



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**ALTERNATIVAS DE PROJETOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUA EM CIDADES DE PEQUENO PORTE**

**FLUANDERSON MANOEL GERALDINO SANTOS**

Campina Grande-PB

DEZEMBRO DE 2018

**ALTERNATIVAS DE PROJETOS DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUA EM CIDADES DE PEQUENO PORTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

Campina Grande-PB

DEZEMBRO DE 2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

**FLUANDERSON MANOEL GERALDINO SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Campina Grande como  
requisito para obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Recursos Hídricos

Orientador: Janiro Costa Rêgo

CAMPINA GRANDE – PB

DEZEMBRO DE 2018

**FOLHA DE APROVAÇÃO****FLUANDERSON MANOEL GERALDINO SANTOS****ALTERNATIVAS DE PROJETOS DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUA EM CIDADES DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Campina Grande como  
requisito para obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Recursos Hídricos

Aprovado em: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Janiro Costa Rêgo  
Orientador  
Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

---

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão  
Membro Interno  
Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

---

MSc. Macel Wallace Queiroz Fernandes  
Examinador Externo  
Centro Universitário Maurício de Nassau

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela força que me foi dada até aqui para enfrentar todos os obstáculos que apareceram e nunca me deixou desistir e por proporcionar a vivência desse momento ímpar, que apesar de ser tão difícil, marcou minha vida pessoal e profissional.

Aos meus pais, Marizarde e Silvania, que são meus alicerces e nunca deixaram de acreditar em meu potencial, sendo meus maiores apoiadores durante toda minha vida, aos meus avós, por todo o apoio dado, por sempre estarem ao meu lado, sem me deixar fraquejar.

Ao meu tio Damião Audílio que apesar de não estar mais entre nós, sempre foi uma referência e sempre me apoiou em todos os aspectos de minha vida.

Ao meu orientador, professor Janiro Costa Rêgo, que abraçou minha ideia e me aceitou como orientando, sempre solícito para dúvidas e esclarecimentos acerca do meu tema, proporcionando ricos debates que agregaram muitos elementos positivos sem dúvida alguma a minha pesquisa.

À Valéria Flaiane por ser essa pessoa incrível desde sempre. Por todo o apoio que me deu ao longo dessa jornada e por sempre me apoiar em todas as decisões da minha vida.

Aos meus amigos Pedro Ferraz, Lucas Caetano, Igor Barreto, João Vítor, Anderson Medeiros e a todos do RU OME, por cada palavra de força e apoio que me deram ao longo dessa caminhada, por cada brincadeira, por cada festa, por cada conversa, enfim sou grato pela amizade de todos e espero leva-los para a vida.

A todos os colegas que fiz durante o curso, sem eles nada disso seria possível.

Ao meu amigo, chefe e mentor Veridiano Leandro Júnior, por acreditar no meu potencial no momento que mais precisei, por toda confiança depositada e ensinamentos. Meu eterno obrigado.

A todas as pessoas que me ajudaram de alguma maneira, desde as simples coisas até aos problemas complexos durante essa caminhada, meu eterno agradecimento.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, ao meu pai Marizarde Geraldino, minha mãe Silvania Alves, minha irmã Fluanny Santos, que sempre serão o motivo para não desistir diante das dificuldades enfrentadas, e aos meus amigos.

Com amor e respeito.

*“É feliz quem sonha, mas só tem sucesso quem se dispõe a pagar o preço para transformar o sonho em realidade”*

***Silvio Santos***

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Tubulação PVC DEFOFO condutora de água .....   | 19 |
| Figura 2: Tubulação PVC PBA condutora de água .....  | 19 |
| Figura 3: Exemplos de Redes Ramificada .....   | 20 |
| Figura 4: Rede Malhada em anéis e em blocos .....  | 20 |
| Figura 5: Condutos principais em grelha .....  | 22 |
| Figura 6: Condutos Principais em anéis .....   | 23 |
| Figura 7: Condutos Principais em blocos.....   | 23 |
| Figura 8: Abastecimento de água atendendo a zonas de pressões.....   | 25 |
| Figura 9: Localização dos nós em redes malhadas .....  | 29 |
| Figura 10: Vazões afluentes e efluentes no nó P.....   | 29 |
| Figura 11: Localização do município a ser estudado .....   | 33 |
| Figura 12: Parte do projeto da rede de distribuição de Baraúna .....   | 40 |
| Figura 13: Modelo de regressão linear aplicado aos dados populacionais da cidade de Baraúna.....                       | 44 |
| Figura 14: Gráfico de consumo per capita x ano da cidade de Cubati.....  | 47 |
| Figura 15: Gráfico de consumo per capita x ano da cidade de Nova Floresta.....   | 48 |
| Figura 16: Gráfico de consumo per capita x ano da cidade de Pedra Lavrada.....   | 48 |
| Figura 17: Gráfico de consumo per capita x ano da cidade de Seridó.....  | 49 |
| Figura 18: Área abastecível.....   | 53 |
| Figura 19: Áreas de influência dos nós da rede de distribuição .....   | 56 |
| Figura 20: Comprimento dos trechos e sentido de escoamento das vazões para o método de Hardy-Cross.....                | 57 |
| Figura 21: Comprimento dos trechos e sentido de escoamento das vazões para o método de Pimentel Gomes e PNL 2000 ..... | 63 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Dados Populacionais da cidade de Baraúna-PB entre os anos 2000-2010.....                             | 41 |
| Tabela 2: Dados censitários da população urbana da cidade .....  | 41 |
| Tabela 3: Comparativo entre os métodos de estimativa da população urbana futura para a cidade de Baraúna ..... | 44 |
| Tabela 4: População urbana atendida com abastecimento de água de 2003-2012.....                                | 46 |
| Tabela 5: Consumo per capita de Cubati no Período de 2003-2012.....  | 46 |
| Tabela 6: Consumo per capita de Nova Floresta no Período de 2003-2012.....                                     | 46 |
| Tabela 7: Consumo per capita de Pedra Lavrada no Período de 2003-2012.....                                     | 46 |
| Tabela 8: Consumo per capita de Seridó no Período de 2003-2012.....  | 47 |
| Tabela 9: Consumo médio per capita dos quatro municípios analisados, no ano de 2018.....                       | 50 |
| Tabela 10: Parâmetros adotados para cálculo das vazões .....   | 51 |
| Tabela 11: Densidades demográficas observadas em áreas urbanas comuns.....                                     | 54 |
| Tabela 12: vazões concentradas por nó .....  | 56 |
| Tabela 13: Velocidades máximas em função do diâmetro .....   | 58 |
| Tabela 14: Primeira interação do método .....  | 59 |
| Tabela 15: Quinta interação do método .....  | 60 |
| Tabela 16: Perdas de carga nos trechos da rede principal.....  | 61 |
| Tabela 17: Pressões nos nós .....  | 61 |
| Tabela 18: Valores Finais de vazão e diâmetro por trecho .....   | 62 |
| Tabela 19: Diâmetros nominais e internos .....   | 63 |
| Tabela 20: Solução inicial do dimensionamento da rede .....  | 64 |
| Tabela 21: Restrições da solução inicial do dimensionamento da rede.....                                       | 64 |
| Tabela 22: Solução da primeira etapa do dimensionamento da rede .....  | 65 |
| Tabela 23: Restrições da solução da primeira dimensionamento da rede.....                                      | 66 |
| Tabela 24: Resultados do dimensionamento da rede .....   | 67 |
| Tabela 25: Restrições do resultado final do dimensionamento da rede.....                                       | 67 |
| Tabela 26: Solução inicial da primeira etapa .....   | 69 |
| Tabela 27: Restrições da solução inicial da primeira etapa .....   | 69 |
| Tabela 28: Solução otimizada da primeira etapa .....   | 70 |
| Tabela 29: Restrições da solução otimizada da segunda etapa.....   | 71 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 30: Solução inicial da segunda etapa .....  | 71 |
| Tabela 31: Restrições da solução inicial da segunda etapa .....                            | 72 |
| Tabela 32: Solução definitiva .....  | 72 |
| Tabela 33: Restrições da solução definitiva .....  | 73 |
| Tabela 34: consumo médio per capita, para populações dotadas de ligações domiciliares..... | 75 |
| Tabela 35: custo unitário de tubos condutores de água .....                                | 77 |
| Tabela 36: Custo total da tubulação obtida pelo método de Hardy-Cross .....                | 77 |
| Tabela 37: Custo total da tubulação obtida pelo método Pimentel Gomes .....                | 78 |
| Tabela 38: Custo total da tubulação obtida pelo método PNL2000 .....                       | 78 |
| Tabela 39: Custo dos serviços que compõem o assentamento de tubulações .....               | 80 |
| Tabela 40: Larguras das valas conforme a CAGEPA .....                                      | 80 |
| Tabela 41: Custos advindos da instalação da rede principal obtida por Hardy-Cross.....     | 82 |
| Tabela 42: Custos advindos da instalação da rede principal obtida por Pimentel Gomes ..... | 83 |
| Tabela 43: Custos advindos da instalação da rede principal obtida pelo método PNL2000..... | 84 |
| Tabela 44: Custo unitário de colar tomada de vários diâmetros .....                        | 85 |

**LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

D – Diâmetro

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

kPA – Quilopascal

PVC – Policloreto de vinila

Q – Vazão

SESP – Serviço Especial de Saúde Pública

$V_{\text{máx}}$  – Velocidade máxima

## RESUMO

As redes de distribuição de água constituem a parte mais onerosa de um sistema de abastecimento e tem relevante importância para o mesmo, sendo responsáveis por levar água potável diretamente às unidades consumidoras. Na tentativa de apresentar soluções para o dimensionamento de redes em cidades de pequeno porte, este trabalho empenha-se em analisar as vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de dimensionamento e averiguar os impactos produzidos por projetos alternativos apropriados, levando em consideração principalmente a expansão das redes devido ao crescimento da demanda. As metodologias para o dimensionamento de redes envolvem a área a ser abastecida, as características topográficas da região, o traçado dos condutos e o método de cálculo das redes. As influências desses fatores são analisadas especificamente para os casos de cidades de pequeno porte e diferentes métodos de cálculo são empregados e comparados para alcançar o dimensionamento mais adequado, garantindo o correto funcionamento da rede. A fim de atingir os objetivos propostos, realizou-se um estudo de caso sobre a rede de distribuição de água da cidade de Baraúna-PB, que foi projetada inicialmente para atender a uma demanda, mas, sofreu uma expansão significativa em relação a rede primeiramente idealizada. Foi analisada uma alternativa de traçado dimensionada por três métodos: Hardy-Cross, Pimentel Gomes e PNL2000. A partir da análise dos resultados alcançados, com base no dimensionamento pelos três métodos, constatou-se que, cada um, apresenta suas particularidades, oferecendo diferentes alternativas de implantação da rede, de modo que, cabe ao projetista julgar a que melhor se adequará a realidade, principalmente aquela observada em cidades de pequeno porte, tendo em vista, três importantes parâmetros, o custo, a viabilidade de execução e a expansão da cidade.

**Palavras-chave:** abastecimento; dimensionamento; expansão.

## ABSTRACT

The water distribution networks constitute the most costly part of a water supply system and are of relevant importance for water supply system and are responsible for bringing drinking water from the reservoirs to the consumer units. In an attempt to present solutions for the dimensioning of networks in small cities, this work is concerned with analyzing the advantages and disadvantages of different design methods and ascertaining the impacts produced by appropriate alternative projects, taking into account, in particular, the expansion of networks due to the growth of demand. The methodology for the design considers the area to be supplied, the topographical characteristics of the region, the tracing of the conduits and the calculation method of the networks. The influences of these factors are analyzed specifically for the cases of small cities and different methods of calculation are employed and compared to reach the most appropriate dimensioning, ensuring the correct functioning of the network. In order to reach the proposed objectives, a case study was carried out on the water distribution network of the city of Baraúna-PB, which was initially designed to meet a demand, but has experienced a significant expansion in relation to the network first idealized. A tracing alternative scaled by three methods was analyzed: Hardy-Cross, Pimentel Gomes and PNL2000. Based on the analysis of the results obtained, based on the sizing by the three methods, it was verified that, each, presents its particularities, offering different alternatives of network deployment, so that it is up to the designer to judge the one that will best fit the reality, especially that observed in small cities, in view of three important parameters: cost, feasibility of execution and expansion of the city.

**Keywords:** supply; sizing; expansion

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO I.....  | 15 |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 15 |
| 1.1. Considerações Iniciais.....                               | 15 |
| 1.2. Objetivos .....   | 16 |
| 1.2.1. Objetivo Geral.....                                     | 16 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos.....                              | 16 |
| 1.3. Justificativa .....                                       | 16 |
| 1.4. Organização do Trabalho de Conclusão de Curso .....       | 17 |
| CAPÍTULO II .....  | 18 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....                                 | 18 |
| 2.1. Classificação das Redes de Distribuição .....             | 18 |
| 2.2. Traçado dos Conduitos.....                                | 21 |
| 2.3. Dimensionamento de Redes .....                            | 23 |
| 2.3.1. Pressões Mínimas e Máximas na Rede .....                | 24 |
| 2.3.2. Velocidades Máximas e Mínimas .....                     | 25 |
| 2.3.3. Diâmetro Mínimo.....                                    | 26 |
| 2.4. Método de Dimensionamento das Redes Malhadas.....         | 26 |
| 2.4.1. Método do Cálculo Iterativo.....                        | 27 |
| 2.4.1.1. Método da Correção de Vazões (Hardy-Cross).....       | 28 |
| 2.4.2. Método Pimentel Gomes.....                              | 30 |
| 2.4.3. Método Econômico – PNL 2000.....                        | 31 |
| CAPÍTULO III .....   | 33 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS .....                                   | 33 |
| 3.1. Materiais.....  | 33 |
| 3.2. Metodologia .....   | 34 |
| 3.2.1. Análise do Projeto Inicial da Rede de Distribuição..... | 34 |
| 3.2.1.1. Traçado.....  | 35 |
| 3.2.1.2. Demanda.....  | 35 |
| 3.2.1.3. Funcionalidade .....                                  | 35 |
| 3.2.2. Soluções Alternativas ao projeto .....                  | 35 |
| 3.2.3. Novo Dimensionamento.....                               | 35 |
| 3.2.3.1. Área a ser abastecida .....                           | 36 |
| 3.2.3.2. Características topográficas da região .....          | 36 |
| 3.2.3.3. Estudo de Demanda.....                                | 36 |
| 3.2.3.3.1. Métodos Populacionais.....                          | 36 |

|  |   |    |
|--|---|----|
| 3.2.3.3.2.   | Consumo Per Capita .....                                      | 37 |
| 3.2.3.4.   | Traçado dos condutos e Dimensionamento da rede .....          | 38 |
| CAPÍTULO IV .....  |   | 39 |
| 4.   | RESULTADOS .....  | 39 |
| 4.1.   | Análise do Projeto Inicial da Rede .....                      | 39 |
| 4.2.   | Novo Dimensionamento .....                                    | 40 |
| 4.2.1.   | Projeção Populacional .....                                   | 40 |
| 4.2.1.1.   | Método da Projeção Aritmética .....                           | 41 |
| 4.2.1.2.   | Método da Projeção Geométrica.....                            | 42 |
| 4.2.1.3.   | Método da Regressão.....                                      | 43 |
| 4.2.1.4.   | Comparativo entre os métodos .....                            | 44 |
| 4.2.2.   | Vazão Média de Demanda e Vazões de Projeto .....              | 45 |
| 4.2.3.   | Área a ser abastecida .....                                   | 52 |
| 4.2.4.   | Dimensionamento da Rede.....                                  | 54 |
| 4.2.4.1.   | Método da Correção de Vazões.....                             | 57 |
| 4.2.4.2.   | Método Pimentel Gomes .....                                   | 62 |
| 4.2.4.3.   | Método PNL2000.....   | 68 |
| CAPÍTULO V .....   |   | 74 |
| 5.   | ANÁLISE DOS RESULTADOS .....                                  | 74 |
| 5.1.   | Execução do Projeto Original da Rede.....                     | 74 |
| 5.2.   | Consumo Per capita.....                                       | 75 |
| 5.3.   | Novo Dimensionamento da Rede de Distribuição.....             | 76 |
| 5.3.1.   | Comparativo entre os métodos .....                            | 76 |
| 5.3.1.1.   | Custo das tubulações .....                                    | 76 |
| 5.3.2.   | Projeto x Execução.....                                       | 79 |
| CAPÍTULO VI.....   |   | 86 |
| 6.   | CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS ..... | 86 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  |   | 88 |
| ANEXO A – SEGUNDA INTERAÇÃO DO MÉTODO DE HARDY CROSS .....   |   | 91 |
| ANEXO B – TERCEIRA INTERAÇÃO DO MÉTODO DE HARDY CROSS .....  |   | 92 |
| ANEXO B – QUARTA INTERAÇÃO DO MÉTODO DE HARDY CROSS .....  |   | 93 |
| ANEXO D – COMPARATIVO ENTRE OS DIÂMETROS DOS TRECHOS OBTIDOS PELOS TRÊS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO ..... |   | 94 |

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. Considerações Iniciais

Segundo a Lei Federal nº 11.445/07 (BRASIL,2007), que estabelece as diretrizes para a política federal de saneamento em todo o país, o saneamento básico consiste no conjunto de infraestruturas, instalações operacionais e serviços de:

- a. Abastecimento de água: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;
- b. Esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
- c. Manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
- d. Drenagem e manejo de águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas;

As redes de distribuição, conforme estabelecido pela NBR 12218/2017 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são elementos constituintes de um sistema de abastecimento, composto por tubulações e os órgãos acessórios, de modo que, seja possível o fornecimento de água potável aos consumidores de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas.

De acordo com TSUTIYA (2006), as redes de distribuição de água constituem a parcela mais onerosa de uma obra de abastecimento de água, de modo que, chegam a representar até 70% do custo final de uma obra desse segmento. Assim, é notável o tamanho da importância que uma obra desse tipo representa, sendo necessária uma elaboração precisa e detalhada dos projetos e de todas as partes constituintes do mesmo. Com base no exposto acima, é de extrema

importância que se tenha total atenção para com os detalhes de projeto, como o tipo de rede a ser utilizada, as condições topográficas da região, as condições de pressão, a quantidade de unidades consumidoras, o crescimento populacional e econômico da região e por fim, o horizonte de projeto a ser levado em consideração.

É inegável que, as redes de distribuição de água são de importantes para o desenvolvimento de uma determinada localidade urbana e proporcionam uma elevação significativa na qualidade de vida de uma população, uma vez que, quando instaladas e em pleno funcionamento, levam água potável até as unidades consumidores contribuindo dessa maneira para a diminuição, por exemplo, de doenças decorrentes do consumo de águas impróprias.

O presente trabalho trata dos projetos de redes de distribuição de água em pequenas cidades da região nordeste do país para atender a uma população de até 7.000 habitantes, analisando a adequação das soluções adotadas considerando as especificidades regionais, observando a realidade encontrada principalmente no estado da Paraíba, onde nele, encontra-se em fase de implantação a adutora do Curimataú.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Analisar os impactos produzidos por diferentes métodos de dimensionamento de redes de distribuição de água quando aplicados em cidades de pequeno porte do nordeste brasileiro.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Analise dos projetos iniciais e de expansão da rede de distribuição de água de uma cidade;
- Identificar os aspectos passíveis de adequação nos projetos, em termos de tipo de rede de distribuição utilizado, traçado e operação;
- Definir método e/ou produzir orientações ou sugestões gerais para projetos alternativos de redes de distribuição apropriados a cidade de pequeno porte a ser estudada.

## **1.3. Justificativa**

Mencionada anteriormente, a lei 11.445/07 estabelece que é direito de todo e qualquer cidadão o abastecimento público de água potável. Com base nessa diretriz, verifica-se quão

grande é a importância de um projeto de abastecimento d'água e, incorporado a esse projeto, as redes de distribuição de água.

A realização do presente trabalho se dá, devido ao fato de, no Nordeste brasileiro, existir muitas cidades de pequeno porte que ainda não possuem redes de distribuição de água, outras nas quais as redes existentes não dão suporte adequado a demanda existente necessitando assim de expansão. Visa mostrar quão importante é um projeto de rede de distribuição de água dimensionado de acordo com as solicitações da região a ser estudada e os tipos de rede de distribuição serem utilizados de forma coesa e se preocupando com os pressupostos apresentados nas normas vigentes no país, uma vez que, por serem muito onerosos, a execução de um projeto não dimensionado coerentemente com a demanda podem vir a causar prejuízos muito grandes.

#### **1.4. Organização do Trabalho de Conclusão de Curso**

O presente projeto está organizado em 6 capítulos, além das referências bibliográficas. No primeiro capítulo, são apresentados, de forma sintetizada, os parâmetros preconizados pela lei 11.445/2007, conceitos acerca das redes de distribuição de água e é abordada também a importância dos projetos dessas redes para cidades de pequeno porte. Posteriormente, são apresentados os objetivos do trabalho e a justificativa da pesquisa.

O capítulo 2 configura uma fundamentação teórica, onde o principal objetivo é descrever os principais conceitos envolvidos com o tema da pesquisa.

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos que viabilizaram a análise do projeto da rede de distribuição da cidade de Baraúna, no estado da Paraíba. E em seguida, o cronograma da pesquisa é apresentado.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos com os estudos realizados.

No capítulo 5 serão realizadas as análises acerca dos resultados obtidos com a pesquisa.

O capítulo 6 apresenta as considerações finais e sugestões para pesquisas futuras.

