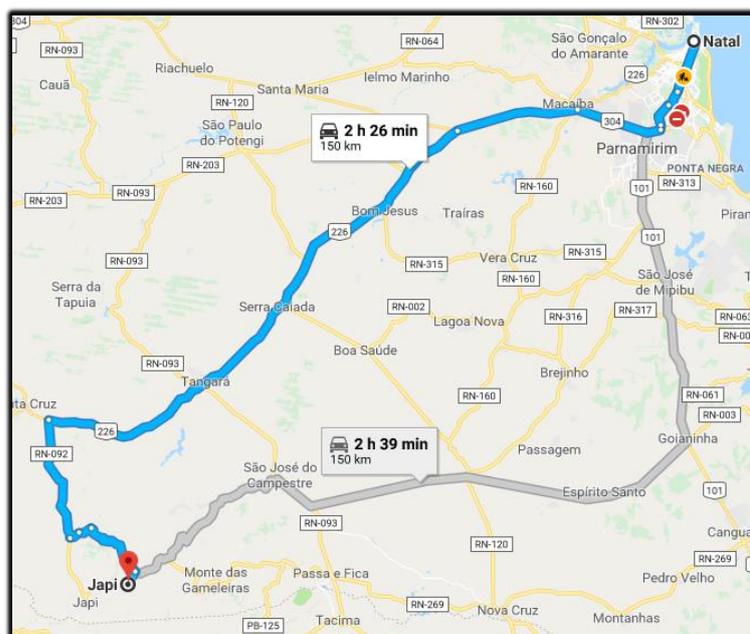
**Figura 5:** Vista aérea do município do Japi – RN.



Fonte: Google Maps, 2018.

Com altitude média de 284m, coordenadas geográficas 06°27'54,0" de latitude sul e 35°56'49,2" de longitude oeste (IBGE, 2018b), a sede do município dista da capital do Rio Grande do Norte cerca de 150 km, possui acesso rodoviário saindo de Natal, pelas rodovias BR 226 e RN 92, conforme ilustrado na Figura 6.

**Figura 6:** Acesso Natal-Japi.



Fonte: Google Maps, 2018.

#### 4.1.2 Aspectos climáticos

De acordo com informações do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA (2008) e INMET (2018), o município apresenta clima do tipo muito quente e semi-árido. Com períodos de chuvas nos meses de março a maio, umidade relativa média anual de 70 a 72%; pluviosidade normal de 546 mm/ano e 2.400 horas de insolação anual. Possui temperaturas médias anuais variando de 18 a 33 °C, com média anual de 27 °C.

#### 4.1.3 Aspectos físicos e ambientais

Segundo dados do Perfil do Município de Japi (IDEMA, 2008), as formações principais de relevo da região são: Serras do Samaraú, do Boqueirão, dos Milagres e do Japi; Planalto da

Borborema, onde se encontram as serras e picos mais altos; Depressão sub-litorânea, localizados entre duas formas de relevo de maior altitude.

O município situa-se com grandes proporções em terrenos formados por granito de granulometria média a grosseira, granitos pórfiros, coloração cinza a cinza claro. Na parte norte do município estão presentes os migmatitos, gnaisses e anfibolitos do Embassamento Cristalino. Geomorfologicamente a predominância é de formas tabulares de relevos, de topo plano, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados geralmente por vales de fundo plano; ao Norte ocorrem formas aguçadas de relevo, geralmente separado por vales em “V”. Recursos Minerais Associados: Complexo Gnáissico-Migmatítico - rocha ornamental especialmente migmatitos utilizado em piso e revestimento; brita e rocha dimensionada utilizada para construção civil.

#### **4.2 Infraestrutura existente**

De acordo com o Relatório anual de 2017 da CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte) diz que o abastecimento de água à população de Japi/RN é realizado através da exploração da Lagoa do Bonfim, através da Adutora Monsenhor Expedito, pertencente à Bacia Hidrográfica Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso. A unidade da empresa responsável pela produção e distribuição de água para consumo humano nesta cidade é a Regional Agreste Trairi. O órgão responsável pela Vigilância da Qualidade da Água neste município é a Secretaria Municipal de Saúde (TOSCANO, COSTA & CHAGAS, 2017).

Segundo Diagnostico de Serviços de Agua e Esgoto - SNIS (2011) o índice de atendimento com rede de água da população total é de 47,8%, enquanto o da população urbana é de 64,3%.

#### **4.3 Projeção da população**

Todos os métodos, já mencionados no item 3.4 Estudo Populacional e de Demanda, possuem vantagens e desvantagens; o método aritmético é recomendado para projeções pequenas, de 1 a 5 anos, e o método da curva logística precisa atender alguns parâmetros matemáticos, já abordados. A partir dos dados dos últimos censos da cidade de Japi estes parâmetros não foram atendidos. Assim, por exclusão, dentre os três métodos apresentados, adotou-se o método geométrico. O horizonte de projeto utilizado foi de 20 anos.

#### 4.3.1 Taxa de crescimento geométrico

Neste trabalho utilizou-se a Taxa Média de Crescimento Geométrico Anual das Capitais da Região Nordeste – 2011-2015, que é de 1,42% para a capital Natal, fornecida pelo estudo de estatística realizado pela SUDENE (2016).

