



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE TECNOLOGIA | CT**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL | DECA**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**TALLES KENNEDY GOMES BARATA DE OLIVEIRA**

**CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDE DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE JAPI-RN:  
COMPARAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE OTIMIZAÇÃO**

**João Pessoa**

**2018**

**TALLES KENNEDY GOMES BARATA DE OLIVEIRA**

**CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDE DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE JAPI-RN:  
COMPARAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE OTIMIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento à exigência para conclusão de curso de graduação e obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientadora: Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>a</sup> Karine  
Cristiane de Oliveira Souza**

**João Pessoa**

**2018**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

O48c Oliveira, Talles Kennedy Gomes Barata de.  
Concepção e dimensionamento de rede de abastecimento de  
água do Município de Japi-RN: Comparação de modelos  
computacionais de otimização / Talles Kennedy Gomes  
Barata de Oliveira. - João Pessoa, 2018.  
106 f. : il.

Orientação: Karine Cristiane de Oliveira Souza Souza.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Redes de distribuição. 2. Modelagem hidráulica. 3.  
Otimização de redes. 4. Dimensionamento de redes. 5.  
Menor custo. 6. LENHSNET. 7. Sistema UFC. I. Souza,  
Karine Cristiane de Oliveira Souza. II. Título.

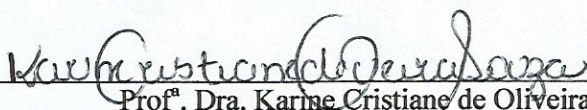
UFPB/BC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

TALLES KENNEDY GOMES BARATA DE OLIVEIRA

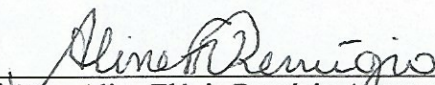
### CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE JAPI-RN: COMPARAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE OTIMIZAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso em 07/11/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:



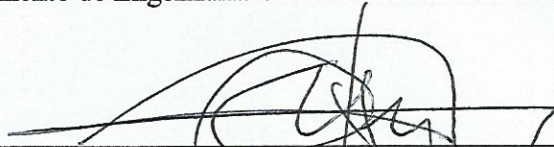
Prof.<sup>a</sup> Dra. Karine Cristiane de Oliveira Souza  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

Aprovado



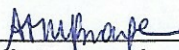
Prof.<sup>a</sup> Dra. Aline Flávia Remígio Antunes  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO



Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Junior  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO



Prof.<sup>a</sup> Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Matrícula Siape: 1668619  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

OLIVEIRA, Talles K. G. B. **Concepção e dimensionamento de Rede de Abastecimento de Água do Município de Japi-RN**: comparação de modelos computacionais de otimização. João Pessoa, 2018.

## RESUMO

Apesar de muito importante para diversos setores de uma comunidade, o acesso à água nem sempre é assegurado com qualidade e quantidade suficientes para a população, pois a construção de uma rede de abastecimento é, geralmente, uma obra de custo bastante elevado. Esse aspecto se torna de especial relevância quando esses custos devem ser supridos pela receita de um município de pequeno porte. Este fato evidencia a necessidade de algumas localidades terem acesso a um sistema de abastecimento planejado e focado no menor custo de implantação e operação. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um dimensionamento econômico, com base no menor custo, para a cidade de Japi, localizada na Unidade Federativa do Rio Grande do Norte, por meio da modelagem e da comparação dos resultados de dois softwares de otimização de redes de abastecimento. Inicialmente, foi realizada a caracterização atual da localidade de modo a obter os dados de projeto atuais e para o final do período de alcance de projeto, com o objetivo de realizar uma concepção adequada para a rede. Após isso, foi realizada a modelagem da rede nos programas EPANET / LENHSNET e UFC (módulos UFC-2 e UFC-4), o dimensionamento e a comparação entre os resultados, os custos da rede e as opções de dimensionamento de cada um. Os resultados obtidos através de ambos os softwares alcançaram um dimensionamento adequado para as especificações normativas e tiveram preços totais da rede semelhantes, quando dimensionados através dos mesmos parâmetros. Apesar disso, notou-se que o Sistema UFC possui mais opções de dimensionamento, como a capacidade de se definir a perda de carga unitária nas tubulações e a possibilidade de avaliar a pressão estática máxima, além de ter dimensionado uma rede menos onerosa.

**Palavras-chave:** Redes de distribuição, Modelagem hidráulica, Otimização de redes, Dimensionamento de redes, Menor custo, LENHSNET, Sistema UFC.

OLIVEIRA, Talles K. G. B. **Concepção e dimensionamento de Rede de Abastecimento de Água do Município de Japi-RN: comparação de modelos computacionais de otimização.** João Pessoa, 2018.

### **ABSTRACT**

Although very important for several sectors of a community, access to water is not always assured with sufficient quality and quantity for the population, since the construction of a water supply network is usually a very expensive project. This aspect is taken into a special relevance when these costs must be met by the income of a small municipality. This fact evidences the need for some localities to have access to a planned supply system and focused on the lower cost of implantation and operation. Thus, the present work aims to develop an economic design, based on the lowest cost, for the city of Japi, located in the Federative Unit of Rio Grande do Norte, by modeling and comparing the results of two optimization software supply networks. Initially, the current characterization of the locality was carried out in order to obtain the current project and the end of the project reach period data, with the objective of accomplishing an adequate design for the network. After that, the network modeling was carried out in the EPANET / LENHSNET and UFC programs (UFC-2 and UFC-4 modules), the sizing and comparison of results, network costs and design options were observed for each one as well. In spite of this, it was noticed that the UFC System has more options of dimensioning, such as the ability to define the unit head loss in the pipes and the possibility of evaluating the maximum static pressure, in addition to having a less expensive network.

**Keywords:** Distribution networks, Hydraulic modeling, Network optimization, Network design, lower cost, EPANET, UFC system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho esquemático das partes de um sistema de abastecimento de água.....	17
Figura 2 - Esquema de rede ramificada.....	19
Figura 3 - Desenho esquemático de rede malhada .....	20
Figura 4 - Esquema de rede mista .....	21
Figura 5 Diagrama de Moody .....	29
Figura 6 - Levantamento topográfico do município de Japi.....	46
Figura 7 - Curva logística: População x anos .....	38
Figura 8 - Nós da rede de Japi .....	53
Figura 9 - Trechos da rede de Jap .....	54
Figura 10 - Configurações pré definidas do EPANET .....	62
Figura 11 - Definição dos parâmetros dos trechos .....	62
Figura 12 - Definição dos parâmetros dos nós.....	62
Figura 13 - Dados da tubulação .....	63
Figura 14 - Restrições normativas LENHSNET.....	64
Figura 15 - Relatório de custos LENHSNET.....	65
Figura 16 - Definição de padrões UFC.....	66
Figura 17 - Dados dos tubos UFC.....	67
Figura 18 - Definição de limites normativos UFC .....	68
Figura 19 - Relatório de custos EPANET.....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise geral do abastecimento de água no Brasil .....	18
Quadro 2 - População urbana de Japi .....	47
Quadro 3 - População de Campo Redondo.....	48
Quadro 4 - População de Jaçanã .....	49
Quadro 5 - Dados Escola Municipal Deputado Marcílio Furtado .....	51
Quadro 6 - Dados Escola Estadual Manoel Medeiros I .....	51
Quadro 7 - Dados Escola Estadual Manoel Medeiros II .....	51
Quadro 8 - Dados Escola Estadual Severina Pontes de Medeiros .....	51
Quadro 9 - Dados Escola Estadual José da Costa Medeiros .....	52
Quadro 10 - Custo dos tubos .....	55
Quadro 11 - Custo assentamento de tubo 50mm .....	56
Quadro 12 - Custo assentamento de tubo 75mm .....	57
Quadro 13 - Custo assentamento de tubo 100mm .....	57
Quadro 14 - Custo assentamento de tubo 150mm .....	58
Quadro 15 - Custo assentamento de tubo 200mm .....	58
Quadro 16 - Custo assentamento de tubo 250mm .....	59
Quadro 17 - Custo assentamento de tubo 300mm .....	60
Quadro 18 – Consumo da Escola Municipal Deputado Marcílio Furtado.....	70
Quadro 19 – Consumo da Escola Estadual Manoel Medeiros I.....	70
Quadro 20 – Consumo da Escola Estadual Manoel Medeiros II.....	70
Quadro 21 – Consumo da Escola Estadual Severina Pontes de Medeiros .....	70
Quadro 22 – Consumo da Escola Estadual José da Costa Medeiros.....	70
Quadro 23 - Composição de tubo 50mm.....	71
Quadro 24 - Composição de tubo 75mm.....	71
Quadro 25 - Composição de tubo 100mm.....	71
Quadro 26 - Composição de tubo 150mm.....	71
Quadro 27 - Composição de tubo 200mm.....	72
Quadro 28 - Composição de tubo 250mm.....	72
Quadro 29 - Composição de tubo 300mm.....	72



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação dos custos das redes .....	76
---	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo principal</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Saneamento básico e abastecimento de água</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>Abastecimento de água no Brasil</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Caracterização das Redes</b> .....	<b>18</b>
3.3.1	Rede Ramificada .....	18
3.3.2	Rede Malhada .....	19
3.3.3	Rede Mista .....	20
<b>3.4</b>	<b>Normas e critérios normativos de dimensionamento hidráulico</b> .....	<b>21</b>
3.4.1	Pressão mínima e máxima .....	22
3.4.2	Velocidade mínima e máxima .....	23
3.4.3	Vazão máxima e mínima .....	23
3.4.4	Diâmetro .....	23
3.4.5	Perda de carga unitária .....	24
<b>3.5</b>	<b>Métodos para dimensionamento de rede</b> .....	<b>24</b>
3.5.1	Equação de fluxo .....	25
3.5.2	Equação da continuidade .....	25
3.5.3	Equação de Bernoulli .....	25
3.5.4	Número de Reynolds .....	26
3.5.5	Equação universal .....	27
3.5.6	Equação de Hazen – Williams .....	30
3.5.7	Procedimentos de dimensionamento .....	31
3.5.7.1	Redes ramificadas .....	31
3.5.7.2	Redes malhadas .....	32
3.5.7.3	Método do Gradiente .....	32
<b>3.6</b>	<b>Estudo de concepção do sistema</b> .....	<b>33</b>
3.6.1	Previsão da população .....	33
3.6.1.1	Alcance do projeto .....	34
3.6.1.2	Métodos para a previsão da população .....	34

3.6.1.2.1	Método dos componentes demográficos.....	35
3.6.1.2.2	Métodos matemáticos .....	36
3.6.1.2.2.1	Método aritmético.....	36
3.6.1.2.2.2	Método geométrico.....	37
3.6.1.2.2.3	Modelo da curva logística.....	37
3.6.1.2.3	Método da extrapolação gráfica .....	39
3.6.2	Previsão da vazão de projeto .....	39
3.6.3	Vazões singulares .....	40
<b>3.7</b>	<b>Cotação dos preços de tubulação e do assentamento.....</b>	<b>41</b>
<b>3.8</b>	<b>Funcionamento dos softwares.....</b>	<b>41</b>
3.8.1	EPANET associado ao LENHSNET .....	42
3.8.2	Sistema UFC .....	42
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
4.1	Caracterização do município de Japi – RN .....	44
4.1.1	Aspectos socioeconômicos .....	44
4.1.2	Aspectos hidrológicos.....	44
4.1.3	Caracterização topográfica da região .....	45
<b>4.2</b>	<b>Previsão da população urbana da cidade de Japi-RN .....</b>	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>Previsão da vazão de projeto .....</b>	<b>49</b>
4.3.1	Cálculo da vazão média .....	49
4.3.2	Cálculo das vazões singulares .....	50
4.3.2.1	Escolas:.....	50
4.3.2.2	Hospitais.....	52
<b>4.4</b>	<b>Concepção da rede .....</b>	<b>52</b>
<b>4.5</b>	<b>Cotação dos preços da tubulação .....</b>	<b>55</b>
4.5.1	Fornecimento da tubulação .....	55
4.5.2	Assentamento da tubulação .....	56
4.5.3	Custo total dos serviços de instalação da tubulação por metro .....	60
<b>4.6</b>	<b>Funcionamento dos softwares e da otimização .....</b>	<b>60</b>
4.6.1	EPANET E LENHSNET .....	61
4.6.2	Sistema UFC – UFC2 e UFC4.....	65
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
<b>5.1</b>	<b>Estimativa da população .....</b>	<b>69</b>

<b>5.2</b>	<b>Vazões de projeto.....</b>	<b>69</b>
5.2.1	Vazão média.....	69
5.2.2	Vazões singulares .....	69
<b>5.3</b>	<b>Composição dos custos do fornecimento e instalação dos tubos .</b>	<b>71</b>
<b>5.4</b>	<b>EPANET / LENHSNET .....</b>	<b>72</b>
<b>5.5</b>	<b>Sistema UFC .....</b>	<b>73</b>
5.5.1	UFC (1).....	74
5.5.2	UFC (2).....	74
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>77</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>
	<b>ANEXO A – DIÂMETROS DOS TRECHOS - LENHSNET .....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXO B – PRESSÕES NOS NÓS - LENHSNET .....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO C – VELOCIDADE E PERDA DE CARGA - LENHSNET .....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXO D – DIÂMETROS DOS TRECHOS – UFC (1).....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO E – VELOCIDADE E PERDA DE CARGA – UFC (1) .....</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXO F – DIÂMETROS DOS TRECHOS – UFC (2) .....</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXO G – PRESSÕES NOS NÓS – UFC (2).....</b>	<b>102</b>
	<b>ANEXO H – VELOCIDADE E PERDA DE CARGA – UFC (2) .....</b>	<b>104</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é, provavelmente, o recurso natural mais importante para a vida e está associada em diversos aspectos com a civilização humana, desde a subsistência até a produção e desenvolvimento econômico. Apesar disso, a falta de abastecimento de água e a escassez é um grande problema atual de escala mundial. Segundo o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2017 cerca de 2,1 bilhões de pessoas, ou seja, um terço da população mundial não tinha acesso à água potável em suas residências.

Mesmo no Brasil, que é um país hidricamente favorecido, cerca de 20% da população não tem acesso à água tratada (SNIS, 2018). A problemática da falta de água é especialmente tangível na região reconhecida como polígono das secas pela Lei 175/36. De acordo com Denys (*et al.*, 2016), essa região, que abrange grande parte do Nordeste brasileiro, é especialmente suscetível a grandes períodos de secas e recorrentes crises hídricas, devido, principalmente, ao índice médio anual de precipitação, que geralmente fica abaixo de 800 mm/ano.

A cidade de Japi, localizada no agreste do estado do Rio Grande do Norte, é um município pertencente ao polígono das secas e possui baixo índice pluviométrico. O sistema de abastecimento de água da cidade, por sua vez é munido de água pela adutora Mosenhor Exedito, maior sistema integrado de abastecimento de água do Estado (CAERN), que abastece 33 municípios. Porém, como forma de garantir a segurança hídrica do município, gerando benefícios de longo prazo como prevenção de doenças, redução das desigualdades, preservação do meio ambiente e desenvolvimento econômico; é necessário, então, assegurar um abastecimento de água seguro e de qualidade.

O sistema de abastecimento é composto por diversas etapas, são elas: captação, adução, tratamento, reservação e distribuição. Segundo Tsutiya (2006), a rede de distribuição é o componente de maior custo do sistema de abastecimento de água, podendo representar entre 50 a 75% do custo total do projeto. Por isso é de extrema importância a elaboração desse sistema de forma que se adeque às exigências normativas, mas principalmente da forma mais racional possível para obter-se um sistema otimizado com o menor custo de execução.

Por estes motivos, atualmente, existem softwares que auxiliam no dimensionamento e otimização das redes de abastecimento, formando sistemas com características satisfatórias e de menor custo de execução do projeto. Alguns exemplos desses softwares que permitem otimização da rede são: EPANET (associado ao algoritmo iterativo de dimensionamento otimizado, LENHSNET) e o UFC-4 (que é o módulo de dimensionamento para redes de abastecimento de água do sistema UFC). Fazendo uso dessas ferramentas, foi possível determinar uma rede de abastecimento para a cidade de Japi por dois meios diferentes e ainda comparar os resultados obtidos e averiguar se houve alguma diferença notável no custo da rede.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é obter uma rede dimensionada e otimizada através do menor custo de instalação do sistema, para o Município de Japi-RN, com o emprego de Softwares de dimensionamento, de modo a atender os critérios normativos. Além disso, busca-se comparar os recursos e resultados dos dimensionamentos obtidos por cada software utilizado: LENHSNET e Sistema UFC.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Conceber o traçado da rede de modo a obter a universalização do atendimento;
- Elaborar a cotação dos preços dos serviços de instalação das tubulações;
- Comparar o dimensionamento realizado por cada software utilizado.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Saneamento básico e abastecimento de água**

O saneamento básico é um dos fatores determinantes e condicionantes para a saúde da população, que é um direito fundamental do ser humano, devendo ser provido pelo Estado, segundo a Lei n. 8.0880/90. Fica claro, então, que é obrigação do Estado intervir e favorecer a população com o abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto sanitário e de resíduos sólidos.

Além de ser um direito constitucional, o investimento em saneamento básico traz inúmeros benefícios para a economia, pois, a falta dele está associada a diversos fatores prejudiciais, como os índices de mortalidade e de morbidade das doenças, afastamentos nos postos de trabalho e redução da vida útil dos cidadãos (ANA, 2008). Neste aspecto, o investimento na distribuição de água torna-se essencial para a saúde da população, controlando doenças e implantando hábitos de higiene pessoal nos beneficiados.

O sistema de abastecimento de água é “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 para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros” (BRASIL, 2004, p. 35). Para conseguir atingir esses objetivos, esse sistema deve ser constituído de vários componentes que possuem uma função específica.

As partes constituintes do sistema de abastecimento público de água são (BRASIL, 2004):

- manancial: fonte de onde se retira água, em condições sanitárias adequadas;
- captação: conjunto de instalações com a empregado para a tomada de água do manancial;
- adução: conjunto de tubulações, peças, acessórios e obras dispostas, mais comumente, entre a captação e a Estação de Tratamento de Água (ETA) e desta até o reservatório de distribuição.



- tratamento: conjunto de procedimentos que visam melhorar as características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas da água, a fim de alcançar os padrões de potabilidade exigidos.

- reservação: constituída de reservatórios para o armazenamento de água que possuem a função de atender as variações do consumo ao longo do dia, garantir a perenidade do abastecimento em casos de paralisação na produção de água, manter a rede adequadamente pressurizada e ter uma reserva de incêndio.

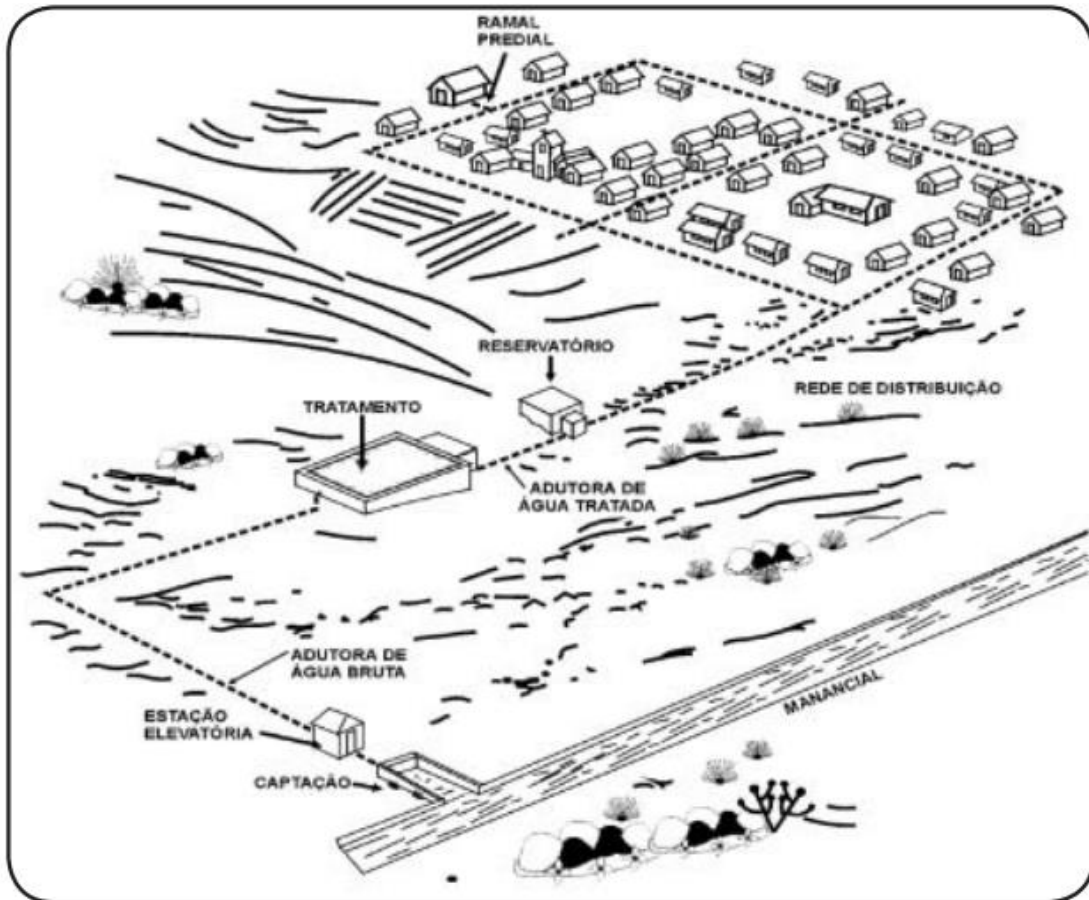
- rede de distribuição: conjunto de tubulações, conexões, registros e peças especiais que distribuem a água aos usuários do sistema;

- estações elevatórias: instalações para transportar e elevar a água;

- ramal predial: é a ligação entre a rede pública e a rede domiciliar;

O esquema mostrado na Figura 1 mostra o processo completo de abastecimento, desde a captação da água bruta no manancial até a entrada na casa do consumidor final, representado pelo ramal predial.

Figura 1 – Desenho esquemático das partes de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: BRASIL, 2004, p. 81.

### 3.2 Abastecimento de água no Brasil

De acordo com dados atualizados, publicados pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), tendo como referência o ano de 2016, foi analisada uma amostra de 5161 municípios abastecidos com o serviço de abastecimento de água. O SNIS é uma ferramenta muito útil e importante de análise da situação do saneamento no Brasil, possuindo informações sobre serviço de água de aproximadamente 92,6% dos municípios brasileiros. Com esses dados podemos traçar uma caracterização do quadro geral em que o Brasil se encontra neste setor. Alguns dados importantes sobre essa análise são mostrados no Quadro 1.

### Quadro 1 - Análise geral do abastecimento de água no Brasil

População atendida (Hab)	Quantidade de ligações	Extensão da rede (km)	Volume produzido (1.000 m <sup>3</sup> /ano)	Volume consumido (1.000 m <sup>3</sup> /ano)	População urbana atendida (Hab)
166.628.834	49.012.282	626.234,96	14.060.843,56	9.770.033,61	158.861.494

Fonte: Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2018)

A partir da análise dos dados do Quadro 1 e sabendo que a população Brasileira estimada em 2016 era de 207,7 milhões de habitantes, observa-se que o índice médio de atendimento da população é de aproximadamente 80,2%, que é um índice relativamente alto, especialmente se considerando que este índice leva em consideração também a população rural brasileira.

Porém, ao notar a discrepância entre o volume produzido e o volume consumido de água, pode-se concluir que os sistemas de abastecimento brasileiros são, em geral, pouco eficientes e geram muitas perdas, causando prejuízos econômicos e ambientais.