Por fim, estão as referências bibliográficas, onde serão listadas o acervo que embasou toda a pesquisa.

### 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme Gomes (2009), o abastecimento de água, partindo dos reservatórios de distribuição até as unidades consumidoras se dá através de uma ou várias redes de distribuição, com o objetivo de assegurar que cada unidade consumidora receba água com uma vazão precisa, pressão suficiente e de boa qualidade.

As redes de distribuição de água são um sistema formado por um conjunto de tubulações, acessórios, reservatório, bombas hidráulicas, que são partes de um sistema de abastecimento de água, onde sua principal finalidade é atender, com as devidas condições sanitárias, vazão e pressão adequadas, aos diversos pontos de consumo de uma região ou setor de consumo. (JUSTINO & NOGUEIRA, 2013)

#### 2.1. Classificação das Redes de Distribuição

As redes de distribuição são classificadas, com base em vários critérios, sendo eles apresentados a seguir. (MEDEIROS FILHO, 2006)

a. De acordo com o diâmetro da tubulação:

- Redes principais: são aquelas de maior diâmetro onde o seu principal objetivo é abastecer as redes secundárias. Na figura 1, tem-se uma tubulação de material do tipo PVC DEFOFO, que são utilizadas para diâmetros acima dos 100 milímetros, por suportarem maiores pressões e são comumente utilizadas nas tubulações principais;
- Redes secundárias: são as tubulações de menor diâmetro que derivam das tubulações principais e abastecem as unidades consumidoras. Na figura 2, é mostrada uma tubulação de material do tipo PVC PBA, que são características de tubulações de até 100 mm, comumente utilizada para conduzir as águas através das redes secundárias.

**Figura 1:** Tubulação PVC DEFOFO condutora de água.



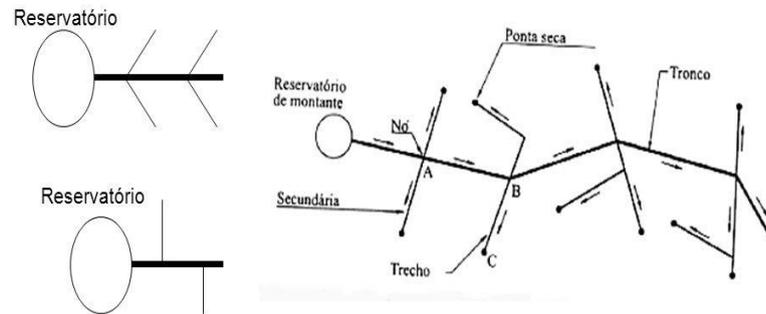
**FONTE:** Catálogo de produtos Tigre (2018).

**Figura 2:** Tubulação PVC PBA condutora de água.

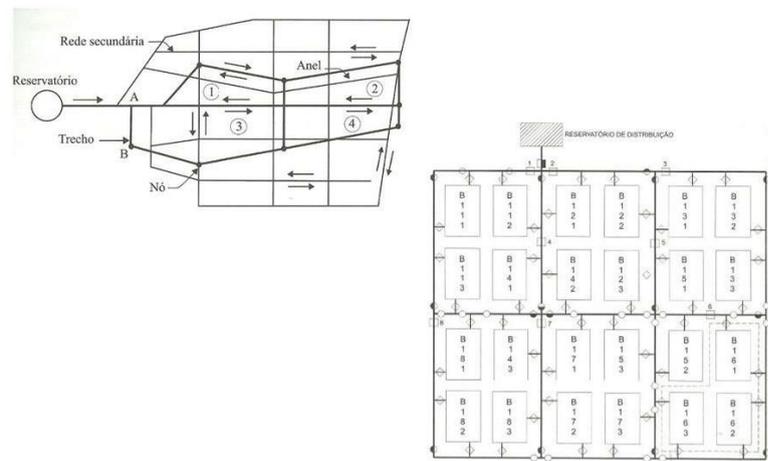


**FONTE:** Catálogo de produtos Tigre (2018).

- b. De acordo com o traçado da rede:
- Ramificada: uma rede de distribuição é dita ramificada quando o abastecimento se dá através de uma tubulação principal, denominada tronco, com alimentação advinda de um reservatório ou de uma estação elevatória, e a distribuição de água é feita de forma direta para a rede secundária. A figura 3 ilustra a rede ramificada. A rede ramificada pode ainda, ser classificada de acordo com seu traçado, sendo ela do tipo espinha de peixe ou redes em grelha.

**Figura 3:** Exemplos de Redes Ramificadas.**FONTE:** Porto (2006).

- **Malhada:** as redes malhadas são aquelas onde suas tubulações principais formam os chamados anéis ou blocos, de forma que, o abastecimento pode se dar de qualquer ponto do sistema podendo seguir mais de um caminho. Na figura 4, visualiza-se as redes malhadas em bloco e anéis.

**Figura 4:** Rede malhada em anéis e em blocos.**FONTE:** Porto (2006).

- c. De acordo com a alimentação dos reservatórios:
- Com reservatório de montante;
  - Com reservatório de jusante;
  - Com reservatórios de montante e de jusante, abastecimento comumente utilizado em grandes cidades;

- Sem reservatórios, alimentada diretamente da adutora, onde esse tipo de abastecimento é comum nas pequenas comunidades.
- d. De acordo com a água distribuída:
- Rede simples, onde nesse caso, a rede é exclusivamente para a distribuição de água potável;
  - Rede dupla, onde existe uma rede de água potável e uma outra de água sem tratamento, principalmente quando há dificuldades de obtenção de água de boa qualidade.
- e. De acordo com o número de zonas de pressão:
- Zona única;
  - Múltiplas zonas (comunidades urbanas com desníveis geométricos acentuados - mais de 50m ou muito extensas).

## **2.2. Traçado dos Condutos**

Conforme mencionado por Heller & Pádua (2006), existem, basicamente, dois tipos de traçado para as redes de distribuição:

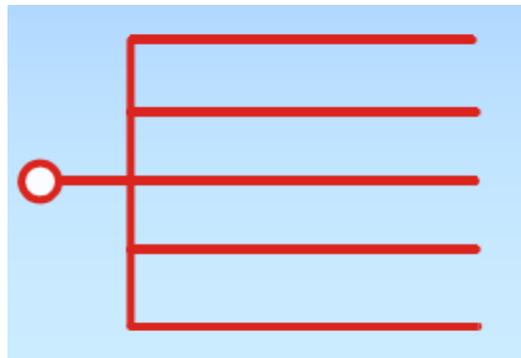
- Redes ramificadas, que consistem em redes adotadas para áreas onde suas avenidas ou ruas não apresentam uma conexão entre si, conexão esta, impedida por elementos topográficos da região em questão ou pelo próprio traçado do local. Nas redes ramificadas os condutos principais são dispostos de modo que sigam a direção que predomina na área em questão, ou seja, as disposições topográficas da região, os níveis geográficos da área, e posteriormente os condutos secundários derivam deles. Também conhecida como espinha de peixe, as redes ramificadas recebem esse nome pelo fato de serem caracterizadas por uma artéria principal e dela partem os condutos secundários, configurando o formato da espinha de um peixe. Nesse tipo de traçado, o deslocamento da água se dá em um único sentido, uma vez que, ele se dá da tubulação principal para as extremidades, ou seja, as tubulações secundárias.
- As redes malhadas são aquelas em que seu traçado forma uma espécie de malha viária entre as ruas, permitindo dessa forma que as tubulações se interliguem pelas duas

extremidades da tubulação. Apresenta algumas vantagens em relação à rede ramificada, visto que, nesse tipo de traçado o escoamento hidráulico se dá de maneira mais eficaz, pois permite o fluxo permanente de água em ambos os sentidos das tubulações, evitando dessa forma as chamadas pontas mortas.

Levando em consideração o traçado dos condutos principais, as redes de distribuição, tanto a ramificada quanto a malhada possuem particularidades, como já mencionado anteriormente.

Se enquadram nas redes ramificadas os condutos principais em grelha, sendo eles um traçado utilizado em áreas onde as larguras são muito pequenas ou pequenas comunidades populacionais, onde os condutos principais são dispostos mantendo um paralelismo entre si. Na figura 5, é possível visualizar o paralelismo entre os condutos e verificar ainda a forma que se dá a ligação dos condutos principais, onde uma de suas extremidades se ligam a um outro conduto principal. Vale salientar, que os diâmetros das tubulações diminuem a medida que o traçado se afasta do reservatório.

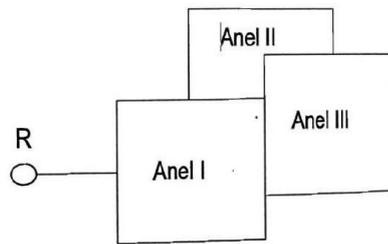
**Figura 5:** Condutos principais em grelha.



**FONTE:** Heller & Pádua (2006).

Dentre as derivações das redes malhada, tem-se os condutos principais em anéis, em que as tubulações principais formam circuitos fechados ou anéis, como ilustrado na Figura 6. A rede malhada em anéis é muito utilizada em locais onde a densidade populacional é maior e também apresenta uma maior eficiência hidráulica em relação a outros tipos de traçado.

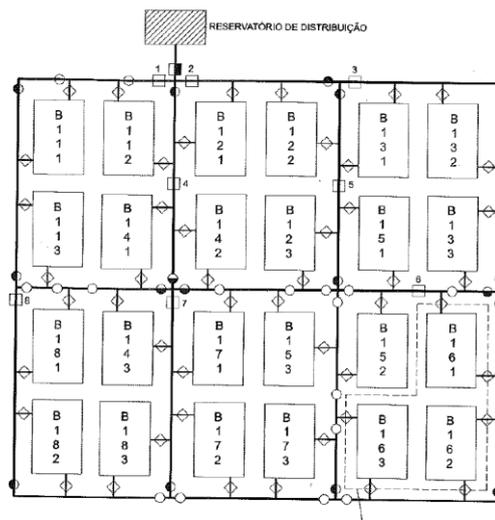
**Figura 6:** Conduto principais em anéis.



FONTE: Heller & Pádua (2006).

Conforme, as redes malhadas podem ainda ser traçadas de modo a formar blocos. A Figura 7 ilustra uma rede malhada em blocos. Esse tipo de rede permite um melhor controle das pressões e a qualidade da distribuição é maior; por conta da forma do seu traçado, minimiza as áreas que ficariam desabastecidas em uma possível manutenção na rede. (TSUTIYA, 2006)

**Figura 7:** Conduto principais em blocos.



FONTE: Tsutiya (2006).

### 2.3. Dimensionamento de Redes

Para se desenvolver um projeto de dimensionamento de uma rede distribuição de água para abastecimento público, a NBR 12218/2017 recomenda que se realize um estudo de concepção do sistema de abastecimento, se defina as etapas de implantação do projeto, levantamento planialtimétrico da área de projeto com detalhes do seu arruamento, interferências e cadastro da rede existente. É de extrema importância também, definir as etapas de execução da rede e das correspondentes vazões de distribuição para dimensionamento, delimitar os

contornos da área a ser abastecida, delimitar as zonas de pressão, fixar os volumes dos reservatórios, traçar os condutos principais e secundários e dimensioná-los e planejar os setores de manobra da rede.

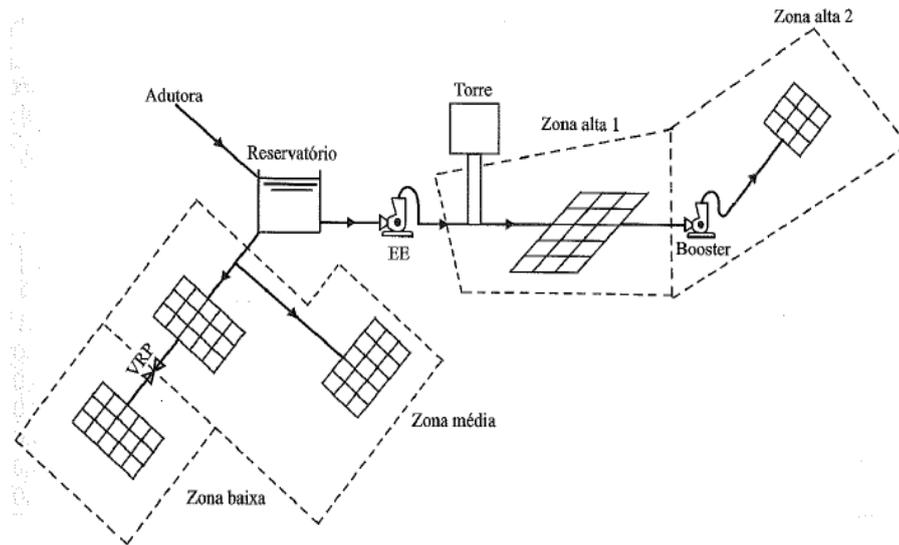
É necessário ainda atentar para alguns critérios que são determinantes para o bom funcionamento da rede de distribuição, sendo eles descritos a seguir.

### **23.1. Pressões Mínimas e Máximas na Rede**

As pressões, em uma rede de distribuição de água, são um dos fatores mais importantes e influentes, uma vez que, são um dos fatores que determinam se será possível a água chegar até as unidades consumidoras. A pressão dinâmica mínima de uma rede tem como principal função vencer os desníveis provocados pela topografia da região e também as perdas de carga que ocorrem nas tubulações que chegam até as residências, de modo que, seja garantido o fornecimento de água para os reservatórios das residências ou prédios. Por outro lado, a pressão estática máxima determina o valor limite de pressão para que seja garantida a integridade das tubulações e conexões da rede e também diminuir as perdas de água que ocorrem durante o fornecimento de água nas tubulações. (HELLER & PÁDUA, 2006)

A NBR 12218/2017 da ABNT, prega que, a pressão estática máxima em uma rede pública de distribuição de água deve ser de 500 kPA e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPA. No entanto, caso os valores sejam superiores a máxima e inferiores à mínima, os mesmos devem ser justificados com embasamento técnico e economicamente viável. Para que esses limites sejam atendidos, faz-se necessário que se divida a rede de distribuição nas chamadas zonas de pressão, onde, a rede possa apresentar as chamadas zonas de pressão baixa, média e alta, de modo que, cada zona de pressão seja abastecida por um reservatório de distribuição. A zona de pressão alta é geralmente abastecida por reservatórios elevados e as zonas média e baixa fazem uso de reservatórios do tipo apoiado, semienterrado ou enterrado. Na Figura 8, visualiza-se um esquema de abastecimento de água atendendo as zonas de pressão.

**Figura 8:** Abastecimento de água atendendo as zonas de pressão.



FONTE: Tsutiya (2006).

### 23.2. Velocidades Máximas e Mínimas

Nas redes de distribuição de água, é necessário estabelecer limites de velocidade, visando a durabilidade, prevenção de danos e durabilidade das tubulações. Altas velocidades de escoamento contribuem para a diminuição do diâmetro da tubulação, e dessa forma, o custo de implantação da tubulação é menor, visto que, quanto menor o diâmetro da tubulação menos se gasta com aquisição de tubos, escavação de valas, assentamento e posterior reaterro das valas escavadas. No entanto, altas velocidades aumentam a perda de carga nas tubulações, aumento dos custos de manutenção pois favorecem o desgaste das peças, e faz-se necessário um maior consumo de energia elétrica para os bombeamentos. Por outro lado, as baixas velocidades de escoamento da água na rede aumentam a durabilidade da tubulação e diminuem os efeitos dos transitórios hidráulicos que são causados pelas variações de pressão e também, a escoar com baixas velocidades, os materiais sólidos que existirem na água são mais facilmente depositados. (TSUTIYA, 2006)

A NBR 12218/2017 da ABNT, recomenda que a velocidade mínima nas tubulações deve ser de 0,6 m/s e a máxima de 3,5 m/s.

### **2.3.3. Diâmetro Mínimo**

Para tubulações secundárias, a NBR 12218/2017 da ABNT recomenda o diâmetro mínimo de 50 mm, por outro lado, para as tubulações principais, não existe uma recomendação. Em áreas muito adensadas, como as que ocorrem na cidade de São Paulo – SP, o diâmetro mínimo adotado é de 75 mm, para permitir distâncias razoáveis entre as tubulações tronco.

Conforme Heller & Pádua (2006), em situações especiais e mediante a justificativa coerente, podem-se utilizar tubulações com diâmetros inferiores a 50 milímetros, em PVC ou materiais similares para instalações prediais. Como exemplo desse fato, tem-se duas situações corriqueiras: nas áreas de baixa densidade populacional e baixo consumo de água, como as zonas rurais, por exemplo, ou em áreas mais periféricas das cidades. Tem-se também as linhas de distribuição localizadas e de pequena extensão, como aquelas formando alças instaladas em calçadas ou ainda em vielas no interior de quarteirões (redes condominiais).

### **2.4. Método de Dimensionamento das Redes Malhadas**

Nas redes malhadas o sentido de escoamento da água nas tubulações não é conhecido. Esse problema, é passível de ser resolvido analiticamente. No entanto, é necessário determinar, algum parâmetro, como por exemplo a condição de custo mínimo da rede de distribuição. Porém, adotar essa solução demanda muito tempo, uma vez que, são necessários o levantamento de vários dados e por se utilizar de métodos computacionais para realização dos cálculos, o método acima foi pouco utilizado. (TSUTIYA, 2006)

Atualmente, é mais comum a utilização de métodos que busquem a otimização econômica para o dimensionamento dos sistemas de distribuição de água. Nesses métodos, o dimensionamento ótimo das redes de distribuição será aquele cujo custo de implantação e operação da rede de tubulações e da estação elevatória seja mínimo.

Nas redes malhadas, geralmente são usadas soluções aproximadas, de modo que, se chegue a melhor solução para cada caso em particular. Dentre os métodos que serão objetos de estudo, tem-se os seguintes: método do cálculo iterativo, método Pimentel Gomes e o método de dimensionamento econômico (PNL2000).

## 24.1. Método do Cálculo Iterativo

O número de tubos na rede é igual ao número de variáveis desconhecidas no dimensionamento, onde, para sua determinação, são utilizadas um número igual de equações simultâneas.

As equações são reguladas pelas seguintes leis:

- Em um circuito hidráulico, a soma algébrica das perdas de carga em um determinado trecho num circuito hidráulico deve ser igual a zero. A equação (1) exemplifica essa análise, onde descreve um trecho  $i - j$ , sendo  $i$  o nó inicial e  $j$  o nó final do trecho em questão.

$$\sum \Delta H_{i, j} = 0 \quad (1)$$

- O somatório das vazões que chegam a um nó deve ser igual a soma das vazões que saem desse nó. A equação (2) descreve essa situação.

$$\sum Q_{i, j} + E_i = 0 \quad (2)$$

Onde,

- $Q_{i,j}$  = vazão no trecho entre o nó  $i - j$ ;
- $E_i$  = vazão concentrada no nó  $i$ .
- Em cada elemento de cada sub-circuito deve ser satisfeita a lei de perda de carga.

Os métodos de dimensionamento mais empregados para redes malhadas são os seguintes:

- Método da correção de vazões (Hardy-Cross);
- Método da linearização (matricial).

Nesta pesquisa, foi utilizado o método da correção de vazões, idealizado por Hardy Cross.

#### 2.4.1.1. Método da Correção de Vazões (Hardy-Cross)

O método de Hardy-Cross desenvolvido se destaca por permitir o desenvolvimento dos cálculos de forma manual e simples, além de ter um significado físico que facilita a análise dos resultados dos cálculos.

Em redes do tipo malhada, esse método é utilizado para o dimensionamento dos condutos principais da rede.

Os condutos secundários são dimensionados pelos diâmetros mínimos estabelecidos. Para o cálculo de redes em pequenos setores de abastecimento, esses diâmetros mínimos são de 50 mm, e para isso, estabelece-se como distância máxima entre condutos principais um comprimento da ordem de 300 a 600 m. (TSUTYIA, 2006)

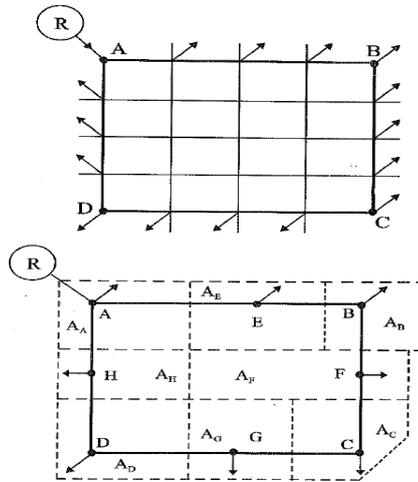
Ainda de acordo com o autor, o método de Hardy-Cross apresenta duas modalidades de aplicação:

- Por compensação das perdas de carga;
- Por compensação das vazões.

No primeiro caso, que é o menos utilizado no cotidiano, é admitido que existe uma distribuição de pressões ou perdas de carga por trecho e posteriormente são calculadas as vazões. No segundo caso, que é o mais utilizado, é admitida uma distribuição das vazões e em seguida determina-se os valores das perdas de carga.

Para se utilizar do método pela compensação das vazões, recomenda que se substitua a distribuição em marcha da rede, por tomadas localizadas em pontos convenientes, onde se consideram as vazões concentradas nos nós, conforme mostra a figura 9. Supõe-se que as vazões sejam uniformes em cada trecho dos anéis.