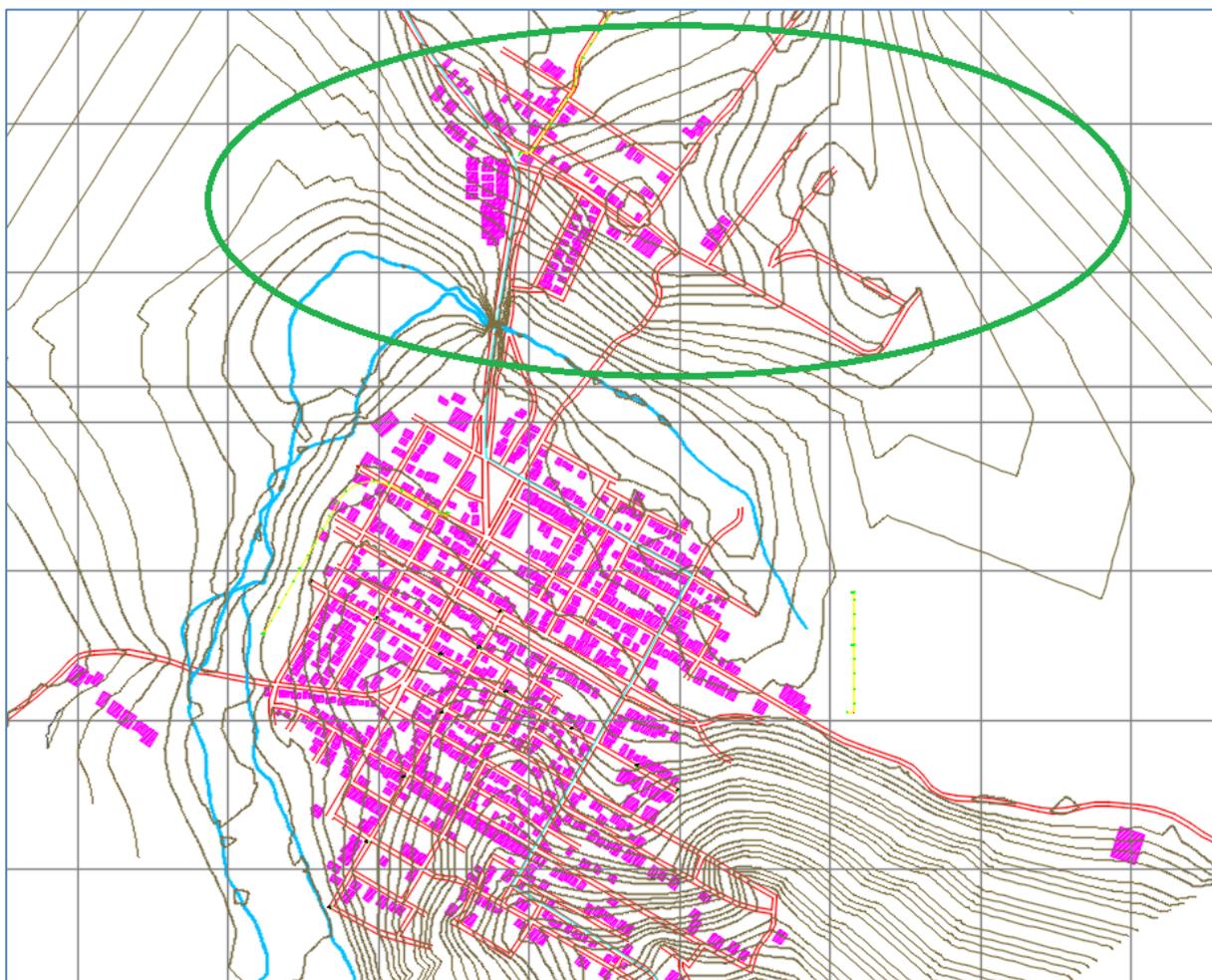
### **4.4 Dimensionamento**

Para o presente estudo foi considerado a implantação de projeto em etapa única por se tratar de uma área pequena.

#### 4.4.1 Nível de atendimento

O dimensionamento foi realizado somente para uma área urbana delimitada e não do município. Neste caso, serão abastecidos pelo sistema somente aqueles que residirem nesta área, assim, o nível de atendimento foi projetado considerando 100% da área escolhida. A área de trabalho encontra-se exibida na Figura 7.

**Figura 7:** Área de trabalho delimitada.



Fonte: Autor, 2018.

#### 4.4.2 Estimativa de consumo

A estimativa de consumo é primordial para a determinação da vazão, e conseqüentemente, do dimensionamento das tubulações e demais estruturas de sistemas de abastecimento de água. Este valor está diretamente ligado a classificação de seus consumidores, podendo estes tradicionalmente ser classificados como domésticos, comerciais, industriais e públicos.

O último valor divulgado pela CAERN no diagnóstico dos serviços de água e esgoto do ano de 2011 para consumo per capita foi de 109,0 L/hab.dia.

O consumo doméstico adotado neste estudo foi igual a 150 L/hab·dia, sendo esse o volume demandado por cada habitante no período de um dia. Segundo Tsutiya (2006) esse é o valor usualmente utilizado.

Vale ressaltar que a área de estudo está localizada, de acordo com imagens aéreas, numa área residencial, não existindo indústrias ou comércios na área, e por este motivo, os valores de consumo industrial e comercial não foram considerados para a estimativa de consumo.

Durante o abastecimento de água, ocorrem variações significativas que devem ser consideradas no dimensionamento, como o dia e a hora de maior consumo. Para estes foram adotados coeficientes para que fosse possível estimar a influência dessas variações, sendo seus valores iguais a  $k_1=1,2$  e  $k_2=1,5$  respectivamente (HELLER & PÁDUA, 2010; TSUTIYA, 2006).

#### 4.4.3 Vazão de distribuição

A vazão de distribuição é o parâmetro fundamental para o dimensionamento de uma rede de distribuição, pois seu cálculo objetiva determinar os diâmetros das tubulações. Para o estabelecimento das vazões de distribuição devem ser considerados valores para atender às áreas específicas de consumo de água em que a localidade ou a área de projeto estiver subdividida, as vazões demandadas por consumidores singulares (grandes consumidores) e as vazões das áreas de expansão. A vazão pode ser obtida através da Equação 3 (HELLER & PÁDUA, 2010; TSUTIYA, 2006):

$$Q = \frac{P \cdot C \cdot k_1 \cdot k_2}{86400} + Q_{esp} \quad \text{Equação 3}$$

Onde: Q (L/dia) é a vazão;

P (hab) é a população total abastecida;

C (L/hab·dia) refere-se ao consumo médio per capita;

$k_1$  (adimensional) é o coeficiente de consumo máximo diário;

$k_2$  (adimensional) é o coeficiente de consumo máximo horário;

$Q_{esp}$  refere-se a vazão necessária para o atendimento de consumidores singulares.

Para encontrar a reservação necessária ao longo dos anos utilizou-se os valores de Q, Q1 e Q2, sendo encontrados de acordo com as Equações 4, 5, 6 e 7.

$$Q = \frac{P \times C}{86400} \quad \text{Equação 4}$$

$$Q1 = \frac{P \times C \times K1}{86400} \quad \text{Equação 5}$$

$$Q2 = \frac{P \times C \times K1 \times K2}{86400} \quad \text{Equação 6}$$

$$\text{Reservação necessária (m}^3\text{)} = \frac{Q1 \times 86,4}{3} \quad \text{Equação 7}$$

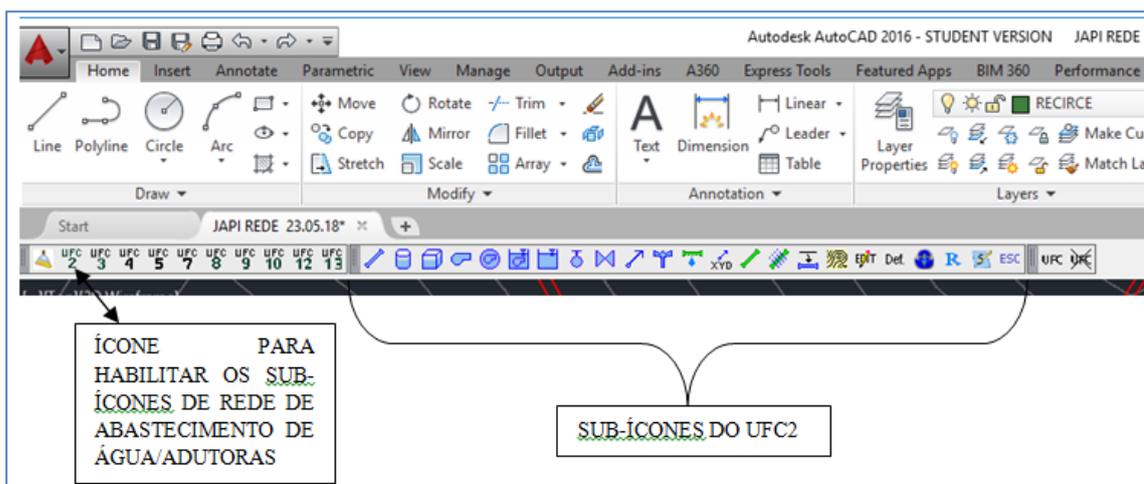
#### 4.5 Utilização dos softwares

Neste trabalho utilizou-se apenas os módulos 2, 3 e 4 do sistema UFC, pois estes se relacionam diretamente à rede de distribuição de água e suas possíveis necessidades, além da importação e exportação do AutoCAD para o EPANET.

De posse do arquivo AutoCAD (dwg) do município de Japi-RN, contendo as curvas de níveis, os arruamentos, edificações, linhas de água e etc., separou-se esse arquivo completo em dois, pois o Sistema UFC baseia-se em dois arquivos AutoCAD, um de curva de nível e outro com tudo que não for curva de nível transformado em bloco.

Logo após, fez-se uso das funções do UFC2 para que se pudesse traçar a rede e utilizar as entidades necessárias para um sistema de abastecimento de água como trechos de rede e reservatórios. Conforme mostra a Figura 8.

**Figura 8:**Ícone e sub-ícone UFC2.



Fonte: Autor, 2018.

Para este dimensionamento fez-se uso das normas brasileiras que fixam as condições exigíveis na elaboração de projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.