### 3.3 Caracterização das Redes

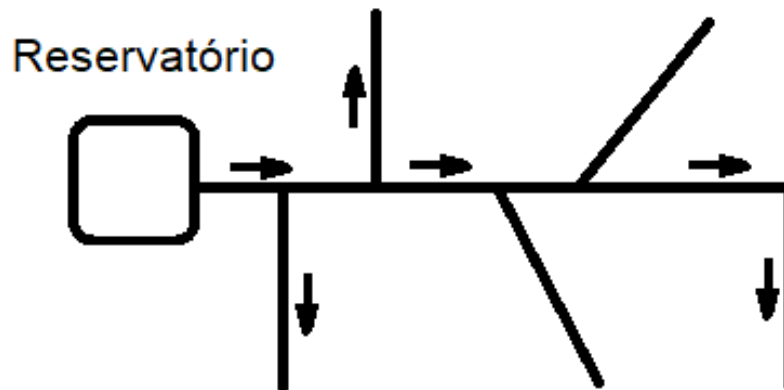
A identificação do tipo de rede depende da disposição dos seus condutos principais e secundários dentro do sistema. Como exposto por Porto (2006), “Os condutos principais são aqueles de maior diâmetro que têm por finalidade abastecer os condutos secundários, enquanto estes, de menor diâmetro, têm a função de abastecer diretamente os pontos de consumo do sistema”. Deve-se, então, analisar o arranjo desses condutos e classificar a rede como rede ramificada, malhada ou mista.

#### 3.3.1 Rede Ramificada

Muito comum em pequenas comunidades ou localidades onde as ruas não se conectam, a rede ramificada é caracterizada pelo abastecimento direto de uma tubulação principal para os condutos secundários, podendo ser facilmente

reconhecido o caminho de escoamento da água através do sistema. Na Figura 2 é ilustrado um esquema de rede ramificada.

**Figura 2 - Esquema de rede ramificada**



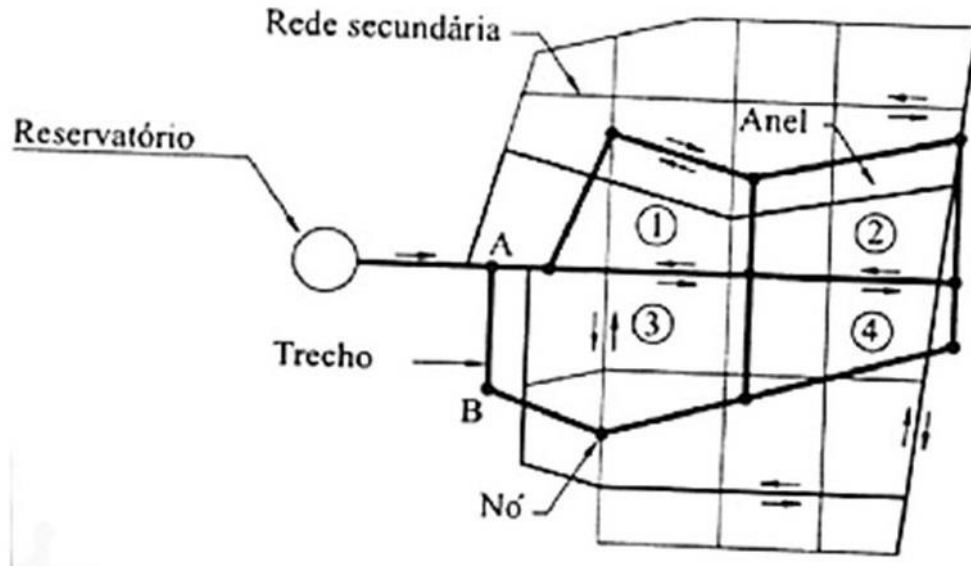
Fonte: Aatoria nossa, 2018

É importante fazer algumas observações sobre o funcionamento da rede ramificada, pois como se pode observar no desenho, qualquer rompimento na tubulação principal da rede causará desabastecimento em todos os trechos a jusante da interrupção.

### 3.3.2 Rede Malhada

“As redes malhadas são constituídas por tubulações principais que formam anéis ou blocos, de modo que, pode-se abastecer qualquer ponto do sistema por mais de um caminho” (TSUTIYA, 2006). Devido a este fato, as redes malhadas conseguem ter um melhor fluxo de manutenção, de forma a não necessitar proceder a interrupção de grandes trechos da rede para a realização de manutenção ou consertos e por não possuírem pontas secas há menor possibilidade de acúmulo de água nas extremidades das tubulações. A Figura 3 é um desenho esquemático de uma rede malhada.

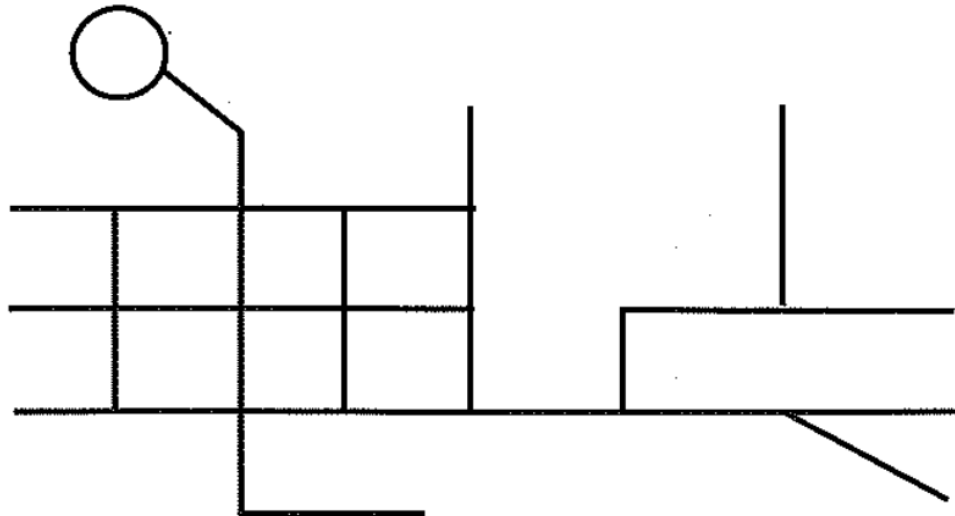
Figura 3 - Desenho esquemático de rede malhada



Fonte: TSUTIYA, 2006

### 3.3.3 Rede Mista

É o tipo de rede predominante na maioria dos sistemas de abastecimento de água brasileiros e consiste em uma “associação de redes ramificadas com redes malhadas” (TSUTIYA, 2006). São redes que geralmente possuem ramos partindo de nós que fazem parte de anéis fechados. Uma figura esquemática de uma rede mista pode ser visualizada na Figura 4.

**Figura 4 - Esquema de rede mista**

Fonte: TSUTIYA, 2006

### **3.4 Normas e critérios normativos de dimensionamento hidráulico**

Existem diversas normas que devem ser aplicadas ao projeto de todas as partes constituintes de um sistema de abastecimento de água, desde a captação até o consumidor final, com o objetivo de estabelecer condições mínimas recomendadas para o bom funcionamento do sistema. As principais normas utilizadas para os fins expostos nesse trabalho são a NBR 12.211/1992 e a NBR 12.218/2017. Porém, a lista de normas específicas empregue para sistemas de abastecimento é mostrada a seguir:

NBR 12.211/1992: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água;

NBR 12.212/2017: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea;

NBR 12.213/1992: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público;

NBR 12.214/1992: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público;

NBR 12.215-1/2017: Projeto de adutora de água;

NBR 12.216/1992: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público;

NBR 12.217/1994: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público;

NBR 12.218/2017: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público;

Para o pleno atendimento das condições dispostas nesta última, devem ser observados e controlados alguns critérios estabelecidos que façam referência a pressão, velocidade, vazão, diâmetro e perda de carga unitária. Esses critérios estão enunciados a seguir:

#### 3.4.1 Pressão mínima e máxima

A NBR 12.218 define uma faixa de pressões na qual o sistema deverá funcionar, delimitado pelo que é estabelecido no item 5.4: os limites de pressão estática máxima e pressão dinâmica mínima.

Pressão estática, ainda segundo a NBR 12.218/2017, é definida como “Pressão referida ao eixo da via pública, em determinado ponto da rede, sob condição de consumo nulo”. Segundo Furusawa (2011), a limitação para a pressão estática máxima está relacionada com a resistência das tubulações e com as perdas físicas de água (quanto maior a pressão, maior as perdas de água).

Pressão dinâmica, segundo a definição da NBR 12.218/2017 é a “Pressão, referida ao nível do eixo da via pública, em determinado ponto da rede, sob condição de consumo não nulo”. De acordo com Furusawa (2011), propõe-se esse limite com o intuito de garantir o atendimento adequado nos pontos de consumo, mesmo em condições de funcionamento pleno da rede.

Os limites para as situações acima dispostas são:

Pressão estática máxima: 50 m.c.a (500kPa);

Pressão dinâmica mínima 10 m.c.a (100kPa).

#### 3.4.2 Velocidade mínima e máxima

A limitação de uma faixa de velocidade de escoamento dentro da tubulação está relacionada, segundo Tsutiya (2006), a durabilidade das peças e questões econômicas, pois velocidades menores favorecem a durabilidade dos tubos, reduzindo abrasão. Já as velocidades maiores estão relacionadas a maiores vazões e por consequência, uma rede mais econômica com tubos de menor diâmetro, porém com maiores custos energéticos e maiores perdas e desgaste.

A faixa de velocidades admitidas pela norma NBR 12218/1994 é:

Velocidade mínima: 0,6 m/s;

Velocidade máxima: 3,5 m/s.

#### 3.4.3 Vazão máxima e mínima

A norma não se refere diretamente a uma limitação da vazão de escoamento. Porém esse limite está relacionado com a limitação da velocidade. Além disso, as vazões devem, ainda, serem capazes de atender as demandas do sistema na situação mais desfavorável.

#### 3.4.4 Diâmetro

Segundo a NBR 12218/1994, o diâmetro mínimo para tubulações secundárias é de 50 mm. Sendo obrigatória a previsão de tubulações secundárias para abastecimento quando o diâmetro da tubulação principal for superior a 300 mm. Apesar disso, a norma não cita uma determinação de diâmetros mínimos para as



tubulações principais, devendo principalmente ser observado os critérios de pressão para o seu dimensionamento.

#### 3.4.5 Perda de carga unitária

Apesar de não ser expressa, na norma, uma limitação para a perda de carga unitária, esse é um fator importante que deverá ser analisado, especialmente em regiões com topografia plana, onde as perdas de carga na tubulação são fator limitante para a satisfação das condições de pressão do sistema. Por este motivo, algumas companhias de abastecimento de água colocam o limite de 8m/km como sendo o valor máximo de perda de carga unitária, como pode ser observado no trecho

Algumas prefeituras, como a de Rio Acima (2013), em Minas Gerais, e a de Vitória (2009), no Espírito Santo, assim como algumas companhias de saneamento, como, por exemplo, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE, 2010) e a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA, 2004), utilizam o critério do máximo gradiente hidráulico de 8 m/km como limitante de vazão em cada trecho das redes de distribuição. A justificativa das companhias de saneamento para a adoção desse critério é que permite a ampliação de vazão dentro das tubulações, excluindo a necessidade de substituição por diâmetros maiores. (ARAÚJO, 2016, p.2).

### 3.5 Métodos para dimensionamento de rede

A rede de distribuição de água merece especial atenção na sua elaboração por se tratar, nas palavras de Porto (2006), da parte mais custosa do projeto global de abastecimento. Por isso é de fundamental importância que o projetista assuma metodologias reconhecidas e dispostas em norma, tanto para a concepção do sistema quanto para o dimensionamento dos seus trechos.

Para o dimensionamento hidráulico é importante que se entenda e consiga quantificar diversas características do escoamento estudado, como por exemplo, vazão, velocidade, perda de carga e pressão na rede. Para isso, lança-se mão de conceitos, equações e metodologias criadas e estudadas ao longo dos anos por diversos estudiosos que contribuíram para a formação do conhecimento atual. Alguns conceitos e equações fundamentais são listados a seguir:

### 3.5.1 Equação de fluxo

No século XVII, essa equação foi criada por Benedetto Castelli e relaciona a vazão, a velocidade e a área do conduto pela seguinte expressão:

$$Q=A.V \quad (1)$$

Sendo:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

A = Área da seção transversal do conduto (m<sup>2</sup>);

V = Velocidade média do fluxo (m/s).

### 3.5.2 Equação da continuidade

É uma equação que advém da Lei de Lavoisier ou Lei da conservação das massas, que quando aplicada a uma tubulação escoando líquido incompressível, é notável perceber que a massa de líquido que entra pela tubulação deverá ser igual a massa de líquido que sai da tubulação. A equação da continuidade é dada por:

$$\rho.A_1.V_1= \rho.A_2.V_2 \quad (2)$$

Onde:

$\rho$  = massa específica do líquido que escoar (kg/m<sup>3</sup>);

A = Área da seção transversal do conduto (m<sup>2</sup>);

V = Velocidade média do fluxo (m/s).

### 3.5.3 Equação de Bernoulli

É a equação que representa a Lei da conservação da energia, cada parcela da equação descreve um tipo de energia apresentado pelo escoamento, a saber, energia potencial gravitacional, energia cinética e energia de pressão. A equação diz que em um escoamento livre de perdas, a soma das energias é sempre constante. A equação de Bernoulli é expressa da seguinte forma:

$$Z_1 + \frac{V_1}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \text{constante} \quad (3)$$

Porém, para fluidos reais, houve a necessidade de se considerar a perda de carga, então, pode-se escrever para dois pontos de um escoamento:

$$Z_1 + \frac{V_1}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{V_2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + \Delta h \quad (4)$$

Onde:

Z = Elevação (m);

V = Velocidade média do fluxo (m/s);

g = Aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );

p = Pressão (Pa);

$\gamma$  = Peso específico do fluido ( $\text{N/m}^3$ );

$\Delta h$  = Perda de carga no trecho considerado (m).

#### 3.5.4 Número de Reynolds

Osbourne Reynolds analisou os regimes de escoamento e caracterizou a distinção entre eles (Furusawa, 2011). Ele conseguiu constatar a existência de três tipos de escoamento, são eles o escoamento laminar, o transitório e o turbulento. A diferença entre esses tipos de regime está ligada à ordenação ou desordem das partículas ou moléculas de um fluido enquanto se dá o escoamento. Segundo Furusawa (2011), Reynolds obteve um número adimensional, chamado de número de Reynolds (Re), que caracterizava os escoamentos e identificou alguns valores

que limitavam cada tipo de escoamento. A seguir está enunciada a equação para o cálculo do número de Reynolds e alguns valores característicos para os limiares das faixas de escoamento:

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

Onde:

Re = Número de Reynolds;

V = Velocidade do escoamento (m/s);

D = Diâmetro interno da tubulação (m);

$\nu$  = Viscosidade cinemática da água (m<sup>2</sup>/s).

Valores dos limiares do escoamento:

Re < 2000 – Regime laminar;

2000 < Re < 4000 – Zona de transição;

Re > 4000 – Regime turbulento;

De acordo com Porto (2006), como a viscosidade da água é baixa, a maioria dos escoamentos, nas tubulações comuns, é turbulenta. Logo este tipo de escoamento tem especial importância para o estudo dos sistemas de abastecimento de água.

### 3.5.5 Equação universal

“Em 1845, Júlio Weisbach e Henry Darcy desenvolveram uma fórmula mais geral sobre perda de carga em tubulações, a qual é uma extensão do trabalho de Chézy” (FURUZAWA, 2011). Essa equação é denominada de universal, pois ela pode ser utilizada em escoamento de diversos fluidos, por incluir além das propriedades geométricas da seção, também as propriedades do material do conduto e do fluido. Apesar disso, existe uma grande dificuldade para a utilização da

equação universal que é a determinação do coeficiente de atrito “f”. A equação universal (para condutos de seção transversal circular) é mostrada a seguir:

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad (6)$$

Sendo:

$h_f$  = Perda de carga (m);

f = Coeficiente de atrito ou coeficiente de Darcy;

L = Comprimento da tubulação (m);

V = Velocidade média do fluxo (m/s);

g = Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

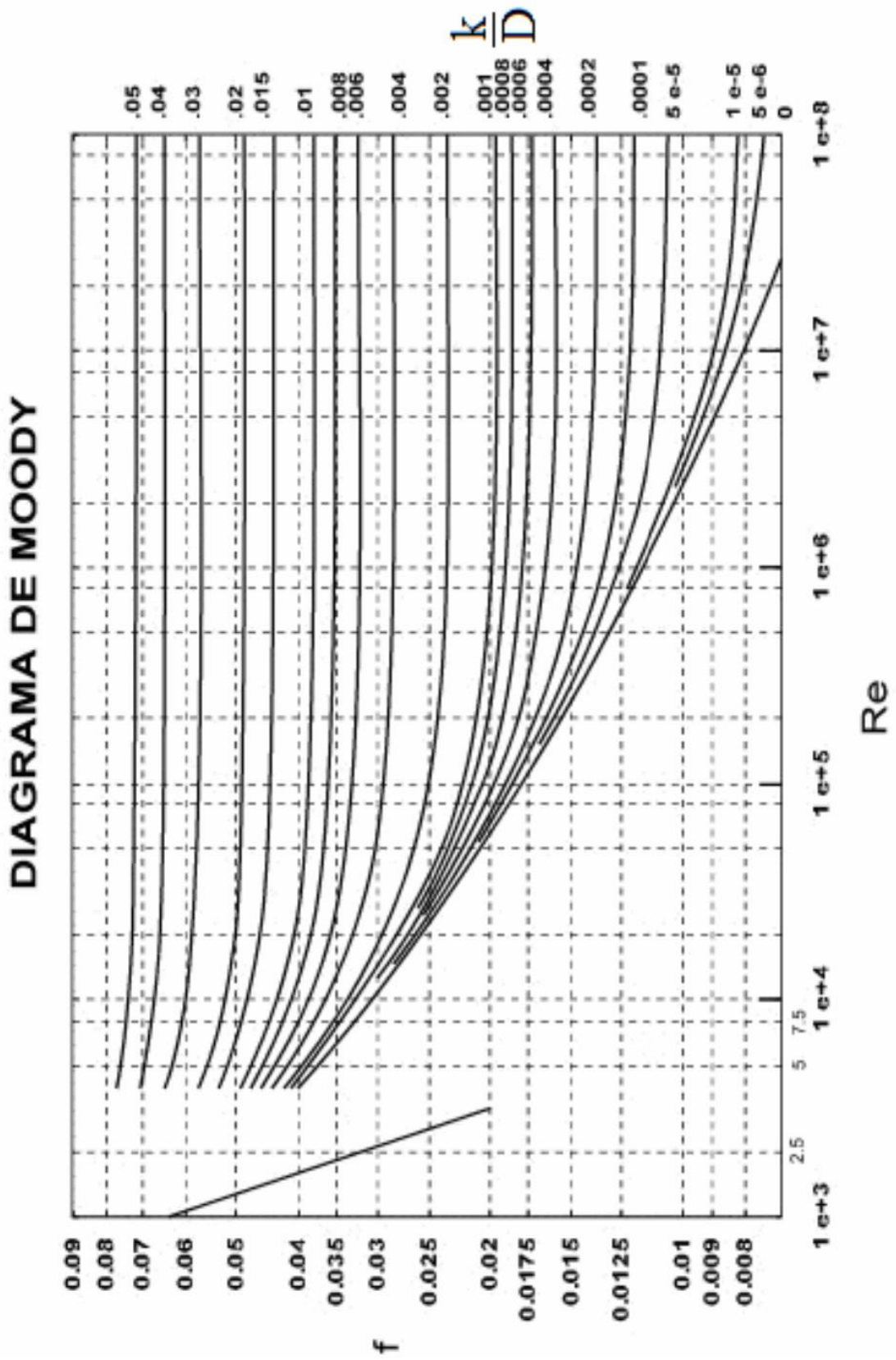
D = Diâmetro interno da tubulação (m).

Para solucionar o problema da obtenção do coeficiente de atrito “f” da equação universal existem alguns métodos, como os estudos desenvolvidos por Cyril Colebrook e Cedric White, que desenvolveram uma equação que correlaciona o número de Reynolds com a rugosidade dos tubos.

Posteriormente, em 1944, Moody estendeu o trabalho e representou a equação em um gráfico, na forma do diagrama de Stanton, que apresenta os eixos coordenados em graduação logarítmica, com o fator de atrito f em ordenadas e o número de Reynolds em abcissas, para vários valores da rugosidade relativa. (PORTO, 2006, p. 45).

O diagrama citado é apresentado na Figura 5.

Figura 5 Diagrama de Moody



### 3.5.6 Equação de Hazen – Williams

Devido a dificuldade já mencionada de se trabalhar com o coeficiente de atrito “f”, em 1906 Alan Hazen e G. S. Williams formularam uma equação empírica para o cálculo da perda de carga, porém com algumas restrições. Segundo Porto (2006), a equação de Hazen – Williams é recomendada para uso apenas sobre as seguintes condições:

Escoamento turbulento de transição;

Líquido: água a 20°C, pois não leva em conta o efeito viscoso;

Diâmetro: em geral maior ou igual a 4”;

Origem: experimental com tratamento estatístico de dados;

Aplicação: redes de distribuição de água, adutoras, sistemas de recalque.

“O nível de erro é significativo quando a equação de Hazen-Williams é utilizada fora dos limites de aplicação” (FURUSAWA, 2011). A equação de Hazen – Williams para perda de carga unitária é exposta a seguir:

$$J=10,643 \cdot \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad (7)$$

Sendo:

J = perda de carga unitária (m/m);

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = Coeficiente de rugosidade de Hazen – Williams;

D = Diâmetro interno da tubulação (m).

Apesar de ser uma equação com limites de aplicação bastante rigorosos, a facilidade da obtenção do coeficiente de rugosidade “C”, que é função apenas do material da tubulação, fez com que essa equação fosse amplamente utilizada na engenharia.

### 3.5.7 Procedimentos de dimensionamento

A metodologia para a determinação da tubulação da rede depende, especialmente, da caracterização dessa rede em alguns tipos, a saber: Ramificadas, malhadas e mistas, como já exposto no item 3.3. A seguir serão explanadas as metodologias utilizadas para cada tipo de rede.

#### 3.5.7.1 Redes ramificadas

O procedimento de cálculo utilizado para a determinação das variáveis de uma rede, ou trecho de rede, ramificada é simplificado, pois se trata de um processo de cálculo determinado, pelo fato de se conhecer o sentido da vazão em cada um dos trechos (PORTO, 2006). De acordo com a NBR 12218/1994 “O dimensionamento dos trechos ramificados pode ser feito, admitida à distribuição uniforme do consumo ao longo do trecho”, ou seja, admitindo que a vazão demandada ao longo do trecho se dá em todo ele de forma uniforme, o que chama-se de distribuição em marcha. No mesmo item, a norma NBR 12218/1994 ainda cita que as perdas de carga devem ser calculadas considerando a soma da vazão a jusante do trecho com a metade da vazão distribuída ao longo do trecho, o que se chama de vazão fictícia.