**Figura 9:** Localização dos nós em redes malhadas.

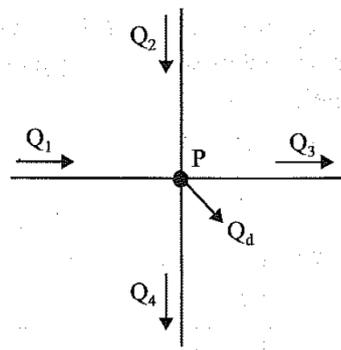


**Fonte:** Tsutiya (2006).

No processo por compensação de vazões, a partir das vazões concentradas nos nós, é previsto a admissão inicial de vazões em cada trecho dos anéis. As condições necessárias e suficientes para que a distribuição de vazões admitidas seja correta são as seguintes:

- Em um nó qualquer da rede, a soma algébrica das vazões é igual a zero. A figura 10 mostra as vazões afluentes e efluentes no nó P, sendo positivas (+) as vazões afluentes e negativas (-) as vazões efluentes.

**Figura 10:** Vazões afluentes e efluentes no nó P.



**Fonte:** Tsutiya (2006).

A equação (3) descreve a situação acima.

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_d = 0 \quad (3)$$

Onde,

$Q_d$  = a vazão de distribuição.

- Em um circuito fechado, também chamado de anel, em qualquer ponto da rede, a soma algébrica das perdas de carga tem valor nulo. O sentido positivo do percurso é o sentido horário, de forma que, as vazões e, conseqüentemente, as perdas de carga terão valores positivos se estiverem no mesmo sentido do percurso e, caso contrário, terão valores negativos.

Para se obter os valores da perda de carga em cada trecho da rede, é utilizada a equação de resistência (4) da seguinte forma:

$$\Delta H = rQ^n \quad (4)$$

Atrelado a isso, é, normalmente, utilizada a fórmula Universal, dada pela equação (5) ou a fórmula de Hazen-Williams para cálculo das perdas de carga dada pela equação (6).

$$\Delta H = \frac{8fL}{n^2gD^5} Q^2 \quad (5)$$

$$\Delta H = \frac{1}{(0,2785C)^{1,85}} \frac{L}{D^{4,87}} Q^{1,85} \quad (6)$$

## 2.4.2. Método Pimentel Gomes

De acordo com Gomes (2009), o principal objetivo do método consiste em dimensionar redes de distribuição de água, sejam elas malhadas ou ramificadas. O método pode ser considerado uma alternativa ao método de Hardy-Cross, visto que, semelhante a ele, por esse método a rede de distribuição pode ser dimensionada a partir do equilíbrio hidráulico do fluxo de água nos anéis da rede. O dimensionamento através desse método se dá de forma indeterminada, admitindo várias soluções para o problema que se deseja resolver, ou seja, ficará a critério do projetista realizar inúmeras simulações e escolher dentre elas a que melhor concilia as condições operacionais e de implantação.

Para se determinar as variáveis hidráulicas do dimensionamento de redes, Gomes (2009) divide o método em duas etapas principais.

Na primeira delas, é realizado um pré-dimensionamento do sistema, onde variáveis como os diâmetros das tubulações, as vazões em cada trecho da rede e a altura manométrica do ponto de alimentação do sistema são determinadas através da busca por uma solução que seja

hidraulicamente viável, de modo que, as leis de conservação de massa nos nós e de conservação de energia nos anéis sejam respeitadas. Os resultados obtidos nessa etapa irão atender as restrições hidráulicas de dimensionamento, porém ainda necessita de ajustes, uma vez que, os valores dos diâmetros obtidos, por exemplo, podem não coincidir com as bitolas comerciais.

Na segunda etapa, os valores encontrados inicialmente para os diâmetros serão ajustados para valores aproximados que estejam disponíveis no mercado, e conseqüentemente deixam de ser variáveis desconhecidas para a segunda etapa da busca por uma solução para o dimensionamento da rede. Tanto as vazões nos trechos quanto a carga piezométrica de alimentação continuam como variáveis desconhecidas.

Gomes (2009), utiliza um processo de busca para se determinar as variáveis citadas anteriormente, fazendo uso da programação não-linear, de modo que atenda as restrições hidráulicas de fluxo de água em regime permanente nas redes de distribuição de água. No método Pimentel Gomes, tal modelo é formulado e processado com base na ferramenta Solver da planilha eletrônica Excel, software pertencente a empresa Microsoft<sup>®</sup>, de modo que, sejam respeitados os critérios para dimensionamento, que dizem respeito à pressão, à velocidade e ao diâmetro, citados nos itens 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3, respectivamente.

### **243. Método Econômico – PNL 2000**

Segundo Gomes (2009), o método em questão, que está baseado em técnicas de otimização econômica, busca o dimensionamento ótimo das redes de distribuição de água, sendo este, aquele no qual os custos de implantação e de operação, da rede de tubulações e da estação de bombeamento sejam mínimos.

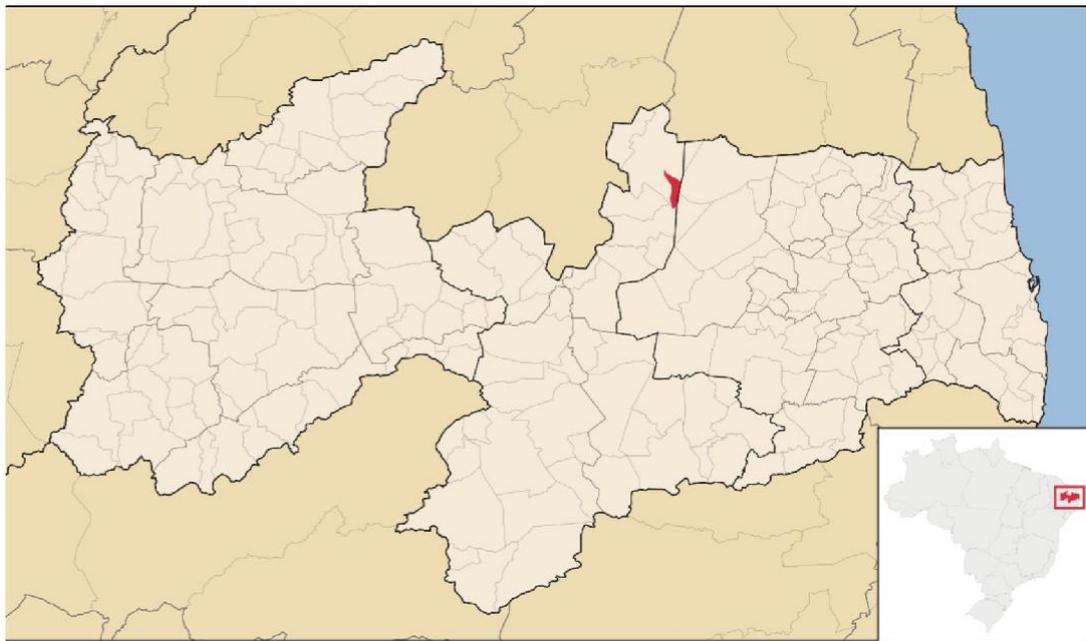
O método faz uso do modelo matemático da programação não linear, se dividindo em duas etapas, de forma semelhante ao método de Pimentel Gomes. Inicialmente, é realizado um pré-dimensionamento da rede de distribuição, onde os diâmetros e as vazões de cada trecho bem como a altura manométrica do reservatório de alimentação, são variáveis que serão determinadas no processo de otimização. A partir dos dados obtidos na primeira etapa, a segunda etapa é executada, onde nela são ajustados os valores obtidos na solução inicial. A otimização do PNL2000, é realizada de maneira idêntica ao método Pimentel Gomes, utilizando a ferramenta Solver do Excel.

O dimensionamento das tubulações componentes da rede de distribuição pode ser realizado, levando em consideração duas diferentes situações. Na primeira delas, é conhecida a altura manométrica do reservatório de distribuição, sendo assim, seu valor é fixado inicialmente no problema. Por outro lado, no segundo caso, a altura acima citada é desconhecida, e conseqüentemente deve ser considerada no dimensionamento. Dessa forma, busca-se diminuir a soma dos custos de implantação da rede (tubos, peças, montagem, instalação) e de sua operação (custo da energia de bombeamento).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Como caso de estudo foi escolhida uma cidade de pequeno porte do estado da Paraíba, tratando-se do município de Baraúna, uma das 19 cidades beneficiadas pelas obras da adutora do Curimataú. Na figura 11, é mostrada a localização do município no território estadual.

**Figura 11:** localização do município a ser estudado.



**Fonte:** Google Maps (2018).

#### 3.1. Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa são constituintes do projeto de implantação da rede de distribuição de água da zona urbana de Baraúna-PB fornecidos pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), sendo eles:

- Projeto inicial:
  - Planta baixa do projeto inicial da rede de distribuição de água;
  - Dimensionamento da rede de distribuição de água.
- Expansão da rede:
  - Planta baixa do projeto inicial acrescido da expansão da rede de distribuição;
  - Dimensionamento da expansão da rede de distribuição de água.

Também foram utilizadas informações sobre a cidade, como:

- Censo demográfico.
- Dados socioeconômicos do município.
- Levantamento topográfico da cidade.

Foram coletados dados de consumo per capita de água de quatro municípios, e posteriormente, determinou-se o consumo per capita da cidade de Baraúna e prosseguiu-se com o dimensionamento da rede de distribuição.

### **3.2. Metodologia**

Neste item, será descrita a metodologia que foi utilizada para viabilização da pesquisa, descrevendo como a mesma se deu até a obtenção dos resultados almejados.

#### **3.2.1. Análise do Projeto Inicial da Rede de Distribuição**

A pesquisa iniciou-se com a análise acerca dos projetos da rede de distribuição de Baraúna que foram utilizados durante a execução da obra e fornecidos pela CAGEPA.

A NBR 12211/1992 afirma que um estudo de concepção de um sistema público de abastecimento de água deve abordar aspectos como a configuração topográfica e geológica da região em questão, a população a ser atendida levando em consideração o horizonte de projeto e as classes desses consumidores, a comparação técnico-econômica das concepções de projeto e o estudo da viabilidade da concepção escolhida.

O estudo do projeto inicial da rede de distribuição foi realizado de forma a conhecer as suas características, como a área a ser abastecida, as zonas de pressão, o tamanho do reservatório, características topográficas da região, o traçado dos condutos e seu dimensionamento.

No caso em questão, foi projetada uma rede de distribuição e ao se iniciar os serviços de execução, constatou-se que havia tido uma expansão em relação a rede projetada inicialmente, sendo assim necessária a realização de uma verificação acerca dos impactos que a expansão causaria na rede como um todo e dessa maneira identificar aspectos passíveis de adequação. Serão abordados os impactos sobre o traçado da rede, a demanda de consumo e a funcionalidade da rede.

### **3.2.1.1. Traçado**

Ao realizar uma expansão em uma rede de distribuição, o traçado será diretamente impactado. No caso em questão, foi realizada uma grande expansão da rede em relação a inicialmente projetada, que deverá ser minuciosamente estudada, de modo que, verifique se ainda será possível atender a todos os consumidores, se o traçado continuará seguindo o arruamento, se existirá obstáculos topográficos, dentre outros problemas.

### **3.2.1.2. Demanda**

A expansão da rede irá conseqüentemente acarretar em um aumento da demanda de água, e sendo ela prevista incorretamente, essa demanda pode não ser satisfeita, sendo necessário realizar modificações no projeto de modo a atender a todos os consumidores.

### **3.2.1.3. Funcionalidade**

A funcionalidade da rede pode sofrer conseqüências decorrentes de uma expansão não prevista. Será analisa a expansão em questão, de modo que, se verifique a total e correta funcionalidade na rede, garantindo um fornecimento contínuo de água para os usuários.

## **3.2.2. Soluções Alternativas ao projeto**

Com base no estudo levando em consideração os parâmetros citados anteriormente, foi verificado se o projeto em questão atende aos requisitos exigidos pelas normas vigentes da melhor forma possível.

Foram lançados novos traçados para a rede de distribuição, de forma que, se escolha a melhor opção para as condições atuais e futuras da cidade seguindo a metodologia descrita a seguir.

## **3.2.3. Novo Dimensionamento**

Dando continuidade à pesquisa foi realizada a coleta de informações sobre a cidade. O censo demográfico e os dados socioeconômicos do município foram obtidos junto ao IBGE para viabilizar o estudo da demanda de água da cidade. As informações acerca do consumo per capita foram obtidas junto ao SNIS. De posse desses dados, foi realizado um novo dimensionamento da rede de distribuição, analisando os seguintes parâmetros:

- Área a ser abastecida;
- Características topográficas da região;

- Estudo de demanda;
- Traçado dos condutos e dimensionamento da rede.

### **3.2.3.1. Área a ser abastecida**

A área abastecível deve englobar as diferentes áreas do perímetro urbano atual e de expansão, onde, os contornos das áreas específicas devem ser definidos, considerando as seguintes ocupações de solo: residencial, comercial, industrial e especial de acordo com a NBR 12218/2017.

### **3.2.3.2. Características topográficas da região**

Conforme preconiza a NBR 12211 (1992), para a elaboração de estudos de concepção podem ser utilizadas fotografias aéreas, levantamentos planimétricos ou planialtimétricos e levantamentos aerofotogramétricos. Esses estudos cobrirão a área urbana atualmente a ser abastecida bem como a expansão da área.

### **3.2.3.3. Estudo de Demanda**

Ao se elaborar um projeto de abastecimento de água de uma determinada cidade ou um conjunto de cidades, deve-se levar em conta a população a ser abastecida futuramente. O crescimento da população deve ser analisado levando em consideração em um determinado horizonte, ou seja, em um determinado período, em anos. É normalmente adotado um horizonte de projeto de 20 anos, onde se faz uma estimativa da população a ser atendida depois de 20 anos.

Buscou-se caracterizar demograficamente a cidade de Baraúna - PB com os dados retirados do IBGE e prever a população urbana futura no ano de 2038.

#### **3.2.3.3.1. Métodos Populacionais**

De acordo com Von Sperling (1996), para a determinação da população futura três métodos matemáticos podem ser utilizados. São eles:

- Método Aritmético;
- Projeção geométrica;
- Regressão e correlação (linear).

A aplicação destas técnicas permite a estimativa de dados de população em datas não cobertas por censos; a desagregação de grupos populacionais quinquenais ou decenais por idade

simples; a suavização de curvas matemáticas, dentre outras aplicações. Estes procedimentos possibilitam estimar com precisão matemática pontos intermediários em uma curva de pontos conhecidos, e seus resultados, apesar de sujeitos a erros de estimativa, são confiáveis na maioria das vezes.

Foram utilizados os três métodos para determinação da população a ser abastecida pela rede de distribuição e posteriormente se escolheu o método que apresentou o menor erro relativo e se obteve o valor final da população.

Como condicionantes para aumento da população ao longo do horizonte de projeto previsto, de 20 anos neste caso, tem-se a própria implantação da rede de distribuição e água na cidade, uma vez que, com o posterior funcionamento da rede, a cidade se tornará mais atrativa até mesmo para as pessoas que ainda residem na zona rural do município e que desejam migrar para a zona urbana. Por se localizar em uma região fronteira com o estado do Rio Grande do Norte e próximo a cidades com alto fluxo de pessoas, como por exemplo, Soledade, o potencial de crescimento é enorme, principalmente por conta da questão econômica em si e do trânsito de pessoas que por ali passarão.

#### **3.2.3.3.2. Consumo Per Capita**

De acordo com Guedes et al. (2016) para se elaborar um projeto de abastecimento de água é imprescindível deter de conhecimento acerca das vazões de dimensionamento das diversas partes constituintes do local no qual se irá trabalhar. Para determinar o valor dessas vazões é necessário deter de conhecimentos da demanda de água do local, que depende diretamente da população a ser abastecida e a quantidade de água necessária para suprir as necessidades de cada usuário, onde, tal consumo, é geralmente chamado de Quota “Per Capita” (QPC) ou consumo “Per Capita”.

A natureza da cidade, seja ela turística, industrial, residencial ou comercial, influencia diretamente no padrão de consumo de água (TSUTIYA, 2006). Cidades predominantemente residenciais, caso este característico da cidade de Baraúna, apresentam um menor consumo per capita de água quando comparadas a cidades tipicamente industriais, por exemplo. Indicadores da fundação SESP mostram diferentes valores de acordo com o porte da localidade. Cidades com até 3000 habitantes, por exemplo, consideravam um consumo per capita de 90 L/hab.dia e cidades com até 7500 habitantes um consumo per capita de 132 L/hab.dia.

Um problema passível de ser encontrado em cidades de pequeno porte, é a ausência da rede de distribuição de água, conseqüentemente, a determinação do consumo per capita esbarra na escassez de dados, como por exemplo, a quantidade de unidades consumidoras e o tamanho da rede.

Para sanar essa dificuldade, se utilizou dados referentes a cidades beneficiadas com as obras da adutora do Curimataú que possuam características socioeconômicas semelhantes ao caso estudado e posteriormente determinou-se o seu consumo per capita. Foram analisados dados como a população total atendida com o abastecimento de água, a extensão da rede, a quantidade de ligações ativas e o volume de água consumido, consumo per capita obtidos junto ao SNIS.

Posteriormente, com base nos dados acima citados, se determinou um padrão de consumo para uma cidade de pequeno porte que não possua informações que permitam obter o seu consumo per capita.

#### **3.2.3.4. Traçado dos condutos e Dimensionamento da rede**

Nesta etapa, se verificou a adequação do traçado projetado em relação ao traçado urbano de modo que os condutos formem circuitos fechados entre si e se localizem nas vias públicas, para evitar, por exemplo, as desapropriações, e respeitem o arruamento da cidade.

Posteriormente, foi realizado o dimensionamento da rede com base no traçado escolhido utilizando os três métodos de dimensionamento descritos anteriormente.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Análise do Projeto Inicial da Rede

O projeto inicial da rede de distribuição da cidade de Baraúna foi confeccionado no ano de 2009, de acordo com informações da CAGEPA, no entanto, só no ano de 2018 que se deu o início da sua execução. Durante a execução observaram-se diversas incoerências com o traçado previsto inicialmente em projeto, o que acarretou alguns problemas que serão abordados a seguir.

De acordo com a análise do projeto inicial, foi constatado que se tratava de uma rede ramificada. Não foi obtido acesso ao memorial descritivo do projeto e dessa forma não foi possível verificar o horizonte de projeto utilizado. Porém, ao se observar o projeto, é possível levantar a hipótese de que o horizonte de projeto utilizado foi curto ou não foi levado em consideração de acordo com as preconizações das normas vigentes.

Em virtude disso, a área a ser abastecida de acordo com o traçado que foi projetado não englobava corretamente as regiões passíveis de expansão, conseqüentemente, quando se realizou o levantamento topográfico da cidade antes de ser dar início a execução, foi constatado que a área a ser abastecida seria muito maior do que aquela previamente idealizada em projeto. A extensão original da rede era de 15.177,27 metros de comprimento e após visita ao local e serviços de topografia para determinar as dimensões da rede, verificou-se que a mesma sofreu uma expansão de 9.127,73 metros. Na figura 12, visualiza-se uma parte do projeto da rede, onde o traçado em vermelho, verde e azul constituem a rede projetada inicialmente e o traçado em amarelo o acréscimo da rede.

**Figura 12:** parte do projeto da rede de distribuição de Baraúna.



**Fonte:** CAGEPA (2018).

O traçado da rede não obedecia corretamente ao arruamento da cidade. Por exemplo, locais onde em tese seria instalada a rede, foram encontrados obstáculos como residências, prédios, terrenos e edificações em construção. Sendo assim, durante a execução foi necessário realizar adequações acerca do trajeto da rede, o que causou aumento da tubulação que seria utilizada, necessidade de utilização de mais peças para realizar manobras, o que influi diretamente no custo da obra.

Observando esses fatores, foi realizado um novo dimensionamento da rede de distribuição de água da cidade de Baraúna, buscando solucionar os problemas acima citados e apresentar alternativas de projeto para a rede.

## 4.2. Novo Dimensionamento

### 4.2.1. Projeção Populacional

A Tabela 1 apresenta a evolução populacional da cidade de Baraúna com relação ao estado e ao país, de acordo com os censos de 2000 a 2010.

**Tabela 1:** Dados populacionais da cidade de Baraúna – PB entre os anos 2000-2010.

| <b>ANO</b> | <b>Número de habitantes da cidade</b> | <b>Número de habitantes da Paraíba</b> | <b>Número de habitantes do Brasil</b> |
|------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| 2000       | 3.169                                 | 3.443.825                              | 169.799.170                           |
| 2007       | 3.864                                 | 3.641.395                              | 183.987.291                           |
| 2010       | 4.220                                 | 3.766.528                              | 190.755.799                           |

**Fonte:** IBGE (2018).

Como os dados da Tabela 2 referem-se à população total da cidade e o projeto em questão visa atender apenas à população urbana, os dados censitários que serão utilizados na projeção populacional serão apenas os da população localizada na área urbana de Baraúna que estão apresentados na tabela 2.

**Tabela 2:** Dados censitários da população urbana da cidade.

|                  | <b>CENSO</b> |       |       |
|------------------|--------------|-------|-------|
| <b>MUNICÍPIO</b> | 2000         | 2007  | 2010  |
| <b>Baraúna</b>   | 1.936        | 2.854 | 3.187 |

**Fonte:** IBGE (2018).

A seguir, serão apresentados os cálculos referentes aos métodos para determinação da população a ser abastecida.

#### **4.2.1.1. Método da Projeção Aritmética**

O método de projeção aritmética considera o crescimento populacional a uma taxa constante, sendo assim utilizado para estimativas de menor prazo. A taxa de crescimento aritmético é dada pela equação (7):

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

Onde,

- P1 população do penúltimo censo;

- $t_1$  é o ano de referência da população 1 ( $P_1$ );
- $P_2$  a população do último censo;
- $t_2$  é o ano de referência da população 2 ( $P_2$ ).