As normas regulamentadoras consideradas para o presente estudo foram apenas NBR 12.211: Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água, NBR 12.217: Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público e NBR 12.218: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público.

A Norma Brasileira NBR12218, de 1994, estabelece recomendações com relação às restrições hidráulicas, as quais foram consideradas no presente trabalho:

Dentre elas citamos:

1- A pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 KPa (ou 50 mca), e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa (ou 10 mca).

2- A velocidade mínima nas tubulações deve ser de 0,6 m/s, e a máxima, de 3,5 m/s; estes limites referem-se às demandas máximas diárias no início e no final da etapa de execução da rede.

3- O Diâmetro Nominal (DN) mínimo dos condutos secundários é de 50 mm. OBS: A Velocidade Mínima de 0,6 m/s e o Diâmetro Nominal Mínimo de 50 mm são, muitas vezes, incompatíveis para determinadas situações.

4- O cálculo da perda de carga distribuída deve ser feito preferencialmente pela Fórmula Universal (ou Fórmula de Darcy-Weisbach), considerando, também, o efeito do envelhecimento do material das tubulações da rede.

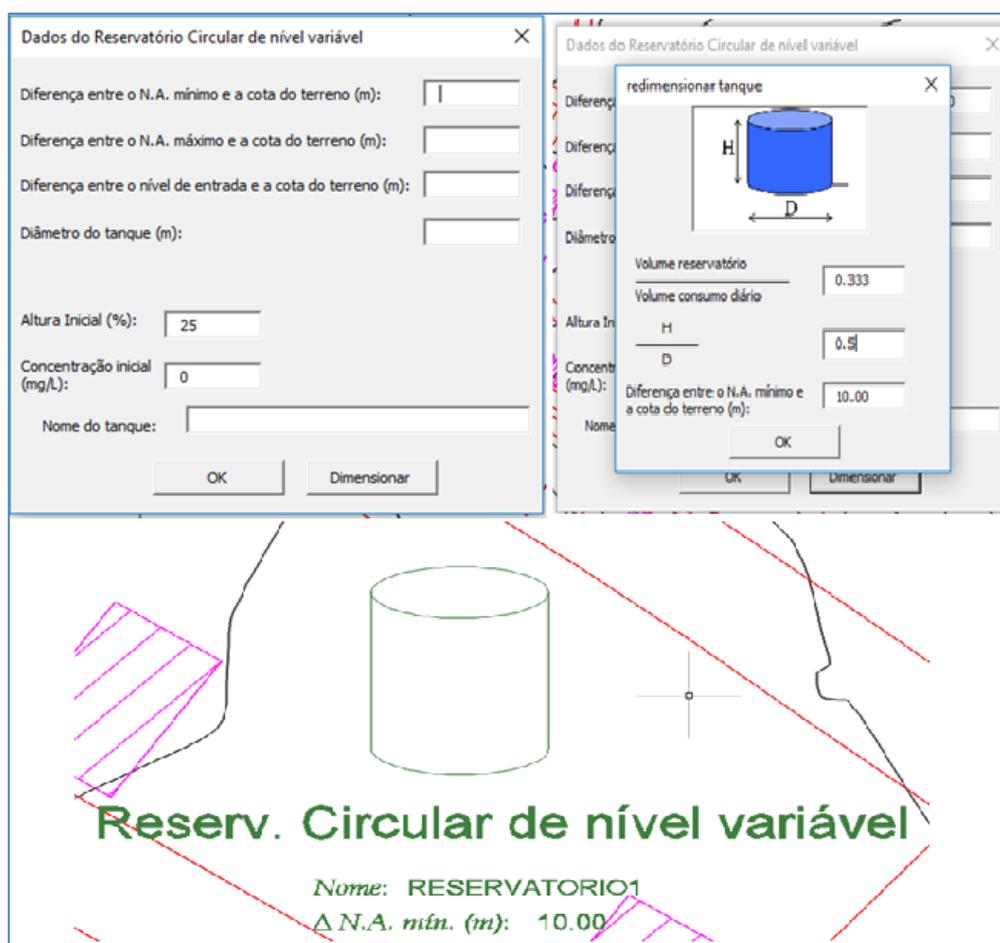
Para o reservatório, escolheu-se o local de cota mais elevada para inserir o reservatório. Considerado reservatório de montante, por caracterizar-se pelas seguintes particularidades: por ele passa toda a água distribuída a jusante e possui a entrada por sobre o nível máximo da água e saída no nível mínimo. O sistema possui apenas uma zona de pressão.

O UFC2 possui dois tipos de reservatório, o circular e o retangular. Optou-se pelo circular, pois um reservatório elevado é considerado mais econômico se sua seção horizontal for circular, as torres com forma cilíndrica têm dimensões econômicas quando a relação entre altura do reservatório propriamente dito e o seu diâmetro estiveram na relação 1:2 (FREITAS, 2007).

A partir da Diferença entre Nível de Água Mínimo e a cota do terreno o Sistema UFC faz o dimensionamento do reservatório para que o volume sugerido para o reservatório seja 1/3 do consumo diário, considerando o dia de maior consumo, ou seja, multiplicando a vazão de consumo médio por  $K1 = 1,2$ ; pois é o volume recomendado para adução contínua como também intermitente, pelo tempo que a adução permanecerá inoperante.

O programa UFC interpola as curvas de níveis onde está inserido o reservatório e calcula automaticamente as demais informações para o dimensionamento correto, fornecendo as diferenças de níveis, diâmetro, etc. A Figura 9 exibe as informações necessárias de entrada para o dimensionamento do reservatório.

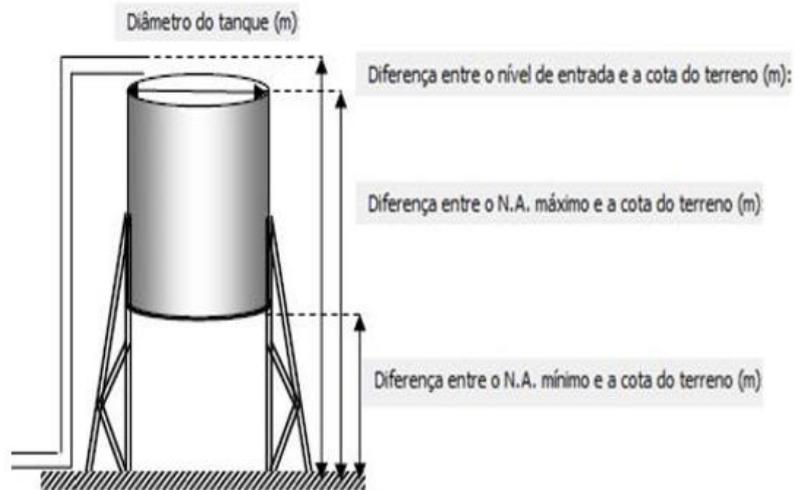
**Figura 9:** Dimensionamento do reservatório.



Fonte: Autor, 2018.

As diferenças de níveis adotadas no dimensionamento do reservatório correspondem a as distâncias expostas na Figura 10.

**Figura 10:**Diferenças de níveis adotadas.



Fonte: Manual do UFC, 2017.

A Norma NBR 12.218/1994 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público sugere que a fórmula adotada preferencialmente para cálculo da perda de carga seja a de Darcy-Weisbach (Fórmula Universal).

Nesta etapa forneceu-se também o consumo per capita e os coeficientes do dia de maior consumo ( $k_1$ ) e da hora de maior consumo ( $k_2$ ), estes já explanados no item 4.5.3 Vazão de distribuição.

Na Figura 11 constam os padrões iniciais utilizadas no dimensionamento da rede.