De acordo com Porto (2006), deve-se adotar uma sequencia de cálculo para dimensionar os trechos de uma rede ramificada, como mostrado a seguir:

- 1- Número do trecho, do trecho final para o trecho inicial;
- 2- Extensão L do trecho em metros;
- 3- Vazão a jusante, considerando na ponta seca  $Q=0$ ;
- 4- Vazão em marcha sendo  $q.L$ ;
- 5- Vazão a montante do trecho pela expressão:  $Q_m=Q_j+q.L$ ;
- 6- Vazão fictícia pela expressão:  $Q_f = \frac{Q_m + Q_j}{2}$ ;
- 7- Determinação do diâmetro do trecho;
- 8- Perda de carga unitária “J”, calculada pela equação universal (conforme norma);
- 9- Perda de carga total no trecho, em metros,  $\Delta H = J.L$ ;



- 10-Cotas topográficas do terreno;
- 11-Cotas piezométricas de montante e jusante de cada trecho;
- 12-Cargas de pressão disponíveis em cada nó;

#### 3.5.7.2 Redes malhadas

De acordo com a NBR 12218/1994, “O dimensionamento dos condutos principais, que formam circuitos fechados, pode ser feito supondo consumos localizados nos pontos nodais e em pontos singulares intermediários.”, ou seja, o dispositivo normativo garante a possibilidade do projetista não considerar distribuições de vazão ao longo do trecho, para condutos principais, além disso, esta norma ainda estabelece que os consumidores especiais devem ser associados a pontos nodais intermediários. Outro ponto importante, ainda segundo a NBR 12218/1994, é o item 5.7.4 que enuncia

O dimensionamento de circuitos fechados, formados de circuitos principais, e a análise do funcionamento global da rede devem ser realizados por métodos de cálculo iterativo, que garantam resíduos máximos de vazão e de carga piezométrica de 0,1l/s e 0,5l/s, respectivamente. (NBR 12.218, 1994, p. 3).

Existem diversos métodos que satisfaçam essas condições normativas, alguns simplificados tendo em vista a necessidade, antes do advento dos processos computadorizados, de se fazer o dimensionamento de forma manual, como o método do seccionamento fictício e Hardy Cross. Outros, porém, automatizados, que minimizam o esforço e tornam possível o dimensionamento de sistemas de grande porte de forma eficiente, é o caso do Método Híbrido Nó-Malha, mais conhecido como Método do Gradiente, utilizado no EPANET (ROSSMAN, 2000).

#### 3.5.7.3 Método do Gradiente

Segundo Saldaña (2014), a forma de resolução utilizada por esse método em equações de tubulações constitui-se em determinar as incógnitas de cargas e vazões, simultaneamente. O que leva, na maioria dos casos, a um número de

equações mais elevado se comparado a outras formulações, porém esse método tem sido utilizado por gerar uma rápida convergência durante as iterações.

### **3.6 Estudo de concepção do sistema**

De acordo com a NBR 12211/1992, a concepção do sistema de abastecimento de água pode ser definida como: “Estudo de arranjos, sob os pontos de vista qualitativo e quantitativo, das diferentes partes de um sistema, organizadas de modo a formarem um todo interligado, para a escolha da concepção básica” (NBR 12211, 1992, p.1). Sendo assim, pode-se inferir que deve ser realizada uma gama de estudos para que sejam obtidos os melhores resultados com relação à concepção dos pontos de vista técnico, econômico, financeiro e social.

A norma NBR 12211/1992 estabelece ainda, algumas atividades necessárias para o desenvolvimento do estudo de concepção e posteriormente do projeto de abastecimento. Dentre essas atividades, foi desenvolvido dentro das necessidades deste trabalho, as seguintes ações:

1 Problemas relacionados com a configuração topográfica da região de localização dos sistemas;

2 Consumidores a serem atendidos até o alcance do plano e sua distribuição na área a ser abastecida pelo sistema;

3 Quantidade de água exigida por diferentes classes de consumidores e as vazões de dimensionamento;

Dessa forma, serão relatados nos próximos tópicos alguns procedimentos relativos a essas atividades desenvolvidas.

#### **3.6.1 Previsão da população**

De acordo com Gomes (2002), para a correta produção de um projeto de abastecimento, deve-se ter em mãos uma série de informações a respeito de alguns

fatores como, a quantidade de água requerida pelo sistema, disponibilidade hídrica da região, restrições hidráulicas do abastecimento e a topografia.

Ainda segundo Gomes (2002), a água requerida pelo sistema será a demanda de consumo, incluindo perdas, ao longo do alcance do projeto. Essa demanda de água depende de diversos fatores relativos às características socioeconômicas, hidrológicas, e urbanísticas da cidade e dos seus habitantes. Dessa forma, segundo Gomes (2002), é necessário fazer uma análise do consumo per capita da população, dos consumos industriais, de combate à incêndio e de serviços públicos. Por este motivo é fundamental a realização do estudo dos seguintes tópicos:

Alcance do projeto;

Previsões populacionais;

Estimativa dos consumos;

Estimativa das perdas;

Variações de consumo.

#### 3.6.1.1 Alcance do projeto

De acordo com Gomes (2002), no Brasil, os sistemas de abastecimento possuem alcances de projeto que variam de 10 a 30 anos. O horizonte de projeto deve ainda ser proporcional a alguns fatores como: vida útil dos equipamentos, disponibilidade financeira. Por outro lado, deve ser inversamente proporcional à tendência de crescimento da população, facilidade de ampliação da rede, taxas de juros e inflação.

#### 3.6.1.2 Métodos para a previsão da população

A demanda de água para um município depende grandemente de sua população. Para uma previsão correta da demanda de água ao final do alcance do

projeto é de fundamental importância que se faça uma estimativa populacional confiável.

Segundo Tsutiya (2006), “Com os dados censitários e a população do momento (...) a projeção da população deve ser feita utilizando a expressão matemática que melhor se ajuste aos dados levantados” (TSUTIYA, 2006, p.58). Para tanto, existem alguns métodos com essa finalidade, e os de maior destaca de acordo com Tsutiya (2006) estão descritos a seguir:

Método dos componentes demográficos;

Métodos matemáticos;

Método da extrapolação gráfica.

#### 3.6.1.2.1 Método dos componentes demográficos

Para Gomes (2002), este método representa a expressão geral da dinâmica populacional de uma determinada comunidade, em função do tempo. Gomes (2002), diz ainda que o método dos componentes demográficos evidencia os fatores que compõem essas mudanças populacionais. Para Tsutiya (2006), este método considera tendências dos parâmetros demográficos a fim de formular hipóteses para o comportamento dessas variáveis demográficas durante o período de alcance do projeto. Essa expressão é apresentada a seguir:

$$P = P_0 + (N - M) + (I - E) \quad (8)$$

onde:

P = População na data t;

P<sub>0</sub> = População na data inicial t<sub>0</sub>;

N = Nascimentos (entre t e t<sub>0</sub>);

M = Óbitos no período;

I = Imigrantes no período;

E = Emigrantes no período;

N - M = Crescimento vegetativo;

I – E = Crescimento social.

#### 3.6.1.2.2 Métodos matemáticos

Existem alguns procedimentos de previsão da população utilizando modelos matemáticos. São bastante conhecidos os modelos que simulam os processos de crescimento aritmético, geométrico e com base em uma curva logística. Segundo Tsutiya, a base para os métodos de estimativa matemáticos é estabelecer uma equação matemática que represente aproximadamente o comportamento da dinâmica populacional e cujos parâmetros são obtidos através de dados conhecidos.

##### 3.6.1.2.2.1 Método aritmético

Nas palavras de Gomes (2002), este modelo prevê o comportamento de aumento da população de um núcleo urbano através de uma progressão aritmética. Sendo assim, a população ao final do alcance do projeto será dada por:

$$P = P_0 + r(t - t_0) \quad (9)$$

onde:

P = População na data t;

P<sub>0</sub> = População na data inicial t<sub>0</sub>;

r = razão de crescimento da população;

Porém existe uma ressalva na utilização desse método, segundo Tsutiya (2006), onde é inferido que este método considera uma variação linear da população pelo tempo, e isso causa uma acentuada discrepância com a realidade quando utilizado para grandes períodos de tempo, sendo assim, este método é indicado apenas para períodos de tempo curtos, entre 1 a 5 anos.

### 3.6.1.2.2.2 Método geométrico

“No modelo geométrico, admite-se que o crescimento da cidade nos últimos anos se processou conforme uma progressão geométrica, com as populações dos anos posteriores seguindo a mesma tendência” (GOMES, 2002. p. 15). Para obter os dados necessários para montar a equação deve-se possuir pelo menos 2 dados populacionais de 2 anos distintos ( $t_1$  e  $t_2$ ). A expressão que calcula a população no tempo final de alcance de projeto é descrita a seguir:

$$P = P_o \cdot (g)^{t-t_o} \quad (10)$$

onde:

$P$  = População na data  $t$ ;

$P_o$  = População na data inicial  $t_o$ ;

$g$  = taxa de crescimento geométrico;

A taxa de crescimento geométrico ainda é dada pela equação:

$$g = \sqrt[t_2-t_1]{\frac{P_2}{P_1}} \quad (11)$$

onde:

$P_1$  = População no ano  $t_1$ ;

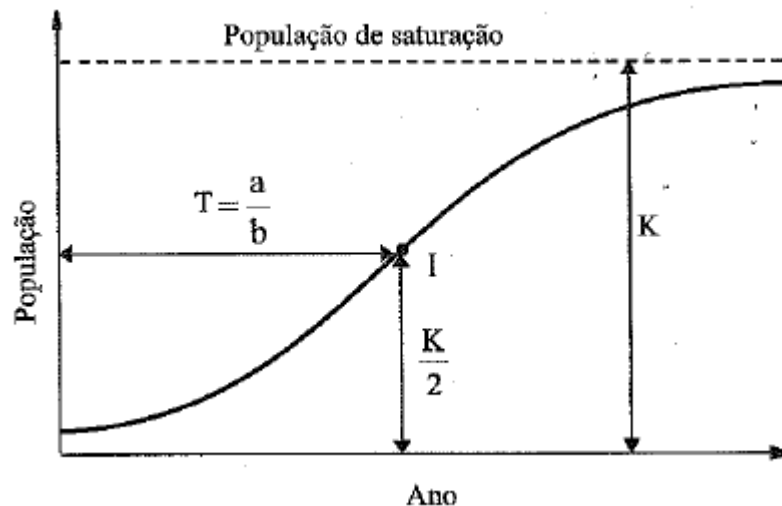
$P_2$  = População no ano  $t_2$ ;

### 3.6.1.2.2.3 Modelo da curva logística

O método da curva logística é baseado na hipótese de que o crescimento da população possui um limite de saturação que faz o crescimento da população tender a estabilização, nas palavras de Tsutiya (2006), a curva logística possui três trechos distintos, o primeiro de crescimento acelerado, o segundo de crescimento retardado e o terceiro de crescimento que tende a se estabilizar para um valor limite ( $K$ ). A

Figura 6, representa a variação da população através do tempo com uma relação logística.

**Figura 6 - Curva logística: População x anos**



Fonte: Tsutiya, 2006 p. 60

A equação logística que representa a variação da população de acordo com este método é apresentada a seguir:

$$P = \frac{K}{1 + e^{a-b.T}} \quad (12)$$

onde:

a = Parâmetro para que  $T=a/b$  haja uma inflexão;

b = Parâmetro que representa a razão de crescimento da população;

T = Intervalo de tempo entre t e  $t_0$ ;

K = valor da assíntota.

Esses valores são definidos através de outras expressões, conhecidos os dados de 3 pontos da curva, com intervalos de tempo constantes (d), entre si:  $P_1$ ;  $P_2$ ;  $P_0$ ;  $t_1$ ;  $t_2$ ;  $t_0$ :

$$K = \frac{2 \cdot P_0 P_1 P_2 - (P_1)^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 P_2 - (P_1)^2} \quad (13)$$

$$b = -\frac{1}{0,4343d} \log \cdot \frac{P_0 \cdot (K - P_1)}{P_1(K - P_0)} \quad (14)$$

$$a = \frac{1}{0,4343} \log \frac{K - P_0}{P_0} \quad (15)$$

### 3.6.1.2.3 Método da extrapolação gráfica

Segundo Tsutiya (2006), este método consiste em traçar uma curva que se ajusta aos dados pesquisados de populações em outras comunidades semelhantes, mesma região geoeconômica e que possuam uma população maior, sem se preocupar em estabelecer uma equação que consiga representar a variação populacional. Dessa forma, prolonga-se a curva de forma a formarem um conjunto harmonioso com os dados coletados. Tsutiya (2006), afirma ainda que este método pode ser utilizado para a estimativa de uma população por grandes períodos de tempo.

### 3.6.2 Previsão da vazão de projeto

De acordo com Gomes (2002), o consumo de água em uma rede pública varia ao longo do dia e ao longo do ano, de acordo com diversos fatores como: hábitos da população, condições de clima, estações do ano e turísticas, além disso, dentro de um mesmo mês, existem dias em que a demanda de água ainda são maiores que nos demais.

Ainda segundo Gomes (2002), para o estabelecimento da demanda de água de um projeto de um sistema de abastecimento, devem ser consideradas duas variações da demanda: uma estacional, que se dá ao longo do ano e outra horária, que se dá ao longo do dia.

Para a variação estacional, a vazão pode oscilar entre 20 a 50%. Essa oscilação é representada pelo índice  $k_1$  e é definida como coeficiente do dia de maior consumo. Este coeficiente é mais significativo em países de clima temperado,



onde existe uma amplitude térmica maior ao longo do ano. No Brasil, ainda segundo Gomes (2002), adota-se usualmente um valor de  $k_1$  igual a 1,2.

Para a variação horária é bastante influenciada pelo uso de reservatórios domiciliares. A utilização desses reservatórios tende a diminuir os picos de consumo máximo ao longo do dia, ao coeficiente que representa essa variação define-se por coeficiente da hora de maior consumo ou, simplesmente,  $k_2$ . Segundo Gomes (2002), no Brasil a grande maioria das residências possuem reservatórios domiciliares, por isso, o valor do coeficiente  $k_2$  adotado é usualmente 1,5.

A vazão de projeto para um dimensionamento da tubulação de uma rede de abastecimento de uma cidade deve levar em consideração que ela deve funcionar mesmo na pior situação, levando em consideração o dia de maior consumo e a hora de maior consumo. Por isso, a vazão de projeto é dada pela expressão 16:

$$Q_d = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot P \cdot q_m}{86400} \text{ (l/s)} \quad (16)$$

onde:

$Q_d$  é a vazão de projeto para fim de plano;

$k_1$  e  $k_2$  são os coeficientes majoradores das vazões, respectivamente, do dia de maior consumo e da hora de maior consumo;

$P$  é a população esperada para o final de plano;

$q_m$  é o consumo médio per capita da cidade.

### 3.6.3 Vazões singulares

Segundo a norma NBR 12211/1992, consumidor singular é definido da seguinte forma: “Aquele que, ocupando parte de uma área específica, apresenta um consumo específico significativamente maior que o produto da vazão específica da área, pela área por ele ocupada”. Logo, as vazões singulares são vazões demandadas de grandes consumidores, com utilização de água muito maior que a considerada para uma economia na região em estudo. Estas vazões deverão ser

inseridas apenas no nó responsável pela zona de influência que contém o grande consumidor. São considerados grandes consumidores: Escolas, Hospitais, Indústrias etc.

### **3.7 Cotação dos preços de tubulação e do assentamento**

De acordo com Mattos (2006), a composição de custos é o procedimento para determinação dos custos para a execução de um serviço, com requisitos preestabelecidos. A determinação precisa dos custos de uma obra é um fator determinante para o seu sucesso.

A determinação dos custos incorridos para a instalação de peças de tubulação com diferentes diâmetros para o sistema de abastecimento a ser estudado é fundamental como parte integrante de um processo de orçamentação com o intuito de realizar-se uma previsão da ordem de grandeza do investimento da obra.

Para realizar essa estimativa, deve-se ter em mente que “a composição lista todos os insumos que entram na execução do serviço, com suas respectivas quantidades, e seus custos unitários e totais” (MATTOS, 2006 p.62). Sendo esses custos divididos em três categorias:

**Mão de obra:** De acordo com Mattos (2006), o trabalho humano tem influência em todas as partes de um projeto de construção civil. A importância desse custo é tão grande que ele pode chegar a 60% do custo total de uma obra;

**Material:** A análise do custo do material é de extrema importância, pois segundo Mattos (2006), esses custos entram na grande maioria das atividades e muitas vezes chegam a representar mais da metade do custo unitário do serviço;

**Equipamento:** Dependendo do tipo e do porte da obra os equipamentos são amplamente utilizados dentro de um projeto de construção civil. Quando a obra exige serviços de terraplanagem a representatividade dos custos dos equipamentos é bastante notória, conforme Mattos (2006).

### **3.8 Funcionamento dos softwares**

### 3.8.1 EPANET associado ao LENHSNET

“O EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade de água em redes de distribuição pressurizada”. (ROSSMAN, 2000). É uma excelente ferramenta de simulação hidráulica capaz de obter valores de vazão nas tubulações, pressão, altura da água nos reservatórios, sendo eficaz ainda para

“calcular as perdas de carga por atrito através das formulas de Hazen-Williams, Darcy Weisbach ou Chezy-Manning; perdas de carga localizadas; simulação de bombas, com velocidade de rotação fixa ou variável; calcula a energia de bombeamento e o seu respectivo custo, modela os principais tipos de válvulas, modela reservatórios de nível fixo ou variável; possibilita a simulação com diversas regras de operação do sistema, dentre outras”. (SALVINO, 2009)

O LENHSNET por sua vez, é um processo dinâmico de calculo iterativo que, de acordo com Salvino (2009) “proporciona como resposta ao dimensionamento, os diâmetros de todos os trechos da rede e a cota piezométrica da impulsão, de forma a alcançar o custo mínimo total do sistema dentro dos parâmetros máximos e mínimos de pressão e velocidade”.

De forma simplificada, o LENHSNET funciona, segundo Salvino (2009), partindo de uma configuração inicial de diâmetros mínimos, e dinamicamente substituindo os trechos pelo diâmetro subsequente da lista de diâmetros disponíveis (dados dos tubos), verificando o atendimento aos parâmetros do projeto a cada mudança. Comparando o ganho de pressão e o custo de cada modificação, sendo escolhido o que obtiver melhor ganho de pressão com menor custo, até que seja finalizado o dimensionamento.

### 3.8.2 Sistema UFC

De acordo com o manual do UFC o sistema UFC é um conjunto de softwares que realizam atividades referentes ao traçado e dimensionamento hidráulico de redes e adutoras de abastecimento de água. Ainda segundo o manual, os módulos UFC2 e UFC4 possuem uma interface com o AutoCAD e com o

EPANET com a finalidade de criar um arquivo de entrada para um programa de simulação hidráulica e de dimensionamento.

O método de programação utilizado para o dimensionamento otimizado realizado pelo módulo UFC4 é o do Algoritmo Genético, que é uma técnica baseada em Algoritmos Evolucionários que, segundo Salvino (2009), utiliza procedimentos similares aos da evolução das populações a fim de encontrar a melhor solução para os problemas propostos.

Simplificadamente, o Algoritmo Genético, utilizado no UFC, funciona da seguinte forma: segundo Salvino (2009), a princípio serão arbitrados, aleatoriamente, os valores das variáveis, dando origem, assim, a uma população de indivíduos. Após isso, dá-se um valor qualitativo a cada um dos indivíduos, obtendo assim indivíduos que possuem melhor ou pior resultados em relação à função-objetivo. Ainda segundo Salvino (2009), o método realiza, então, um sorteio com a finalidade de reduzir este conjunto de indivíduos, sendo este sorteio tendencioso a escolher os indivíduos que obtiveram melhores resultados na avaliação qualitativa. São criados, então, novos indivíduos, através de mutações desses indivíduos sorteados e repetido o processo até obter-se um conjunto de indivíduos que consigam satisfazer a função objetivo de forma mais adequada.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Caracterização do município de Japi – RN**

O município de Japi situa-se na unidade federativa do Rio Grande do Norte, a 134 km da capital do estado, Natal, na mesorregião do Agreste Potiguar e na microrregião Borborema Potiguar, e foi desmembrado do município de São José do Campestre, de acordo com o diagnóstico do município de Japi (2006). Japi limita-se com o Estado da Paraíba e com os municípios Potiguares de Santa Cruz, Tangará Monte das Gameleiras, São José do Campestre e São Bento do Trairi possuindo uma área de 188,99 km<sup>2</sup>, segundo dados do IBGE (2018).

#### **4.1.1 Aspectos socioeconômicos**

O município de Japi possui uma densidade demográfica 29,22 hab/km<sup>2</sup>. A população de Japi, de acordo com a estimativa da população de 2018, é de 5117 pessoas. Porém os dados do censo populacional realizado em 2010, executado pelo IBGE, apresentou que a população do município de Japi era de 5522 habitantes, sendo que 4107 (74,4%) residem em área urbana e 1415 habitantes (25,5%) vivem em área rural. Em contraponto à essa redução da população total do município, a população urbana vem mantendo seu ritmo de crescimento, aumentando de 3783 habitantes no censo de 2000 para os já citados 4107 habitantes no censo de 2010.

As principais atividades econômicas realizadas no município de Japi são a agropecuária, extrativismo e comércio, porém apenas 5,7% da população possui ocupação formal, com média salarial de 1,8 salários mínimos (IBGE, 2018).

#### **4.1.2 Aspectos hidrológicos**

De acordo com o perfil do município, elaborado pelo IDEMA (2008), o município de Japi possui clima muito quente e semiárido. Com temperaturas altas e baixa amplitude térmica, variando de 33 a 18°C. Possui também, média de

precipitação anual em torno de 666 mm/ano, geralmente concentrada no período chuvoso, entre os meses de Março e Maio.

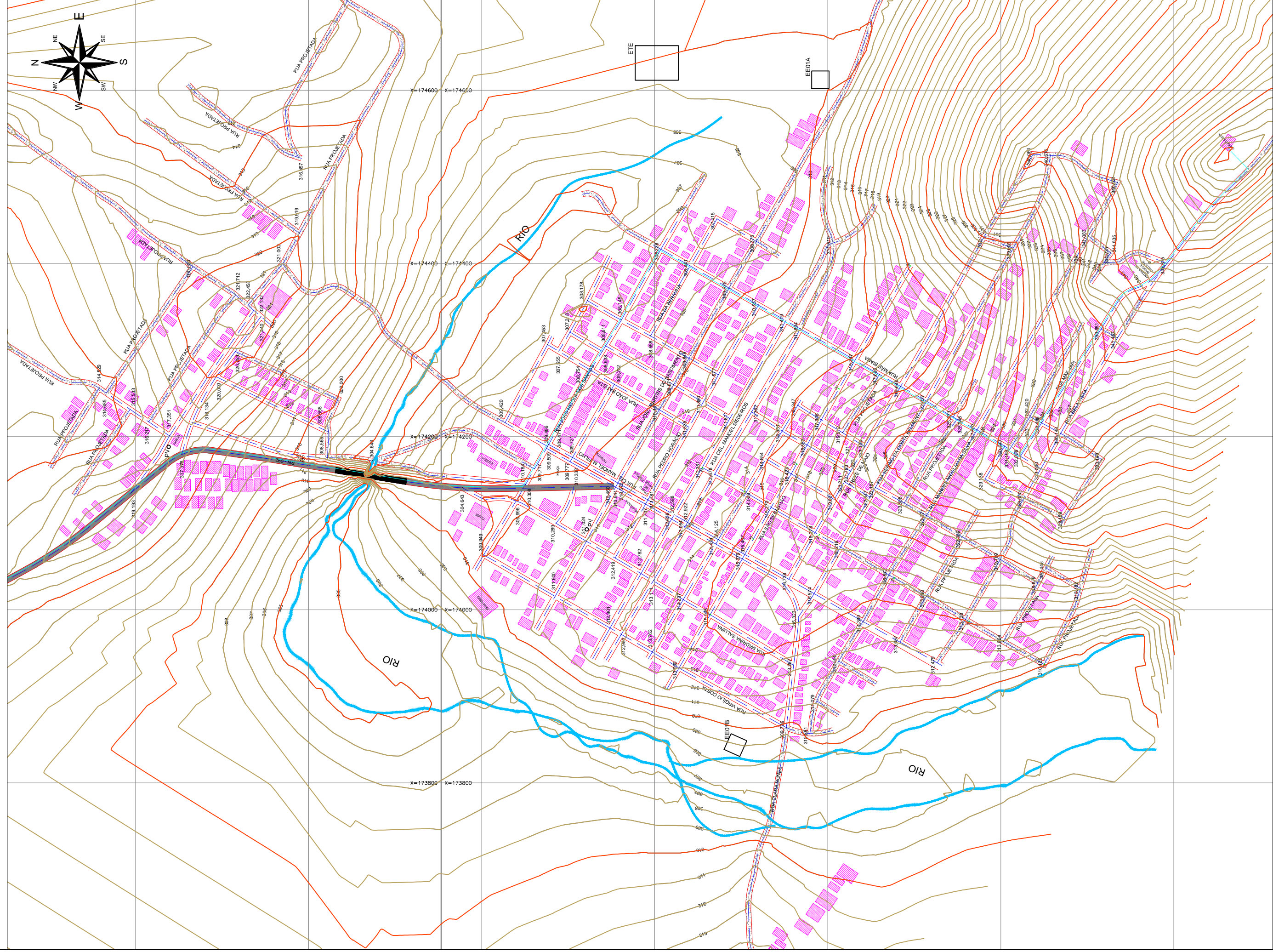
A cidade possui território situado em duas bacias hidrográficas distintas, a do Rio Jacu e a do Rio Trairi. Os principais corpos de acumulação de água são os açudes de Canoas, Aguiar, Serrote e Queimadas, porém os cursos de água possuem regime intermitente. Dessa forma, o abastecimento da população é realizado através da exploração da Lagoa do Bonfim, pela adutora Monsenhor Expedito, que possui aproximadamente 330 km de extensão e atende 30 cidades no estado do Rio Grande do Norte, segundo dados do IDEMA (2008).