A expressão geral do método aritmético para estimar a população para o ano  $t$  é dada pela equação (8):

$$P_t = P_2 + K_a \times (t - t_2) \quad (8)$$

Onde,

- $t$  representa o ano da projeção.

Para obter uma previsão mais representativa, calcularam-se as taxas de crescimento dos períodos entre os censos e adotou-se a taxa média.

$$K_a^{2000-2007} = \frac{2.854 - 1.936}{2007 - 2000} = 131,14 \text{ hab/ano}$$

$$K_a^{2007-2010} = \frac{3.187 - 2.854}{2010 - 2007} = 111,00 \text{ hab/ano}$$

$$K_a^{\text{n\u00e9dio}} = \frac{131,14 + 111,00}{2} = 121,07 \text{ hab/ano}$$

A população projetada para o horizonte de projeto, segundo este método, é:

$$P_{2038} = 3.187 + 121,07 \times (2038 - 2010) = 6.576,96 \text{ habitantes}$$

#### 4.2.1.2. Método da Projeção Geométrica

O método da projeção geométrica considera que para iguais períodos de tempo há a mesma porcentagem de aumento da população. Assim como o método da projeção aritmética, é utilizado para estimativas de curto prazo. A equação (9) determina a taxa de crescimento geométrico:

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (9)$$

A expressão geral do método aritmético para estimar a população para o ano  $t$  é dada pela equação (10):

$$P_t = P_2 + e^{K_g \times (t-t_2)} \quad (10)$$

Onde,

- $t$  representa ano da projeção.

Assim como na projeção aritmética, calcularam-se as taxas de crescimento dos períodos entre os censos e adotou-se a taxa média. Assim:

$$K_g^{2000-2007} = \frac{\ln 2.854 - \ln 1.936}{2007 - 2000} = 0,055$$

$$K_g^{2007-2010} = \frac{\ln 3.187 - \ln 2.854}{2010 - 2007} = 0,037$$

$$K_g^{\text{n\u00e9dio}} = \frac{0,055 + 0,037}{2} = 0,046$$

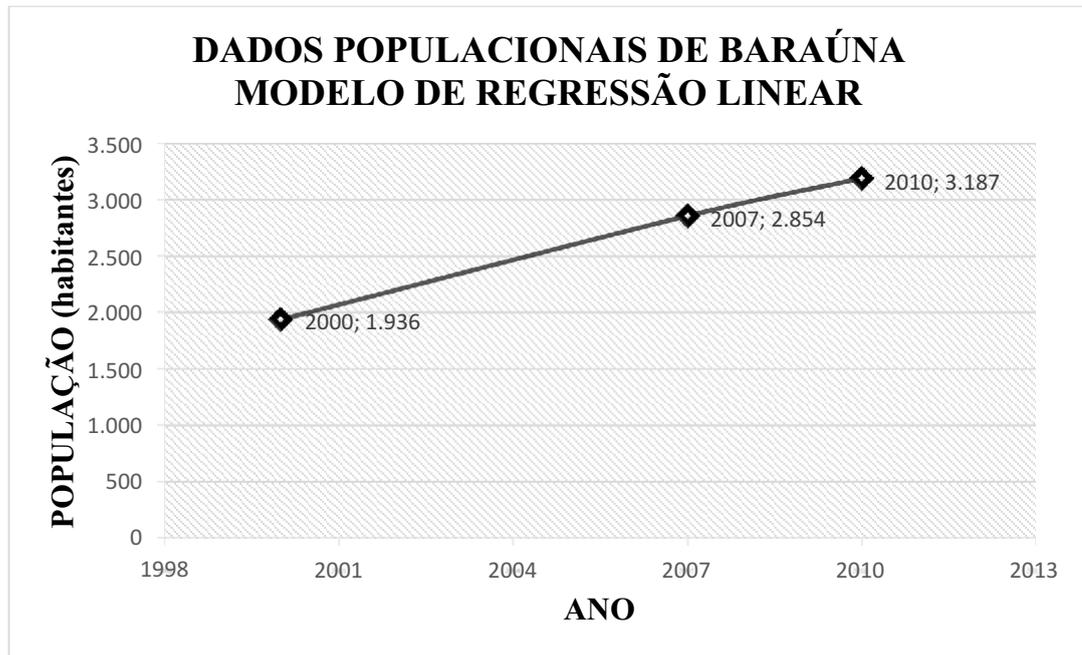
Logo, a popula\u00e7\u00e3o projetada para o ano de 2038 \u00e9:

$$P_{2038} = 3.187 \times e^{0,046s (2038-2010)} = 10.538,97 \text{ habitantes}$$

#### 4.2.1.3. M\u00e9todo da Regress\u00e3o

A an\u00e1lise de regress\u00e3o foi feita com o aux\u00edlio do software Microsoft Excel<sup>\u2122</sup>. Durante o estudo da regress\u00e3o foram analisadas diversas fun\u00e7\u00f5es matem\u00e1ticas, tais como: exponencial, linear, logar\u00edtmica, polinomial e pot\u00eancia. Constatou-se entre elas, que o modelo de regress\u00e3o linear foi o que apresentou um melhor ajuste, dado que o coeficiente de correla\u00e7\u00e3o desse modelo foi o maior. A Figura 13 apresenta o modelo de regress\u00e3o linear.

**Figura 13:** Modelo de regressão linear aplicado aos dados populacionais da cidade de Baraúna.



**Fonte:** autoria própria (2018).

Com base na Figura 13, obtém-se a seguinte equação para a curva em questão:

$$P_{\text{linear}} = 126,17 * x - 250398$$

Logo, a projeção populacional no ano de 2038 é dada pela seguinte fórmula:

$$P_{\text{linear}} = 126,17 \times 2038 - 250398 = 6.736,46 \text{ habitantes}$$

#### 4.2.1.4. Comparativo entre os métodos

A Tabela 3 a seguir mostra um comparativo das populações projetadas por cada método:

**Tabela 3:** Comparativo entre os métodos de estimativa de população urbana futura para a cidade de Baraúna.

| Método                     | População |
|----------------------------|-----------|
| Projeção Aritmética        | 6.576,96  |
| Projeção Geométrica        | 10.538,97 |
| Método de Regressão Linear | 6.736,46  |

**Fonte:** autoria própria (2018).

Com os resultados da Tabela 3, observou-se que o método da projeção geométrica foi o que alcançou uma maior população urbana futura. Porém, nesse método parte-se do pressuposto de que as taxas continuam crescentes no horizonte de projeto, o que não é certeza, pois existem apenas dados referentes aos anos de 2000, 2007 e 2010, não sendo suficientes para tal comprovação.

O método da regressão linear mostrou uma população de 6.736,46 habitantes para os próximos 20 anos. A curva de regressão gerada apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,9987, o que significa que a função gerada se enquadra 99,87% aos dados, com uma margem de erro de 0,13%. Logo, devido ao pequeno erro, podemos dizer que o método da regressão linear foi o mais consistente dentre os três métodos realizados.

Assim, a população futura urbana de projeto que será utilizada é:

$$\mathbf{P = 6.737 habitantes}$$

#### **4.2.2. Vazão Média de Demanda e Vazões de Projeto**

Baraúna trata-se de uma cidade onde a rede de distribuição de água encontra-se em fase de implantação, sendo assim, a obtenção de dados acerca do consumo per capita é impossibilitada. Dessa maneira, será realizada uma análise acerca dos seguintes dados: população urbana atendida com abastecimento de água e o consumo médio per capita, todos eles referentes ao período de 2003 a 2012 e obtidos junto ao SNIS, de quatro municípios, para assim, viabilizar a determinação do consumo per capita da cidade de uma maneira representativa.

A escolha do desse período se deu, pelo fato de que, em todas as cidades analisadas, observou-se uma queda na taxa de consumo nos anos posteriores a 2012, fato este que está diretamente relacionado com a seca que assolou toda a região, fazendo com que, os dados posteriores a esse ano não indicassem a situação nas condições normais.

Foram analisadas as seguintes cidades:

- Cubati;
- Nova Floresta;
- Pedra Lavrada;
- Seridó.

A tabela 4 a seguir apresenta os dados obtidos.

**Tabela 4** – população urbana média atendida com abastecimento de água no período de 2003-2012.

| <b>Cidades</b> | <b>População urbana média atendida com abastecimento de água (habitantes)</b> |
|----------------|---|
| Cubati         | 4.943   |
| Nova Floresta  | 6.940   |
| Pedra Lavrada  | 3.389   |
| Seridó         | 3.882   |

**Fonte:** Ministério das Cidades - SNIS (2018)

As cidades acima citadas situam-se a uma distância média de 59,18 Km de Baraúna, possuem uma densidade demográfica semelhante, bem como as características socioeconômicas, de modo que, partiremos do pressuposto de que os padrões de consumo na cidade serão predominantemente comerciais e residenciais de classe média, uma vez que, por englobar uma pequena zona urbana a disparidade entre as classes sociais não é tão grande.

Na tabela 5, 6, 7 e 8 estão presentes os dados referentes ao consumo per capita da zona urbana dos municípios de Cubati, Nova Floresta, Pedra Lavrada e Seridó, respectivamente.

**Tabela 5:** consumo per capita de Cubati no período de 2003-2012.

| <b>ANO</b>                            | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONSUMO PER CAPITA (L/HAB.DIA)</b> | 50,45       | 56,40       | 60,80       | 68,60       | 78,70       | 73,90       | 84,55       | 95,20       | 95,00       | 96,20       |

**Fonte:** Ministério das Cidades - SNIS (2018)

**Tabela 6:** consumo per capita de Nova Floresta no período de 2003-2012.

| <b>ANO</b>                            | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONSUMO PER CAPITA (L/HAB.DIA)</b> | 46,90       | 48,20       | 58,60       | 74,20       | 75,30       | 70,30       | 86,30       | 89,10       | 86,10       | 87,30       |

**Fonte:** Ministério das Cidades - SNIS (2018)

**Tabela 7:** consumo per capita de Pedra Lavrada no período de 2003-2012.

| <b>ANO</b>                            | <b>2003</b> | <b>2004</b> | <b>2005</b> | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONSUMO PER CAPITA (L/HAB.DIA)</b> | 85,80       | 89,90       | 88,90       | 85,30       | 83,90       | 77,70       | 85,30       | 98,50       | 95,90       | 90,90       |

**Fonte:** Ministério das Cidades - SNIS (2018)

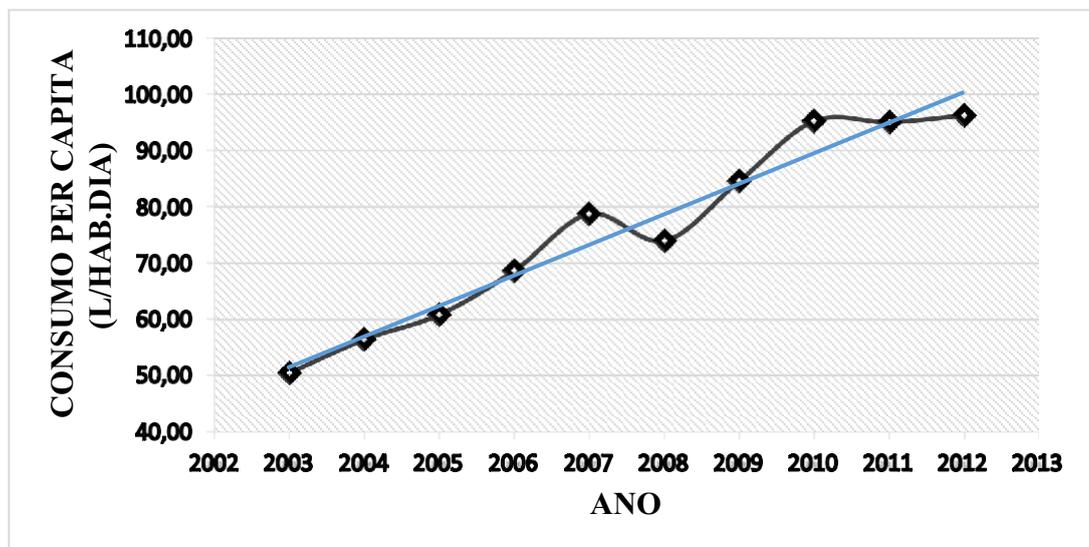
**Tabela 8:** consumo per capita de Seridó no período de 2003-2012.

| ANO                            | 2003  | 2004 | 2005  | 2006  | 2007  | 2008 | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  |
|--------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| CONSUMO PER CAPITA (L/HAB.DIA) | 76,40 | 84,6 | 89,50 | 75,20 | 77,80 | 74,8 | 80,50 | 88,80 | 90,10 | 92,20 |

**Fonte:** Ministério das Cidades - SNIS (2018)

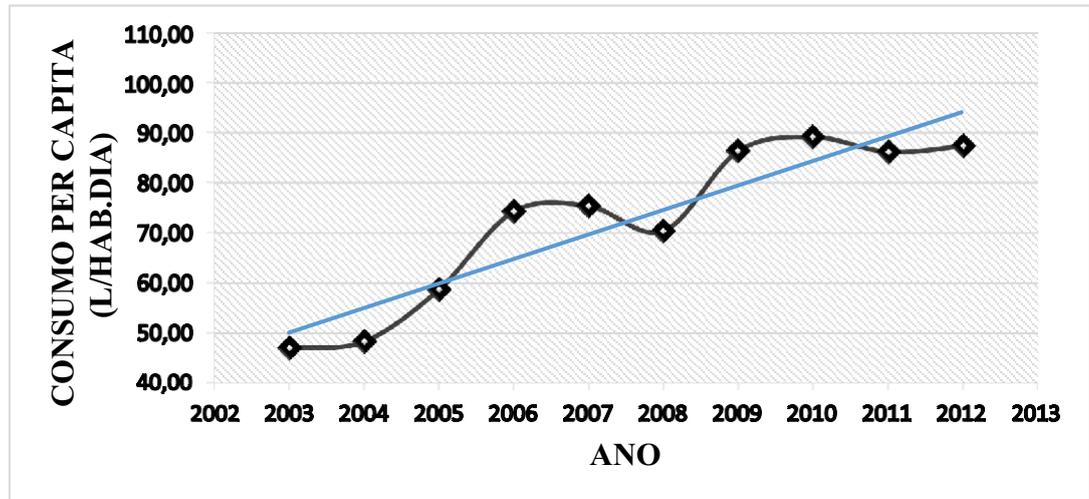
Com o auxílio do software Excel® e a partir dos dados acima, elaborou-se as Figuras 14, 15, 16 e 17, que descrevem o comportamento do consumo per capita em cada uma das cidades analisadas no período de tempo estudado.

Para os gráficos em questão, utilizou-se o modelo de regressão linear para determinar o consumo per capita atual das cidades, uma vez que, a mesma forneceu um valor de coeficiente de correlação maior, sendo assim, uma opção satisfatória para descrever a situação real.

**Figura 14:** Gráfico de consumo per capita x ano da cidade de Cubati.

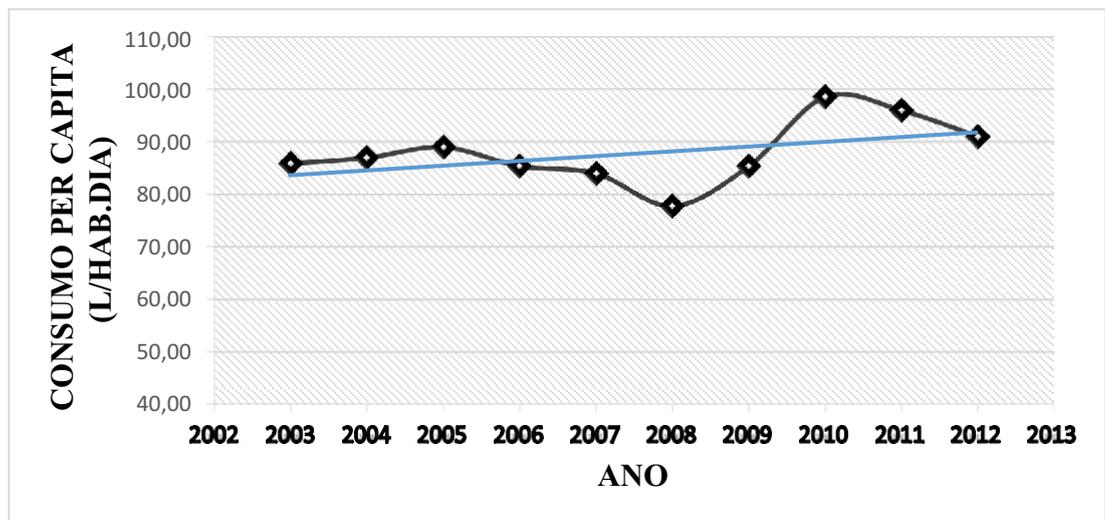
**Fonte:** Autoria Própria (2018)

**Figura 15:** Gráfico de consumo per capita x ano da cidade de Nova Floresta.

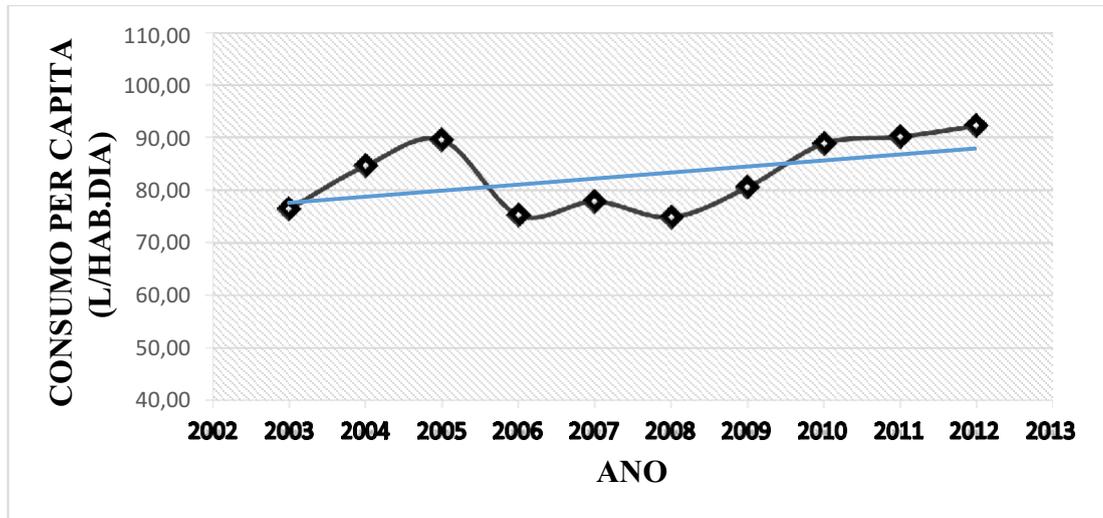


Fonte: Aatoria Própria (2018)

**Figura 16:** Gráfico de consumo per capita x ano da cidade de Pedra Lavrada.



Fonte: Aatoria Própria (2018)

**Figura 17:** Gráfico de consumo per capita x ano da cidade de Seridó.

**Fonte:** Aatoria Própria (2018)

É importante salientar, que no município de Nova Floresta, as variações de consumo per capita ao longo do intervalo de tempo escolhido possui uma variação muito brusca e foge do padrão de crescimento de consumo observado nas outras cidades. Tal situação pode ser explicada pelo fato de que o abastecimento hídrico da cidade se dá, predominantemente pelo uso de águas subterrâneas, uma vez que, a mesma está situada sobre um lençol freático que permite a utilização de água advinda de poços, por exemplo. Dessa forma, seus valores de consumo não serão utilizados para auxiliar na determinação do consumo per capita de Baraúna.

Com base nas equações fornecidas por cada um dos gráficos, calculou-se o consumo per capita de cada cidade estudada no ano de 2018, visto que, conforme mencionado anteriormente, a região foi atingida por um longo período de seca, que causou uma estiagem severa e consequentemente colapso no abastecimento hídrico das cidades. Dessa forma, optou-se por determinar o consumo de água nesse ano, pois, através da regressão, supõe-se que as condições de abastecimento seriam normais ao longo de todo o intervalo de tempo utilizado.

Sendo assim, através das equações fornecidas pelas linhas de tendência dos gráficos acima mostrados, chegou-se aos consumos per capita das cidades para o ano de 2018, partindo do pressuposto de que, os padrões de fornecimento de água se mantivessem em condições normais.

Os resultados obtidos estão expostos na tabela 9, que relaciona as cidades com os consumos.

**Tabela 9:** consumo médio per capita dos quatro municípios analisados, no ano de 2018.

| Cidades       | Consumo médio per capita no ano de 2018 (L/hab.dia) |
|---------------|---|
| Cubati        | 123,12  |
| Nova Floresta | 124,06  |
| Pedra Lavrada | 92,63   |
| Seridó        | 96,04   |

**Fonte:** Autoria Própria (2018)

A partir daí, foi considerado um consumo médio *per capita*, que foi obtido realizando o cálculo do valor médio entre os consumos per capita das quatro cidades analisadas.

Sendo assim, foi obtido um consumo médio per capita de **108,95 L/hab.dia** que deverá atender a população de projeto de **6.737 habitantes**.