**Figura 11:** Definição de padrões iniciais.

Definição de padrões

Tubulações | Hidráulica | Material | Geral | Operação

Opções para o cálculo das demandas

Baseado na população de projeto

População de projeto: ... 6100

Baseado no número médio de ligações

Número médio de ligações a cada 100m: 20

Número de pessoas por ligação: 5

Apenas demandas especiais

Consumo per capita de água (L/hab.dia): 150

Coefficiente do dia de maior consumo (k1): 1.2

Coefficiente da hora de maior consumo (k2): 1.5

Fórmula para cálculo da perda de carga:

Darcy-Weisbach  Hazen-Williams

Kb (1/dia): -2.5

Expoente de descarga do emissor: 0.5

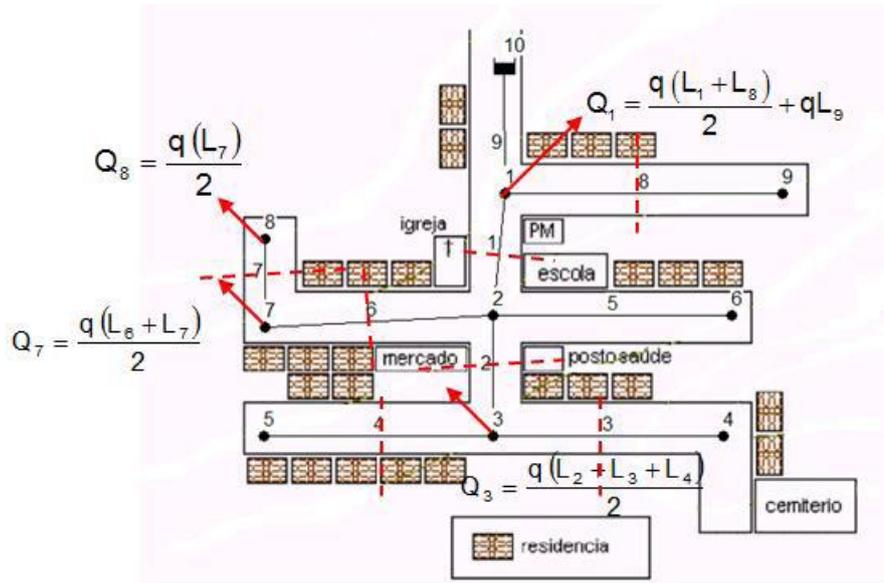
OK Cancelar

Fonte: Autor, 2018.

Depois do reservatório dimensionado e instalado procedeu-se com o traçado dos tubos de rede. Traçou-se todo o primeiro anel. Para o dimensionamento inicial dos tubos foi considerado um diâmetro mínimo de 50mm, seguindo recomendações da NBR 12218 de diâmetros mínimos para condutos secundários.

Com os dados da figura 11 o programa calcula a vazão de projeto. O Sistema UFC distribui a vazão nos nós pelo tamanho dos trechos referentes a cada nó, considerando dessa forma uma vazão de marcha. Pode se entender melhor como o programa realiza a distribuição das vazões através da Figura 12 e Equação 8.

**Figura 12:** Distribuição de vazões nos nós pelo UFC.



Fonte: Manual, 2017.

Após o Programa calcular o valor de  $Q_2$ , encontrada através da Equação 6, ele determina o valor da vazão de consumo em marcha, demonstrada na Equação 8.

$$q = \frac{Q_2}{\sum li} \quad \text{Equação 8}$$

Onde  $\sum li$  é o comprimento total de todos os trechos da rede.

A exibição dos trechos é demonstrada na Figura 13.

**Figura 13:** Anel e trecho.

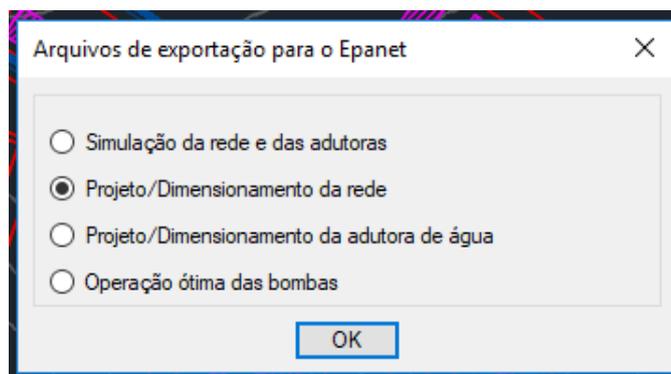


Fonte: Autor, 2018.

Com o primeiro trecho traçado no UFC2 utilizou-se do EPANET, que está inserido no UFC2, gerou-se o arquivo do EPANET e foi feita a simulação da rede pelo EPANET.

Como não foi levada em consideração a adutora no sistema, ou seja, não há produção no sistema, utilizou-se da opção Projeto/Dimensionamento da rede, exposto na Figura 14. Essa opção levou automaticamente a rede para o EPANET. Com isso, não foi mais preciso entrar com os consumos nodais, com as distâncias, com as cotas e nem com os diâmetros.

**Figura 14:**Janelas de opções do EPANET.

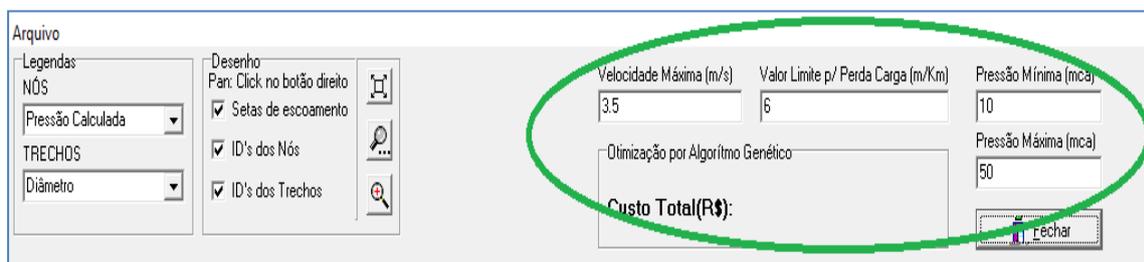


Fonte: Autor, 2018.

A partir deste ponto se fez uso do programa UFC4 que é o módulo do sistema UFC que realiza o dimensionamento de rede de abastecimento de água. Utilizou-se do EPANET apenas para conferir se a simulação seria bem sucedida.

As restrições normativas já citadas são os valores padrões do UFC4 (com exceção da restrição de velocidade mínima, pois o programa calcula a velocidade mais recomendável para cada trecho), conforme mostra a Figura 15.

**Figura 15:** Restrições impostas ao sistema.



Fonte: Autor, 2018.

O limite para perda de carga adotada foi de 6m/km, mas, Gameiro (2003), Oliveira (2011) e Junior (2012) afirmam que para diâmetros menores ou iguais a 400 mm esta perda de carga unitária, dependendo do autor, devem ser no máximo de 8 m/km.

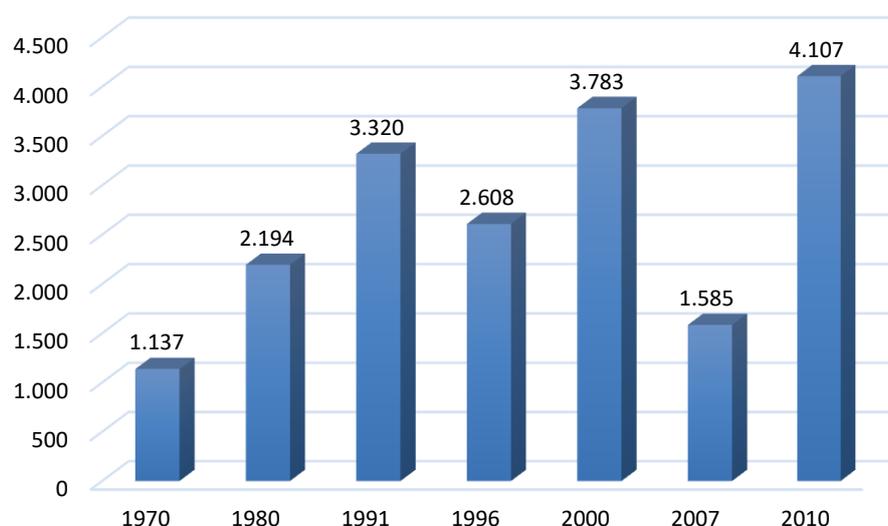
Após o dimensionamento do primeiro anel efetuado pelo UFC4 prosseguiu-se com o traçado dos demais trechos seguindo a mesmo procedimento; sempre trecho a trecho ou anel por anel para que fosse possível diagnosticar qualquer erro. Foi feito isto para toda a área escolhida de estudo.