#### 4.1.3 Caracterização topográfica da região

Com relação à topografia, na cidade de Japi, existe uma variação de aproximadamente 50 m de altitude entre diferentes regiões da cidade. Com destaque para o Bairro Alto Bela Vista que possui as maiores altitudes e para as proximidades do leito do Rio Jacu, que possuem as menores cotas topográficas da cidade.

O levantamento topográfico utilizado foi realizado pelo consórcio de empresas GCC de engenharia sob a supervisão da FUNASA. O levantamento topográfico é mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Levantamento topográfico do município de Japi



## 4.2 Previsão da população urbana da cidade de Japi-RN

Devido, especialmente, à dificuldade de ampliação das obras físicas, dentro de uma cidade já estabelecida e à tendência de crescimento populacional de Japi que não é significativamente grande, foi adotado para o projeto em questão, um valor do alcance de projeto de 30 anos.

Conforme previsto na NBR 12211/1992, deve ser prevista a população da cidade, de acordo com métodos estatísticos através da extrapolação de tendências definidas pelas séries históricas do IBGE. Os dados dos Censos do IBGE, para a população urbana da cidade de Japi, são mostrados no Quadro 2.

**Quadro 2 - População urbana de Japi**

Ano	Hab.
1980	1137
1991	3321
2000	3783
2010	4107

IBGE, 2018

Dentre os métodos de determinação da população citados no item 3.7, não possuímos dados suficientes para a determinação pelo método dos componentes demográficos nem pela curva logística. O método aritmético, por sua vez, não é indicado para períodos de tempo longos, como é o caso do horizonte de projeto de obras de abastecimento. Desse modo, foi aplicado o método geométrico, que, geralmente, melhor descreve o crescimento das populações. De posse desses dados, e aplicando a equação 11 para obter-se a razão da progressão geométrica, obtemos:

$$g = \sqrt[t_2 - t_1]{\frac{P_2}{P_1}} \quad (11)$$

$$g = \sqrt[19]{\frac{4107}{3321}}$$

$$g = 1,0112$$



Outra forma, com permissão normativa para a utilização, quando não se tem dados suficientes para se compor uma série histórica, é a aplicação à última população conhecida da comunidade em estudo as mesmas tendências verificadas em comunidades com características análogas às da comunidade em estudo.

Dessa forma, é possível estabelecer um padrão de crescimento da região através da análise de cidades vizinhas com características semelhantes, a mesma realidade socioeconômica e de população maior, que por sua vez, já passaram pela fase de crescimento pela qual se encontra a cidade de Japi. As cidades analisadas foram: Campo Redondo e Jaçanã.

Campo Redondo: Os dados da população, de acordo com o IBGE, através dos anos são dados no Quadro 3.

**Quadro 3 - População de Campo Redondo**

Ano	Hab
1991	6013
2000	9201
2010	10266

IBGE, 2018

Utilizando a equação 11 para o método geométrico, temos:

$$g = \sqrt[t_2 - t_1]{\frac{P_2}{P_1}} \quad (11)$$

Obtemos:

$$g = \sqrt[2010 - 2000]{\frac{10266}{9201}} = 1,0110$$

Jaçanã: Os dados da população, de acordo com o IBGE, são dados no Quadro 4:

**Quadro 4 - População de Jaçanã**

Ano	Hab
1980	4581
1991	6857
2000	7667
2010	7925

IBGE, 2018

Fazendo uso do método geométrico:

$$g = \sqrt[2010-2000]{\frac{7925}{7667}} = 1,0112$$

As cidades de Campo Redondo e Jaçanã, considerando o método geométrico, obtiveram taxa de crescimento “g” de 1,0110 e 1,0112 respectivamente. Esta taxa de crescimento pode ser aplicada ao município de Japi, tomando como base a população urbana de 4107 habitantes.

Observa-se que o crescimento da população, considerando as cidades vizinhas em relação ao município de Japi foi bem homogêneo, mostrando que o município de Japi está com um crescimento urbano compatível com a região a qual está inserido. Sendo assim, para a cidade de Japi, a previsão da população para o ano final de projeto será dada pela equação 10:

$$P = P_o \cdot (g)^{t-t_o} \quad (10)$$

Vale a pena ressaltar que como o último dado de população urbana da cidade de Japi datou do Censo de 2010, logo o período de extrapolação dos dados deve abranger desde 2010 a 2048 (ano final do horizonte de projeto). Sendo assim, a extrapolação foi realizada para um período de 38 anos e o resultado pode ser visualizado no item 5.1 deste trabalho.

### 4.3 Previsão da vazão de projeto

#### 4.3.1 Cálculo da vazão média

Com o cálculo da estimativa da população, pode-se então proceder aos cálculos das vazões de projeto. Os dados do SNIS (2017) para o município de Japi mostram que o consumo per capita relativo a este município foi de 93,86 litros por habitante por dia, que é um valor abaixo da média de consumo para comunidades de padrão baixo. Por isso, considerando ainda que a comunidade tenha seus hábitos de consumo mudados no horizonte especificado, foi adotado um consumo per capita de 120 litros por habitante por dia, como recomendado para comunidades de padrão baixo.

Foi utilizada, então, a equação 16.

$$Q_d = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot P \cdot q_m}{86400} \text{ (l/s)} \quad (16)$$

Os valores utilizados para compor a equação foram:

$P = 6300$  habitantes, conforme item 5.1;

$q_m = 120$  litros por habitante por dia, conforme item 4.3;

$k_1$  e  $k_2 = 1,2$  e  $1,5$ , respectivamente, conforme item 3.7.3.

A vazão consumida pela população, calculada conforme explicitado acima, é mostrada no item 5.2.

#### 4.3.2 Cálculo das vazões singulares

Na zona urbana da cidade de Japi existem cinco escolas catalogadas no portal QEdu e uma unidade mista de saúde, que são possíveis consumidores de grande porte de água.

##### 4.3.2.1 Escolas:

De acordo com dados do QEdu (2017), pode-se retirar algumas informações das escolas da cidade de Japi e fazer uma projeção do consumo singular das

mesmas. Considerando-se, segundo Tsutiya (2006), uma vazão de 50 litros por pessoa por dia para escolas do tipo externato (estabelecimentos de ensino onde os alunos não residem nele). Estão listadas nos Quadros 5 a 9, as informações pertinentes sobre as escolas.

**Quadro 5 - Dados Escola Municipal Deputado Marcílio Furtado**

Nome:	Escola Municipal Deputado Marcilio Furtado		
Localização:	Rua Alto da bela vista		
Matrículas:	122 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia

QEdu, 2017

**Quadro 6 - Dados Escola Estadual Manoel Medeiros I**

Nome:	Escola Estadual Manoel Medeiros I		
Localização:	Rua Manoel Medeiros Filho		
Matrículas:	149 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia

QEdu, 2017

**Quadro 7 - Dados Escola Estadual Manoel Medeiros II**

Nome:	Escola Estadual Manoel Medeiros II		
Localização:	Rua Coronel Manoel Medeiros		
Matrículas:	324 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia

QEdu, 2017

**Quadro 8 - Dados Escola Estadual Severina Pontes de Medeiros**

Nome:	Escola Estadual Severina Pontes de Medeiros		
Localização:	Rua Severino da Costa Belmont		
Matrículas:	255 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia

QEdu, 2017

**Quadro 9 - Dados Escola Estadual José da Costa Medeiros**

Nome:	Escola Estadual José da Costa Medeiros		
Localização:	Rua José da Costa Medeiros		
Matrículas:	403 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia

QEdu, 2017

#### 4.3.2.2 Hospitais

Na cidade de Japi há apenas uma unidade hospitalar, denominada Unidade mista Torquata Leopoldina da Costa. Porém, segundo dados do Ministério da saúde, através do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES, 2018) esta unidade mista possui apenas um leito. Sendo assim, sua vazão não foi considerada suficientemente relevante para caracterizá-la como grande consumidor.

#### 4.4 Concepção da rede

A rede de distribuição de água para a cidade de Japi foi idealizada como uma série de tubulações e peças de modo a formar uma rede malhada, sempre que possível, com exceção de alguns trechos onde não foi possível a formação de malhas, devido a impedimentos topográficos ou urbanísticos. Sendo assim, a concepção final da rede apresentou-se como uma rede mista.

Foi traçada, a rede, em todos os logradouros da cidade, de forma a não ficar nenhuma área sem abastecimento e ainda auxiliar na expansão para futuras áreas abastecidas pela rede. Após o traçado, a rede ficou com um comprimento de aproximadamente 16.800 metros. O esquema da concepção da rede, modelado no software EPANET 2.0, com as indicações dos nós e as indicações dos trechos, encontra-se ilustrado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Nós da rede de Japi

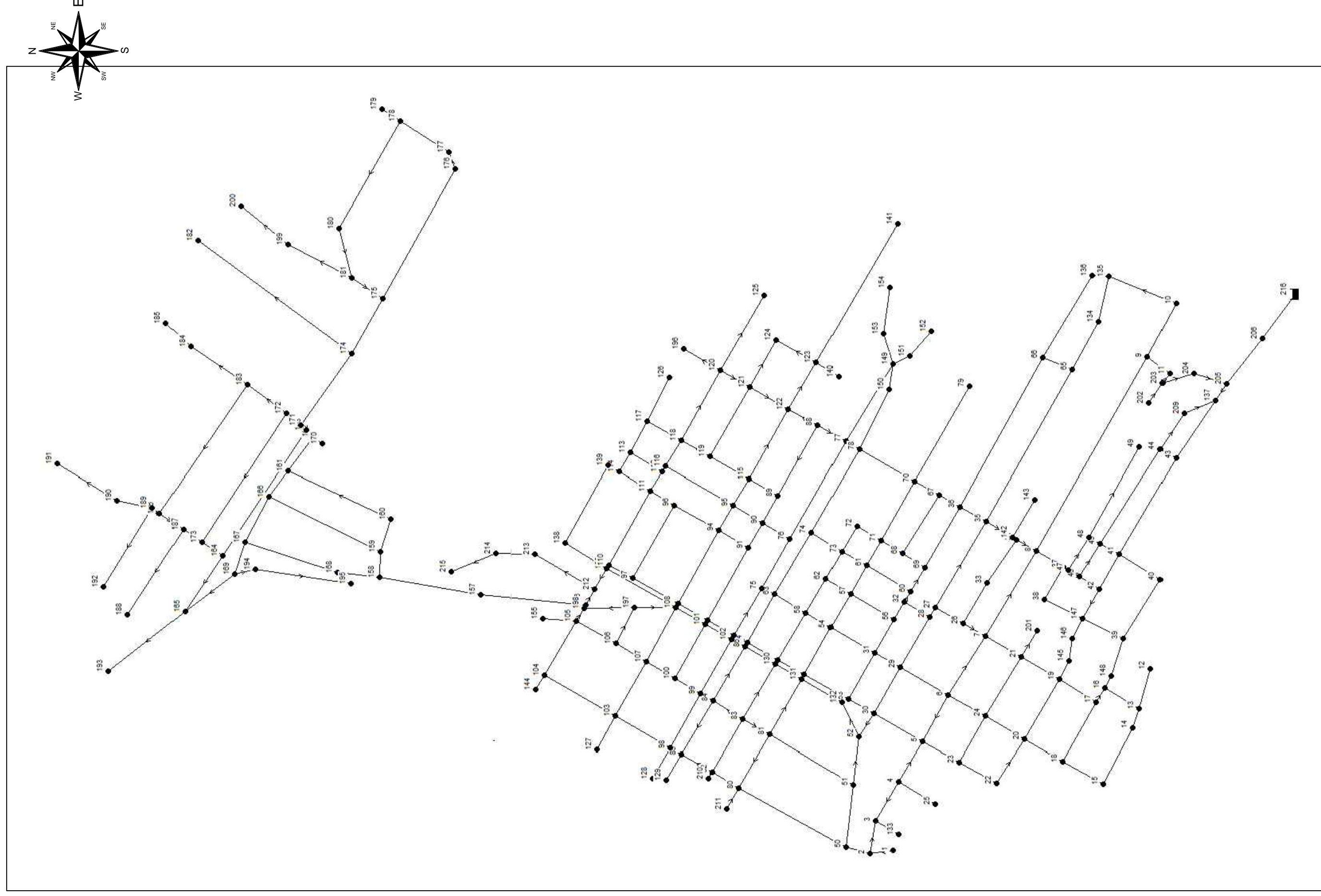
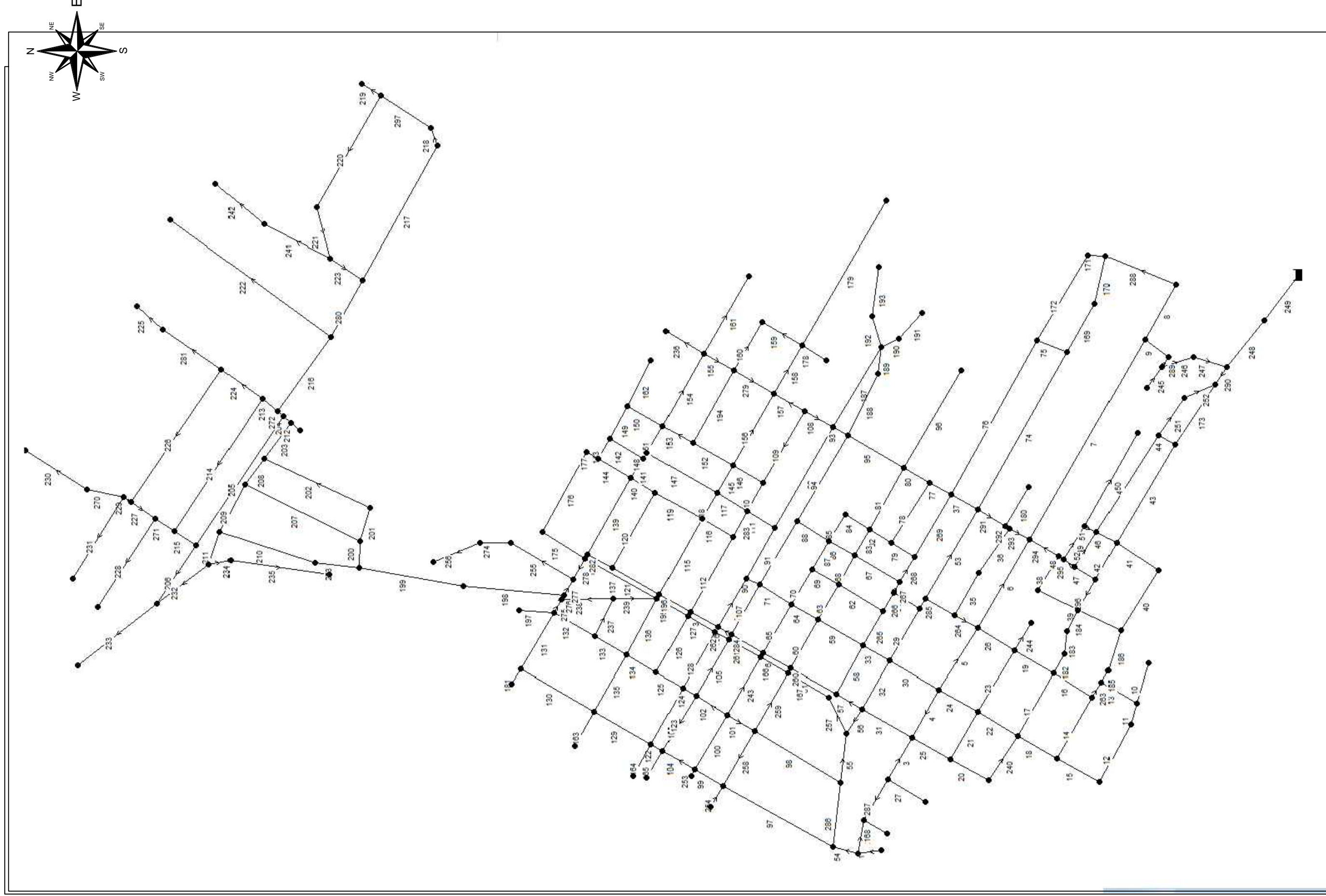


Figura 9 - Trechos da rede de Japi



#### 4.5 Cotação dos preços da tubulação

A grande valia da definição dos custos para este trabalho é a utilização destes como parâmetro para o dimensionamento pelos softwares através da comparação entre os modelos gerados pelos programas de otimização, que buscam atender as especificações normativas e concepcionais predefinidas, tendo como meta o menor custo.

Para tornar a definição dos preços mais próxima à realidade do projeto, buscou-se determinar a composição dos custos da execução do serviço de instalação dos tubos, considerando uma aproximação dos índices para a cidade de Japi-RN, utilizando o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para o estado do Rio Grande do Norte, com referência ao mês de Agosto de 2018. Os serviços e insumos utilizados para a composição do preço foram:

Fornecimento da Tubulação (material);

Assentamento da Tubulação (composição);

Escavação de vala (composição);

Reaterro de vala (composição).

##### 4.5.1 Fornecimento da tubulação

Os dados para o insumo de fornecimento de tubulação estão mostrados no Quadro 10.

**Quadro 10 - Custo dos tubos**

CODIGO	DESCRICAÇÃO DO INSUMO	UNID.	ORIGEM	PREÇO MEDIANO R\$
36084	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 12, DN 50 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	M	C	6,36
36373	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 12, DN 75 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	M	CR	12,91
36374	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 12, DN 100 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	M	CR	21,09
9828	TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 150 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	M	AS	70,17



9829	TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 200 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	M	AS	124,91
9826	TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 250 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	M	AS	185,32
9827	TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 300 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	M	AS	269,33

Fonte: SINAPI, 2018

#### 4.5.2 Assentamento da tubulação

O custo do assentamento da tubulação depende de alguns fatores como o diâmetro do tubo a ser instalado e o nível de interferência do local a ser instalado. De acordo com o caderno técnico de execução de escavação de valas da caixa, entende-se por locais com alto nível de interferência aqueles com imóveis edificados ao longo de sua extensão abertos à circulação pública, onde há restrições de espaço para os equipamentos e depósito de terra escavada. Que é o caso de uma cidade já estabelecida como a cidade de Japi.

Observa-se, também, que nas composições relativas ao assentamento dos tubos, os serviços de escavação e reaterro já estão inclusos, sendo representado pela mão de obra do servente, para tubos menores, ou pela escavação mecânica, para tubos de maior diâmetro.

As composições referentes ao assentamento das tubulações, tendo como base o SINAPI, estão listadas nos Quadros 11 a 16.

#### Quadro 11 - Custo assentamento de tubo 50mm

CODIGO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ORIGEM	PREÇO MEDIANO R\$	
97121	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 50 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	1,55	
CODIGO	DESCRICAÇÃO DO INSUMO	UNID.	QNT.	P. UNT	P. TOTAL
20078	PASTA LUBRIFICANTE PARA TUBOS E CONEXOES COM JUNTA ELASTICA (USO EM PVC, ACO, POLIETILENO E OUTROS) (DE *400* G)	UN	0,0043	13,23	0,05
88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0426	22,24	0,94

88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0426	13,33	0,56
-------	--------------------------------------	---	--------	-------	------

Fonte: SINAPI, 2018

#### Quadro 12 - Custo assentamento de tubo 75mm

CODIGO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ORIGEM	PREÇO MEDIANO R\$	
97122	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 75 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	2.15	
CODIGO	DESCRICAÇÃO DO INSUMO	UNID.	QNT.	P. UNT	P. TOTAL
20078	PASTA LUBRIFICANTE PARA TUBOS E CONEXOES COM JUNTA ELASTICA (USO EM PVC, ACO, POLIETILENO E OUTROS) (DE *400* G)	UN	0.0075	13,23	0.09
88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.0582	22.24	1.29
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.0582	13,33	0.77

Fonte: SINAPI, 2018

#### Quadro 13 - Custo assentamento de tubo 100mm

CODIGO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ORIGEM	PREÇO MEDIANO R\$	
97123	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 100 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	2.74	
CODIGO	DESCRICAÇÃO DO INSUMO	UNID.	QNT.	P. UNT	P. TOTAL
20078	PASTA LUBRIFICANTE PARA TUBOS E CONEXOES COM JUNTA ELASTICA (USO EM PVC, ACO, POLIETILENO E OUTROS) (DE *400* G)	UN	0.0096	13,23	0.12
88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.0737	22.24	1.63
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.0737	13,33	0.98

Fonte: SINAPI, 2018

**Quadro 14 - Custo assentamento de tubo 150mm**

CODIGO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ORIGEM	PREÇO MEDIANO R\$	
97127	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC DEFOFO OU PRFV OU RPVC PARA REDE DE ÁGUA, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	3,92	
CODIGO	DESCRICAÇÃO DO INSUMO	UNID.	QNT.	P. UNT	P. TOTAL
20078	PASTA LUBRIFICANTE PARA TUBOS E CONEXOES COM JUNTA ELASTICA (USO EM PVC, ACO, POLIETILENO E OUTROS) (DE *400* G)	UN	0,0151	13,23	0,19
88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1048	22,24	2,33
88316	SERVEENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1048	13,33	1,39

Fonte: SINAPI, 2018

**Quadro 15 - Custo assentamento de tubo 200mm**

CODIGO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ORIGEM	PREÇO MEDIANO R\$	
97128	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC DEFOFO OU PRFV OU RPVC PARA REDE DE ÁGUA, DN 200 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	7,90	
CODIGO	DESCRICAÇÃO DO INSUMO	UNID.	QNT.	P. UNT	P. TOTAL
5678	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,0086	104,91	0,90
5679	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,0414	46,00	1,90
20078	PASTA LUBRIFICANTE PARA TUBOS E CONEXOES COM JUNTA ELASTICA (USO EM PVC, ACO, POLIETILENO E OUTROS) (DE *400* G)	UN	0,0151	13,23	0,25

88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1048	22,24	3,02
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1048	13,33	1,81

Fonte: SINAPI, 2018

#### Quadro 16 - Custo assentamento de tubo 250mm

CODIGO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ORIGEM	PREÇO MEDIANO R\$	
97129	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC DEFOFO OU PRFV OU RPVC PARA REDE DE ÁGUA, DN 250 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	9,74	
CODIGO	DESCRICAÇÃO DO INSUMO	UNID.	QNT.	P. UNT	P. TOTAL
5678	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,0106	104,91	1,11
5679	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,0509	46,00	2,34
20078	PASTA LUBRIFICANTE PARA TUBOS E CONEXOES COM JUNTA ELASTICA (USO EM PVC, ACO, POLIETILENO E OUTROS) (DE *400* G)	UN	0,024	13,23	0,31
88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,167	22,24	3,71
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,167	13,33	2,22

Fonte: SINAPI, 2018

**Quadro 17 - Custo assentamento de tubo 300mm**

CODIGO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	ORIGEM	PREÇO MEDIANO R\$	
97130	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC DEFOFO OU PRFV OU RPVC PARA REDE DE ÁGUA, DN 300 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	M	CR	11,55	
CODIGO	DESCRICAÇÃO DO INSUMO	UNID.	QNT.	P. UNT	P. TOTAL
5678	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,0126	104,91	1,32
5679	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,0604	46,00	2,77
20078	PASTA LUBRIFICANTE PARA TUBOS E CONEXOES COM JUNTA ELASTICA (USO EM PVC, ACO, POLIETILENO E OUTROS) (DE *400* G)	UN	0,0284	13,23	0,37
88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1981	22,24	4,40
88316	SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1981	13,33	2,64

Fonte: SINAPI, 2018

#### 4.5.3 Custo total dos serviços de instalação da tubulação por metro

O custo total do serviço será a soma do preço do fornecimento do tubo com o custo do assentamento do tubo de seu respectivo diâmetro, sendo assim, são mostrados nos Quadros 23 ao 29, os custos totais do serviço, no item Resultados deste trabalho.