Daí, segue que a vazão média de demanda é dada pela expressão (11):

$$Q_{\text{demanda}}^{\text{média}} = P \times q \quad (11)$$

Onde,

- Q é a vazão média de demanda;
- P é a população a ser abastecida;
- q é o consumo médio per capita;

Logo, a vazão média de demanda é:

$$Q_{\text{demanda}}^{\text{média}} = 6.737 \text{ hab} \times 108,95 \frac{\text{L}}{\text{hab} \cdot \text{dia}} = \frac{6.737 \text{ hab} \times 108,95 \text{ L}}{3600 \times 24 \text{ hab} \cdot \text{s}}$$

$$Q_{\text{demanda}}^{\text{média}} = 8,49 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0,00849 \text{ m}^3/\text{s}$$

Um sistema de abastecimento de água normalmente contém os seguintes integrantes: captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório e rede. Com a finalidade de que o sistema não funcione com deficiência durante algumas horas do dia ou do ano, é necessário o dimensionamento desses diversos integrantes para as condições de demanda máxima.

O coeficiente do dia de maior consumo ( $K_1$ ) é a razão entre o maior consumo diário verificado em um ano e o consumo médio diário no mesmo ano, levando em consideração

as mesmas ligações (TSUTIYA, 2006). Quando as especificações não forem determinadas recomenda-se a adoção de um valor de 1,2 para  $K_1$ . Por outro lado, o coeficiente da hora de maior consumo ( $K_2$ ) é a razão entre a máxima vazão horária e a vazão média diária do dia de maior consumo e assim como o  $K_1$ , quando não forem determinadas as especificações, é recomendado a adoção de um valor de 1,5.

Para o caso em questão, só será determinada a vazão do reservatório de abastecimento até a rede, uma vez que, a mesma é objeto de estudo da pesquisa. Tem-se, portanto, conforme Tsutiya (2006), que a vazão de distribuição é dada por:

$$Q_3 = \frac{K_1 K_2 P q}{86400} \quad (12)$$

Onde:

- $P$  = população da área abastecida, habitantes;
- $q$  = consumo *per capita* de água, L/hab.dia;
- $K_1$  = coeficiente do dia de maior consumo;
- $K_2$  = coeficiente da hora de maior consumo;

Os parâmetros adotados para cálculo seguem na Tabela 10.

**Tabela 10:** Parâmetros adotados para cálculo das vazões.

| Parâmetro | Valor Adotado    |
|-----------|------------------|
| P         | 6.737 habitantes |
| q         | 108,95 L/hab.dia |
| K1        | 1,2              |
| K2        | 1,5              |

**Fonte:** Autoria própria (2018).

Dessa forma, tem-se:

$$Q_{R-RD} = \frac{1,20 \times 1,50 \times 6737 \times 108,95}{86400} = 15,30 \frac{L}{s}$$

$$Q_{R-RD} = 0,0153 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### **4.2.3. Área a ser abastecida**

Com base nas indicações preconizadas pela NBR 12211/1992, determinou-se a área a ser abastecida, levando em consideração o horizonte de projeto de 20 anos. Realizou-se visitas na cidade, de modo que, foi possível constatar para quais direções se davam as tendências de crescimento, como por exemplo, a presença de loteamentos e novas residências já em fase de construção.

Após as visitas, com o auxílio do Google Earth®, foi determinado o perímetro da área que julgou-se englobar a atual área a ser abastecida bem como aquela na qual englobe a expansão da cidade, conforme mostrado na Figura 18, sendo obtida uma área de 133,50 hectares.

**Figura 118:** Área abastecível.



**Fonte:** Google Earth (2018).

#### 4.2.4. Dimensionamento da Rede

Para realizar o novo dimensionamento da rede, foram utilizados três métodos, como já mencionado anteriormente. Analisou-se as características topográficas da cidade de modo a buscar soluções alternativas ao projeto utilizado e traçar a nova disposição dos condutos da rede.

Na figura 19, tem-se a nova disposição dos condutos principais da rede, bem como a distribuição dos nós e a localização do reservatório de distribuição. Ainda na figura 19, de acordo com cada uma das cores, é possível visualizar quais as áreas de influência de consumo de cada nó da rede.

O dimensionamento da rede de distribuição inicia-se com a determinação das áreas de influência de cada nó da rede principal, ou seja, indicar quais áreas influenciarão no consumo dos nós, elemento este que embasa o método da correção das vazões.

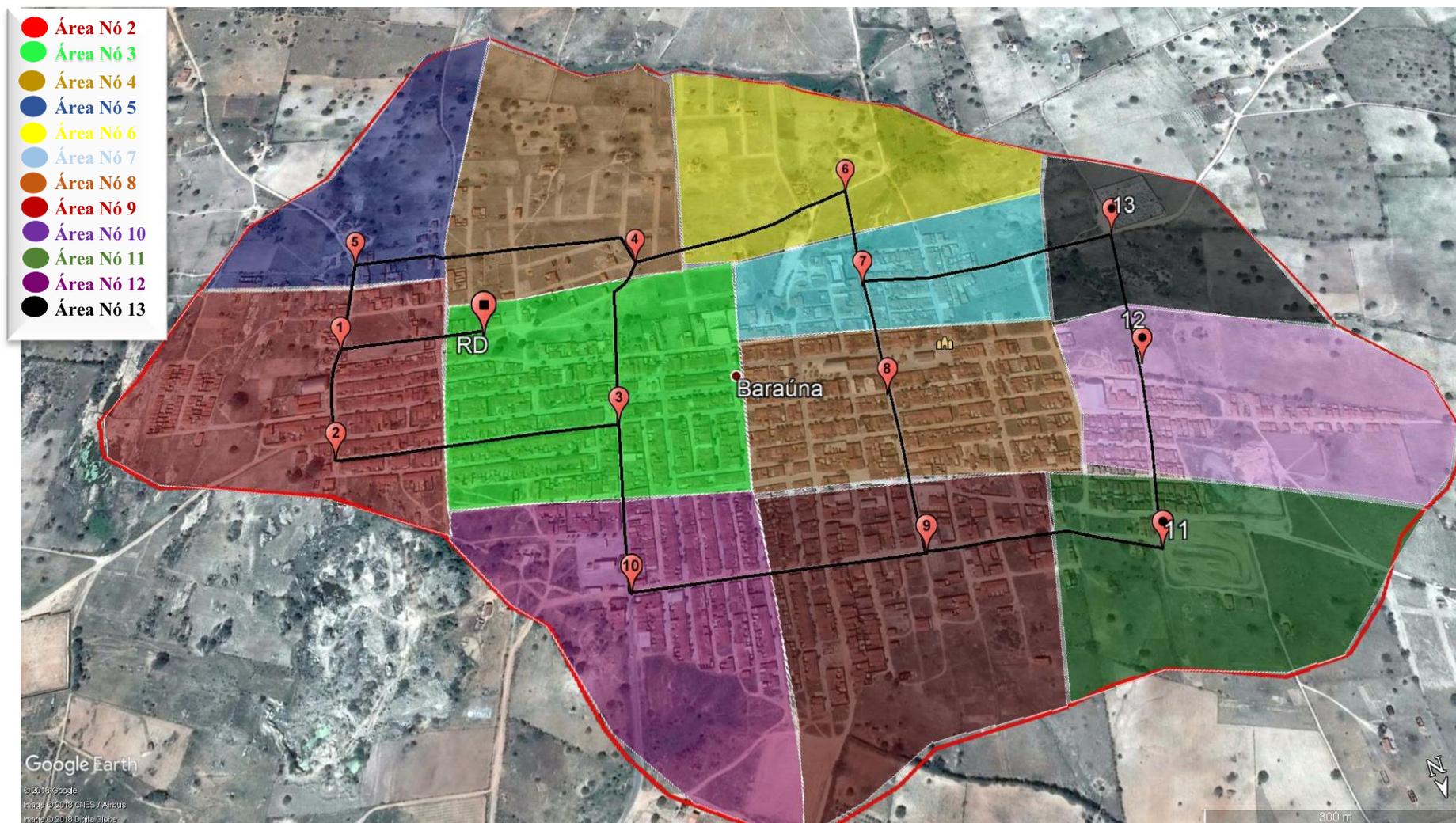
Posteriormente, são determinadas a densidade demográfica de cada área, com base na tabela 11.

**Tabela 11:** Densidades demográficas observadas em áreas urbanas comuns.

| <b>Tipos de Ocupação</b>  | <b>Densidade demográfica (hab/ha)</b> |
|---|---------------------------------------|
| Zonas suburbanas ou semi-rurais                                 | 10 a 25                               |
| Áreas urbanas periféricas ou de residências de luxo             | 25 a 50                               |
| Zona residencial popular e setores de habitação de classe média | 50 a 75                               |
| Setores de casas geminadas de 1 a 2 pavimentos                  | 75 a 100                              |
| Setores de casas geminadas de 2 a 3 pavimentos                  | 100 a 150                             |
| Setores de edifícios de apartamentos de 3 a 5 pavimentos        | 150 a 250                             |
| Setores de edifícios de apartamentos de 5 a 15 pavimentos       | 250 a 800                             |
| Zonas comerciais  | 50 a 150                              |
| Zonas industriais   | 25 a 75                               |

**Fonte:** Von Sperling (1996).

Figura 19: Áreas de influência dos nós da rede de distribuição.



Fonte: Google Earth (2018).

Como a cidade é de pequeno porte, optou-se por utilizar uma densidade predominantemente residencial de classe média, utilizando o coeficiente de 50 hab/ha e uma pequena parte da área tratou-se como zona comercial, fazendo uso do coeficiente de 60 hab/ha. Em seguida, utilizando o consumo per capita, determinado no item 4,2, os coeficientes K1 e K2, obtém-se a vazão unitária de cada nó, dada pela equação (13) abaixo:

$$q_u = \frac{D * q * K1 * K2}{86400} \quad (13)$$

Onde,

- $q_u$  = vazão unitária, em l/hab.dia;
- D = densidade demográfica, em pop/ha;
- q = consumo médio per capita, em l/hab.dia;

Por fim, determinou-se a vazão concentrada em cada nó, que é dada pelo produto da vazão unitária pela área a ser abastecida por cada nó.

Os resultados dos procedimentos acima descritos são mostrados na tabela 12.

**Tabela 12:** vazões concentradas por nó.

| NÓ | ÁREA<br>(hectares) | DENSIDADE<br>DEMOGRÁFICA<br>(pop/ha) | Consumo<br>médio per<br>capita<br>(l/hab.dia) | K1  | K2  | Vazão<br>Unitária<br>(l/s.ha) | VAZÃO<br>CONCENTRADA<br>(L/s) | COTA<br>(m) |
|----|--------------------|--------------------------------------|---|-----|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 1  | -                  | -                                    | -   | -   | -   | -                             | -                             | 621         |
| 2  | 14,0               | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 1,59                          | 619         |
| 3  | 13,5               | 60                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,14                          | 1,84                          | 623         |
| 4  | 14,5               | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 1,65                          | 620         |
| 5  | 9,0                | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 1,02                          | 621         |
| 6  | 13,0               | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 1,48                          | 610         |
| 7  | 8,0                | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 0,91                          | 614         |
| 8  | 10,5               | 60                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,14                          | 1,43                          | 617         |
| 9  | 12,5               | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 1,42                          | 617         |
| 10 | 10,5               | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 1,19                          | 614         |
| 11 | 9,0                | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 1,02                          | 617         |
| 12 | 11,0               | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 1,25                          | 613         |
| 13 | 8,0                | 50                                   | 108,95  | 1,2 | 1,5 | 0,11                          | 0,91                          | 611         |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

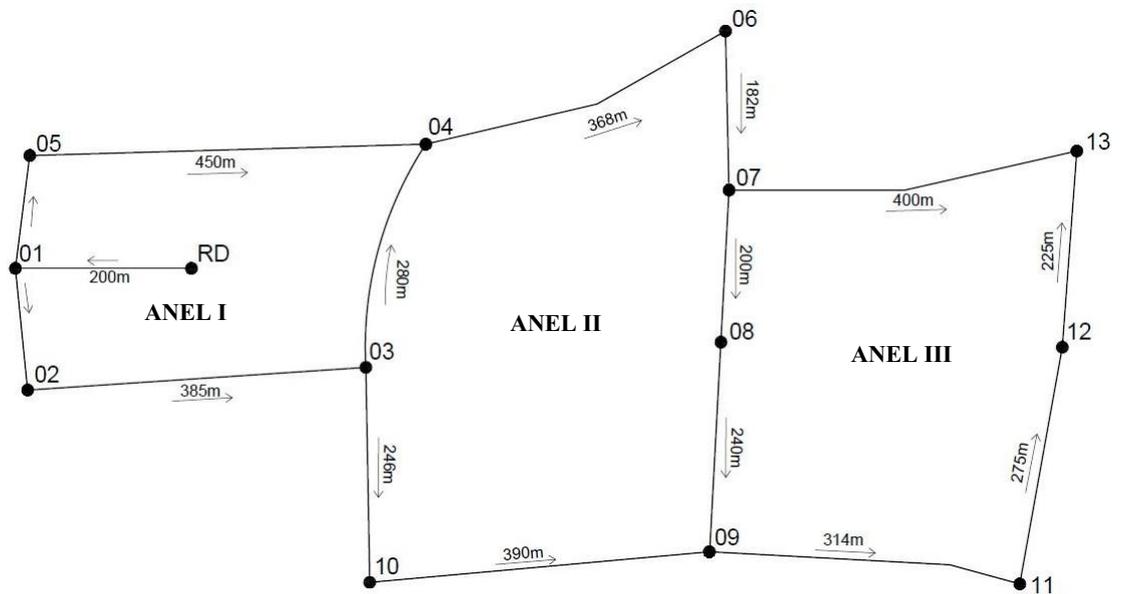
Posteriormente, deu-se início ao dimensionamento da rede, conforme os métodos da Correção de Vazões, Pimentel Gomes e PNL 2000, descritos nos itens 2.4.1, 2.4.2 e 2.4.3, respectivamente.

#### 4.2.4.1. Método da Correção de Vazões

Para realização do novo dimensionamento da rede, o primeiro método utilizado foi o da correção de vazões. Primeiramente, se estabeleceu o traçado dos anéis e os pontos de carregamento das vazões, em seguida obtém-se os comprimentos dos trechos e as cotas dos nós, uma vez que, a topografia da área já era conhecida e fixa-se um sentido positivo de escoamento. Essas informações são mostradas na figura 20.

Em seguida, foi estabelecida uma primeira distribuição de vazões, arbitrária, mas orientada, em cada trecho do anel, obedecendo a condição de que as vazões que entram no nó são iguais às que saem. Com os valores das vazões concentradas nos nós, mostradas na tabela 12 anteriormente, oriundas do produto entre a área de influência dos nós pela vazão unitária encontrada, determina-se então as vazões nos trechos da rede, sendo conveniente determinar nesta fase o sentido de fluxo da água entre os trechos. Conhecidas as vazões nos trechos, os diâmetros de cada trecho são pré-determinados de acordo com a tabela 13.

**Figura 20:** comprimento dos trechos e sentido de escoamento das vazões para o método de Hardy-Cross.



**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 13:** velocidades máximas em função do diâmetro.

| Diâmetro (mm) | Velocidade Máxima (m/s) | Vazão Máxima (L/s) |
|---------------|-------------------------|--------------------|
| 50            | 0,50                    | 1,0                |
| 75            | 0,50                    | 2,2                |
| 100           | 0,60                    | 4,7                |
| 150           | 0,80                    | 14,1               |
| 200           | 0,90                    | 28,3               |
| 250           | 1,10                    | 53,9               |
| 300           | 1,20                    | 84,8               |
| 350           | 1,30                    | 125,0              |
| 400           | 1,40                    | 176,0              |
| 450           | 1,50                    | 238,0              |
| 500           | 1,60                    | 314,0              |
| 550           | 1,70                    | 403,0              |
| 600           | 1,80                    | 509,0              |

**Fonte:** Martins (1976)

Para cada trecho de cada anel, foram calculadas as perdas de carga com seus respectivos sinais, positivo ou negativo, e fez-se o somatório das perdas de carga em todos os anéis. Como esse somatório não foi igual a zero, constatou-se que a rede estava desequilibrada. Neste caso, a vazão admitida foi corrigida, somando-se algebricamente o valor de correção  $\Delta Q$  à vazão de cada trecho, sendo o valor de  $\Delta Q$  dado pela equação (14), onde  $n$  é igual a 1,85, que é o fator de correção.

$$\Delta Q = - \frac{\sum \Delta K}{n \sum \frac{\Delta H}{Q}} \quad (14)$$

Com os novos valores de vazão para cada anel, as perdas de carga foram recalculadas e prosseguiu-se com o método até que se obteve, em todos os anéis, valores de  $\Delta Q$  pequeno ou nulos. Foi necessário realizar um total de seis interações para satisfazer as restrições do método de Hardy-Cross.

Os resultados obtidos da primeira interação com base nos procedimentos acima descritos são apresentados na tabela 14.

Tabela 14: Primeira interação do método.

| Anel     | Trecho | Comprimento | Diâmetro | Vazão Inicial (Q0) | Perda de Carga (h0) | n*(h0/Q0) | $\Delta Q0$ | Q1    |
|----------|--------|-------------|----------|--------------------|---------------------|-----------|-------------|-------|
| -        | -      | (m)         | (m)      | (L/s)              | (m)                 | (L/s)     | (L/s)       | (L/s) |
| ANEL I   | 1-2    | 180,00      | 0,15     | -9,00              | -0,35               | 0,071     | 1,53        | -7,47 |
|          | 2-3    | 385,00      | 0,15     | -7,43              | -0,52               | 0,129     | 1,53        | -5,90 |
|          | 3-4*   | 280,00      | 0,075    | -1,57              | -0,62               | 0,734     | 1,85        | 0,28  |
|          | 4-5    | 450,00      | 0,15     | -5,28              | -0,32               | 0,113     | 1,53        | -3,75 |
|          | 1-5    | 144,00      | 0,15     | 6,30               | 0,14                | 0,042     | 1,53        | 7,83  |
|          |        |             |          | $\Sigma =$         | -1,67               | 1,090     |             |       |
|          |        |             |          | $\Delta Q =$       | 1,53                | L/s       |             |       |
| ANEL II  | 3-4*   | 280,00      | 0,075    | 1,57               | 0,62                | 0,734     | -1,85       | -0,28 |
|          | 4-6    | 368,00      | 0,15     | 5,20               | 0,26                | 0,091     | -0,32       | 4,88  |
|          | 6-7    | 182,00      | 0,10     | 3,72               | 0,49                | 0,245     | -0,32       | 3,4   |
|          | 7-8*   | 200,00      | 0,10     | 2,31               | 0,22                | 0,179     | -0,55       | 1,76  |
|          | 8-9*   | 240,00      | 0,05     | 0,88               | 1,32                | 2,772     | -0,55       | 0,33  |
|          | 3-10   | 246,00      | 0,10     | -4,00              | -0,76               | 0,352     | -0,32       | -4,32 |
|          | 10-9   | 390,00      | 0,10     | -2,81              | -0,63               | 0,413     | -0,32       | -3,13 |
|          |        |             |          | $\Sigma =$         | 1,53                | 4,788     |             |       |
|          |        |             |          | $\Delta Q =$       | -0,32               | L/s       |             |       |
| ANEL III | 9-8*   | 240,00      | 0,05     | -0,88              | -1,32               | 2,772     | 0,55        | -0,33 |
|          | 8-7*   | 200,00      | 0,10     | -2,31              | -0,22               | 0,179     | 0,55        | -1,76 |
|          | 7-13   | 400,00      | 0,05     | 0,50               | 0,77                | 2,858     | 0,23        | 0,73  |
|          | 13-12  | 225,00      | 0,05     | -0,45              | -0,36               | 1,470     | 0,23        | -0,22 |
|          | 12-11  | 275,00      | 0,075    | -1,25              | -0,40               | 0,594     | 0,23        | -1,02 |
|          | 11-9   | 314,00      | 0,10     | -2,27              | -0,34               | 0,278     | 0,23        | -2,04 |
|          |        |             |          | $\Sigma =$         | -1,87               | 8,151     |             |       |
|          |        |             |          | $\Delta Q =$       | 0,23                | L/s       |             |       |

Fonte: Autoria Própria (2018).

As quatro interações restantes se dão de forma semelhante as anteriores, de modo que, se buscou uma solução na qual a rede estivesse balanceada e encontram-se em forma de anexo.

A tabela 15 apresenta a quinta interação do método, onde na mesma, é possível visualizar que as condições impostas pelo método são satisfeitas, uma vez que, o valor do somatório das perdas de carga é próximo de 0, bem como o valor do  $\Delta Q$ .