O dimensionamento foi feito através da “Otimização por Algoritmo Genético”. Ao efetuar a otimização por algoritmo genético, cujo objetivo é a obtenção da rede de menor custo, o programa satisfaz as restrições hidráulicas impostas. Esse modelo foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação onde se busca um menor diâmetro possível que atenda aos valores de vazão e pressão estabelecidos, garantindo um menor custo.

## 5. RESULTADOS

O Gráfico 1 apresenta os dados censitários da população urbana da cidade de Japi, de acordo com isso observa-se que a população urbana oscilou de forma expressiva entre os anos 2000 a 2010.

**Gráfico 1:**População Urbana no município do Japi de 1970-2010.



Fonte: IBGE, 2018.

As projeções para o município em estudo foram obtidas utilizando o método geométrico e taxa de crescimento de 1,42%, com horizonte de projeto de 20 anos, sendo o final de plano o ano 2038. Utilizou-se para o cálculo da projeção da população a Equação 1 do item 3.5.3 Métodos matemáticos.

De posse da estimativa populacional de Japi obteve-se os dados referentes às vazões. As vazões Q, Q1, Q2 e Reservação necessária ao longo dos anos foram encontradas através das equações 4, 5, 6 e 7, respectivamente, apresentadas no item 4.4.3 Vazão de distribuição. A Tabela 1 mostra as projeções populacionais ano a ano, as vazões e reservação calculadas.

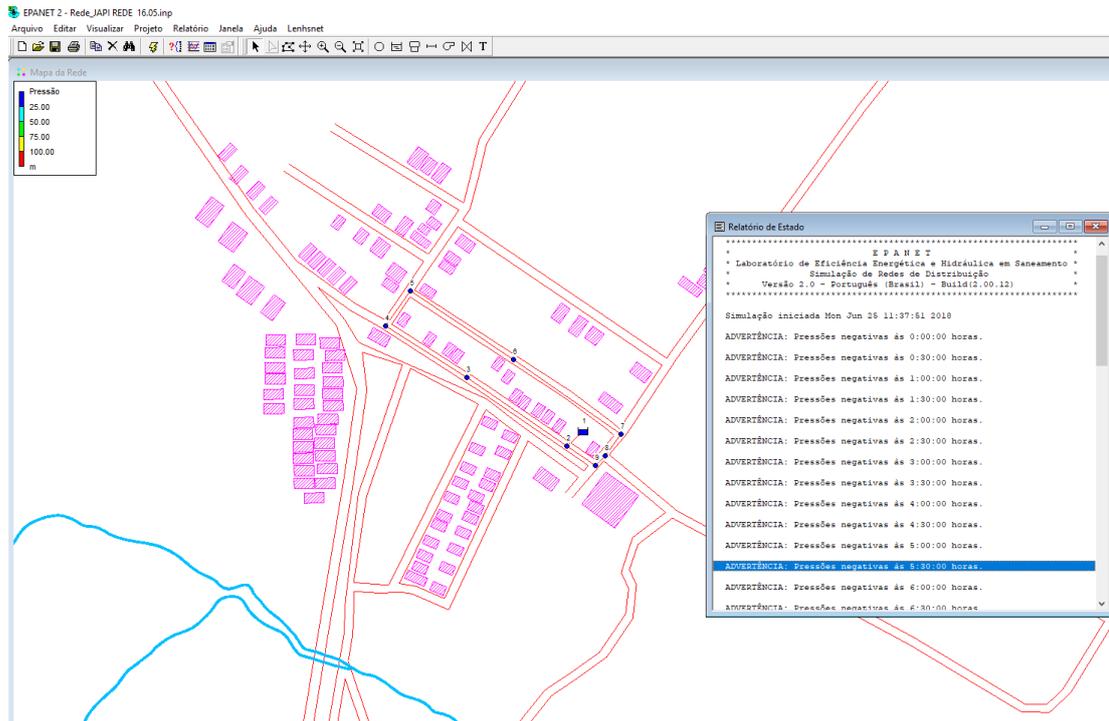
**Tabela 1:** Vazões e reservação calculadas para os anos de 2010 a 2038.

| ANO  | POPULAÇÃO (hab) |            | VAZÃO (l/s) |       |       | Reservação necessária (m3) |
|------|-----------------|------------|-------------|-------|-------|----------------------------|
|      | Total           | Abastecida | Q           | Q1    | Q2    |                            |
| 2010 | 4,107           | 4,107      | 7.13        | 8.56  | 12.83 | 246                        |
| 2011 | 4,165           | 4,165      | 7.23        | 8.68  | 13.02 | 250                        |
| 2012 | 4,224           | 4,224      | 7.33        | 8.80  | 13.20 | 253                        |
| 2013 | 4,284           | 4,284      | 7.44        | 8.93  | 13.39 | 257                        |
| 2014 | 4,345           | 4,345      | 7.54        | 9.05  | 13.58 | 261                        |
| 2015 | 4,407           | 4,407      | 7.65        | 9.18  | 13.77 | 264                        |
| 2016 | 4,470           | 4,470      | 7.76        | 9.31  | 13.97 | 268                        |
| 2017 | 4,533           | 4,533      | 7.87        | 9.44  | 14.17 | 272                        |
| 2018 | 4,597           | 4,597      | 7.98        | 9.58  | 14.37 | 276                        |
| 2019 | 4,663           | 4,663      | 8.09        | 9.71  | 14.57 | 280                        |
| 2020 | 4,729           | 4,729      | 8.21        | 9.85  | 14.78 | 284                        |
| 2021 | 4,796           | 4,796      | 8.33        | 9.99  | 14.99 | 288                        |
| 2022 | 4,864           | 4,864      | 8.44        | 10.13 | 15.20 | 292                        |
| 2023 | 4,933           | 4,933      | 8.56        | 10.28 | 15.42 | 296                        |
| 2024 | 5,003           | 5,003      | 8.69        | 10.42 | 15.64 | 300                        |
| 2025 | 5,074           | 5,074      | 8.81        | 10.57 | 15.86 | 304                        |
| 2026 | 5,146           | 5,146      | 8.93        | 10.72 | 16.08 | 309                        |
| 2027 | 5,219           | 5,219      | 9.06        | 10.87 | 16.31 | 313                        |
| 2028 | 5,294           | 5,294      | 9.19        | 11.03 | 16.54 | 318                        |
| 2029 | 5,369           | 5,369      | 9.32        | 11.18 | 16.78 | 322                        |
| 2030 | 5,445           | 5,445      | 9.45        | 11.34 | 17.02 | 327                        |
| 2031 | 5,522           | 5,522      | 9.59        | 11.50 | 17.26 | 331                        |
| 2032 | 5,601           | 5,601      | 9.72        | 11.67 | 17.50 | 336                        |
| 2033 | 5,680           | 5,680      | 9.86        | 11.83 | 17.75 | 341                        |
| 2034 | 5,761           | 5,761      | 10.00       | 12.00 | 18.00 | 346                        |
| 2035 | 5,843           | 5,843      | 10.14       | 12.17 | 18.26 | 351                        |
| 2036 | 5,926           | 5,926      | 10.29       | 12.35 | 18.52 | 356                        |
| 2037 | 6,010           | 6,010      | 10.43       | 12.52 | 18.78 | 361                        |
| 2038 | 6,095           | 6,095      | 10.58       | 12.70 | 19.05 | 366                        |

Fonte: Autor, 2018.