#### 4.6 Funcionamento dos softwares e da otimização

Para o dimensionamento de forma otimizada pelo menor custo da rede para a cidade de Japi, foram utilizados dois programas que utilizam métodos de otimização diferentes. Como já citado, estes softwares foram: Modelo de simulação hidráulica do EPANET associado ao algoritmo iterativo de dimensionamento otimizado, LENHSNET. Além disso, foi utilizado, também, o Sistema UFC, mais precisamente o UFC-2 e UFC-4 que são o módulo de desenho e o módulo de dimensionamento otimizado, respectivamente.

#### 4.6.1 EPANET E LENHSNET

Para realizar-se o dimensionamento através desse sistema, o procedimento é simples e segue as seguintes etapas:

1 Traçar a concepção da rede: Esta etapa pode ser realizada executando o traçado no AutoCAD e exportando para o EPANET ou gerando os trechos e nós no próprio software.

2 Configurações predefinidas: Antes de iniciar qualquer simulação operacional do sistema, é necessário que se defina os parâmetros de cálculo que serão utilizados para os cálculos hidráulicos. Nesta janela, mostrada na Figura 10 podemos definir, dentre outras coisas, a unidade de vazão que iremos trabalhar (geralmente adota-se litros por segundo), a fórmula da perda de carga, o número de iterações e o erro máximo de convergência entre as iterações. Dentre as configurações possíveis, vale a pena citar que para o projeto em questão foi utilizada a fórmula de Darcy-Weisbach, para o cálculo da perda de carga e unidade de vazão adotada foi o litro por segundo, conforme mostrado.

**Figura 10 - Configurações pré definidas do EPANET**

Opções	Valor Pré-definido
Unidades de Vazão	LPS
Fórmula de Perda de Carga	D-W
Densidade	1
Viscosidade Relativa	1
No. Máximo de Iterações	30
Erro Máximo de Convergência	0.001
Se Não Convergir	Continue
Padrão	1
Fator de Consumo	1.0

Salvar como pré-definido para todos os novos projetos

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autoria nossa, 2018

3 Adicionar informações sobre a rede: Nesta etapa, devem-se inserir alguns dados fundamentais para o dimensionamento da rede. Adicionam-se os comprimentos dos trechos da rede Figura 11, além das cotas e dos consumos bases de cada nó Figura 12 e da definição de um reservatório e sua cota de fundo.

**Figura 11 - Definição dos parâmetros dos trechos**

Trecho 174	
Propriedade	Valor
*Identificador do Trecho	174
*Nó Inicial	10
*Nó Final	134
Descrição	
Zona	
*Comprimento	1000
*Diâmetro	100
*Rugosidade	100
Coef. Perda de Carga Singu	0
Estado Inicial	Open
Coef. Reação no Escoamer	
Coef. Reação na Parede	

Fonte: Autoria nossa, 2018

**Figura 12 - Definição dos parâmetros dos nós**

Nó 10	
Propriedade	Valor
*Identificador do Nó	10
Coordenada X	605.29
Coordenada Y	-22.96
Descrição	
Zona	
*Cota	346.621
Consumo-Base	0.08
Padrão de Consumo	
Categorias de Consumo	1
Coef. do Emissor	
Qualidade Inicial	
Origem de Qualidade	

Fonte: Autoria nossa, 2018

É também nessa etapa que se deve inserir os consumos singulares nos nós que serão associados às suas vazões, conforme a norma NBR 12218/1994.

4 Foi, então, inserido o reservatório na rede, buscando as cotas mais elevadas disponíveis para auxiliar nas pressões dinâmicas da rede. O reservatório foi inserido no nó 216 da rede, necessitando ainda de uma altura de fundo de 4 metros elevado em relação ao nível do terreno.

5 Descrição dos dados dos tubos: Etapa em que serão definidos os diâmetros disponíveis para o dimensionamento, assim como suas respectivas rugosidades, material de fabricação e custo unitário por metro, para que seja possível à otimização. A Figura 13 mostra os dados dos tubos utilizados para o dimensionamento do projeto, sendo o coeficiente de rugosidade equivalente de Darcy-Weisbach igual a 0,0015, conforme sugerido no manual do EPANET e em Porto (2006, p.49), com os custos unitários, de acordo com o calculado no item 4.4.3.

**Figura 13 - Dados da tubulação**

Diâmetro	Rugosidade	Tipo	Custo (\$/m)
53.4	0.0015	PVC	7.91
75.6	0.0015	PVC	15.06
108.4	0.0015	PVC	23.82
156.4	0.0015	DEFOFO	73.79
204.2	0.0015	DEFOFO	132.27
252	0.0015	DEFOFO	194.23
299.8	0.0015	DEFOFO	279.71

**Fonte:** Autoria nossa, 2018

6 Definição dos dados do projeto: É a etapa na qual se pode definir as configurações de restrições pretendidas ao se dimensionar a rede. Nesta janela, representada na Figura 14, controlam-se os limites de velocidade máxima e mínima e pressões máximas e mínimas as quais o projeto deve respeitar.



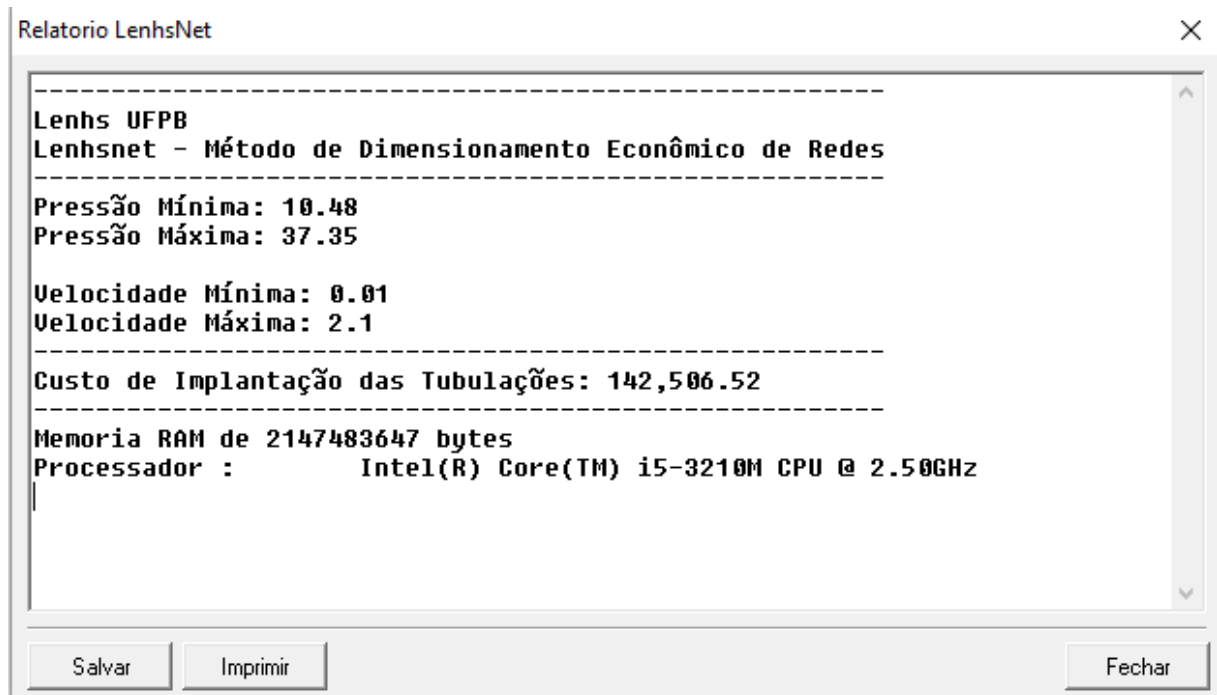
**Figura 14 - Restrições normativas LENHSNET**

Fonte: Autoria nossa, 2018

7 Executar dimensionamento: É a etapa onde o programa irá buscar pela melhor solução com relação à economia da rede e energética.

8 Relatório: Depois de realizado o dimensionamento, foram gerados relatórios da rede de duas formas: Primeiramente pela opção de gerar o relatório através da aba “Lenhsnet” nos fornece os dados do dimensionamento econômico, com foco no custo total da rede, que pode ser visualizado na Figura 15. Foram, também, gerados outros relatórios através das opções inicialmente inclusas no EPANET, por meio da aba “Relatório”, que gera relatórios diversos, dentre os quais estão os dados de energia do sistema e o relatório completo dos diâmetros e pressões da rede que estão disponíveis nos Anexos deste trabalho.

**Figura 15 - Relatório de custos LENHSNET**



Fonte: Autoria nossa, 2018

#### 4.6.2 Sistema UFC – UFC2 e UFC4

Para utilizar o Sistema UFC para o dimensionamento ótimo da rede, de acordo com o manual do UFC, foram realizadas as seguintes etapas:

Depois de inseridos o arquivo contendo as curvas de nível e o bloco contendo o arruamento da área a ser projetada, deve-se prosseguir com a elaboração da rede pelo UFC2:

1 Primeiramente, deve-se definir alguns parâmetros do projeto. Para isso, na opção “Def.” e na aba “Hidráulica” devem ser definidas algumas opções, como a população ao final do tempo de alcance de projeto, o valor do consumo per capita, em litros por habitante por dia, e os valores dos coeficientes de dia de maior consumo (k1) e hora de maior consumo (k2).

Foram definidos, então, os valores para a população sendo de 6300 habitantes, conforme item 4.1. A vazão per capita considerada foi de 120 litros por habitante por dia, conforme item 4.2. Também foram definidos os valores dos

coeficientes do dia e hora de maior consumo, sendo iguais a 1,2 e 1,5, respectivamente, conforme disposto no item 3.7.3.

Além disso, foi escolhida a fórmula de cálculo para a perda de carga sendo a fórmula universal (indicada pela norma NBR 12218/1994). A Figura 16 mostra as definições desses padrões na interface do programa UFC.

**Figura 16 - Definição de padrões UFC**

A imagem mostra a janela 'Definição de padrões' do programa UFC, com a aba 'Hidráulica' selecionada. O formulário contém as seguintes configurações:

- Opções para o cálculo das demandas:**
  - Baseado na população de projeto
    - População de projeto: 6300
  - 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): 120
    - 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

Fonte: Autoria nossa, 2018

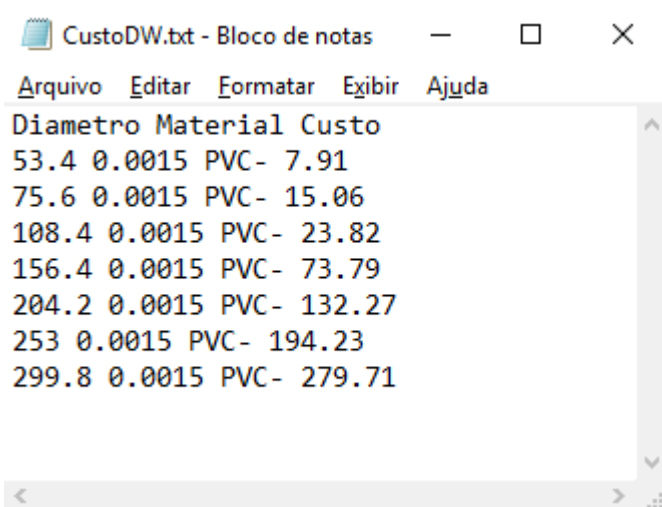
2 Depois disso, deve-se dimensionar e determinar o local de inserção do reservatório a ser instalado na rede, através da opção “Reservatório de Nível Variável”. O reservatório foi inserido buscando as cotas mais altas da cidade, a fim de obter maiores pressões no sistema. Foi selecionado o nó 216 e o reservatório ficou com altura de fundo de 4 metros em relação ao terreno.

3 Em seguida, deve-se traçar a concepção da rede, diretamente no programa através do ícone “Tubo da Rede”. Após traçada a rede, o UFC tem a possibilidade de transferir a rede traçada para o EPANET, com a grande vantagem de exportar, também, vários dados da rede, como, por exemplo, as cotas nodais através da interpolação das curvas de nível, as demandas nodais, baseado no comprimento de influencia de cada nó e de cada consumidor singular e os comprimentos dos trechos.

4 Nesta etapa, foram adicionadas as demandas especiais dos consumidores de grande porte, que não podem ser distribuídos homoganeamente pelo sistema. Para adicionar as vazões singulares utiliza-se a opção “Dados da Demanda especial”, onde é possível adicionar a vazão singular em um ponto qualquer, intermediário da rede. As vazões singulares foram inseridas de acordo com as informações de local e demanda disponíveis no item 4.2.2.

5 Deve-se, então, cadastrar os dados da tubulação disponível, para que o programa possa realizar o dimensionamento otimizado. Para isso, foi necessário modificar o arquivo “CustosDW.txt”, inserindo os dados da tubulação e dos custos, de acordo com o item 4.4.3. A Figura 17 mostra o arquivo citado com os dados para o dimensionamento do projeto.

**Figura 17 - Dados dos tubos UFC**



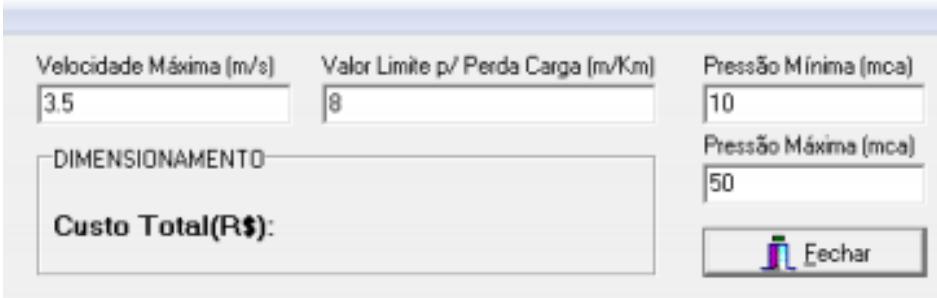
The screenshot shows a Notepad window with the following text:


Diametro	Material	Custo
53.4	0.0015 PVC-	7.91
75.6	0.0015 PVC-	15.06
108.4	0.0015 PVC-	23.82
156.4	0.0015 PVC-	73.79
204.2	0.0015 PVC-	132.27
253	0.0015 PVC-	194.23
299.8	0.0015 PVC-	279.71

Fonte: Autoria nossa, 2018

6 Na etapa seguinte, deve-se abrir o módulo do UFC-4, importar a rede que está sendo estudada e cadastrar os limites para os parâmetros normativos, como pressão máxima e mínima, velocidade e perda de carga linear. Foram, então, cadastrados os valores dos parâmetros normativos, sendo estes: velocidade máxima definida em 3,5 m/s; pressão mínima em 10 mca e pressão máxima em 50 mca. Além disso, foi definido o valor limite para a perda de carga unitária de 8m/km. Conforme mostrado na Figura 18.

**Figura 18 - Definição de limites normativos UFC**



Velocidade Máxima (m/s)	Valor Limite p/ Perda Carga (m/Km)	Pressão Mínima (mca)
3.5	8	10
DIMENSIONAMENTO		Pressão Máxima (mca)
Custo Total(R\$):		50
		

Fonte: Autoria nossa, 2018

7 Após isso, deve-se clicar em “Otimização por Algoritmo Genético” e então, após análise e dimensionamento, o UFC-4 irá nos fornecer os diâmetros ótimos da rede assim como os dados de pressões dinâmicas e estáticas em cada nó, custo total da rede e perda de carga.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Estimativa da população

Fazendo uso do Método Geométrico, como foi indicado no item 4.2, a população urbana estimada para o Município de Japi no ano de 2048, usando a equação 10, será:

$$P = P_0 \cdot (g)^{t-t_0} \quad (10)$$

$$P = 4107 \cdot (1,011)^{38}$$

$$P \cong 6300 \text{ habitantes}$$

### 5.2 Vazões de projeto

Os resultados para as vazões de projeto, calculadas conforme o item 4.3, geraram os seguintes resultados:

#### 5.2.1 Vazão média

$$Q_d = \frac{1,2 \cdot 1,5 \cdot 6300 \cdot 120}{86400} \text{ (l/s)}$$

Logo,

$$Q_d = 15,75 \text{ l/s}$$

#### 5.2.2 Vazões singulares

As escolas consideradas para as vazões singulares geraram vazões indicadas nos Quadros 18 a 22.

**Quadro 18 – Consumo da Escola Municipal Deputado Marcílio Furtado**

Nome:	Escola Municipal Deputado Marcilio Furtado		
Localização:	Rua Alto da bela vista		
Matrículas:	122 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia
<b>Vazão singular:</b>	<b>0.071 l/s</b>		

QEdu, 2017

**Quadro 19 – Consumo da Escola Estadual Manoel Medeiros I**

Nome:	Escola Estadual Manoel Medeiros I		
Localização:	Rua Manoel Medeiros Filho		
Matrículas:	149 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia
<b>Vazão singular:</b>	<b>0.086 l/s</b>		

QEdu, 2017

**Quadro 20 – Consumo da Escola Estadual Manoel Medeiros II**

Nome:	Escola Estadual Manoel Medeiros II		
Localização:	Rua Coronel Manoel Medeiros		
Matrículas:	324 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia
<b>Vazão singular:</b>	<b>0.188 l/s</b>		

QEdu, 2017

**Quadro 21 – Consumo da Escola Estadual Severina Pontes de Medeiros**

Nome:	Escola Estadual Severina Pontes de Medeiros		
Localização:	Rua Severino da Costa Belmont		
Matrículas:	255 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia
<b>Vazão singular:</b>	<b>0.148 l/s</b>		

QEdu, 2017

**Quadro 22 – Consumo da Escola Estadual José da Costa Medeiros**

Nome:	Escola Estadual José da Costa Medeiros		
Localização:	Rua José da Costa Medeiros		
Matrículas:	403 pess	Vazão por pessoa:	50 l/pess/dia

<b>Vazão singular:</b>	<b>0.233 l/s</b>
------------------------	------------------

QEdu, 2017

### 5.3 Composição dos custos do fornecimento e instalação dos tubos

Foram realizadas as composições dos preços da tubulação por metro de acordo com o exposto no item 4.5 e os custos dos serviços, para cada diâmetro da família de diâmetros selecionada, encontram-se nos Quadros 23 a 29.

#### Quadro 23 - Composição de tubo 50mm

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	PREÇO MEDIANO R\$
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 12, DN 50 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	M	7.91

Fonte: Autoria nossa, 2018

#### Quadro 24 - Composição de tubo 75mm

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	PREÇO MEDIANO R\$
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 12, DN 75 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	M	15.06

Fonte: Autoria nossa, 2018

#### Quadro 25 - Composição de tubo 100mm

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	PREÇO MEDIANO R\$
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 12, DN 100 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	M	23.82

Fonte: Autoria nossa, 2018

#### Quadro 26 - Composição de tubo 150mm

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	PREÇO MEDIANO R\$
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 150 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	M	73.79

Fonte: Autoria nossa, 2018



**Quadro 27 - Composição de tubo 200mm**

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	PREÇO MEDIANO R\$
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 200 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	M	132.27

Fonte: Autoria nossa, 2018

**Quadro 28 - Composição de tubo 250mm**

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	PREÇO MEDIANO R\$
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 250 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	M	194.23

Fonte: Autoria nossa, 2018

**Quadro 29 - Composição de tubo 300mm**

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID.	PREÇO MEDIANO R\$
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 250 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	M	279.71

Fonte: Autoria nossa, 2018

**5.4 EPANET / LENHSNET**

Para a simulação e dimensionamento realizado pelo software EPANET/LENHSNET, os resultados para os diâmetros de cada trecho são mostrados no ANEXO A. Pode-se observar que para a maioria dos trechos o diâmetro adotado foi o mínimo, de DN 50. Os trechos que foram dimensionados com diâmetros maiores foram os próximos ao reservatório, que geralmente possuem maiores vazões e menores pressões disponíveis, como os trechos 249 e 248 que ficaram com diâmetros de DN 150 e 100 mm, respectivamente.

Podemos observar, também, que a restrição hidráulica imposta de pressão mínima foi atendida, como evidenciado no ANEXO B, onde podemos perceber que a menor pressão dinâmica no sistema foi de 10,48 mca. Vale a pena observar ainda, que apesar de o valor mínimo ser muito próximo do limite de 10 mca, algumas áreas de potencial crescimento tiveram pressões bem mais elevadas, como por exemplo,

os nós 152, 185 e 133 que ficaram com 25,47 mca, 17,02 mca e 33,34 mca, respectivamente.

O LENHSNET, porém, não possui um sistema de dimensionamento que leve em consideração o limite de perda de carga unitária proposto por algumas companhias de água. Por isso, podemos observar em alguns trechos uma perda de carga unitária bastante elevada. Por outro lado, a velocidade máxima de escoamento e, todos os trechos ficaram dentro do limite máximo disposto pela norma NBR12218/1992 de 3,5 m/s, porém em alguns trechos foi impossível permanecer com a velocidade mínima exigida pela norma de 0,6 m/s, devido aos outros fatores como diâmetro mínimo e pressão mínima requerida. Esses dados estão exibidos no ANEXO C deste trabalho.

Este fato, porém, não configura um empecilho para a utilização do LENHSNET para o dimensionamento de redes, visto que a limitação da perda de carga unitária nos tubos, em 8m/km, não é uma especificação normativa, não sendo citada na NBR12218. Essa limitação é, entretanto, uma recomendação técnica da literatura adotada em algumas companhias de água.

O custo total do sistema, considerando os dados da tubulação também foi calculado, totalizando R\$ 142.506,52 e é apresentado na Figura 19, que mostra o resumo do relatório de custos do LENHSNET.