**Tabela 15:** Quinta interação do método.

| Anel     | Trecho | Comprimento | Diâmetro | Vazão Inicial (Q4) | Perda de Carga (h4) | n*(h4/Q4) | $\Delta Q4$ | Q5    |
|----------|--------|-------------|----------|--------------------|---------------------|-----------|-------------|-------|
| -        | -      | (m)         | (m)      | (L/s)              | (m)                 | (L/s)     | (L/s)       | (L/s) |
| ANEL I   | 1-2    | 180,00      | 0,150    | -6,02              | -0,16               | 0,051     | -0,04       | -6,06 |
|          | 2-3    | 385,00      | 0,100    | -4,45              | -1,45               | 0,603     | -0,04       | -4,49 |
|          | 3-4*   | 280,00      | 0,050    | 1,02               | 2,02                | 3,667     | -0,02       | 1,00  |
|          | 4-5    | 450,00      | 0,100    | -2,30              | -0,50               | 0,402     | -0,04       | -2,34 |
|          | 1-5    | 144,00      | 0,150    | 9,28               | 0,29                | 0,058     | -0,04       | 9,24  |
|          |        |             |          | $\Sigma =$         | 0,20                | 4,781     |             |       |
|          |        |             |          | $\Delta Q =$       | -0,04               | L/s       |             |       |
| ANEL II  | 3-4*   | 280,00      | 0,050    | -1,02              | -2,02               | 3,667     | 0,02        | -1,00 |
|          | 4-6    | 368,00      | 0,150    | 5,59               | 0,29                | 0,097     | -0,02       | 5,57  |
|          | 6-7    | 182,00      | 0,100    | 4,11               | 0,59                | 0,266     | -0,02       | 4,09  |
|          | 7-8*   | 200,00      | 0,075    | 2,37               | 0,95                | 0,744     | -0,20       | 2,17  |
|          | 8-9*   | 240,00      | 0,050    | 0,94               | 1,49                | 2,932     | -0,20       | 0,74  |
|          | 3-10   | 246,00      | 0,100    | -3,61              | -0,63               | 0,323     | -0,02       | -3,63 |
|          | 10-9   | 390,00      | 0,100    | -2,42              | -0,48               | 0,364     | -0,02       | -2,44 |
|          |        |             |          | $\Sigma =$         | 0,20                | 8,394     |             |       |
|          |        |             |          | $\Delta Q =$       | -0,02               | L/s       |             |       |
| ANEL III | 9-8*   | 240,00      | 0,050    | -0,94              | -1,39               | 3,932     | 0,20        | -0,74 |
|          | 8-7*   | 200,00      | 0,075    | -2,37              | -0,85               | 1,944     | 0,20        | -2,17 |
|          | 7-13   | 400,00      | 0,050    | 0,83               | 1,87                | 4,797     | 0,18        | 1,01  |
|          | 13-12  | 225,00      | 0,050    | -0,12              | -0,03               | 0,778     | 0,18        | 0,06  |
|          | 12-11  | 275,00      | 0,050    | -0,92              | -1,54               | 4,599     | 0,18        | -0,74 |
|          | 11-9   | 314,00      | 0,075    | -1,94              | -1,03               | 1,986     | 0,18        | -1,76 |
|          |        |             |          | $\Sigma =$         | -1,97               | 18,036    |             |       |
|          |        |             |          | $\Delta Q =$       | 0,09                | L/s       |             |       |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Faz-se necessário também realizar a verificação das pressões em cada um dos nós, dado que, é necessário que seus valores estejam entre 10 m.c.a e 50 m.c.a, para que o abastecimento atenda a todas as atuais e futuras unidades consumidoras sem transtornos.

A tabela 16 contém as perdas de carga em cada trecho da rede principal, que foram obtidas com base na equação de Hazen-Willians (8). Na tabela 17, estão os nós da rede, as suas respectivas cotas, as pressões estáticas máximas e as dinâmicas mínimas, bem como a perda de carga em cada trecho da rede.

**Tabela 16:** Perdas de Carga nos trechos da rede principal.

| Trecho | Diâmetro (mm) | Vazão (L/s) | COMPRIMENTO (M) | PERDA DE CARGA |
|--------|---------------|-------------|-----------------|----------------|
| RD-1   | 200           | 15,30       | 200             | 0,25           |
| 1-2    | 150           | 6,06        | 180             | 0,17           |
| 2-3    | 100           | 4,49        | 385             | 1,47           |
| 3-4    | 50            | 1,00        | 280             | 0,01           |
| 5-4    | 100           | 2,34        | 450             | 0,52           |
| 1-5    | 150           | 9,24        | 144             | 0,29           |
| 4-6    | 150           | 5,57        | 368             | 0,29           |
| 6-7    | 100           | 4,09        | 182             | 0,59           |
| 7-8    | 75            | 2,17        | 200             | 0,81           |
| 8-9    | 50            | 0,74        | 240             | 0,96           |
| 10-9   | 100           | 2,44        | 390             | 0,48           |
| 3-10   | 100           | 3,63        | 246             | 1,94           |
| 7-13   | 50            | 1,01        | 400             | 2,84           |
| 9-11   | 75            | 1,76        | 314             | 0,86           |
| 11-12  | 50            | 0,74        | 275             | 1,10           |
| 12-13  | 50            | 0,55        | 225             | 0,02           |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 17:** pressões nos nós.

| Número do Nó | Cota (m) | Pressão Estática Máxima (m) | Pressão Dinâmica Mínima (m) |
|--------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1            | 621      | 20                          | 19,75                       |
| 2            | 619      | 22                          | 21,58                       |
| 3            | 623      | 18                          | 16,11                       |
| 4            | 620      | 21                          | 19,94                       |
| 5            | 621      | 20                          | 19,46                       |
| 6            | 610      | 31                          | 29,65                       |
| 7            | 614      | 27                          | 25,06                       |
| 8            | 617      | 24                          | 21,25                       |
| 9            | 617      | 24                          | 20,29                       |
| 10           | 614      | 27                          | 23,17                       |
| 11           | 617      | 24                          | 19,43                       |
| 12           | 613      | 28                          | 22,33                       |
| 13           | 611      | 30                          | 25,22                       |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Tendo em vista que os critérios de pressão foram satisfeitos e as condições impostas pelo método também, tem-se por fim que, os valores dos diâmetros e das vazões em cada trecho da rede principal são os mostrados na tabela 18.

**Tabela 18:** valores finais de vazão e diâmetro por trecho.

| Trecho | Diâmetro (mm) | Vazão (L/s) |
|--------|---------------|-------------|
| RD-1   | 200           | 15,30       |
| 1-2    | 150           | 6,06        |
| 2-3    | 100           | 4,49        |
| 3-4    | 50            | 1,00        |
| 5-4    | 100           | 2,34        |
| 1-5    | 150           | 9,24        |
| 4-6    | 150           | 5,57        |
| 6-7    | 100           | 4,09        |
| 7-8    | 75            | 2,17        |
| 8-9    | 50            | 0,74        |
| 10-9   | 100           | 2,44        |
| 3-10   | 100           | 6,63        |
| 7-13   | 50            | 1,01        |
| 9-11   | 75            | 1,76        |
| 11-12  | 50            | 0,74        |
| 12-13  | 100           | 0,55        |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

#### 4.2.4.2. Método Pimentel Gomes

Nesse método, assim como no método de Hardy-Cross, a rede foi dividida em anéis e em seus respectivos trechos circula uma vazão pré-determinada de forma semelhante, bem como a vazão de demanda de cada nó e o comprimento dos trechos. Na figura 21 é mostrada a numeração dos nós bem como o sentido de escoamento e o tamanho dos trechos. Para o método apresentar soluções através da ferramenta solver, foi necessário atribuir valores para algumas variáveis do sistema, sendo estabelecidos os diâmetros nominais das tubulações de cada trecho com base nas vazões que por ali passam com o auxílio da tabela 13, e em seguida, com base na tabela 19, obtém-se os diâmetros internos de cada trecho. Determinou-se também a altura manométrica de alimentação, variável essa conhecida, uma vez que, um reservatório elevado está sendo construído na cidade. As velocidades iniciais em cada trecho foram determinadas com base nas vazões e nos diâmetros atribuídos inicialmente. Por fim, foram obtidas as perdas de carga com base na equação de Darcy-Weissbach.



**Tabela 20:** Solução inicial do dimensionamento da rede.

| CÁLCULOS HIDRÁULICOS |             |                |     |                 |                  |         |              |
|----------------------|-------------|----------------|-----|-----------------|------------------|---------|--------------|
| TRECHO               | VAZÃO (L/s) | D Interno (mm) | DN  | COMPRIMENTO (m) | VELOCIDADE (m/s) | f       | PERDAS (mca) |
| RD_1                 | 15,30       | 204,20         | 200 | 200             | 0,47             | 0,01863 | 0,20         |
| 1_2                  | 6,30        | 156,40         | 150 | 144             | 0,33             | 0,02119 | 0,11         |
| 2_3                  | 5,28        | 156,40         | 150 | 450             | 0,27             | 0,02199 | 0,24         |
| 4_3                  | 1,57        | 75,60          | 75  | 280             | 0,35             | 0,02488 | 0,57         |
| 1_5                  | 9,00        | 156,40         | 150 | 180             | 0,47             | 0,01974 | 0,25         |
| 5_4                  | 7,41        | 156,40         | 150 | 385             | 0,38             | 0,02051 | 0,38         |
| 4_10                 | 4,00        | 108,40         | 100 | 246             | 0,43             | 0,02179 | 0,47         |
| 10_9                 | 2,81        | 108,40         | 100 | 390             | 0,30             | 0,02347 | 0,40         |
| 3_6                  | 5,20        | 156,40         | 150 | 368             | 0,27             | 0,02206 | 0,19         |
| 6_7                  | 3,72        | 108,40         | 100 | 182             | 0,40             | 0,02212 | 0,31         |
| 7_8                  | 2,31        | 108,40         | 100 | 200             | 0,25             | 0,02451 | 0,14         |
| 8_9                  | 0,88        | 53,40          | 50  | 240             | 0,39             | 0,02648 | 0,94         |
| 7_13                 | 0,50        | 53,40          | 50  | 400             | 0,22             | 0,03029 | 0,58         |
| 13_12                | 0,45        | 53,40          | 50  | 225             | 0,20             | 0,03111 | 0,27         |
| 12_11                | 1,25        | 75,60          | 75  | 275             | 0,28             | 0,02619 | 0,38         |
| 11_9                 | 2,27        | 75,60          | 75  | 314             | 0,50             | 0,02301 | 1,25         |
| Man.                 | 18,00       | C.<br>ORIGEM   | 623 |                 |                  |         |              |
| Piez.                | 641,00      |                |     |                 |                  |         |              |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Na tabela 21, estão presentes as variáveis que restringem o método, como as pressões disponíveis, que devem respeitar os limites estabelecidos pela NBR 12218/2017; a conservação de energia nos anéis, restrição esta que garante que a soma algébrica das perdas de carga dos trechos de um anel seja nula; a continuidade nos nós, que garante que a soma algébrica nos nós deve ser igual a zero, ou seja, as vazões que entram nos nós devem ser iguais às que saem.

**Tabela 21:** Restrições da solução inicial do dimensionamento da rede.

| RESTRICÇÕES |                  |               |          |                |           |                  |
|-------------|------------------|---------------|----------|----------------|-----------|------------------|
| NÓ          | ALT. PIEZ. (mca) | DEMANDA (L/s) | COTA (m) | P. Disp. (mca) | Eq. Cont. | Cons. De energia |
| 2           | 640,69           | 1,02          | 619      | 21,69          | 0,00      | -0,48            |
| 3           | 640,45           | 1,65          | 623      | 17,45          | 0,00      | 1,28             |
| 4           | 640,16           | 1,84          | 620      | 20,16          | 0,00      | 1,39             |
| 5           | 640,54           | 1,59          | 621      | 19,54          | 0,00      |                  |
| 6           | 640,25           | 1,48          | 610      | 30,25          | 0,00      |                  |
| 7           | 639,95           | 0,91          | 614      | 25,95          | 0,00      |                  |
| 8           | 639,80           | 1,43          | 617      | 22,80          | 0,00      |                  |
| 9           | 639,29           | 1,42          | 617      | 22,29          | 4,54      |                  |
| 10          | 639,69           | 1,19          | 614      | 25,69          | 0,00      |                  |
| 11          | 638,72           | 1,02          | 617      | 21,72          | -2,04     |                  |
| 12          | 639,10           | 1,25          | 613      | 26,10          | -2,05     |                  |
| 13          | 639,37           | 0,91          | 611      | 28,37          | -0,86     |                  |

Após a construção da solução inicial, aplica-se a ferramenta solver do Microsoft Excel® para realizar o processo de dimensionamento. São inseridas as variáveis de decisão, sendo elas as vazões e o diâmetro dos trechos bem como as restrições do problema na ferramenta. A célula de destino será uma das que se encontram as restrições de continuidade dos nós e de conservação de energia dos anéis, atribuindo a uma delas o valor zero. Por fim, inicia-se o processo de busca de uma solução para o problema e são obtidos os novos resultados, presentes nas tabelas 22 e 23.

**Tabela 22:** solução da primeira etapa do dimensionamento da rede.

| CÁLCULOS HIDRÁULICOS |             |                |         |                 |                  |         |              |
|----------------------|-------------|----------------|---------|-----------------|------------------|---------|--------------|
| TRECHO               | VAZÃO (L/s) | D Interno (mm) | DN (mm) | COMPRIMENTO (m) | VELOCIDADE (m/s) | f       | PERDAS (mca) |
| RD_1                 | 15,30       | 204,20         | 200     | 200             | 0,47             | 0,01863 | 0,20         |
| 1_2                  | 8,86        | 154,24         | 150     | 144             | 0,47             | 0,01975 | 0,21         |
| 2_3                  | 7,84        | 171,09         | 150     | 450             | 0,34             | 0,02059 | 0,32         |
| 4_3                  | 1,48        | 79,26          | 75      | 280             | 0,30             | 0,02542 | 0,41         |
| 1_5                  | 6,85        | 165,47         | 150     | 180             | 0,32             | 0,02105 | 0,12         |
| 5_4                  | 5,26        | 156,40         | 150     | 385             | 0,27             | 0,02201 | 0,21         |
| 4_10                 | 1,93        | 108,40         | 100     | 246             | 0,21             | 0,02554 | 0,13         |
| 10_9                 | 0,74        | 108,40         | 100     | 390             | 0,08             | 0,03254 | 0,04         |
| 3_6                  | 7,68        | 160,77         | 150     | 368             | 0,38             | 0,02046 | 0,34         |
| 6_7                  | 6,20        | 113,92         | 100     | 182             | 0,61             | 0,02017 | 0,61         |
| 7_8                  | 2,11        | 108,40         | 100     | 200             | 0,23             | 0,02503 | 0,12         |
| 8_9                  | 0,68        | 53,40          | 50      | 240             | 0,30             | 0,02811 | 0,59         |
| 7_13                 | 3,18        | 70,57          | 50      | 400             | 0,81             | 0,02134 | 4,08         |
| 13_12                | 2,27        | 58,75          | 50      | 225             | 0,84             | 0,02216 | 3,03         |
| 12_11                | 1,02        | 79,62          | 75      | 275             | 0,20             | 0,02779 | 0,21         |
| 11_9                 | 1,82        | 92,24          | 75      | 314             | 0,27             | 0,02503 | 0,32         |
| Man.                 | 18,00       | C. ORIGEM      | 623     |                 |                  |         |              |
| Piez.                | 641,00      |                |         |                 |                  |         |              |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 23:** restrições da solução da 1ª etapa do dimensionamento da rede.

| RESTRICÇÕES |                     |                  |             |                   |           |                  |
|-------------|---------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------|------------------|
| NÓ          | ALT. PIEZ.<br>(mca) | DEMANDA<br>(L/s) | COTA<br>(m) | P. Disp.<br>(mca) | Eq. Cont. | Cons. De energia |
| 2           | 640,59              | 1,02             | 619         | 21,59             | 0,00      | 0,00             |
| 3           | 640,26              | 1,65             | 623         | 17,26             | 0,00      | 1,91             |
| 4           | 640,47              | 1,84             | 620         | 20,47             | 0,00      | 0,00             |
| 5           | 640,68              | 1,59             | 621         | 19,68             | 0,00      |                  |
| 6           | 639,92              | 1,48             | 610         | 29,92             | 0,00      |                  |
| 7           | 639,32              | 0,91             | 614         | 25,32             | 0,00      |                  |
| 8           | 639,19              | 1,43             | 617         | 22,19             | 0,00      |                  |
| 9           | 640,30              | 1,42             | 617         | 23,30             | 0,00      |                  |
| 10          | 640,34              | 1,19             | 614         | 26,34             | 0,00      |                  |
| 11          | 632,00              | 1,02             | 617         | 15,00             | 0,00      |                  |
| 12          | 632,21              | 1,25             | 613         | 19,21             | 0,00      |                  |
| 13          | 635,24              | 0,91             | 611         | 24,24             | 0,00      |                  |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Os valores de diâmetros encontrados na solução inicial não correspondem aos valores encontrados comercialmente. Sendo assim, os valores são alterados para os diâmetros internos comerciais mais próximos. Com essa alteração, a rede estará novamente desequilibrada hidraulicamente, onde as restrições do problema não são atendidas. Dessa forma, executa-se um novo processo de busca com o auxílio da ferramenta solver, de modo que os valores dos diâmetros não são mais variáveis no processo de cálculo. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 24 e as restrições ao método na tabela 25, onde é possível verificar que todas as restrições foram atendidas.

**Tabela 24:** resultados do dimensionamento da rede.

| CÁLCULOS HIDRÁULICOS |             |                |         |                 |                  |         |              |
|----------------------|-------------|----------------|---------|-----------------|------------------|---------|--------------|
| TRECHO               | VAZÃO (L/s) | D Interno (mm) | DN (mm) | COMPRIMENTO (m) | VELOCIDADE (m/s) | f       | PERDAS (mca) |
| RD_1                 | 15,30       | 204,20         | 200     | 200             | 0,47             | 0,01863 | 0,20         |
| 1_2                  | 8,78        | 156,40         | 150     | 144             | 0,46             | 0,01983 | 0,19         |
| 2_3                  | 7,76        | 156,40         | 150     | 450             | 0,40             | 0,02032 | 0,49         |
| 4_3                  | 1,49        | 75,60          | 75      | 280             | 0,33             | 0,02518 | 0,52         |
| 1_5                  | 6,93        | 156,40         | 150     | 180             | 0,36             | 0,02078 | 0,16         |
| 5_4                  | 5,34        | 156,40         | 150     | 385             | 0,28             | 0,02194 | 0,21         |
| 4_10                 | 2,02        | 75,60          | 75      | 246             | 0,45             | 0,02358 | 0,79         |
| 10_9                 | 0,83        | 53,40          | 50      | 390             | 0,37             | 0,02686 | 1,36         |
| 3_6                  | 7,59        | 156,40         | 150     | 368             | 0,39             | 0,02040 | 0,38         |
| 6_7                  | 6,11        | 156,40         | 150     | 182             | 0,32             | 0,02132 | 0,13         |
| 7_8                  | 2,02        | 75,60          | 75      | 200             | 0,45             | 0,02356 | 0,65         |
| 8_9                  | 0,59        | 53,40          | 50      | 240             | 0,26             | 0,02901 | 0,47         |
| 7_13                 | 3,18        | 108,40         | 100     | 400             | 0,34             | 0,02286 | 0,51         |
| 13_12                | 2,27        | 75,60          | 75      | 225             | 0,50             | 0,02301 | 0,89         |
| 12_11                | 1,02        | 75,60          | 75      | 275             | 0,23             | 0,02747 | 0,26         |
| 11_9                 | 0,98        | 53,40          | 50      | 314             | 0,44             | 0,02585 | 0,38         |
| Man.                 | 18,00       | C.<br>ORIGEM   | 623     |                 |                  |         |              |
| Piez.                | 641,00      |                |         |                 |                  |         |              |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 25:** restrições do resultado final do dimensionamento da rede.

| RESTRICÇÕES |                  |               |          |                |           |                  |
|-------------|------------------|---------------|----------|----------------|-----------|------------------|
| NÓ          | ALT. PIEZ. (mca) | DEMANDA (L/s) | COTA (m) | P. Disp. (mca) | Eq. Cont. | Cons. De energia |
| 2           | 640,60           | 1,02          | 619      | 21,60          | 0,00      | 0,00             |
| 3           | 640,12           | 1,65          | 623      | 17,12          | 0,00      | 0,00             |
| 4           | 640,43           | 1,84          | 620      | 20,43          | 0,00      | 0,00             |
| 5           | 640,64           | 1,59          | 621      | 19,64          | 0,00      |                  |
| 6           | 639,73           | 1,48          | 610      | 29,73          | 0,00      |                  |
| 7           | 639,61           | 0,91          | 614      | 25,61          | 0,00      |                  |
| 8           | 638,96           | 1,43          | 617      | 21,96          | 0,00      |                  |
| 9           | 638,28           | 1,42          | 617      | 21,28          | 0,00      |                  |
| 10          | 639,64           | 1,19          | 614      | 25,64          | 0,00      |                  |
| 11          | 637,94           | 1,02          | 617      | 20,94          | 0,00      |                  |
| 12          | 638,20           | 1,25          | 613      | 25,20          | 0,00      |                  |
| 13          | 639,10           | 0,91          | 611      | 28,10          | 0,00      |                  |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

#### 4.2.4.3. Método PNL2000

Assim como no método de Pimentel Gomes, no método econômico devem ser satisfeitas as restrições quanto a pressão mínima requerida nos nós, a conservação de energia no nós, a continuidade e as velocidades máximas e mínimas admissíveis. Além das citadas, devem ser satisfeitas as seguintes:

- i. Comprimento dos sub-trechos:

$$\sum_{j=1}^2 l_{ij} = L_i \quad (19)$$

- ii. Não negatividade dos comprimentos dos sub-trechos

$$l_{ij} \geq 0 \quad (20)$$

Os valores de vazão da solução inicial foram definidos em função das demandas nos nós da rede e obedeceram a equação da continuidade nos nós, uma das restrições impostas ao método. Os diâmetros foram determinados com base na equação da continuidade, utilizando os valores de vazão citados anteriormente, bem como uma velocidade pré-estabelecida de 1 m/s. Os comprimentos dos trechos foram determinados com base no levantamento topográfico da cidade. Por outro lado, para o cálculo da perda de carga foi utilizada a equação de Hazen-Williams, variável esta que depende diretamente do coeficiente de rugosidade da tubulação, a qual, neste caso, foi do tipo PVC-DEFOFO, da vazão, do comprimento e dos diâmetros de cada trecho.