Para o dimensionamento do primeiro anel, inicialmente, foi gerado uma mensagem de advertência informando pressões negativas, conforme Figura 16.

**Figura 16:** Relatório de advertência gerada pelo EPANET



Fonte: Autor, 2018.

Sabe-se que este tipo de problema pode ser resolvido de três formas: elevando o reservatório de nível variável ou aumentando o diâmetro das tubulações, ou fazendo uso das duas opções anteriores. A solução inicial adotada foi elevar o reservatório, a Diferença entre Nível de Água Mínimo que inicialmente era de 10,00 m foi alterada para 15,00 m.

A partir deste ponto se fez uso do programa UFC4 que é o módulo do sistema UFC que realiza o dimensionamento de rede de abastecimento de água. Utilizou-se do EPANET apenas para conferir se a simulação seria bem sucedida.

Percebeu-se que o programa UFC4 dimensionou todos os trechos e gerou os comprimentos, diâmetros internos, perdas de carga, velocidades e pressões de acordo com a norma.

Após o dimensionamento do primeiro anel executado pelo UFC4, através da otimização por algoritmo genético, obteve-se os valores exibidos na Figura 17, referentes aos novos diâmetros, perdas de carga, velocidades e pressões. A primeira otimização durou apenas 20 segundos.

**Figura 17:** Otimização por algoritmo genético do primeiro anel realizado pelo UFC4.

UFC4 - C:\Users\UFPB\Documents\25.05.18\Rede\_JAPI REDE TCC.inp

Arquivo

Legendas  
 NÓS  
 Pressão Calculada  
 TRECHOS  
 Diâmetro

Desenho  
 Pan: Click no botão direito  
 Setas de escoamento  
 ID's dos Nós  
 ID's dos Trechos

Velocidade Máxima (m/s): 3.5  
 Valor Limite p/ Perda Carga (m/Km): 6  
 Pressão Mínima (mca): 10  
 Pressão Máxima (mca): 50

Otimização por Algoritmo Genético  
**Custo Total(R\$): 31699.50**

Fechar

---

Rede | Otimização Por Algoritmo Genético | Dimensionamento pela Pressão Mínima

Dados Iniciais | Redes Hidráulicamente Possíveis | Gráfico

Opções:  
 População de Diâmetros Inicial: 400  
 Tipo de Seleção: Torneio  
 Taxa de Crossover(%): 95  
 Taxa de Mutação(%): 0.5  
 Número de Gerações: 100

Opções de otimização:  
 Desconsiderar valor limite para a perda de carga  
 Considerar valor limite para a perda de carga após a otimização

**Custo da Rede Ótima(R\$): 31699.50**

| Trechos |                |              |                      |                 | Nós |          |                      |                       |
|---------|----------------|--------------|----------------------|-----------------|-----|----------|----------------------|-----------------------|
| Trecho  | Comprimento(m) | Diâmetro(mm) | Perda de Carga(m/km) | Velocidade(m/s) | Nó  | Cota (m) | Pressão Estática (m) | Pressão Dinâmica(mca) |
| 1       | 24.11          | 156.4        | 1.26                 | 0.43            | 1   | 321.10   | 14.57                | 14.98                 |
| 2       | 9.68           | 156.4        | 1.05                 | 0.39            | 2   | 319.49   | 16.18                | 16.49                 |
| 3       | 18.80          | 156.4        | 0.89                 | 0.35            | 3   | 316.10   | 19.57                | 19.64                 |
| 4       | 91.01          | 100          | 3.52                 | 0.55            | 4   | 316.35   | 19.32                | 19.28                 |
| 5       | 85.88          | 54.6         | 0.77                 | 0.16            | 5   | 319.80   | 15.87                | 15.90                 |
| 6       | 29.54          | 77.2         | 3.70                 | 0.48            | 6   | 321.69   | 13.98                | 14.33                 |
| 7       | 66.51          | 100          | 3.59                 | 0.56            | 7   | 321.10   | 14.57                | 14.93                 |
| 8       | 84.14          | 156.4        | 1.14                 | 0.40            | 8   | 321.10   | 14.57                | 14.94                 |
| 9       | 14.72          | 202.2        | 1.69                 | 0.59            | 9   | 336.10   | -0.43                | 0.00                  |

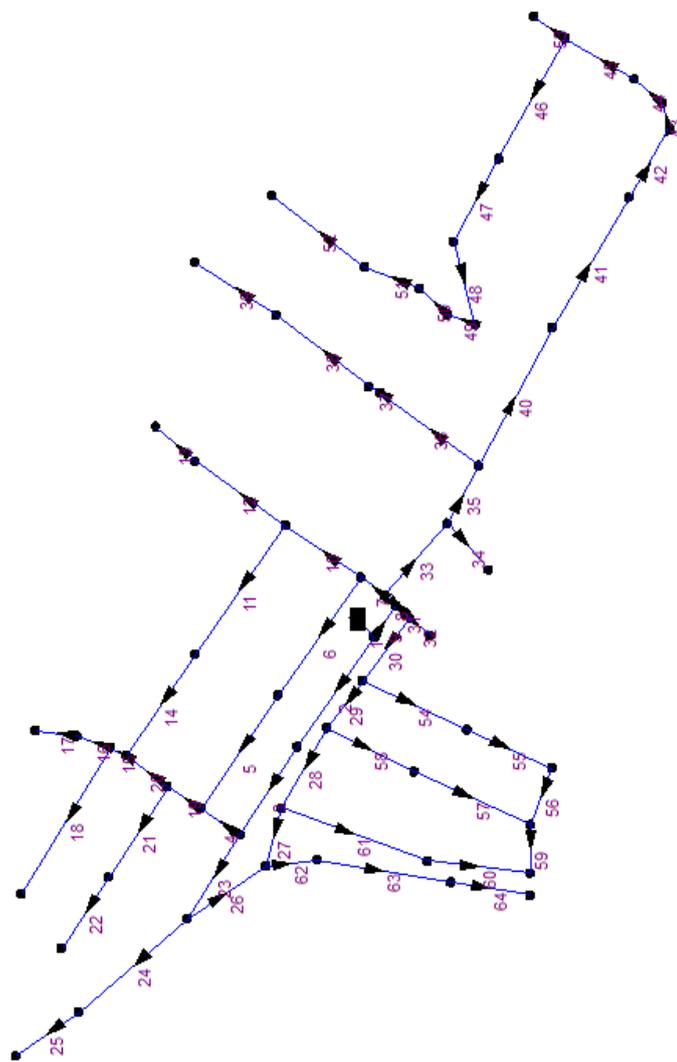
Tempo de processamento: 0min:20s:656ms

Fonte: Autor, 2018.

Conforme mostra a Figura 18, os diâmetros iniciais que antes eram de 50 mm foram recalculados e a rede que antes aparecia pressões negativas agora não aparecem mais (Figura 13).



Figura 20: Dimensionamento da rede realizado pelo UFC4.



Fonte: Autor, 2018.

A Tabela 2 apresenta o relatório gerado pelo UFC4 contendo todos os dados da rede.

A partir da dela, pode-se verificar que:

- Diâmetro: os diâmetros variaram de 54,6mm a 202,2mm (diâmetros internos) atendendo a exigência normativa de menor diâmetro igual ou superior a 50 mm (diâmetro externo);
- Velocidade mínima: todos os trechos apresentaram velocidades mínimas abaixo de 0,6 m/s, com exceção do trecho 53;
- Perda de carga: o valor limite de 6m/km adotado foi obedecido em todos os trechos;
- Pressão estática máxima: todas as pressões estáticas máximas ficaram abaixo de 50 mca;
- Pressão dinâmica mínima: as pressões dinâmicas mínimas ficaram acima de 10 mca., com exceção do nó 58.