**Figura 19 - Relatório de custos EPANET**

```

-----
Lenhs UFPB
Lenhsnet - Método de Dimensionamento Econômico de Redes
-----
Pressão Mínima: 10.48
Pressão Máxima: 37.35

Velocidade Mínima: 0.01|
Velocidade Máxima: 2.1
-----
Custo de Implantação das Tubulações: 142,506.52
-----

```

Fonte: Autoria nossa, 2018

## 5.5 Sistema UFC

Vale a pena observar que o dimensionamento através do UFC, pode levar em consideração a perda de carga máxima unitária fixada em 8m/km. Sendo assim, a rede dimensionada pelo Sistema UFC ficou com diâmetros notadamente maiores e seu preço tornou-se significativamente mais caro. Esta simulação que levou em consideração o limite de perda de carga das tubulações foi chamada de UFC (1), por outro lado, a outra simulação que não levou em conta as perdas de carga unitárias foi chamada de UFC (2).

#### 5.5.1 UFC (1)

Os diâmetros calculados estão apresentados no ANEXO D. Observa-se que para esse dimensionamento os diâmetros calculados foram bem maiores se comparados aos dimensionados pelo LENHSNET, chegando a ter, em alguns trechos, a diâmetros DN 200 mm, como nos trechos 248 e 249.

A condição limitante de pressões mínimas foi satisfeita, agora com certa folga, assim como a condição de máxima perda de carga unitária. Os resultados das perdas de carga para cada trecho podem ser visualizados no ANEXO E.

O custo total de implantação desse sistema foi calculado e gerou um resultado consideravelmente maior que o realizado pelo LENHSNET. O custo total para este dimensionamento foi de R\$ 221.039,68.

#### 5.5.2 UFC (2)

Como forma de comparação com o método do LENHSNET, optou-se por refazer o dimensionamento utilizando o sistema de otimização UFC-4, porém dessa vez desconsiderando a limitação da perda de carga máxima nos trechos do sistema.

Obteve-se, então, um dimensionamento compatível com o do LENHSNET, com pouca diferença no valor final da rede. Os diâmetros das tubulações empregadas nesse dimensionamento são exibidos no ANEXO F. Houve algumas poucas mudanças entre os dimensionamentos do EPANET e este dimensionamento

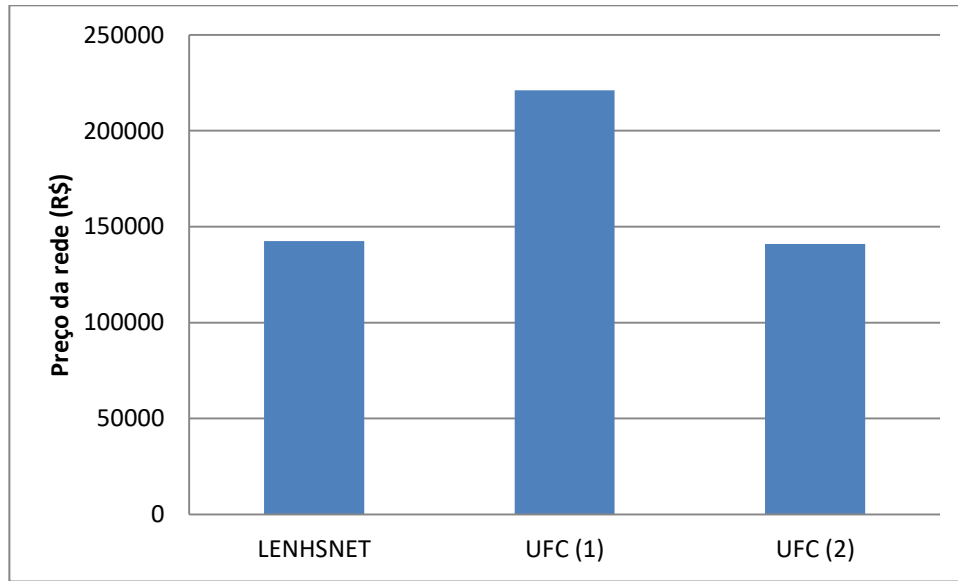
realizado pelo Sistema UFC. Apenas dois trechos: 247 onde o diâmetro era DN 100mm, acabou sendo dimensionado como diâmetro mínimo, DN 75mm e o trecho 288, que no dimensionamento do LENHSNET estava com DN 75mm e pode ser dimensionado com DN 50. Resultando, assim, em um sistema um pouco menos oneroso que o dimensionado pelo LENHSNET.

A pressão mínima do sistema, também foi satisfeita para este dimensionamento, e a pressão dinâmica disponível em cada nó é mostrada no ANEXO G, sendo a menor pressão disponível a que age sobre o nó 135 de 10,01 mca.

Por fim, pode ser analisada, novamente, a questão das velocidades, onde a velocidade máxima foi sempre respeitada, porém em alguns trechos a velocidade mínima, de 0,6 m/s, descrita na norma não pode ser atendida devido à especificação do diâmetro mínimo e devido à necessidade de se alcançar a pressão mínima dinâmica, de 10 mca, em todos os pontos da rede. Neste novo dimensionamento, as perdas de carga unitárias voltaram a ser maiores que a recomendação de 8m/km, porém a rede se tornou bem mais econômica. O ANEXO H mostra o comportamento desses parâmetros em todos os trechos da rede.

O custo total desse segundo dimensionamento pelo UFC foi de R\$140.960,22, um pouco mais barato que o dimensionamento do LENHSNET.

Com esses dados, pode-se montar um gráfico comparativo dos valores das redes para os softwares de dimensionamento otimizado estudados, onde UFC (1) representa o dimensionamento pelo programa UFC considerando o limite superior de perda de carga em 8m/km e UFC (2) representa o custo da rede dimensionada pelo sistema UFC quando não se considera um limite superior para a perda de carga.

**Gráfico 1 - Comparação dos custos das redes**

Fonte: Autoria nossa, 2018

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A rede de abastecimento de água para a cidade de Japi foi dimensionada e otimizada, sendo apresentados neste trabalho resultados adequados para o dimensionamento buscando o menor custo. Obteve-se, ainda, o dimensionamento através de duas considerações distintas de limites para a perda de carga unitária nos trechos, para uma dessas considerações, a rede gerou um custo bem mais elevado (cerca de 36% maior). Porém, uma decisão de implantação de rede deve levar em consideração outros fatores, além da questão puramente orçamentária, como por exemplo, a durabilidade das tubulações e a não necessidade de troca delas ao ser exigida uma passagem maior de vazão.

Com relação aos softwares de dimensionamento otimizado, tanto o LENHSNET quanto o sistema UFC geraram resultados satisfatórios ao serem utilizados para o dimensionamento da rede. Com relação à comparação dos custos, o UFC gerou uma rede um pouco mais econômica em relação ao EPANET, mas essa diferença foi quase desprezível em relação ao custo total da rede, R\$ 1.546,30, cerca de 1% do valor total.

O dimensionamento através do Sistema UFC, por sua vez, leva certa vantagem quando se trata de opções de dimensionamento. Dentre as maiores vantagens estão a de poder dimensionar levando em consideração outros fatores que o EPANET não consegue, como por exemplo, a perda de carga unitária, a avaliação das pressões máximas estáticas e o posterior detalhamento das conexões.

O LENHSNET, entretanto, possui uma interface mais simples e seu uso é mais prático, possuindo também tempo de processamento do dimensionamento consideravelmente menor, enquanto o Sistema UFC levou cerca de 110 minutos para atingir um dimensionamento confiável o LENHSNET levou apenas 8 minutos para obter o resultado, cerca de 7% do tempo gasto pelo Sistema UFC.

Para resultados ainda mais precisos e uma melhor apresentação do projeto de rede de abastecimento de água da cidade de Japi, recomenda-se, portanto, que poderá ser realizado o detalhamento da rede e suas conexões utilizando o módulo UFC-3. Também é proposto, para trabalhos futuros, que se faça uma avaliação do

abastecimento da cidade de Japi, estudando a possibilidade de haver melhora no suprimento de água da população fazendo uso da captação de água de outras fontes, como poços.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. S. A.; BEZERRA, A. A. Método para diâmetro e fator de atrito: rede de distribuição. **Revista DAE**, n. 203, p. 48 – 63, set. – dez., 2016. Disponível em: <[http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_203\\_n\\_1645.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_203_n_1645.pdf)>. Acesso em: 20 set 2018.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 12.217**: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 12.218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

AZEVEDO NETTO, J.M.; ALVAREZ, G.A. **Manual de Hidráulica**, v. I, 7. ed. São Paulo, Edgard Blucher Ltda, 1988.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Título VIII, Capítulo II, Seção II, Artigo 200-III. Brasília, 1988. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L8080.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8080.htm)>. Acesso em: 11 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Fundação Nacional de Saúde. **Manual do Saneamento**. 4. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2015. Disponível em: <<http://bvsmms.saude.gov.br>>. Acesso em: 09 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Fundação Getúlio Vargas. **Benefícios econômicos da expansão do saneamento brasileiro**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Economia, 2009, 32 p. Disponível em: <<http://tratabrasil.org.br>>. Acesso em: 09 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado do Rio Grande do Norte**: diagnóstico do Município de Japi. Organizado por MASCARENHAS, J. C.; et al. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em:



<[http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17002/rel\\_japi.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17002/rel_japi.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 29 set 2018.

CASTRO, M. A. H.; COSTA, L. H. M. Otimização de redes de distribuição de água usando a metodologia de Morgan e o EPANET. IV Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, 4, 2004. **Anais do Seminário Hispano-Brasileiro sobre sistemas de abastecimento urbano de água**. João Pessoa: SEREA, 2004. Disponível em:

<[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/4serea/artigos/otimizacao\\_de\\_redes\\_co.pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/4serea/artigos/otimizacao_de_redes_co.pdf)>. Acesso em: 17 out 2018.

DE NYS, E.; ENGLE, N.L.; MAGALHÃES, A.R. Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- CGEE; Banco Mundial, 2016. 292 p.

FURUSAWA, R.T. **Contribuição ao dimensionamento de rede de distribuição de água por critério de custo global**. 2011. 225 f. Dissertação de mestrado (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Engenharia Civil). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011.

GRANZIERA, M. L. M. Recursos hídricos e saúde pública. **Revista de Direito Sanitário**, v. 3, n. 1, p. 79-93, mar. 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Conheça cidades e estados do Brasil**. 2017. Página da internet. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

PESSANHA, F.B.; et al. Benefícios econômicos do saneamento básico para o Município de Campos dos Goytacazes, RJ. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 31, 2011. **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Belo Horizonte: Enegep, 2011. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011\\_tn\\_sto\\_143\\_901\\_19401.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_143_901_19401.pdf)>. Acesso em: 07 out. 2018.

PORTO, R. de M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC – USP, 2006, 540 p.

RIO GRANDE DE NORTE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu Município:** Japi. v. 10, p. 1-21, 2008. Natal: IDEMA, 2008.

Disponível em:

<<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC00000000015006.PDF>>. Acesso em: 30 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Companhia de Águas e Esgotos. **Relatório Anual de Qualidade da Água:** Japi/RN, 2016. Rio Grande do Norte: CAERN, 2016. Disponível em:

<<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/caern/DOC/DOC000000000108514.PDF>>. Acesso em: 01 out. 2018.

SALDAÑA, E. A. A. **Metodologia eficiente para análise de redes complexas de abastecimento de água.** 2014, 178 f. Tese de Doutorado (Engenharia Civil - Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas, 2014. Disponível em:

<[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257965/1/ArandaSaldana\\_EdwinAntonio\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257965/1/ArandaSaldana_EdwinAntonio_D.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2018.

SALVINO, M. M. **Método de dimensionamento e controle operacional otimizado para redes de distribuição de água.** 2009. 76 f. Dissertação de mestrado (Universidade Federal da Paraíba – Engenharia Mecânica). João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2009.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água.** 3. Ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

## ANEXO A – DIÂMETROS DOS TRECHOS - LENHSNET

Rede Abastecimento Japi EPANET				
Tabela de Trecho - Nó:				
Trecho:	Início:	Fim:	Compr.	Diâmetro
ID	Nó	Nó	m	mm
1	1	2	27.08	53.4
2	2	3	38.13	53.4
3	4	5	53.69	53.4
4	5	6	61.61	53.4
5	6	7	81.12	53.4
6	7	8	114.8	53.4
7	8	9	258.38	53.4
8	9	10	70.48	75.6
9	9	11	32.46	75.6
10	12	13	47.22	53.4
11	13	14	24.05	53.4
12	14	15	73.4	53.4
13	13	16	46.19	53.4
14	17	18	78.64	53.4
15	18	15	54.08	53.4
16	17	19	50.78	53.4
17	19	20	80.01	53.4
18	20	18	50.75	53.4
19	19	21	50.73	53.4
20	22	23	49.12	53.4
21	23	24	61.04	53.4
22	24	20	52.46	53.4
23	21	24	80.17	53.4
24	24	6	49.82	53.4
25	23	5	48.92	53.4
26	21	7	48.28	53.4
27	4	25	49.59	53.4
28	26	27	37.71	53.4
29	28	29	66.96	53.4
30	29	6	64.33	53.4
31	5	30	65.15	53.4
32	30	29	61.92	53.4
33	29	31	34.03	53.4
34	32	28	34.33	53.4
35	26	33	54.66	53.4
36	33	34	60.13	53.4
37	35	36	34.57	53.4
38	37	38	44.37	53.4
39	38	39	102.34	53.4

40	39	40	80.19	53.4
41	40	41	55.76	53.4
42	41	42	46.75	53.4
43	41	43	128.44	53.4
44	43	44	21.5	53.4
45	44	45	128.35	53.4
46	45	41	25.21	53.4
47	42	46	27.32	53.4
48	47	37	7.03	53.4
49	47	48	44.32	53.4
50	48	49	119.82	53.4
51	48	45	15.29	53.4
52	45	46	45.37	53.4
53	27	35	115.6	53.4
54	2	50	28.12	53.4
55	51	52	55.68	53.4
56	52	30	32.37	53.4
57	30	53	33.44	53.4
58	53	31	61.94	53.4
59	31	54	58.59	53.4
60	54	55	62.34	53.4
61	55	53	58.53	53.4
62	56	57	58.1	53.4
63	57	54	45.18	53.4
64	54	58	33.78	53.4
65	58	59	63.23	53.4
66	59	55	34.99	53.4
67	60	61	59.14	53.4
68	61	57	37.85	53.4
69	57	62	34.11	53.4
70	62	58	45.29	53.4
71	58	63	41.83	53.4
72	63	64	64.33	53.4
73	64	59	40.74	53.4
74	35	65	203.2	53.4
75	65	66	36.04	53.4
76	66	36	197.78	53.4
77	36	67	28.2	53.4
78	67	68	79.61	53.4
79	68	69	30.9	53.4
80	67	70	32.57	53.4
81	70	71	79.12	53.4
82	71	68	28.74	53.4

83	61	71	33.4	53.4
84	71	72	32.06	53.4
85	72	73	34.86	53.4
86	73	61	33.01	53.4
87	62	73	37.02	53.4
88	73	74	41.68	53.4
89	74	63	83.06	53.4
90	63	75	16.55	53.4
91	75	76	65.15	53.4
92	76	77	130.22	53.4
93	77	78	18.92	53.4
94	78	74	111.31	53.4
95	78	70	73.12	53.4
96	70	79	126.53	53.4
97	50	80	141.84	53.4
98	81	51	112.7	53.4
99	80	82	36.05	53.4
100	82	83	70.39	53.4
101	83	81	35.4	53.4
102	83	84	40.79	53.4
103	84	85	72.06	53.4
104	85	82	41.15	53.4
105	84	86	72.62	53.4
106	64	87	17.73	53.4
107	87	75	63.35	53.4
108	77	88	36.59	53.4
109	88	89	92.93	53.4
110	89	90	36.32	53.4
111	90	76	36.17	53.4
112	91	92	96.4	53.4
113	92	87	34.86	53.4
114	92	93	39.87	53.4
115	93	94	97.22	53.4
116	94	91	39.91	53.4
117	90	95	39.61	53.4
118	95	94	33.32	53.4
119	94	96	59.58	53.4
120	96	97	97.41	53.4
121	97	93	60.1	53.4
122	85	98	14.98	53.4
123	98	99	72.41	53.4
124	99	84	16.58	53.4
125	99	100	34.91	53.4
126	100	101	71.48	53.4
127	101	102	34.83	53.4

128	102	99	72.1	53.4
129	98	103	73.22	53.4
130	103	104	95.48	53.4
131	104	105	72.74	53.4
132	105	106	52.8	53.4
133	106	107	40.93	53.4
134	107	100	38.29	53.4
135	103	107	73.17	53.4
136	107	108	70.98	53.4
137	108	109	91.78	53.4
138	97	110	31.53	53.4
139	110	111	98.29	53.4
140	111	96	31.97	53.4
141	111	112	25.81	53.4
142	112	113	43.46	53.4
143	113	114	25.64	53.4
144	114	111	42.68	53.4
145	95	115	35.37	53.4
146	115	89	39.06	53.4
147	95	116	90.46	53.4
148	116	112	7.48	53.4
149	113	117	41.59	53.4
150	117	118	45.27	53.4
151	118	116	34.84	53.4
152	115	119	51.39	53.4
153	119	118	38.26	53.4
154	118	120	93.77	53.4
155	120	121	38.78	53.4
156	122	115	93.21	53.4
157	88	122	39.34	53.4
158	122	123	62.62	53.4
159	123	124	52.54	53.4
160	124	121	62.64	53.4
161	120	125	100.37	53.4
162	117	126	57.28	53.4
163	103	127	43.74	53.4
164	98	128	40.76	53.4
165	85	129	34.86	53.4
166	130	131	35.02	53.4
167	131	132	53.79	53.4
168	133	3	30.7	53.4
169	65	134	62.94	53.4
170	134	135	53.95	53.4
171	135	136	20.2	53.4
172	136	66	110.96	53.4

173	43	137	80.67	53.4
175	109	138	56.24	53.4
176	138	139	102.65	53.4
177	139	114	15.19	53.4
178	123	140	31.11	53.4
179	123	141	186.63	53.4
180	142	143	50.82	53.4
181	104	144	19.94	53.4
182	19	145	24.58	53.4
183	145	146	25.56	53.4
184	146	147	26.78	53.4
185	16	148	15.4	53.4
186	148	39	46.15	53.4
187	77	149	104.94	53.4
188	78	150	77.28	53.4
189	150	149	29.86	53.4
190	149	151	21.35	53.4
191	151	152	38.72	53.4
192	149	153	36.43	53.4
193	153	154	54.9	53.4
194	119	121	92.92	53.4
195	101	108	39.69	53.4
196	108	93	5.56	53.4
197	105	155	39.49	53.4
198	156	157	112.89	75.6
199	157	158	118.65	53.4
200	158	159	29.85	53.4
201	159	160	39.27	53.4
202	160	161	130.9	53.4
203	161	162	50.11	53.4
204	162	163	10.99	53.4
205	163	164	174.46	53.4
206	164	165	78.74	53.4
207	159	166	143.64	53.4
208	166	161	36.59	53.4
209	166	167	59.8	53.4
210	168	167	112.57	53.4
211	167	169	38.72	53.4
212	162	170	13.49	53.4
213	171	172	21.49	53.4
214	172	173	177.97	53.4
215	173	164	29.07	53.4
216	171	174	102.51	53.4
217	175	176	171.88	53.4
218	176	177	20.83	53.4

219	178	179	25.1	53.4
220	178	180	143.61	53.4
221	180	181	59.04	53.4
222	174	182	221.74	53.4
223	181	175	43.63	53.4
224	172	183	56.27	53.4
225	184	185	38.94	53.4
226	183	186	178.69	53.4
227	186	187	33.35	53.4
228	187	188	118.39	53.4
229	186	189	10.05	53.4
230	190	191	81.5	53.4
231	189	192	107.62	53.4
232	169	165	72.76	53.4
233	165	193	111.72	53.4
234	169	194	24.58	53.4
235	194	195	111.43	53.4
236	120	196	49	53.4
237	106	197	46.65	53.4
238	197	198	58.3	53.4
239	197	108	46.18	53.4
240	22	20	59.96	53.4
241	181	199	83.21	53.4
242	199	200	70.25	53.4
243	83	130	74.29	53.4
244	21	201	35.65	53.4
245	202	203	27.99	53.4
246	203	204	37.21	108.4
247	204	205	39.78	108.4
248	205	206	67.36	108.4
249	206	216	75.87	156.4
251	44	209	50.93	53.4
252	209	137	38.19	53.4
253	82	210	8.74	53.4
254	80	211	27.7	53.4
255	212	213	80.66	53.4
256	214	215	56.47	53.4
257	52	132	44.16	53.4
258	80	81	70.96	53.4
259	81	131	74.5	53.4
260	131	55	5.99	53.4
261	130	86	40.75	53.4
262	86	102	17.75	53.4
263	17	16	19.6	53.4
264	26	7	29.62	53.4

265	31	56	44.3	53.4
266	56	32	23.44	53.4
267	32	60	14.19	53.4
268	60	69	32.77	53.4
269	69	36	81.09	53.4
270	189	190	41.7	53.4
271	173	187	25.96	53.4
272	163	171	8.89	53.4
273	158	168	49.68	53.4
274	214	213	35.43	53.4
275	105	198	16.97	53.4
276	198	156	5.11	53.4
277	156	212	20.47	53.4
278	212	109	27.67	53.4
279	121	122	51.71	53.4
280	175	174	72.67	53.4
281	183	184	79.55	53.4

282	109	110	2.57	53.4
283	91	90	33.12	53.4
284	86	64	5.8	53.4
285	28	27	12.81	53.4
286	51	50	72.68	53.4
287	4	3	53.03	53.4
288	10	135	83.74	75.6
289	203	11	13.63	75.6
290	137	205	23.35	75.6
291	35	142	35.83	53.4
292	142	34	4.92	53.4
293	34	8	26.22	53.4
294	8	37	36.93	53.4
295	46	47	14.8	53.4
296	42	147	39.37	53.4
297	178	177	67.02	53.4

## ANEXO B – PRESSÕES NOS NÓS - LENHSNET

Nó	Pressão
ID	m
1	33.41
2	34.72
3	33.6
4	32.47
5	31.16
6	29.41
7	23.56
8	21.17
9	18.29
10	11.27
11	16.3
12	23.23
13	29.17
14	31.2
15	37.04
16	27.05
17	28.46
18	33.12
19	27.48
20	31.61
21	24.47
22	33.94
23	33.13
24	30.41
25	33.79
26	23.47
27	23.06
28	23.4
29	27.07
30	28.32
31	26.63
32	23.99
33	20.75
34	22.26
35	25.38
36	26.97
37	18.79
38	20
39	19.61
40	16.54
41	14.21

42	16.64
43	15.76
44	17.04
45	16.17
46	17.67
47	18.4
48	17.71
49	12.26
50	34.6
51	31.06
52	28.17
53	28.03
54	29.21
55	28.75
56	25.06
57	28.24
58	30.25
59	29.96
60	23.41
61	28.22
62	29.68
63	31.16
64	30.75
65	23.54
66	22.39
67	27.85
68	25.72
69	22.24
70	29.66
71	27.37
72	29.37
73	30.22
74	31.73
75	31.33
76	31.61
77	32.15
78	31.94
79	24.65
80	30.91
81	28.87
82	29.99
83	29.55
84	30.45