Na tabela 26 são apresentados os resultados advindos dos procedimentos acima descritos, fornecendo os respectivos diâmetros das tubulações e a vazão de cada trecho da rede.

**Tabela 26:** Solução inicial da primeira etapa.

| CÁLCULOS HIDRÁULICOS |        |                |         |      |            |         |
|----------------------|--------|----------------|---------|------|------------|---------|
| T                    | Q(L/s) | D Interno (mm) | Coef. C | L(m) | hf (m.c.a) | V (m/s) |
| 1                    | 15,30  | 139,57         | 145     | 200  | 1,35       | 1,00    |
| 2                    | 6,30   | 89,56          | 145     | 144  | 1,62       | 1,00    |
| 3                    | 5,28   | 81,99          | 145     | 450  | 5,63       | 1,00    |
| 4                    | 1,57   | 44,71          | 145     | 280  | 7,10       | 1,00    |
| 5                    | 7,41   | 97,13          | 145     | 385  | 3,95       | 1,00    |
| 6                    | 9,00   | 107,05         | 145     | 180  | 1,65       | 1,00    |
| 7                    | 5,20   | 81,37          | 145     | 246  | 3,10       | 1,00    |
| 8                    | 3,72   | 68,82          | 145     | 390  | 5,98       | 1,00    |
| 9                    | 2,31   | 54,23          | 145     | 368  | 7,45       | 1,00    |
| 10                   | 0,88   | 33,47          | 145     | 182  | 6,47       | 1,00    |
| 11                   | 2,81   | 59,81          | 145     | 200  | 3,61       | 1,00    |
| 12                   | 4,00   | 71,36          | 145     | 240  | 3,53       | 1,00    |
| 13                   | 0,50   | 25,23          | 145     | 400  | 19,77      | 1,00    |
| 14                   | 0,45   | 23,94          | 145     | 225  | 11,83      | 1,00    |
| 15                   | 1,25   | 39,89          | 145     | 275  | 7,97       | 1,00    |
| 16                   | 2,27   | 53,76          | 145     | 314  | 6,42       | 1,00    |
| Man                  | 18,00  | Cota           | 623     |      |            |         |
| Piez.                | 641,00 |                |         |      |            |         |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Na tabela 27, são mostradas as restrições aplicadas ao método para a solução inicial, onde nela, estão presentes as respectivas cotas piezométricas dos nós, obtidas com base na equação de restrição de pressão mínima, a demanda de cada nó bem como sua cota altimétrica, as pressões disponíveis e as equações de continuidade de vazões e de energia.

**Tabela 27:** Restrições da solução inicial da primeira etapa.

| RESTRICÇÕES |           |         |          |                 |             |             |        |
|-------------|-----------|---------|----------|-----------------|-------------|-------------|--------|
| Nó          | Z (m.c.a) | Q (L/s) | Cota (m) | P. Disp (m.c.a) | Eq. Contin. | Eq. Energia |        |
| 2           | 638,03    | 1,02    | 619      | 19,03           | 0,00        | -5,45       | Anel 1 |
| 3           | 632,40    | 1,65    | 623      | 9,40            | 0,00        | -4,88       | Anel 2 |
| 4           | 634,05    | 1,84    | 620      | 14,05           | 0,00        | 7,48        | Anel 3 |
| 5           | 638,01    | 1,59    | 621      | 17,01           | 0,00        |             |        |
| 6           | 629,30    | 1,48    | 610      | 19,30           | 0,00        |             |        |
| 7           | 623,31    | 0,91    | 614      | 9,31            | 4,62        |             |        |
| 8           | 620,44    | 1,43    | 617      | 3,44            | -2,86       |             |        |
| 9           | 626,91    | 1,42    | 617      | 9,91            | -1,76       |             |        |
| 10          | 630,52    | 1,19    | 614      | 16,52           | 0,00        |             |        |
| 11          | 620,49    | 1,02    | 617      | 3,49            | -0,23       |             |        |
| 12          | 612,52    | 1,25    | 613      | -0,48           | -0,45       |             |        |
| 13          | 603,54    | 0,91    | 611      | -7,46           | 0,04        |             |        |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Posteriormente, foi aplicada a tabela 26 a ferramenta Solver do Microsoft Excel®, onde buscou-se atender as restrições alterando variáveis como as vazões e os diâmetros e impondo as condições desejadas, que foram elas: equações de continuidade e energia nos nós com valores nulos, velocidades maiores que 0,2 m/s e diâmetros entre 50 e 200 milímetros. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 28.

**Tabela 28:** Solução otimizada da primeira etapa.

| CÁLCULOS HIDRÁULICOS |         |                |         |      |            |         |
|----------------------|---------|----------------|---------|------|------------|---------|
| T                    | Q (L/s) | D Interno (mm) | Coef. C | L(m) | hf (m.c.a) | V (m/s) |
| 1                    | 15,18   | 139,61         | 145     | 200  | 1,32       | 0,99    |
| 2                    | 5,36    | 89,57          | 145     | 144  | 1,20       | 0,85    |
| 3                    | 4,34    | 82,01          | 145     | 450  | 3,91       | 0,82    |
| 4                    | 1,54    | 56,40          | 145     | 280  | 2,22       | 0,62    |
| 5                    | 6,90    | 97,19          | 145     | 385  | 3,46       | 0,93    |
| 6                    | 8,49    | 107,08         | 145     | 180  | 1,48       | 0,94    |
| 7                    | 4,23    | 81,37          | 145     | 246  | 2,12       | 0,81    |
| 8                    | 2,75    | 68,75          | 145     | 390  | 3,44       | 0,74    |
| 9                    | 1,22    | 56,40          | 145     | 368  | 1,88       | 0,49    |
| 10                   | 0,93    | 56,40          | 145     | 182  | 0,56       | 0,37    |
| 11                   | 2,33    | 59,85          | 145     | 200  | 2,55       | 0,83    |
| 12                   | 3,52    | 71,39          | 145     | 240  | 2,78       | 0,88    |
| 13                   | 0,50    | 56,40          | 145     | 400  | 0,39       | 0,20    |
| 14                   | 0,41    | 56,40          | 145     | 225  | 0,15       | 0,16    |
| 15                   | 1,47    | 56,40          | 145     | 275  | 2,00       | 0,59    |
| 16                   | 0,77    | 56,40          | 145     | 314  | 0,69       | 0,31    |
| Man                  | 18,00   | Cota           | 623     |      |            |         |
| Piez                 | 641,00  |                |         |      |            |         |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

De forma análoga a solução inicial, também foram impostas as restrições para a solução otimizada, conforme mostrado na tabela 29. É possível verificar que as condições de continuidade e de conservação de energia nos nós não foram satisfeitas.

**Tabela 29:** Restrições da solução otimizada da primeira etapa.

| RESTRICÇÕES |           |         |          |                 |             |             |        |
|-------------|-----------|---------|----------|-----------------|-------------|-------------|--------|
| Nó          | Z (m.c.a) | Q (L/s) | Cota (m) | P. Disp (m.c.a) | Eq. Contin. | Eq. Energia |        |
| 2           | 638,47    | 1,02    | 619      | 19,47           | 0,00        | -2,04       | Anel 1 |
| 3           | 634,56    | 1,65    | 623      | 11,56           | 0,00        | 0,00        | Anel 2 |
| 4           | 634,74    | 1,84    | 620      | 14,74           | 0,00        | 0,00        | Anel 3 |
| 5           | 638,20    | 1,59    | 621      | 17,20           | 0,00        |             |        |
| 6           | 632,44    | 1,48    | 610      | 22,44           | 0,00        |             |        |
| 7           | 629,00    | 0,91    | 614      | 15,00           | 2,56        |             |        |
| 8           | 628,85    | 1,43    | 617      | 11,85           | -1,72       |             |        |
| 9           | 629,41    | 1,42    | 617      | 12,41           | -0,78       |             |        |
| 10          | 631,96    | 1,19    | 614      | 17,96           | 0,00        |             |        |
| 11          | 628,72    | 1,02    | 617      | 11,72           | -1,95       |             |        |
| 12          | 626,72    | 1,25    | 613      | 13,72           | -0,19       |             |        |
| 13          | 628,61    | 0,91    | 611      | 17,61           | 0,00        |             |        |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

No entanto, os diâmetros observados nos resultados da solução otimizada da primeira etapa não são valores comerciais. Sendo assim, foi necessário realizar mais uma otimização da solução, ajustando os valores dos diâmetros para bitolas disponíveis no mercado, conforme mostrado na tabela 30.

**Tabela 30:** Solução inicial da segunda etapa.

| CÁLCULOS HIDRÁULICOS |         |                |         |      |            |         |
|----------------------|---------|----------------|---------|------|------------|---------|
| T                    | Q (L/s) | D Interno (mm) | Coef. C | L(m) | hf (m.c.a) | V (m/s) |
| 1                    | 15,30   | 156,40         | 145     | 200  | 0,76       | 0,79    |
| 2                    | 6,29    | 108,40         | 145     | 144  | 0,64       | 0,68    |
| 3                    | 5,27    | 108,40         | 145     | 450  | 1,44       | 0,57    |
| 4                    | 0,63    | 56,40          | 145     | 280  | 0,42       | 0,25    |
| 5                    | 5,80    | 108,40         | 145     | 385  | 1,47       | 0,63    |
| 6                    | 7,39    | 156,40         | 145     | 180  | 0,18       | 0,38    |
| 7                    | 4,25    | 108,40         | 145     | 246  | 0,53       | 0,46    |
| 8                    | 2,77    | 75,60          | 145     | 390  | 2,19       | 0,62    |
| 9                    | 0,50    | 56,40          | 145     | 368  | 0,36       | 0,20    |
| 10                   | 0,50    | 56,40          | 145     | 182  | 0,18       | 0,20    |
| 11                   | 2,14    | 75,60          | 145     | 200  | 0,70       | 0,48    |
| 12                   | 3,33    | 75,60          | 145     | 240  | 1,90       | 0,74    |
| 13                   | 0,50    | 56,40          | 145     | 400  | 0,39       | 0,20    |
| 14                   | 0,41    | 56,40          | 145     | 225  | 0,15       | 0,16    |
| 15                   | 0,67    | 56,40          | 145     | 275  | 0,47       | 0,27    |
| 16                   | 0,50    | 56,40          | 145     | 314  | 0,31       | 0,20    |
| Man                  | 18,00   | Cota           | 623     |      |            |         |
| Piez                 |         |                |         |      |            |         |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 31:** Restrições da solução inicial da segunda etapa.

| RESTRICÇÕES |           |         |          |                 |             |             |        |
|-------------|-----------|---------|----------|-----------------|-------------|-------------|--------|
| Nó          | Z (m.c.a) | Q (L/s) | Cota (m) | P. Disp (m.c.a) | Eq. Contin. | Eq. Energia |        |
| 2           | 639,60    | 1,02    | 619      | 20,60           | 0,00        | 0,00        | Anel 1 |
| 3           | 638,16    | 1,65    | 623      | 15,16           | 0,00        | 0,00        | Anel 2 |
| 4           | 638,59    | 1,84    | 620      | 18,59           | 0,00        | 0,00        | Anel 3 |
| 5           | 640,06    | 1,59    | 621      | 19,06           | 0,00        |             |        |
| 6           | 637,64    | 1,48    | 610      | 27,64           | 0,00        |             |        |
| 7           | 635,45    | 0,91    | 614      | 21,45           | 1,86        |             |        |
| 8           | 635,81    | 1,43    | 617      | 18,81           | -1,43       |             |        |
| 9           | 635,99    | 1,42    | 617      | 18,99           | -0,28       |             |        |
| 10          | 636,69    | 1,19    | 614      | 22,69           | 0,00        |             |        |
| 11          | 635,68    | 1,02    | 617      | 18,68           | -1,42       |             |        |
| 12          | 635,21    | 1,25    | 613      | 22,21           | -0,99       |             |        |
| 13          | 635,06    | 0,91    | 611      | 24,06           | 0,00        |             |        |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Em seguida, fez-se uso novamente da ferramenta solver, e os resultados obtidos estão apresentados na tabela 32, que é a solução definitiva para a rede de distribuição. Na tabela 33 estão as restrições da solução definitiva. Nela é possível visualizar que as condições de continuidade das vazões e conservação de energia foram satisfeitas

**Tabela 32:** Solução definitiva.

| CÁLCULOS HIDRÁULICOS |        |                |         |      |            |         |
|----------------------|--------|----------------|---------|------|------------|---------|
| T                    | Q(l/s) | D Interno (mm) | Coef. C | L(m) | hf (m.c.a) | V (m/s) |
| 1                    | 15,30  | 156,40         | 145     | 200  | 0,77       | 0,80    |
| 2                    | 4,18   | 156,40         | 145     | 144  | 0,30       | 0,45    |
| 3                    | 3,16   | 156,40         | 145     | 450  | 0,09       | 0,20    |
| 4                    | 0,45   | 53,40          | 145     | 280  | 0,29       | 0,21    |
| 5                    | 10,17  | 156,40         | 145     | 385  | 0,70       | 0,53    |
| 6                    | 11,76  | 156,40         | 145     | 180  | 0,43       | 0,61    |
| 7                    | 1,96   | 53,40          | 145     | 246  | 3,95       | 0,87    |
| 8                    | 0,48   | 53,40          | 145     | 390  | 0,46       | 0,21    |
| 9                    | 0,88   | 53,40          | 145     | 368  | 1,35       | 0,39    |
| 10                   | 2,31   | 75,60          | 145     | 182  | 0,73       | 0,52    |
| 11                   | 6,69   | 108,40         | 145     | 200  | 1,00       | 0,73    |
| 12                   | 7,88   | 108,40         | 145     | 240  | 1,62       | 0,85    |
| 13                   | 0,45   | 53,40          | 145     | 400  | 0,42       | 0,20    |
| 14                   | 0,46   | 53,40          | 145     | 225  | 0,25       | 0,21    |
| 15                   | 1,71   | 75,60          | 145     | 275  | 0,63       | 0,38    |
| 16                   | 2,96   | 108,40         | 145     | 314  | 0,35       | 0,32    |
| Man                  | 18,00  | Cota           | 623     |      |            |         |
| Piez                 | 641,00 |                |         |      |            |         |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 33:** restrições da solução definitiva.

| RESTRICÇÕES |           |         |          |                 |             |             |        |
|-------------|-----------|---------|----------|-----------------|-------------|-------------|--------|
| Nó          | Z (m.c.a) | Q (L/s) | Cota (m) | P. Disp (m.c.a) | Eq. Contin. | Eq. Energia |        |
| 2           | 639,93    | 1,02    | 619      | 20,93           | 0,00        | -0,02       | Anel 1 |
| 3           | 639,83    | 1,65    | 623      | 16,83           | 0,00        | 0,00        | Anel 2 |
| 4           | 639,10    | 1,84    | 620      | 19,10           | 0,00        | 0,00        | Anel 3 |
| 5           | 639,80    | 1,59    | 621      | 18,80           | 0,00        |             |        |
| 6           | 635,89    | 1,48    | 610      | 25,89           | 0,00        |             |        |
| 7           | 635,43    | 0,91    | 614      | 21,43           | 0,00        |             |        |
| 8           | 635,75    | 1,43    | 617      | 18,75           | 0,00        |             |        |
| 9           | 636,49    | 1,42    | 617      | 19,49           | 0,00        |             |        |
| 10          | 637,48    | 1,19    | 614      | 23,48           | 0,00        |             |        |
| 11          | 636,14    | 1,02    | 617      | 19,14           | 0,00        |             |        |
| 12          | 635,51    | 1,25    | 613      | 22,51           | 0,00        |             |        |
| 13          | 635,01    | 0,91    | 611      | 24,01           | 0,00        |             |        |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

É importante ressaltar que, os diâmetros dos trechos seguem as seguintes relações:

- Diâmetro interno do tubo igual a 204,20 milímetros corresponde a 200 milímetros;
- Diâmetro interno do tubo igual a 156,40 milímetros corresponde a 150 milímetros;
- Diâmetro interno do tubo igual a 108,40 milímetros corresponde a 100 milímetros;

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 5.1. Execução do Projeto Original da Rede

Como resultado da análise dos projetos da rede de distribuição da cidade de Baraúna e no acompanhamento da execução da obra, foram constatados alguns problemas que serão descritos a seguir. E com base nessa constatação, verifica-se quão importante é um projeto dimensionado de forma criteriosa, visto que, diversos contratemplos podem surgir durante a execução da obra.

A obra da ampliação da rede de distribuição da cidade de Baraúna, apresentou uma grande dificuldade, principalmente no que diz respeito a execução da obra. Primeiramente, tem-se o fato do projeto ter tido uma demora significativa para ser executado. Apesar de ser recomendado por norma um horizonte de projeto de 20 anos, por exemplo, o que se observou com o início das obras foi que em diversos pontos, o traçado dos condutos passava por locais em que era impossível realizar os serviços de escavação para assentamento da tubulação, uma vez que, ali encontravam-se obstáculos como residências, prédios. Tal fato, impôs a necessidade de fazer desvios na rede, de modo a encontrar a melhor solução para prosseguir com o traçado previamente idealizado.

Outro fato, já mencionado anteriormente, é a expansão da rede. O projeto original previa a implementação de 15.177,27 metros de tubulação que englobavam a rede principal e a rede secundária da cidade. No entanto, após realização de levantamento topográfico em toda a zona urbana, constatou-se o crescimento da cidade e conseqüentemente a ampliação da rede, que foi acrescida de 9.127,73 metros, representando um acréscimo de 60% de tubulação em relação ao projeto original. Porém, toda a obra foi orçada em cima dos 15.177,27 metros de rede, ou seja, os recursos disponíveis não seriam suficientes para realizar a ampliação, deixando diversos usuários sem acesso ao fornecimento de água.

Apesar de uma obra dessa magnitude poder ser dividida em etapas, o caso em questão é diferente, pois, existe uma necessidade atual de abastecer os usuários englobados pela expansão da rede, onde, durante a execução é possível observar diversos questionamentos acerca de usuários de determinado ponto da cidade visualizarem as obras nas suas respectivas ruas e a rua vizinha não ser contemplada com a rede. Este é um fato extremamente sério e que causa muitas situações desagradáveis durante a execução da obra.

## 5.2. Consumo Per capita

Segundo Veloso e Mendes (2013) conforme citado por Chaib (2016) a gestão de recursos hídricos consiste em um processo que objetiva administrar o uso racional de estoque de água estoques de água, de modo a regular seu aproveitamento de modo que o meio natural não seja comprometido muito menos o bem-estar da sociedade, realizando assim a conservação do recurso.

Quando comparado com os consumos mostrados na tabela 30 de acordo com a faixa da população, por exemplo, verifica-se que para a população adotada no dimensionamento, o consumo per capita poderia ter sido maior. No entanto, optou-se pelo consumo per capita de 108,95 L/hab.dia, pelo fato de que, levando em consideração à crise hídrica que assolou a região nordeste do Brasil, bem como a tendência pela busca de mecanismos que visem poupar o uso da água, de modo que, sua utilização se dê de forma mais racional, não faria sentido adotar um consumo muito acima desse valor ou de acordo com a tabela 34, por exemplo, podendo este ser diminuído, de modo que, não iria fugir da realidade e nem comprometer o dimensionamento e o posterior funcionamento da rede de distribuição

O valor utilizado, oriundo de uma média entre os consumos de quatro cidades de porte semelhante pode ser considerado uma medida representativa. Seu valor pode sofrer variações na situação real, uma vez que, diversos fatores são determinantes para o consumo per capita de uma população de determinado local. As características socioeconômicas das cidades, por exemplo, podem ser diferentes, ou seja, a atividade comercial principal pode diferir de uma cidade para outra, e conseqüentemente demandar mais ou menos água.

**Tabela 34:** consumo médio per capita, para populações dotadas de ligações domiciliares.

| PORTE DA COMUNIDADE | FAIXA DA POPULAÇÃO (habitantes) | CONSUMO <i>per capita</i> (L/hab.dia) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Povoado Rural       | <5000                           | 90 a 140                              |
| Vila                | 5.000 a 10.000                  | 100 a 160                             |
| Pequena Localidade  | 10.000 a 50.000                 | 110 a 180                             |
| Cidade média        | 50.000 a 250.000                | 120 a 220                             |
| Cidade Grande       | >250.000                        | 150 a 300                             |

**Fonte:** VON SPERLING (2006).

É importante ressaltar que o caso que foi estudado, dividiu-se a zona urbana da cidade em duas zonas principais: zona comercial e zona residencial. Se utilizou desse pressuposto pelo fato de que, por ser de pequeno porte, a cidade não apresenta uma disparidade entre classes

sociais muito grande, ou seja, os padrões de consumo não irão ser tão diferentes nas zonas residências de um consumidor para o outro. Tratando da zona comercial, optou-se por essa escolha pelo fato de que existe um certo padrão em pequenas cidades, se caracterizando por possuírem as atividades comerciais predominantemente na parte central da cidade. Tais suposições influenciaram diretamente no dimensionamento da rede, uma vez que, a demanda de cada nó e a vazão que circula pelos trechos são diretamente influenciadas pelo padrão de consumo de cada área.