**Tabela 2:** Relatório final do dimensionamento da rede gerado do UFC4.

Universidade Federal do Ceará  
 Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental  
 UFC4-Otimização de Redes por Algoritmo Genético  
 C:\Users\UFPB\Documents\25.05.18\Rede\_JAPI REDE 10 JUNHO.inp

| Trecho | L     | D    | PC   | v    | Nó | cota   | PE    | P     |
|--------|-------|------|------|------|----|--------|-------|-------|
| 1      | 61.6  | 77.2 | 0.03 | 0.04 | 1  | 321.1  | 14.88 | 14.97 |
| 2      | 75.84 | 54.6 | 1.84 | 0.25 | 2  | 320.96 | 15.02 | 15    |
| 3      | 38.63 | 54.6 | 1.3  | 0.21 | 3  | 320.06 | 15.92 | 15.78 |
| 4      | 98.36 | 77.2 | 0.72 | 0.19 | 4  | 317.89 | 18.09 | 17.64 |
| 5      | 66.57 | 77.2 | 1.57 | 0.3  | 5  | 317.5  | 18.48 | 17.93 |
| 6      | 29.93 | 100  | 0.63 | 0.21 | 6  | 316.33 | 19.65 | 19.1  |
| 7      | 49.19 | 77.2 | 4.72 | 0.54 | 7  | 320.17 | 15.81 | 15.46 |
| 8      | 55.1  | 77.2 | 3.71 | 0.48 | 8  | 321.68 | 14.3  | 14.25 |
| 9      | 73.45 | 77.2 | 2.63 | 0.39 | 9  | 321.1  | 14.88 | 14.92 |
| 10     | 37.85 | 77.2 | 1.84 | 0.32 | 10 | 321.1  | 14.88 | 14.95 |
| 11     | 85.4  | 54.6 | 1.97 | 0.26 | 11 | 321.29 | 14.69 | 14.74 |
| 12     | 64.96 | 54.6 | 5.27 | 0.45 | 12 | 319.7  | 16.28 | 16.33 |
| 13     | 34.02 | 54.6 | 4.05 | 0.39 | 13 | 321.03 | 14.95 | 14.95 |
| 14     | 53.76 | 54.6 | 3.2  | 0.35 | 14 | 319.4  | 16.58 | 16.58 |
| 15     | 60.01 | 54.6 | 0.23 | 0.08 | 15 | 319.68 | 16.3  | 16.07 |
| 16     | 75.01 | 54.6 | 1.77 | 0.25 | 16 | 316.74 | 19.24 | 18.76 |
| 17     | 60.03 | 77.2 | 2.91 | 0.42 | 17 | 314.43 | 21.55 | 20.87 |
| 18     | 98.79 | 54.6 | 0.53 | 0.13 | 18 | 314.02 | 21.96 | 20.94 |
| 19     | 22.15 | 54.6 | 0.03 | 0.03 | 19 | 323.61 | 12.37 | 11.27 |
| 20     | 24.75 | 77.2 | 0.05 | 0.04 | 20 | 313.27 | 22.71 | 21.35 |
| 21     | 38.42 | 77.2 | 0.01 | 0.02 | 21 | 312.94 | 23.04 | 21.43 |

|    |       |       |      |      |    |        |       |       |
|----|-------|-------|------|------|----|--------|-------|-------|
| 22 | 69.11 | 77.2  | 0.2  | 0.09 | 22 | 314.18 | 21.8  | 20.12 |
| 23 | 10.83 | 100   | 0.23 | 0.12 | 23 | 316.26 | 19.72 | 17.76 |
| 24 | 84    | 54.6  | 2.73 | 0.32 | 24 | 316.13 | 19.85 | 17.89 |
| 25 | 31.77 | 54.6  | 1.81 | 0.25 | 25 | 315.11 | 20.87 | 18.9  |
| 26 | 26.11 | 77.2  | 1.49 | 0.29 | 26 | 313.43 | 22.55 | 20.52 |
| 27 | 92.55 | 77.2  | 1.33 | 0.27 | 27 | 312.24 | 23.74 | 21.68 |
| 28 | 45.14 | 54.6  | 0.11 | 0.06 | 28 | 315.46 | 20.52 | 19.84 |
| 29 | 74.66 | 54.6  | 1.31 | 0.21 | 29 | 313.9  | 22.08 | 21.26 |
| 30 | 57.74 | 77.2  | 4.34 | 0.52 | 30 | 313.92 | 22.06 | 21.24 |
| 31 | 37.95 | 77.2  | 0.01 | 0.02 | 31 | 319.26 | 16.72 | 16.42 |
| 32 | 95.85 | 54.6  | 1.41 | 0.22 | 32 | 318.69 | 17.29 | 16.89 |
| 33 | 87.08 | 54.6  | 5.21 | 0.45 | 33 | 318.2  | 17.78 | 17.38 |
| 34 | 75.93 | 54.6  | 0.34 | 0.1  | 34 | 317.86 | 18.12 | 17.7  |
| 35 | 34.93 | 54.6  | 1.64 | 0.24 | 35 | 315.54 | 20.44 | 19.85 |
| 36 | 27.35 | 77.2  | 0.51 | 0.16 | 36 | 314.64 | 21.34 | 20.69 |
| 37 | 14.67 | 100   | 0.2  | 0.11 | 37 | 314.39 | 21.59 | 20.94 |
| 38 | 51.86 | 54.6  | 5.28 | 0.46 | 38 | 313.1  | 22.88 | 22.21 |
| 39 | 48.05 | 77.2  | 1.52 | 0.29 | 39 | 315.25 | 20.73 | 20.06 |
| 40 | 98.42 | 77.2  | 2.51 | 0.38 | 40 | 313.96 | 22.02 | 21.36 |
| 41 | 67.24 | 77.2  | 3.91 | 0.49 | 41 | 313.7  | 22.28 | 21.62 |
| 42 | 17.62 | 77.2  | 4.73 | 0.54 | 42 | 317.27 | 18.71 | 18.06 |
| 43 | 60.7  | 77.2  | 5.56 | 0.59 | 43 | 318.76 | 17.22 | 16.49 |
| 44 | 94.46 | 100   | 2.06 | 0.41 | 44 | 318.1  | 17.88 | 17.02 |
| 45 | 93.02 | 100   | 2.76 | 0.48 | 45 | 318.3  | 17.68 | 16.81 |
| 46 | 40.97 | 100   | 5.5  | 0.7  | 46 | 317.3  | 18.68 | 17.78 |
| 47 | 38.06 | 54.6  | 0.07 | 0.05 | 47 | 315.45 | 20.53 | 19.49 |
| 48 | 60.89 | 156.4 | 0.72 | 0.31 | 48 | 315.44 | 20.54 | 20.05 |
| 49 | 16.97 | 100   | 0    | 0.01 | 49 | 308.79 | 27.19 | 26.54 |
| 50 | 12.62 | 100   | 1.61 | 0.36 | 50 | 310    | 25.98 | 25.4  |
| 51 | 23.54 | 202.2 | 1    | 0.45 | 51 | 315.64 | 20.34 | 19.95 |
| 52 | 9.93  | 156.4 | 2.32 | 0.59 | 52 | 320.7  | 15.28 | 15.09 |
| 53 | 19    | 100   | 4.76 | 0.65 | 53 | 308    | 27.98 | 27.31 |
| 54 | 82.54 | 77.2  | 3.61 | 0.47 | 54 | 311.4  | 24.58 | 23.8  |
| 55 | 95.28 | 77.2  | 2.19 | 0.36 | 55 | 318.06 | 17.92 | 17.07 |
| 56 | 28.95 | 54.6  | 0.1  | 0.06 | 56 | 311.41 | 24.57 | 23.39 |
| 57 | 22.89 | 77.2  | 4.3  | 0.52 | 57 | 311.17 | 24.81 | 23.63 |
| 58 | 60.19 | 77.2  | 5.14 | 0.57 | 58 | 336.1  | -0.12 | 0     |
| 59 | 36.34 | 100   | 3.33 | 0.54 |    |        |       |       |
| 60 | 30.92 | 100   | 3.63 | 0.56 |    |        |       |       |
| 61 | 18.33 | 202.2 | 1.69 | 0.59 |    |        |       |       |

-----  
 Legenda:

L=comprimento em metros;

D=diâmetro em mm;

PC=perda de carga em m/km;

P=pressão no nó em mca;

PE=pressão estática mca;

v=velocidade em m/s  
 -----

Fonte: Autor, 2018.