85	30.55
86	30.69
87	30.98
88	32.68
89	31.56
90	32.26
91	31.6
92	31.44
93	32.45
94	32.89
95	33.19
96	33.68
97	33.2
98	30.54
99	30.67
100	30.81
101	31.49
102	30.81
103	31.43
104	32.78
105	32.59
106	32.5
107	31.99
108	32.55
109	33.33
110	33.38
111	34.17
112	34.3
113	35.71
114	35.36
115	33.21
116	34.34
117	34.75
118	34.81
119	34.44
120	34.74
121	34.56
122	33.54
123	34.64
124	35.59
125	35.91
126	34.4
127	31.96

128	31.42
129	31.39
130	29.41
131	28.78
132	27.79
133	33.34
134	18.22
135	15.61
136	15.54
137	14.35
138	33.43
139	35.45
140	33.78
141	32.24
142	22.48
143	22.52
144	32.53
145	25.97
146	23.86
147	20.77
148	26.33
149	32.08
150	31.51
151	30.58
152	25.47
153	32.62
154	31.76
155	32.82
156	32.21

157	34.76
158	28.57
159	28.13
160	26.57
161	15.28
162	14.1
163	13.32
164	18.1
165	16.46
166	16.14
167	18.01
168	26.18
169	18.55
170	15.24
171	12.93
172	13.66
173	19.17
174	15.08
175	17.35
176	20.64
177	20.74
178	21.58
179	21.74
180	20.65
181	18.3
182	20.99
183	16.24
184	16.72
185	17.02

186	20.64
187	19.82
188	17.44
189	20.79
190	21.46
191	22.51
192	20.22
193	15.75
194	19.87
195	24.49
196	36.1
197	32.45
198	32.18
199	21.54
200	22.34
201	20.86
202	18.52
203	17.37
204	14.6
205	13.92
206	10.48
209	15.2
210	30.28
211	31.88
212	32.83
213	33.19
214	34.95
215	37.35
216	RESERV



### ANEXO C – VELOCIDADE E PERDA DE CARGA - LENHSNET

Trecho	Velocid.	Perda de Carga
ID	m/s	m/km
1	0.04	0.04
2	0.5	5.74
3	0.64	8.96
4	0.56	7.13
5	0.7	10.46
6	0.92	16.9
7	1.51	41.03
8	1.31	20.94
9	2.08	48.14
10	0.04	0.04
11	0.29	2.25
12	0.26	1.79
13	0.36	3.29
14	0.35	3.17
15	0.22	1.38
16	0.22	1.43
17	0.53	6.39
18	0.54	6.6
19	0.62	8.4
20	0.45	4.83
21	0.38	3.53
22	0.55	6.73
23	0.48	5.47
24	0.62	8.35
25	0.79	13.08
26	0.06	0.13
27	0.04	0.04
28	0.83	14.08
29	0.56	6.95
30	0.72	10.92
31	0.68	9.95
32	0.52	6.22
33	0.72	10.88
34	0.88	15.81
35	0.62	8.43
36	0.65	9.3
37	1.09	23
38	0.43	4.44
39	0.36	3.3

40	0.72	11.06
41	0.76	12.04
42	0.87	15.39
43	1.7	51.09
44	0.06	0.1
45	1.7	51.12
46	0.04	0.05
47	0.23	1.51
48	1.33	32.94
49	0.78	12.72
50	0.04	0.04
51	0.85	14.86
52	0.85	14.93
53	0.68	10.01
54	0.43	4.38
55	0.34	2.99
56	0.77	12.34
57	0.4	3.86
58	0.3	2.32
59	0.58	7.4
60	0.41	4.17
61	0.66	9.39
62	0.47	5.18
63	0.41	4.01
64	0.53	6.43
65	0.33	2.76
66	0.39	3.76
67	0.56	7.05
68	0.35	3.12
69	0.38	3.57
70	0.52	6.11
71	0.68	10.03
72	0.31	2.55
73	0.68	10.04
74	1.15	25.26
75	0.09	0.3
76	1.26	29.92
77	1.44	37.87
78	0.4	3.97
79	0.39	3.82
80	1	19.79
81	0.08	0.27
82	0.76	12.18

83	0.35	3.12
84	0.46	4.99
85	0.42	4.33
86	0.52	6.27
87	0.17	0.9
88	0.74	11.56
89	0.34	2.98
90	0.68	9.87
91	0.41	4
92	0.2	1.21
93	0.81	13.61
94	0.3	2.31
95	0.85	14.65
96	0.04	0.04
97	0.34	2.97
98	0.36	3.19
99	0.43	4.48
100	0.12	0.46
101	0.47	5.28
102	0.48	5.46
103	0.11	0.39
104	0.48	5.31
105	0.2	1.17
106	0.49	5.53
107	0.24	1.55
108	0.65	9.24
109	0.19	1.08
110	0.11	0.41
111	0.57	7.36
112	0.18	0.98
113	0.69	10.14
114	0.47	5.2
115	0.09	0.3
116	0.28	2.09
117	0.29	2.29
118	0.1	0.36
119	0.25	1.76
120	0.08	0.24
121	0.24	1.65
122	0.51	6
123	0.06	0.1
124	0.54	6.68
125	0.52	6.27

126	0.01	0.01
127	0.54	6.68
128	0.07	0.21
129	0.5	5.68
130	0.35	3.09
131	0.28	2.07
132	0.4	3.88
133	0.49	5.5
134	0.5	5.75
135	0.07	0.21
136	0.05	0.07
137	0.26	1.82
138	0.29	2.2
139	0.15	0.74
140	0.14	0.62
141	0.13	0.54
142	0.09	0.27
143	0.11	0.44
144	0.08	0.22
145	0.05	0.06
146	0.26	1.89
147	0.2	1.22
148	0.25	1.7
149	0.06	0.14
150	0.14	0.6
151	0.08	0.24
152	0.2	1.21
153	0.19	1.08
154	0.06	0.12
155	0.17	0.86
156	0.02	0.02
157	0.43	4.37
158	0.17	0.86
159	0.06	0.11
160	0.02	0.03
161	0.04	0.04
162	0.04	0.04
163	0.04	0.04
164	0.04	0.04
165	0.04	0.04
166	0.65	9.13
167	0.35	3.15
168	0.04	0.04
169	1.28	30.45
170	1.31	31.99

171	1.24	29.1
172	1.21	27.62
173	1.79	56.15
175	0.08	0.26
176	0.12	0.47
177	0.15	0.74
178	0.04	0.04
179	0.04	0.04
180	0.04	0.04
181	0.04	0.04
182	0.96	18.3
183	0.99	19.53
184	1.03	20.8
185	1.01	20.19
186	1.05	21.48
187	0.08	0.25
188	0.29	2.29
189	0.26	1.83
190	0.07	0.2
191	0.04	0.04
192	0.07	0.2
193	0.04	0.04
194	0.02	0.03
195	0.5	5.71
196	0.28	2.13
197	0.04	0.04
198	0.73	7.37
199	1.43	37.3
200	0.85	14.85
201	0.42	4.3
202	0.39	3.68
203	0.68	10.02
204	0.61	8.24
205	0.01	0.01
206	0.32	2.61
207	0.39	3.81
208	0.33	2.82
209	0.03	0.03
210	0.51	5.89
211	0.5	5.7
212	0.04	0.04
213	0.14	0.61
214	0.04	0.05
215	0.29	2.25
216	0.39	3.79

217	0.1	0.36
218	0.06	0.15
219	0.04	0.04
220	0.04	0.05
221	0.08	0.24
222	0.04	0.04
223	0.19	1.03
224	0.14	0.67
225	0.04	0.04
226	0.04	0.04
227	0.14	0.64
228	0.04	0.04
229	0.14	0.66
230	0.04	0.04
231	0.04	0.04
232	0.39	3.72
233	0.04	0.04
234	0.07	0.2
235	0.04	0.04
236	0.04	0.04
237	0.05	0.08
238	0.47	5.14
239	0.45	4.83
240	0.49	5.53
241	0.07	0.2
242	0.04	0.04
243	0.16	0.8
244	0.04	0.04
245	0.04	0.04
246	1.04	8.91
247	1.05	9.04
248	1.92	26.94
249	0.92	4.65
251	1.68	50.02
252	1.72	51.94
253	0.04	0.04
254	0.04	0.04
255	0.11	0.4
256	0.04	0.04
257	0.39	3.72
258	0.16	0.81
259	0.32	2.58
260	0.65	9.08
261	0.45	4.84
262	0.69	10.19

263	0.61	8.32
264	0.24	1.65
265	0.19	1.1
266	0.7	10.42
267	0.15	0.71
268	0.45	4.73
269	0.88	15.61
270	0.07	0.2
271	0.21	1.3
272	0.57	7.19
273	0.54	6.64
274	0.07	0.2

275	0.5	5.8
276	0.93	17.43
277	0.57	7.23
278	0.71	10.75
279	0.2	1.19
280	0.32	2.67
281	0.07	0.2
282	0.41	4.01
283	0.13	0.59
284	0.47	5.25
285	1.47	39.44
286	0.05	0.07

287	0.57	7.27
288	1.29	20.43
289	2.1	48.89
290	1.77	36
291	0.66	9.42
292	0.73	11.31
293	1.42	36.95
294	0.87	15.3
295	0.59	7.68
296	1.07	22.1
297	0.03	0.03

### ANEXO D – DIÂMETROS DOS TRECHOS – UFC (1)

Rede Abastecimento Japi UFC				
Tabela de Trecho - Nó:				
Trecho:	Início:	Fim:	Compr.	Diâmetro
ID	Nó	Nó	m	mm
1	1	2	27.08	53.4
2	2	3	38.13	75.6
3	4	5	53.69	75.6
4	5	6	61.61	75.6
5	6	7	81.12	53.4
6	7	8	114.8	53.4
7	8	9	258.38	53.4
8	9	10	70.48	156.4
9	9	11	32.46	156.4
10	12	13	47.22	53.4
11	13	14	24.05	108.4
12	14	15	73.4	108.4
13	13	16	46.19	53.4
14	17	18	78.64	108.4
15	18	15	54.08	53.4
16	17	19	50.78	75.6
17	19	20	80.01	75.6
18	20	18	50.75	108.4
19	19	21	50.73	75.6
20	22	23	49.12	75.6
21	23	24	61.04	53.4
22	24	20	52.46	53.4
23	21	24	80.17	108.4
24	24	6	49.82	75.6
25	23	5	48.92	75.6
26	21	7	48.28	75.6
27	4	25	49.59	53.4
28	26	27	37.71	75.6
29	28	29	66.96	53.4
30	29	6	64.33	53.4
31	5	30	65.15	75.6
32	30	29	61.92	53.4
33	29	31	34.03	53.4
34	32	28	34.33	75.6
35	26	33	54.66	53.4
36	33	34	60.13	53.4
37	35	36	34.57	53.4
38	37	38	44.37	53.4
39	38	39	102.34	75.6

40	39	40	80.19	75.6
41	40	41	55.76	75.6
42	41	42	46.75	108.4
43	41	43	128.44	156.4
44	43	44	21.5	53.4
45	44	45	128.35	75.6
46	45	41	25.21	53.4
47	42	46	27.32	156.4
48	47	37	7.03	108.4
49	47	48	44.32	53.4
50	48	49	119.82	53.4
51	48	45	15.29	53.4
52	45	46	45.37	53.4
53	27	35	115.6	53.4
54	2	50	28.12	75.6
55	51	52	55.68	75.6
56	52	30	32.37	75.6
57	30	53	33.44	53.4
58	53	31	61.94	53.4
59	31	54	58.59	53.4
60	54	55	62.34	53.4
61	55	53	58.53	53.4
62	56	57	58.1	53.4
63	57	54	45.18	53.4
64	54	58	33.78	53.4
65	58	59	63.23	53.4
66	59	55	34.99	53.4
67	60	61	59.14	53.4
68	61	57	37.85	53.4
69	57	62	34.11	53.4
70	62	58	45.29	53.4
71	58	63	41.83	75.6
72	63	64	64.33	53.4
73	64	59	40.74	53.4
74	35	65	203.2	53.4
75	65	66	36.04	108.4
76	66	36	197.78	108.4
77	36	67	28.2	108.4
78	67	68	79.61	53.4
79	68	69	30.9	53.4
80	67	70	32.57	108.4
81	70	71	79.12	53.4
82	71	68	28.74	108.4

83	61	71	33.4	53.4
84	71	72	32.06	53.4
85	72	73	34.86	53.4
86	73	61	33.01	53.4
87	62	73	37.02	53.4
88	73	74	41.68	75.6
89	74	63	83.06	53.4
90	63	75	16.55	75.6
91	75	76	65.15	53.4
92	76	77	130.22	53.4
93	77	78	18.92	75.6
94	78	74	111.31	53.4
95	78	70	73.12	75.6
96	70	79	126.53	53.4
97	50	80	141.84	53.4
98	81	51	112.7	53.4
99	80	82	36.05	53.4
100	82	83	70.39	75.6
101	83	81	35.4	53.4
102	83	84	40.79	53.4
103	84	85	72.06	53.4
104	85	82	41.15	53.4
105	84	86	72.62	53.4
106	64	87	17.73	53.4
107	87	75	63.35	53.4
108	77	88	36.59	75.6
109	88	89	92.93	53.4
110	89	90	36.32	53.4
111	90	76	36.17	53.4
112	91	92	96.4	53.4
113	92	87	34.86	75.6
114	92	93	39.87	53.4
115	93	94	97.22	53.4
116	94	91	39.91	53.4
117	90	95	39.61	53.4
118	95	94	33.32	53.4
119	94	96	59.58	53.4
120	96	97	97.41	53.4
121	97	93	60.1	53.4
122	85	98	14.98	53.4
123	98	99	72.41	53.4
124	99	84	16.58	53.4
125	99	100	34.91	53.4
126	100	101	71.48	53.4
127	101	102	34.83	53.4

128	102	99	72.1	53.4
129	98	103	73.22	53.4
130	103	104	95.48	53.4
131	104	105	72.74	53.4
132	105	106	52.8	53.4
133	106	107	40.93	53.4
134	107	100	38.29	53.4
135	103	107	73.17	53.4
136	107	108	70.98	53.4
137	108	109	91.78	53.4
138	97	110	31.53	53.4
139	110	111	98.29	53.4
140	111	96	31.97	53.4
141	111	112	25.81	53.4
142	112	113	43.46	53.4
143	113	114	25.64	53.4
144	114	111	42.68	53.4
145	95	115	35.37	53.4
146	115	89	39.06	53.4
147	95	116	90.46	53.4
148	116	112	7.48	53.4
149	113	117	41.59	53.4
150	117	118	45.27	53.4
151	118	116	34.84	53.4
152	115	119	51.39	53.4
153	119	118	38.26	53.4
154	118	120	93.77	53.4
155	120	121	38.78	53.4
156	122	115	93.21	53.4
157	88	122	39.34	75.6
158	122	123	62.62	53.4
159	123	124	52.54	53.4
160	124	121	62.64	53.4
161	120	125	100.37	53.4
162	117	126	57.28	53.4
163	103	127	43.74	53.4
164	98	128	40.76	53.4
165	85	129	34.86	53.4
166	130	131	35.02	53.4
167	131	132	53.79	53.4
168	133	3	30.7	53.4
169	65	134	62.94	156.4
170	134	135	53.95	108.4
171	135	136	20.2	53.4
172	136	66	110.96	53.4

173	43	137	80.67	156.4
175	109	138	56.24	53.4
176	138	139	102.65	53.4
177	139	114	15.19	53.4
178	123	140	31.11	53.4
179	123	141	186.63	53.4
180	142	143	50.82	53.4
181	104	144	19.94	53.4
182	19	145	24.58	108.4
183	145	146	25.56	108.4
184	146	147	26.78	108.4
185	16	148	15.4	108.4
186	148	39	46.15	108.4
187	77	149	104.94	53.4
188	78	150	77.28	53.4
189	150	149	29.86	53.4
190	149	151	21.35	53.4
191	151	152	38.72	53.4
192	149	153	36.43	53.4
193	153	154	54.9	53.4
194	119	121	92.92	53.4
195	101	108	39.69	53.4
196	108	93	5.56	53.4
197	105	155	39.49	53.4
198	156	157	112.89	75.6
199	157	158	118.65	108.4
200	158	159	29.85	75.6
201	159	160	39.27	53.4
202	160	161	130.9	53.4
203	161	162	50.11	75.6
204	162	163	10.99	75.6
205	163	164	174.46	53.4
206	164	165	78.74	53.4
207	159	166	143.64	53.4
208	166	161	36.59	53.4
209	166	167	59.8	53.4
210	168	167	112.57	53.4
211	167	169	38.72	53.4
212	162	170	13.49	53.4
213	171	172	21.49	53.4
214	172	173	177.97	53.4
215	173	164	29.07	53.4
216	171	174	102.51	53.4
217	175	176	171.88	53.4
218	176	177	20.83	53.4

219	178	179	25.1	53.4
220	178	180	143.61	53.4
221	180	181	59.04	53.4
222	174	182	221.74	53.4
223	181	175	43.63	53.4
224	172	183	56.27	53.4
225	184	185	38.94	53.4
226	183	186	178.69	53.4
227	186	187	33.35	53.4
228	187	188	118.39	53.4
229	186	189	10.05	53.4
230	190	191	81.5	53.4
231	189	192	107.62	53.4
232	169	165	72.76	53.4
233	165	193	111.72	53.4
234	169	194	24.58	53.4
235	194	195	111.43	53.4
236	120	196	49	53.4
237	106	197	46.65	53.4
238	197	198	58.3	53.4
239	197	108	46.18	53.4
240	22	20	59.96	75.6
241	181	199	83.21	53.4
242	199	200	70.25	53.4
243	83	130	74.29	53.4
244	21	201	35.65	53.4
245	202	203	27.99	53.4
246	203	204	37.21	156.4
247	204	205	39.78	156.4
248	205	206	67.36	204.2
249	206	216	75.87	204.2
251	44	209	50.93	53.4
252	209	137	38.19	108.4
253	82	210	8.74	53.4
254	80	211	27.7	53.4
255	212	213	80.66	53.4
256	214	215	56.47	53.4
257	52	132	44.16	53.4
258	80	81	70.96	75.6
259	81	131	74.5	53.4
260	131	55	5.99	53.4
261	130	86	40.75	53.4
262	86	102	17.75	75.6
263	17	16	19.6	156.4
264	26	7	29.62	75.6

265	31	56	44.3	53.4
266	56	32	23.44	75.6
267	32	60	14.19	53.4
268	60	69	32.77	53.4
269	69	36	81.09	53.4
270	189	190	41.7	53.4
271	173	187	25.96	53.4
272	163	171	8.89	75.6
273	158	168	49.68	53.4
274	214	213	35.43	53.4
275	105	198	16.97	53.4
276	198	156	5.11	75.6
277	156	212	20.47	75.6
278	212	109	27.67	75.6
279	121	122	51.71	53.4
280	175	174	72.67	53.4
281	183	184	79.55	53.4

282	109	110	2.57	53.4
283	91	90	33.12	53.4
284	86	64	5.8	53.4
285	28	27	12.81	108.4
286	51	50	72.68	53.4
287	4	3	53.03	75.6
288	10	135	83.74	108.4
289	203	11	13.63	108.4
290	137	205	23.35	204.2
291	35	142	35.83	75.6
292	142	34	4.92	75.6
293	34	8	26.22	108.4
294	8	37	36.93	75.6
295	46	47	14.8	108.4
296	42	147	39.37	108.4
297	178	177	67.02	53.4

### ANEXO E – VELOCIDADE E PERDA DE CARGA – UFC (1)

Trecho	Velocidade	Perda de carga
ID	m/s	m/km
1	0.04	0.04
2	0.27	1.3
3	0.35	1.96
4	0.32	1.7
5	0.2	1.21
6	0.34	2.89
7	0.31	2.52
8	0.29	0.59
9	0.33	0.74
10	0.04	0.04
11	0.02	0.01
12	0.02	0
13	0.17	0.91
14	0.22	0.54
15	0.03	0.04
16	0.04	0.04
17	0.22	0.9
18	0.21	0.54
19	0.62	5.58
20	0.41	2.65
21	0.19	1.08
22	0.43	4.48
23	0.15	0.3
24	0.42	2.75
25	0.49	3.59
26	0.27	1.3
27	0.04	0.04
28	0.47	3.36
29	0.26	1.88
30	0.37	3.39
31	0.44	3.03
32	0.22	1.36
33	0.38	3.54
34	0.48	3.56
35	0.33	2.82
36	0.37	3.37
37	0.58	7.6
38	0.33	2.74
39	0.13	0.35

40	0.43	2.89
41	0.45	3.1
42	0.72	4.59
43	0.48	1.45
44	0.26	1.88
45	0.29	1.48
46	0.25	1.74
47	0.12	0.12
48	0.4	1.65
49	0.34	2.91
50	0.04	0.04
51	0.41	4.07
52	0.4	3.83
53	0.37	3.35
54	0.24	1.02
55	0.15	0.48
56	0.37	2.2
57	0.33	2.8
58	0.17	0.93
59	0.42	4.32
60	0.25	1.73
61	0.47	5.18
62	0.39	3.71
63	0.32	2.59
64	0.45	4.86
65	0.16	0.8
66	0.35	3.06
67	0.32	2.71
68	0.27	1.97
69	0.31	2.45
70	0.43	4.36
71	0.34	1.91
72	0.33	2.85
73	0.47	5.22
74	0.22	1.41
75	0.45	1.99
76	0.5	2.42
77	0.54	2.81
78	0.34	2.99
79	0.23	1.46
80	0.45	2.02
81	0.29	2.26
82	0.13	0.23

83	0.38	3.62
84	0.41	4.06
85	0.37	3.46
86	0.4	3.94
87	0.16	0.76
88	0.29	1.45
89	0.34	2.95
90	0.33	1.77
91	0.26	1.8
92	0.23	1.48
93	0.7	6.75
94	0.14	0.65
95	0.75	7.69
96	0.04	0.04
97	0.34	2.97
98	0.37	3.45
99	0.39	3.68
100	0.04	0.02
101	0.4	3.88
102	0.37	3.45
103	0.07	0.17
104	0.39	3.67
105	0.09	0.3
106	0.35	3.03
107	0.36	3.28
108	0.56	4.63
109	0.28	2.08
110	0.05	0.08
111	0.45	4.8
112	0.13	0.57
113	0.34	1.86
114	0.5	5.88
115	0.18	0.95
116	0.29	2.19
117	0.27	2.01
118	0.21	1.31
119	0.29	2.2
120	0.14	0.67
121	0.25	1.73
122	0.38	3.6
123	0.07	0.17
124	0.36	3.24
125	0.39	3.75



126	0.03	0.04
127	0.46	4.92
128	0.14	0.6
129	0.38	3.54
130	0.28	2.11
131	0.21	1.26
132	0.32	2.64
133	0.39	3.7
134	0.39	3.74
135	0.03	0.03
136	0.01	0.01
137	0.29	2.21
138	0.36	3.24
139	0.24	1.57
140	0.11	0.41
141	0.23	1.47
142	0.1	0.36
143	0.19	1.1
144	0.06	0.14
145	0.2	1.13
146	0.19	1.09
147	0.22	1.38
148	0.37	3.34
149	0.13	0.54
150	0.2	1.16
151	0.18	0.99
152	0.19	1.03
153	0.27	2.03
154	0.14	0.64
155	0.25	1.7
156	0.23	1.44
157	0.41	2.6
158	0.23	1.49
159	0.12	0.51
160	0.09	0.28
161	0.04	0.04
162	0.04	0.04
163	0.04	0.04
164	0.04	0.04
165	0.04	0.04
166	0.48	5.44
167	0.36	3.24
168	0.04	0.04
169	0.25	0.44
170	0.52	2.58