## 6. CONCLUSÕES

O objetivo proposto de executar o dimensionamento de uma rede de abastecimento com a utilização do programa computacional Sistema UFC foi alcançado. A caracterização da comunidade em estudo foi realizada, obtendo assim todos os dados necessários para a definição da demanda de água potável para a comunidade.

O sistema UFC apresentou-se automatizado, garantindo, assim, agilidade no dimensionamento. Mostrou-se eficiente, devido a sua maior autonomia com relação ao traçado da rede, apesar de algumas interferências ocorridas durante a elaboração deste trabalho.

Concluiu-se que o usuário não deve se limitar a utilizar um único modelo, podendo, por exemplo, traçar a rede e inserir os dados no UFC, analisar os resultados no EPANET e realizar o detalhamento das conexões no UFC.

Para trabalhos futuros propõe-se que o dimensionamento da rede de abastecimento também poderia ser realizado pelo programa computacional EPANET, através do dimensionador LENHSNET. Podendo assim realizar um estudo mais completo, um comparativo eficiente dos programas e conferencia dos dados finais como diâmetros, pressões, velocidades e perdas de carga.

## REFERÊNCIAS

AGENCY, Lewis A. Rossman Water Supply And Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory United States Environmental Protection. EPANET 2.0 MANUAL DO UTILIZADOR. Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2002. 243 p.

ANA - AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Panorama de qualidade das águas superficiais do Brasil:2012. Brasília: 2012.

ANDRADE, E. L. (2000). Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisão, 2ª ed., LTC, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 14 p.

BENETTI, Joana Kirchner. A UTILIZAÇÃO DA PROJEÇÃO POPULACIONAL NA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE SANEAMENTO BÁSICO: ESTUDO DE CASO, IJUÍ, RS. 2007. 58 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, Rs, 2007.

BORGES, A. S. et al. Projeções populacionais no Brasil: subsídios para seu aprimoramento. Disponível em:< [www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/ABEP2006\\_901](http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/ABEP2006_901)>. Acesso em: 11 de abril de 2018

BRASIL, Lei Nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21, p. 9433-97, 2010.

BRASIL. Constituição (2007). Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Lei 11.445**: Plano Nacional de Saneamento Básico. Brasília, DF.

BRASÍLIA. Léo Heller, et al. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico: PLANSAB**. 2013. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab\\_Versao\\_Consehos\\_Nacionais\\_020520131.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Consehos_Nacionais_020520131.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2018.

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental-SNSA. Sistema de Informações Sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto-2016. Brasília: SNAS/MCIDADES, 2018. 218p.:Il.

Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. – 4. ed. – Brasília: Funasa, 2015.

CARVALHO, Breno Augusto Beltrão Dunaldson Eliezer G. A. da Rocha João de Castro Mascarenhas Luiz Carlos de Souza Júnior Saulo de Tarso Monteiro Pires Valdecílio Galvão Duarte de et al. **DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE JAPI**. 2005. Disponível em: <[http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17002/rel\\_japi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17002/rel_japi.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 10 maio 2018.

CASTRO, Marco Aurélio Holanda de. MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA UFC. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <eng.dayana@gmail.com>. Acesso em: 04 ago. 2017.

DE FIGUEIREDO JÚNIOR, José Vieira; FILHO, Manoel Lucas. Algoritmo para o dimensionamento ótimo de uma rede malhada de distribuição de água a partir do seccionamento fictício. Anais do I SEREA. João Pessoa, 2002.

FARIAS, Emmanuel Eduardo Vitorino de. DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO NO ESTADO DA PARAÍBA - EIXO LESTE: ANÁLISE DE PERDAS. 2009. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

FREITAS, Josimar Pereira. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM RESERVATÓRIO ELEVADO DE ÁGUA PARA UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL. 2007. 129 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes – Rj, 2007.

GAMEIRO, R. C. P. G. Dimensionamento otimizado de redes de distribuição de água com a utilização de algoritmos genéticos. 2003. 70 f. (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2003

HELLER, L; W. L. PÁDUA. Abastecimento de água para consumo humano. Ed. UFMG, 859p. 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/territorio#/N6/2405405>>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de referência geocêntrico para as Américas - SIRGAS. Rio de Janeiro, 2018b.

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande Do Norte. Perfil do Seu Município de Japi. Natal: 2008.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Climatologia. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo2/verProximosDias&code=2405405>>

JUNIOR, J. V. F. M. Comparação de métodos de dimensionamento em redes de distribuição de água. Fortaleza: UFC, 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Fortaleza, 2012.

OGAWA, Fabio Amendola Diuana; Seiti, Caio Contardo Pereira. Análise Comparativa Dos Modelos Hidráulicos Epanet, Watercad E Sistema Ufc Para Sistemas De Abastecimento De Água – Rede De Distribuição. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, UFRJ, Rio de Janeiro, 134p, 2015.

OLIVEIRA, J. F. Otimização de redes de distribuição utilizando programação linear e não-linear. Fortaleza: UFC, 2011. Monografia (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

OLIVEIRA, M.A.; BARBOSA, E.M.; DANTAS NETO, J. Gestão de recursos hídricos no Rio Grande do Norte: Uma análise da implementação da política hídrica/water management in Rio Grande do Norte: a review of the implementation of water policy. HOLOS,v. 29 n, 1, p. 3, 2013.

OLIVEIRA, Nayane Cecília Pereira de. APLICABILIDADE DOS ALGORITMOS GENÉTICOS NA ENGENHARIA CIVIL.2017. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

SAMPAIO, Paulo Victor Melo. **Métodos para o dimensionamento de redes de abastecimento de água.** 2005. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Divisão de Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Ita, São José dos Campos, 2005.

QASIM, S. R. Waste water treatment plants: planning, design and operation. New York: Holt, Rinehartand Winston, 1985 apud VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 2, p. 17-67.

ROSSMAN, L. A., 2000. “EPANET 2 users manual.”U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

SNIS. **Dados Sanitários do Município de Japi**. 2013. Disponível em: <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 16 abril 2018.

SOUSA, Eduardo Ribeiro. **SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA CONSTITUIÇÃO E BASES QUANTITATIVAS DE DIMENSIONAMNETO**. 2001. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2001.

SUDENE. Nordeste em números 2015. Recife: SUDENE, 268 p. 2016.

TOSCANO, Marcelo Saldanha; COSTA, João Alberto Dantas da; CHAGAS, Patrícia Freire. **RELATÓRIO ANUAL 2017 – QUALIDADE DA ÁGUA**. 2017. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/caern/DOC/DOC000000000144578.PDF>>. Acesso em: 15 maio 2018.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VELASCO, Clara. **Apenas 30s cidades do Brasil têm planos municipais de saneamento**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/apenas-30-das-cidades-do-brasil-tem-planos-municipais-de-saneamento.ghtml>>. Acesso em: 12 maio 2018.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 3<sup>a</sup>ed, 2005. 452 p..