171	0.29	2.2
172	0.25	1.75
173	0.52	1.64
175	0.15	0.71
176	0.19	1.03
177	0.22	1.39
178	0.04	0.04
179	0.04	0.04
180	0.04	0.04
181	0.04	0.04
182	0.44	1.92
183	0.45	1.99
184	0.46	2.06
185	0.26	0.73
186	0.26	0.78
187	0	0
188	0.21	1.29
189	0.18	0.94
190	0.07	0.2
191	0.04	0.04
192	0.07	0.2
193	0.04	0.04
194	0.13	0.52
195	0.39	3.66
196	0.4	3.83
197	0.04	0.04
198	0.73	7.37
199	0.35	1.26
200	0.47	3.32
201	0.47	5.17
202	0.43	4.5
203	0.41	2.63
204	0.37	2.24
205	0.06	0.1
206	0.18	0.99
207	0.43	4.42
208	0.42	4.27
209	0.03	0.03
210	0.42	4.31
211	0.36	3.26
212	0.04	0.04
213	0.22	1.43
214	0.03	0.04
215	0.2	1.21
216	0.39	3.79

217	0.1	0.36
218	0.06	0.15
219	0.04	0.04
220	0.04	0.05
221	0.08	0.24
222	0.04	0.04
223	0.19	1.03
224	0.16	0.77
225	0.04	0.04
226	0.05	0.07
227	0.13	0.55
228	0.04	0.04
229	0.14	0.66
230	0.04	0.04
231	0.04	0.04
232	0.25	1.76
233	0.04	0.04
234	0.07	0.2
235	0.04	0.04
236	0.04	0.04
237	0.03	0.04
238	0.36	3.28
239	0.37	3.33
240	0.43	2.85
241	0.07	0.2
242	0.04	0.04
243	0.08	0.25
244	0.04	0.04
245	0.04	0.04
246	0.34	0.79
247	0.35	0.81
248	0.54	1.28
249	0.54	1.29
251	0.36	3.29
252	0.1	0.14
253	0.04	0.04
254	0.04	0.04
255	0.11	0.4
256	0.04	0.04
257	0.4	3.83
258	0.06	0.09
259	0.18	0.96
260	0.34	2.9
261	0.37	3.36
262	0.33	1.83

263	0.1	0.09
264	0.32	1.72
265	0.26	1.79
266	0.34	1.9
267	0.26	1.8
268	0.1	0.38
269	0.37	3.36
270	0.07	0.2
271	0.2	1.17
272	0.33	1.77
273	0.46	4.97
274	0.07	0.2

275	0.35	3.14
276	0.34	1.89
277	0.41	2.64
278	0.48	3.51
279	0.32	2.67
280	0.32	2.67
281	0.07	0.2
282	0.56	7.08
283	0.19	1.09
284	0.42	4.33
285	0.31	1.02
286	0.1	0.36

287	0.31	1.62
288	0.6	3.32
289	0.7	4.38
290	0.33	0.54
291	0.38	2.32
292	0.42	2.72
293	0.3	0.98
294	0.65	5.95
295	0.33	1.15
296	0.47	2.13
297	0.03	0.03

## ANEXO F – DIÂMETROS DOS TRECHOS – UFC (2)

Tabela de Trecho - Nó:				
Trecho:	Início:	Fim:	Compr.	Diâmetro
ID	Nó	Nó	m	mm
1	1	2	27.08	53.4
2	2	3	38.13	53.4
3	4	5	53.69	53.4
4	5	6	61.61	53.4
5	6	7	81.12	53.4
6	7	8	114.8	53.4
7	8	9	258.38	53.4
8	9	10	70.48	75.6
9	9	11	32.46	75.6
10	12	13	47.22	53.4
11	13	14	24.05	53.4
12	14	15	73.4	53.4
13	13	16	46.19	53.4
14	17	18	78.64	53.4
15	18	15	54.08	53.4
16	17	19	50.78	53.4
17	19	20	80.01	53.4
18	20	18	50.75	53.4
19	19	21	50.73	53.4
20	22	23	49.12	53.4
21	23	24	61.04	53.4
22	24	20	52.46	53.4
23	21	24	80.17	53.4
24	24	6	49.82	53.4
25	23	5	48.92	53.4
26	21	7	48.28	53.4
27	4	25	49.59	53.4
28	26	27	37.71	53.4
29	28	29	66.96	53.4
30	29	6	64.33	53.4
31	5	30	65.15	53.4
32	30	29	61.92	53.4
33	29	31	34.03	53.4
34	32	28	34.33	53.4
35	26	33	54.66	53.4
36	33	34	60.13	53.4
37	35	36	34.57	53.4
38	37	38	44.37	53.4
39	38	39	102.34	53.4
40	39	40	80.19	53.4

41	40	41	55.76	53.4
42	41	42	46.75	53.4
43	41	43	128.44	53.4
44	43	44	21.5	53.4
45	44	45	128.35	53.4
46	45	41	25.21	53.4
47	42	46	27.32	53.4
48	47	37	7.03	53.4
49	47	48	44.32	53.4
50	48	49	119.82	53.4
51	48	45	15.29	53.4
52	45	46	45.37	53.4
53	27	35	115.6	53.4
54	2	50	28.12	53.4
55	51	52	55.68	53.4
56	52	30	32.37	53.4
57	30	53	33.44	53.4
58	53	31	61.94	53.4
59	31	54	58.59	53.4
60	54	55	62.34	53.4
61	55	53	58.53	53.4
62	56	57	58.1	53.4
63	57	54	45.18	53.4
64	54	58	33.78	53.4
65	58	59	63.23	53.4
66	59	55	34.99	53.4
67	60	61	59.14	53.4
68	61	57	37.85	53.4
69	57	62	34.11	53.4
70	62	58	45.29	53.4
71	58	63	41.83	53.4
72	63	64	64.33	53.4
73	64	59	40.74	53.4
74	35	65	203.2	53.4
75	65	66	36.04	53.4
76	66	36	197.78	53.4
77	36	67	28.2	53.4
78	67	68	79.61	53.4
79	68	69	30.9	53.4
80	67	70	32.57	53.4
81	70	71	79.12	53.4
82	71	68	28.74	53.4
83	61	71	33.4	53.4

84	71	72	32.06	53.4
85	72	73	34.86	53.4
86	73	61	33.01	53.4
87	62	73	37.02	53.4
88	73	74	41.68	53.4
89	74	63	83.06	53.4
90	63	75	16.55	53.4
91	75	76	65.15	53.4
92	76	77	130.22	53.4
93	77	78	18.92	53.4
94	78	74	111.31	53.4
95	78	70	73.12	53.4
96	70	79	126.53	53.4
97	50	80	141.84	53.4
98	81	51	112.7	53.4
99	80	82	36.05	53.4
100	82	83	70.39	53.4
101	83	81	35.4	53.4
102	83	84	40.79	53.4
103	84	85	72.06	53.4
104	85	82	41.15	53.4
105	84	86	72.62	53.4
106	64	87	17.73	53.4
107	87	75	63.35	53.4
108	77	88	36.59	53.4
109	88	89	92.93	53.4
110	89	90	36.32	53.4
111	90	76	36.17	53.4
112	91	92	96.4	53.4
113	92	87	34.86	53.4
114	92	93	39.87	53.4
115	93	94	97.22	53.4
116	94	91	39.91	53.4
117	90	95	39.61	53.4
118	95	94	33.32	53.4
119	94	96	59.58	53.4
120	96	97	97.41	53.4
121	97	93	60.1	53.4
122	85	98	14.98	53.4
123	98	99	72.41	53.4
124	99	84	16.58	53.4
125	99	100	34.91	53.4
126	100	101	71.48	53.4
127	101	102	34.83	53.4
128	102	99	72.1	53.4

129	98	103	73.22	53.4
130	103	104	95.48	53.4
131	104	105	72.74	53.4
132	105	106	52.8	53.4
133	106	107	40.93	53.4
134	107	100	38.29	53.4
135	103	107	73.17	53.4
136	107	108	70.98	53.4
137	108	109	91.78	53.4
138	97	110	31.53	53.4
139	110	111	98.29	53.4
140	111	96	31.97	53.4
141	111	112	25.81	53.4
142	112	113	43.46	53.4
143	113	114	25.64	53.4
144	114	111	42.68	53.4
145	95	115	35.37	53.4
146	115	89	39.06	53.4
147	95	116	90.46	53.4
148	116	112	7.48	53.4
149	113	117	41.59	53.4
150	117	118	45.27	53.4
151	118	116	34.84	53.4
152	115	119	51.39	53.4
153	119	118	38.26	53.4
154	118	120	93.77	53.4
155	120	121	38.78	53.4
156	122	115	93.21	53.4
157	88	122	39.34	53.4
158	122	123	62.62	53.4
159	123	124	52.54	53.4
160	124	121	62.64	53.4
161	120	125	100.37	53.4
162	117	126	57.28	53.4
163	103	127	43.74	53.4
164	98	128	40.76	53.4
165	85	129	34.86	53.4
166	130	131	35.02	53.4
167	131	132	53.79	53.4
168	133	3	30.7	53.4
169	65	134	62.94	53.4
170	134	135	53.95	53.4
171	135	136	20.2	53.4
172	136	66	110.96	53.4
173	43	137	80.67	53.4

175	109	138	56.24	53.4
176	138	139	102.65	53.4
177	139	114	15.19	53.4
178	123	140	31.11	53.4
179	123	141	186.63	53.4
180	142	143	50.82	53.4
181	104	144	19.94	53.4
182	19	145	24.58	53.4
183	145	146	25.56	53.4
184	146	147	26.78	53.4
185	16	148	15.4	53.4
186	148	39	46.15	53.4
187	77	149	104.94	53.4
188	78	150	77.28	53.4
189	150	149	29.86	53.4
190	149	151	21.35	53.4
191	151	152	38.72	53.4
192	149	153	36.43	53.4
193	153	154	54.9	53.4
194	119	121	92.92	53.4
195	101	108	39.69	53.4
196	108	93	5.56	53.4
197	105	155	39.49	53.4
198	156	157	112.89	75.6
199	157	158	118.65	53.4
200	158	159	29.85	53.4
201	159	160	39.27	53.4
202	160	161	130.9	53.4
203	161	162	50.11	53.4
204	162	163	10.99	53.4
205	163	164	174.46	53.4
206	164	165	78.74	53.4
207	159	166	143.64	53.4
208	166	161	36.59	53.4
209	166	167	59.8	53.4
210	168	167	112.57	53.4
211	167	169	38.72	53.4
212	162	170	13.49	53.4
213	171	172	21.49	53.4
214	172	173	177.97	53.4
215	173	164	29.07	53.4
216	171	174	102.51	53.4
217	175	176	171.88	53.4
218	176	177	20.83	53.4
219	178	179	25.1	53.4

220	178	180	143.61	53.4
221	180	181	59.04	53.4
222	174	182	221.74	53.4
223	181	175	43.63	53.4
224	172	183	56.27	53.4
225	184	185	38.94	53.4
226	183	186	178.69	53.4
227	186	187	33.35	53.4
228	187	188	118.39	53.4
229	186	189	10.05	53.4
230	190	191	81.5	53.4
231	189	192	107.62	53.4
232	169	165	72.76	53.4
233	165	193	111.72	53.4
234	169	194	24.58	53.4
235	194	195	111.43	53.4
236	120	196	49	53.4
237	106	197	46.65	53.4
238	197	198	58.3	53.4
239	197	108	46.18	53.4
240	22	20	59.96	53.4
241	181	199	83.21	53.4
242	199	200	70.25	53.4
243	83	130	74.29	53.4
244	21	201	35.65	53.4
245	202	203	27.99	53.4
246	203	204	37.21	108.4
247	204	205	39.78	75.4
248	205	206	67.36	108.4
249	206	216	75.87	156.4
251	44	209	50.93	53.4
252	209	137	38.19	53.4
253	82	210	8.74	53.4
254	80	211	27.7	53.4
255	212	213	80.66	53.4
256	214	215	56.47	53.4
257	52	132	44.16	53.4
258	80	81	70.96	53.4
259	81	131	74.5	53.4
260	131	55	5.99	53.4
261	130	86	40.75	53.4
262	86	102	17.75	53.4
263	17	16	19.6	53.4
264	26	7	29.62	53.4
265	31	56	44.3	53.4

266	56	32	23.44	53.4
267	32	60	14.19	53.4
268	60	69	32.77	53.4
269	69	36	81.09	53.4
270	189	190	41.7	53.4
271	173	187	25.96	53.4
272	163	171	8.89	53.4
273	158	168	49.68	53.4
274	214	213	35.43	53.4
275	105	198	16.97	53.4
276	198	156	5.11	53.4
277	156	212	20.47	53.4
278	212	109	27.67	53.4
279	121	122	51.71	53.4
280	175	174	72.67	53.4
281	183	184	79.55	53.4

282	109	110	2.57	53.4
283	91	90	33.12	53.4
284	86	64	5.8	53.4
285	28	27	12.81	53.4
286	51	50	72.68	53.4
287	4	3	53.03	53.4
288	10	135	83.74	53.4
289	203	11	13.63	75.6
290	137	205	23.35	75.6
291	35	142	35.83	53.4
292	142	34	4.92	53.4
293	34	8	26.22	53.4
294	8	37	36.93	53.4
295	46	47	14.8	53.4
296	42	147	39.37	53.4
297	178	177	67.02	53.4

### ANEXO G – PRESSÕES NOS NÓS – UFC (2)

Nó	Pressão				
ID	m				
1	30.63	42	14.48	85	27.73
2	31.94	43	14.86	86	27.87
3	30.84	44	16.14	87	28.15
4	29.73	45	14.13	88	29.84
5	28.44	46	15.51	89	28.72
6	26.72	47	16.21	90	29.43
7	20.92	48	15.63	91	28.76
8	18.73	49	10.18	92	28.61
9	17.19	50	31.81	93	29.62
10	10.57	51	28.27	94	30.06
11	14.99	52	25.38	95	30.36
12	20.74	53	25.23	96	30.85
13	26.68	54	26.38	97	30.37
14	28.71	55	25.93	98	27.72
15	34.53	56	22.23	99	27.85
16	24.59	57	25.39	100	27.99
17	25.96	58	27.42	101	28.66
18	30.6	59	27.14	102	27.99
19	24.96	60	20.56	103	28.6
20	29.04	61	25.37	104	29.96
21	21.85	62	26.84	105	29.76
22	31.33	63	28.33	106	29.67
23	30.48	64	27.93	107	29.16
24	27.78	65	18.95	108	29.72
25	31.05	66	17.8	109	30.5
26	20.8	67	24.91	110	30.55
27	20.28	68	22.82	111	31.34
28	20.6	69	19.35	112	31.47
29	24.29	70	26.77	113	32.88
30	25.54	71	24.49	114	32.53
31	23.82	72	26.51	115	30.38
32	21.15	73	27.37	116	31.51
33	18.06	74	28.88	117	31.92
34	19.55	75	28.49	118	31.98
35	22.42	76	28.77	119	31.61
36	23.92	77	29.31	120	31.91
37	16.54	78	29.09	121	31.73
38	17.74	79	21.76	122	30.71
39	17.33	80	28.1	123	31.8
40	14.4	81	26.06	124	32.76
41	12.17	82	27.17	125	33.08
		83	26.73	126	31.57
		84	27.63	127	29.13

128	28.6
129	28.57
130	26.59
131	25.97
132	24.99
133	30.57
134	13.08
135	10.01
136	10.08
137	14.21
138	30.6
139	32.62
140	30.95
141	29.41
142	19.73
143	19.78
144	29.7
145	23.53
146	21.5
147	18.48
148	23.91
149	29.23
150	28.67
151	27.73
152	22.63
153	29.78
154	28.91
155	29.99
156	29.38

157	31.93
158	25.74
159	25.3
160	23.75
161	12.46
162	11.27
163	10.49
164	15.27
165	13.63
166	13.31
167	15.18
168	23.35
169	15.72
170	12.41
171	10.1
172	10.83
173	16.34
174	12.25
175	14.53
176	17.81
177	17.91
178	18.75
179	18.91
180	17.82
181	15.47
182	18.16
183	13.41
184	13.89
185	14.19

186	17.81
187	16.99
188	14.61
189	17.96
190	18.63
191	19.68
192	17.39
193	12.92
194	17.04
195	21.67
196	33.26
197	29.62
198	29.35
199	18.71
200	19.51
201	18.24
202	17.13
203	15.98
204	13.17
205	13.92
206	10.48
209	14.73
210	27.47
211	29.07
212	30
213	30.36
214	32.12
215	34.52
216	RESERV.



### ANEXO H – VELOCIDADE E PERDA DE CARGA – UFC (2)

Trecho	Velocid.	Perda de Carga
ID	m/s	m/km
1	0.04	0.04
2	0.52	6.16
3	0.66	9.47
4	0.58	7.5
5	0.72	11.06
6	0.97	18.62
7	1.61	46.22
8	1.1	15.32
9	1.92	41.75
10	0.04	0.04
11	0.31	2.55
12	0.28	2.06
13	0.38	3.65
14	0.38	3.54
15	0.24	1.63
16	0.26	1.81
17	0.56	7.16
18	0.58	7.61
19	0.7	10.43
20	0.48	5.46
21	0.39	3.74
22	0.59	7.82
23	0.49	5.66
24	0.66	9.47
25	0.84	14.42
26	0.13	0.58
27	0.04	0.04
28	0.92	16.88
29	0.54	6.64
30	0.77	12.34
31	0.72	11.03
32	0.52	6.24
33	0.75	11.85
34	0.92	17.13
35	0.61	8.16
36	0.64	9.03
37	1.15	25.27
38	0.45	4.72
39	0.38	3.54

40	0.79	12.85
41	0.82	13.91
42	0.95	18.07
43	1.86	59.92
44	0.06	0.12
45	1.86	59.96
46	0.05	0.08
47	0.23	1.51
48	1.5	40.83
49	0.87	15.28
50	0.04	0.04
51	0.94	17.59
52	0.94	17.67
53	0.62	8.45
54	0.45	4.75
55	0.34	2.98
56	0.78	12.71
57	0.43	4.37
58	0.28	2.09
59	0.59	7.68
60	0.4	3.96
61	0.67	9.7
62	0.48	5.43
63	0.39	3.69
64	0.54	6.54
65	0.32	2.61
66	0.4	3.97
67	0.56	7.1
68	0.33	2.73
69	0.39	3.66
70	0.5	5.8
71	0.68	10.04
72	0.31	2.44
73	0.69	10.1
74	0.93	17.24
75	0.1	0.33
76	1.07	22.07
77	1.36	34.23
78	0.37	3.41
79	0.4	3.93
80	0.96	18.2
81	0.06	0.1
82	0.74	11.44

83	0.32	2.58
84	0.44	4.63
85	0.41	4
86	0.52	6.11
87	0.15	0.72
88	0.73	11.38
89	0.33	2.83
90	0.68	9.82
91	0.41	4.06
92	0.2	1.14
93	0.8	13.28
94	0.3	2.35
95	0.83	14.11
96	0.04	0.04
97	0.35	3.12
98	0.37	3.35
99	0.44	4.63
100	0.11	0.44
101	0.48	5.43
102	0.49	5.59
103	0.1	0.38
104	0.48	5.44
105	0.2	1.13
106	0.49	5.67
107	0.23	1.5
108	0.64	9.05
109	0.19	1.04
110	0.11	0.42
111	0.57	7.29
112	0.18	1.01
113	0.69	10.19
114	0.47	5.19
115	0.09	0.28
116	0.28	2.07
117	0.29	2.28
118	0.1	0.33
119	0.25	1.75
120	0.08	0.23
121	0.25	1.67
122	0.52	6.1
123	0.05	0.09
124	0.55	6.77
125	0.53	6.35

126	0.01	0.01
127	0.54	6.73
128	0.07	0.19
129	0.5	5.75
130	0.35	3.1
131	0.28	2.08
132	0.4	3.88
133	0.49	5.51
134	0.5	5.8
135	0.08	0.23
136	0.05	0.09
137	0.26	1.83
138	0.29	2.2
139	0.15	0.73
140	0.14	0.62
141	0.13	0.52
142	0.09	0.27
143	0.11	0.44
144	0.08	0.22
145	0.04	0.05
146	0.26	1.87
147	0.2	1.21
148	0.25	1.68
149	0.06	0.14
150	0.13	0.59
151	0.08	0.24
152	0.2	1.2
153	0.19	1.07
154	0.06	0.11
155	0.17	0.85
156	0.02	0.02
157	0.42	4.28
158	0.17	0.85
159	0.06	0.11
160	0.02	0.03
161	0.04	0.04
162	0.04	0.04
163	0.04	0.04
164	0.04	0.04
165	0.04	0.04
166	0.65	9.25
167	0.37	3.36
168	0.04	0.04
169	1.06	21.83
170	1.09	23.16

171	1.04	21.18
172	1.01	19.9
173	1.96	65.61
175	0.08	0.25
176	0.12	0.46
177	0.15	0.73
178	0.04	0.04
179	0.04	0.04
180	0.04	0.04
181	0.04	0.04
182	1.04	21.18
183	1.08	22.5
184	1.11	23.84
185	1.09	23.08
186	1.13	24.44
187	0.08	0.23
188	0.29	2.25
189	0.26	1.79
190	0.07	0.2
191	0.04	0.04
192	0.07	0.2
193	0.04	0.04
194	0.02	0.03
195	0.5	5.78
196	0.28	2.04
197	0.04	0.04
198	0.73	7.37
199	1.43	37.3
200	0.85	14.85
201	0.42	4.3
202	0.39	3.68
203	0.68	10.02
204	0.61	8.24
205	0.01	0.01
206	0.32	2.61
207	0.39	3.81
208	0.33	2.82
209	0.03	0.03
210	0.51	5.89
211	0.5	5.7
212	0.04	0.04
213	0.14	0.61
214	0.04	0.05
215	0.29	2.25
216	0.39	3.79

217	0.1	0.36
218	0.06	0.15
219	0.04	0.04
220	0.04	0.05
221	0.08	0.24
222	0.04	0.04
223	0.19	1.03
224	0.14	0.67
225	0.04	0.04
226	0.04	0.04
227	0.14	0.64
228	0.04	0.04
229	0.14	0.66
230	0.04	0.04
231	0.04	0.04
232	0.39	3.72
233	0.04	0.04
234	0.07	0.2
235	0.04	0.04
236	0.04	0.04
237	0.05	0.08
238	0.47	5.15
239	0.45	4.83
240	0.52	6.18
241	0.07	0.2
242	0.04	0.04
243	0.16	0.77
244	0.04	0.04
245	0.04	0.04
246	0.96	7.76
247	2	45.16
248	1.92	26.94
249	0.92	4.65
251	1.84	58.53
252	1.87	60.59
253	0.04	0.04
254	0.04	0.04
255	0.11	0.4
256	0.04	0.04
257	0.4	3.95
258	0.16	0.8
259	0.31	2.54
260	0.63	8.79
261	0.46	4.99
262	0.69	10.18

263	0.67	9.73
264	0.34	3
265	0.15	0.73
266	0.67	9.7
267	0.22	1.36
268	0.38	3.56
269	0.82	13.76
270	0.07	0.2
271	0.21	1.3
272	0.57	7.19
273	0.54	6.64
274	0.07	0.2

275	0.5	5.82
276	0.93	17.47
277	0.57	7.2
278	0.71	10.72
279	0.2	1.18
280	0.32	2.67
281	0.07	0.2
282	0.4	4
283	0.13	0.56
284	0.46	5.02
285	1.5	40.71
286	0.06	0.12

287	0.59	7.74
288	2.17	79.06
289	1.94	42.45
290	1.93	42
291	0.88	15.64
292	0.95	17.98
293	1.63	47.17
294	1.02	20.51
295	0.67	9.76
296	1.15	25.23
297	0.03	0.03