Vale salientar ainda que, a obra da rede de distribuição da cidade engloba a instalação de ligações domiciliares, que é um mecanismo para controle de consumo de água por parte dos usuários. Conseqüentemente, os consumidores começarão a ser tarifados pelo uso da água, o que não deixa de caracterizar uma maneira de incentivar a redução do consumo de água.

### **5.3. Novo Dimensionamento da Rede de Distribuição**

Após a constatação de algumas variáveis passíveis de alteração no projeto original da rede, foi realizado o novo dimensionamento da mesma utilizando três diferentes métodos.

#### **5.3.1. Comparativo entre os métodos**

São inúmeros os parâmetros que podem ser analisados para posterior comparação entre os resultados fornecidos pelos diferentes métodos de dimensionamento de uma rede de distribuição de água. Foram estabelecidas algumas variáveis a serem levadas em consideração, uma vez que, cada método apresenta suas especificidades e suas vantagens um em relação ao outro.

##### **5.3.1.1. Custo das tubulações**

Ao se levar em consideração o custo das tubulações da rede principal, é possível enxergar alguma vantagem de um método em relação ao outro. Na tabela 35 são mostrados os custos atualizados de alguns dos diâmetros de tubulações condutoras de água.

A diferença entre os diâmetros para os tubos encontrados pelo dimensionamento através de cada um dos métodos, se dá, principalmente, pelos princípios de cada um deles, onde, o método de Hardy-Cross e Pimentel Gomes, por exemplo, estabelecem os diâmetros mínimos através da tabela 13, já no método PNL 2000, realiza-se o cálculo dos diâmetros iniciais com base em uma velocidade pré-estabelecida, conforme descrito nos cálculos. No anexo D, é possível visualizar onde os trechos coincidem e onde são diferentes para cada método.

**Tabela 35:** custo unitário de tubos condutores de água.

| ITEM | DESCRIÇÃO DO MATERIAL             | PREÇO UNITÁRIO |
|------|-----------------------------------|----------------|
| 1    | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 50 6M    | R\$34,00       |
| 2    | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 75 6M    | R\$70,00       |
| 3    | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 100 6M   | R\$120,00      |
| 4    | TUBO PVC DEFOFO JE 1MPA DN 150 6M | R\$220,00      |
| 5    | TUBO PVC DEFOFO JE 1MPA DN 200 6M | R\$365,00      |

**Fonte:** Catálogo CORRPLASTIK (2018).

Com base nos custos apresentados na tabela 35, foram obtidos os custos referentes a cada um dos métodos, levando em consideração somente as tubulações. As tabelas 36, 37 e 38, são constituídas da descrição das tubulações que compõem a rede, a quantidade em metros obtida por cada método, o preço unitário da barra de cano e o preço total. Vale salientar que o custo apresentado a seguir é correspondente as barras de cano com 6 metros de comprimento, dessa forma é necessário realizar a divisão da quantidade pelos 6 metros correspondentes a cada barra para obter o número de barras e os posteriores custos.

Os custos da rede de distribuição obtida com o método de Hardy-Cross são mostrados na tabela 36.

**Tabela 36:** custo total da tubulação obtida pelo método de Hardy-Cross.

| ITEM | DESCRIÇÃO DO ITEM                 | QUANTIDADE (m) | PREÇO UNITÁRIO | PREÇO TOTAL  |
|------|-----------------------------------|----------------|----------------|--------------|
| 1    | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 50 6M    | 1420           | R\$34,00       | R\$8.046,67  |
| 2    | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 75 6M    | 514            | R\$70,00       | R\$5.996,67  |
| 3    | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 100 6M   | 1653           | R\$120,00      | R\$33.060,00 |
| 4    | TUBO PVC DEFOFO JE 1MPA DN 150 6M | 692            | R\$220,00      | R\$25.373,33 |
| 5    | TUBO PVC DEFOFO JE 1MPA DN 200 6M | 200            | R\$365,00      | R\$12.166,67 |
|      |                                   |                | TOTAL:         | R\$84.643,33 |

**Fonte:** Autoria própria (2018).

A tabela 37 mostra os custos da rede dimensionada de acordo com o método Pimentel Gomes.

**Tabela 37:** custo total da tubulação obtida pelo método Pimentel Gomes.

| ITEM   | DESCRIÇÃO DO ITEM                 | QUANTIDADE (m) | PREÇO UNITÁRIO | PREÇO TOTAL   |
|--------|-----------------------------------|----------------|----------------|---------------|
| 1      | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 50 6M    | 944            | R\$34,00       | R\$5.349,33   |
| 2      | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 75 6M    | 1226           | R\$70,00       | R\$14.303,33  |
| 3      | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 100 6M   | 400            | R\$120,00      | R\$8.000,00   |
| 4      | TUBO PVC DEFOFO JE 1MPA DN 150 6M | 1709           | R\$220,00      | R\$62.663,33  |
| 5      | TUBO PVC DEFOFO JE 1MPA DN 200 6M | 200            | R\$365,00      | R\$12.166,67  |
| TOTAL: |                                   |                |                | R\$102.482,67 |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Por fim, tem-se os custos com as tubulações com base no método PNL2000 apresentados na tabela 38.

**Tabela 38:** custo total da tubulação obtida pelo método PNL2000.

| ITEM   | DESCRIÇÃO DO ITEM                 | QUANTIDADE (m) | PREÇO UNITÁRIO | PREÇO TOTAL  |
|--------|-----------------------------------|----------------|----------------|--------------|
| 1      | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 50 6M    | 1909           | R\$34,00       | R\$10.817,67 |
| 2      | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 75 6M    | 457            | R\$70,00       | R\$5.331,67  |
| 3      | TUBO PVC PBA JE CL 15 DN 100 6M   | 898            | R\$120,00      | R\$17.960,00 |
| 4      | TUBO PVC DEFOFO JE 1MPA DN 150 6M | 1215           | R\$220,00      | R\$44.550,00 |
| 5      | TUBO PVC DEFOFO JE 1MPA DN 200 6M | 0              | R\$365,00      | R\$0,00      |
| TOTAL: |                                   |                |                | R\$78.659,33 |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Ao realizar a análise dos resultados obtidos acima constata-se que, levando em consideração o custo das tubulações, o método que forneceu o menor preço para a rede de distribuição foi o PNL2000, convergindo assim para a sua proposição principal, que é obter uma solução que proporcione o custo mínimo de distribuição de água.

É importante salientar que, os custos acima apresentados correspondem ao traçado escolhido em projeto, ou seja, a vantagem financeira de um método com relação ao outro pode vir a ser modificada, por exemplo, por uma simples alteração no traçado que venha a modificar a disposição e tamanho dos trechos ou uma escolha diferente de anéis para compor a rede.

Daí, observa-se claramente a importância da escolha do traçado de uma rede de distribuição de água, uma vez que, tratando-se apenas de custo para tubulações, já é possível

visualizar quão onerosa é uma obra desse tipo e que se as soluções não forem criteriosamente pensadas, o custo final da obra pode vir a se elevar consideravelmente.

### **5.3.2. Projeto x Execução**

Outro aspecto que deve ser levado em consideração, são os custos com a execução da obra, onde por execução deve se entender neste caso que os custos que serão levados em consideração serão aqueles dos serviços de assentamento das tubulações.

- Escavação manual de vala;
- Escavação mecânica de vala;
- Reaterro de valas;
- Assentamento de tubulação;
- Retirada, limpeza e reassentamento de paralelepípedo.

Vale salientar que aqui não estão sendo levados em consideração a retirada e reposição de pavimentação asfáltica em CBUQ e PMF, visto que, para o caso em estudo não foi constatada a necessidade de utilização desses serviços. Também não está sendo levado em consideração a produção de concreto para ancoragem de peças, por exemplo, bem como serviços de sinalização para segurança de pedestres e veículos.

Os custos referentes aos serviços acima mencionados são mostrados na tabela 39, onde nela tem-se cada item, a sua respectiva descrição, bem como sua unidade e seu custo unitário.

**Tabela 39:** custo dos serviços que compõem o assentamento de tubulações.

| ITEM | DESCRIÇÃO DO ITEM   | UNIDADE        | CUSTO UNITÁRIO |
|------|---|----------------|----------------|
| 1    | ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA ATÉ 1,5 M  | M <sup>2</sup> | R\$ 42,96      |
| 2    | ESCAVAÇÃO MECÂNICA DE VALA NÃO ESCORADA EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA COM PROFUNDIDADE DE ATÉ 1,50 M COM RETROESCAVADEIRA   | M <sup>3</sup> | R\$ 5,38       |
| 3    | REATERRO DE VALAS, COMPACTADA A MAÇO, EM CAMADAS DE ATÉ 30 CM, COM APROVEITAMENTO DO MATERIAL   | M <sup>3</sup> | R\$ 36,82      |
| 4    | ASSENTAMENTO DE TUBO PVC COM JUNTA ELÁSTICA – DN 50 P/ÁGUA INCLUSIVE TRANSPORTE   | M              | R\$ 1,34       |
| 5    | ASSENTAMENTO DE TUBO PVC COM JUNTA ELÁSTICA – DN 75 P/ÁGUA INCLUSIVE TRANSPORTE   | M              | R\$ 1,85       |
| 6    | ASSENTAMENTO DE TUBO PVC COM JUNTA ELÁSTICA – DN 100 P/ÁGUA INCLUSIVE TRANSPORTE  | M              | R\$ 2,33       |
| 7    | ASSENTAMENTO DE TUBO PVC COM JUNTA ELÁSTICA – DN 150 P/ÁGUA INCLUSIVE TRANSPORTE  | M              | R\$ 2,81       |
| 8    | ASSENTAMENTO DE TUBO PVC COM JUNTA ELÁSTICA – DN 150 P/ÁGUA INCLUSIVE TRANSPORTE  | M              | R\$ 3,41       |
| 9    | RETIRADA, LIMPEZA E REASSENTAMENTO DE PARALELEPIPEDO SOBRE COLCHÃO DE AREIA ESPESSURA 10 CM, REJUNTADO COM ARGAMASSA TRAÇO 1:3, CONSIDERANDO APROVEITAMENTO DO PARALELEPIPEDO | M <sup>2</sup> | R\$ 52,72      |

Fonte: SINAPI (2017).

A CAGEPA orienta que as dimensões das valas para assentamento de tubulação condutora de água, salve exceções na qual exista a necessidade de aumento ou diminuição do tamanho recomendado, que as valas tenham os tamanhos conforme mostrado na tabela 40, onde o mesmo depende do diâmetro do tubo e da profundidade da escavação.

**Tabela 40:** larguras das valas conforme a CAGEPA.

| ADUTORAS, REDES DE DISTRIBUIÇÃO E EMISSÁRIOS POR RECALQUE |                           |                  |                  |
|---|---------------------------|------------------|------------------|
| DIÂMETRO DO TUBO (DN)                                     | PROFUNDIDADE DE ESCAVAÇÃO |                  |                  |
|   | ATÉ 2,00 m                | DE 2,00 A 3,00 m | DE 3,00 A 4,00 m |
|   | LARGURA DA VALA (m)       |                  |                  |
| 50  | 0,60                      | 0,70             | 0,80             |
| 75  | 0,60                      | 0,70             | 0,80             |
| 100   | 0,65                      | 0,70             | 0,80             |
| 150   | 0,70                      | 0,75             | 0,85             |
| 200   | 0,80                      | 0,80             | 0,90             |
| 250   | 0,85                      | 0,85             | 0,95             |

Fonte: CAGEPA (2018).

Levando em consideração as informações apresentadas nas tabelas 39 e 40, é possível mensurar os custos com o assentamento da tubulação nas vias.

De acordo com os diâmetros encontrados para a rede principal através do dimensionamento pelo método de Hardy-Cross, os custos com os serviços de execução da rede são os apresentados na tabela 41.

A quantificação da escavação é realizada da seguinte forma: multiplica-se a metragem de tubulação que será assentada pela largura recomendada na tabela 40 para cada diâmetro e em seguida pela profundidade da escavação. O reaterro das valas segue o cálculo semelhante ao da escavação. Por outro lado, o reassentamento de paralelepípedo é resultado do produto entre o somatório da metragem escavada pela largura da vala, onde está largura sofre um acréscimo em virtude de danos que as escavações causam na pavimentação. Por fim, o custo total é o produto de cada quantidade pelo custo unitário.

**Tabela 41:** custos advindos da instalação da rede principal obtida por Hardy-Cross.

| Item   | Discriminação dos Serviços do Orçamento  | Unid | Custo Unitário | QUANTITATIVOS  |             |
|--------|--|------|----------------|----------------|-------------|
|        |  |      |                | Quantidade (m) | Custo Total |
| 1      | ESCAVACAO MECANICA DE VALA NÃO ESCORADA EM MATERIAL DE 1A CATEGORIA (TERRA/PIÇARRO) COM PROFUNDIDADE DE ATÉ 1,50M COM RETROESCAVADEIRA 75HP  | M³   | R\$ 5,38       | 2.303          | 12.392,29   |
| 2      | REATERRO DE VALAS/CAVAS, COMPACTADA A MAÇO, EM CAMADAS DE ATÉ 30 CM, COM APROVEITAMENTO DO MATERIAL.   | M³   | R\$ 36,82      | 2.303          | 84.811,19   |
| 3      | ASSENTAMENTO DE TUBO PVC COM JUNTA ELÁSTICA – DN 50 P/ ÁGUA INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 1,34       | 1.420          | 1.902,80    |
| 4      | ASSENTAMENTO DE TUBO PVC COM JUNTA ELÁSTICA – DN 75 P/ ÁGUA INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 1,85       | 514            | 950,90      |
| 5      | ASSENTAMENTO TUBO PVC COM JUNTA ELASTICA – DN 100 P/AGUA – INCLUSIVE TRANSPORTE  | M    | R\$ 2,33       | 1.653          | 3.851,49    |
| 6      | ASSENTAMENTO TUBO PVC/DEFOFO COM JUNTA ELASTICA – DN 150 P/AGUA – INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 2,81       | 692            | 1.944,52    |
| 7      | ASSENTAMENTO TUBO PVC/DEFOFO COM JUNTA ELASTICA – DN 200 P/AGUA – INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 3,41       | 200            | 682,00      |
| 8      | RETIRADA, LIMPEZA E REASSENTAMENTO DE PARALELEPIPEDO SOBRE COLCHAO DE AREIA ESPESSURA 10CM, REJUNTADO COM ARGAMASSA TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), CONSIDERANDO APROVEITAMENTO DO PARALELEPIPEDO | M²   | R\$ 52,72      | 4.479          | 236.132,88  |
| TOTAL: |  |      |                | R\$ 342.668,07 |             |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Na tabela 42, são apresentados os custos oriundos da execução da rede que foi obtida conforme dimensionamento pelo método Pimentel Gomes. A tabela é semelhante a anterior e seus dados são obtidos da mesma forma.

**Tabela 42:** custos advindos da instalação da rede principal obtida por Pimentel Gomes.

| Item   | Discriminação dos Serviços do Orçamento  | Unid | Custo Unitário | QUANTITATIVOS  |             |
|--------|--|------|----------------|----------------|-------------|
|        |  |      |                | Quantidade (m) | Custo Total |
| 1      | ESCAVACAO MECANICA DE VALA NÃO ESCORADA EM MATERIAL DE 1A CATEGORIA (TERRA/PIÇARRO) COM PROFUNDIDADE DE ATÉ 1,50M COM RETROESCAVADEIRA 75HP  | M³   | R\$ 5,38       | 2.335          | 12.560,36   |
| 2      | REATERRO DE VALAS/CAVAS, COMPACTADA A MAÇO, EM CAMADAS DE ATÉ 30 CM, COM APROVEITAMENTO DO MATERIAL.   | M³   | R\$ 36,82      | 2.335          | 85.961,44   |
| 3      | ASSENTAMENTO TUBO PVC COM JUNTA ELASTICA – DN 50 P/AGUA – INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 1,34       | 944            | 1.264,96    |
| 4      | ASSENTAMENTO TUBO PVC COM JUNTA ELASTICA – DN 75 P/AGUA – INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 1,85       | 1.226          | 2.268,10    |
| 5      | ASSENTAMENTO TUBO PVC COM JUNTA ELASTICA – DN 100 P/AGUA – INCLUSIVE TRANSPORTE  | M    | R\$ 2,33       | 400            | 932,00      |
| 6      | ASSENTAMENTO TUBO PVC/DEFOFO COM JUNTA ELASTICA – DN 150 P/AGUA – INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 2,81       | 1.79           | 4.802,29    |
| 7      | ASSENTAMENTO TUBO PVC/DEFOFO COM JUNTA ELASTICA – DN 200 P/AGUA – INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 3,41       | 200            | 682,00      |
| 8      | RETIRADA, LIMPEZA E REASSENTAMENTO DE PARALELEPIPEDO SOBRE COLCHAO DE AREIA ESPESSURA 10CM, REJUNTADO COM ARGAMASSA TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), CONSIDERANDO APROVEITAMENTO DO PARALELEPIPEDO | M²   | R\$ 52,72      | 4.479          | 236.132,88  |
| TOTAL: |  |      |                | R\$ 344.604,04 |             |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Por fim, tem-se os custos dos serviços de execução da rede que fora obtida pelo método PNL2000, apresentados na tabela 43.

**Tabela 43:** custos advindos da instalação da rede principal obtida pelo método PNL2000.

| Item   | Discriminação dos Serviços do Orçamento  | Unid | Custo Unitário | QUANTITATIVOS  |             |
|--------|--|------|----------------|----------------|-------------|
|        |  |      |                | Quantidade (m) | Custo Total |
| 1      | ESCAVACAO MECANICA DE VALA NAO ESCORADA EM MATERIAL DE 1A CATEGORIA (TERRA/PIÇARRO) COM PROFUNDIDADE DE ATE 1,50M COM RETROESCAVADEIRA 75HP  | M³   | R\$ 5,38       | 2.283          | 12.282,76   |
| 2      | REATERRO DE VALAS/CAVAS, COMPACTADA A MAÇO, EM CAMADAS DE ATÉ 30 CM, COM APROVEITAMENTO DO MATERIAL.   | M³   | R\$ 36,82      | 2.283          | 84.061,53   |
| 3      | ASSENTAMENTO TUBO PVC COM JUNTA ELASTICA - DN 50 P/AGUA - INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 1,34       | 1.909          | 2.558,06    |
| 4      | ASSENTAMENTO TUBO PVC COM JUNTA ELASTICA - DN 75 P/AGUA - INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 1,85       | 457            | 845,45      |
| 5      | ASSENTAMENTO TUBO PVC COM JUNTA ELASTICA - DN 100 P/AGUA - INCLUSIVE TRANSPORTE  | M    | R\$ 2,33       | 898            | 2.092,34    |
| 6      | ASSENTAMENTO TUBO PVC/DEFOFO COM JUNTA ELASTICA - DN 150 P/AGUA - INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 2,81       | 1.215          | 3.414,15    |
| 7      | ASSENTAMENTO TUBO PVC/DEFOFO COM JUNTA ELASTICA - DN 200 P/AGUA - INCLUSIVE TRANSPORTE   | M    | R\$ 3,41       | -              | -           |
| 8      | RETIRADA, LIMPEZA E REASSENTAMENTO DE PARALELEPIPEDO SOBRE COLCHAO DE AREIA ESPESSURA 10CM, REJUNTADO COM ARGAMASSA TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), CONSIDERANDO APROVEITAMENTO DO PARALELEPIPEDO | M²   | R\$ 52,72      | 4.479          | 236.132,88  |
| TOTAL: |  |      |                | R\$ 341.387,17 |             |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Com base nas tabelas acima, constata-se que o método PNL2000 também é mais econômico em relação aos outros métodos, por mais que a diferença entre os valores seja pequena, mantendo dessa forma a ideia principal do método, que é fornecer a solução que proporcione custo mínimo.

Outro fato de extrema importância, são as ligações domiciliares e a interligação da rede principal com a rede secundária. As ligações domiciliares para serem feitas, necessitam da

utilização do colar tomada, que são peças instaladas na tubulação para levar a água até as unidades consumidoras. Na medida em que o diâmetro da tubulação aumenta, o tamanho do colar tomada também é maior, e conseqüentemente seu preço. Na tabela 44, são apresentados os custos dos colares de vários diâmetros.

**Tabela 44** custo unitário de colar tomada de vários diâmetros.

| ITEM | DESCRIÇÃO DO ITEM                                 | UNIDADE | CUSTO UNITÁRIO |
|------|---|---------|----------------|
| 1    | COLAR TOM PVC C/ TRAVA C/SAÍDA ROSC. DN 50 x 1/2  | UN      | R\$ 2,82       |
| 2    | COLAR TOM PVC C/ TRAVA C/SAÍDA ROSC. DN 75 x 1/2  | UN      | R\$ 3,29       |
| 3    | COLAR TOM PVC C/ TRAVA C/SAÍDA ROSC. DN 100 x 1/2 | UN      | R\$ 9,90       |
| 4    | COLAR TOM PVC C/ TRAVA C/SAÍDA ROSC. DN 150 x 1/2 | UN      | R\$ 56,45      |

**Fonte:** Catálogo CORRPLASTIK (2018).

Através da tabela 44, é possível observar que a medida que o diâmetro cresce, o custo do colar tomada também cresce, e a dificuldade de obtenção do mesmo também. O colar tomada para tubulação de 150 milímetros além de ser difícil de obter no mercado é muito mais caro em relação aos outros diâmetros pelo fato de ser confeccionado em material diferente e utilizado em um tubo diferente, visto que, as tubulações com diâmetros acima de 100 milímetros utilizadas em obras de abastecimento são do tipo PVC DEFOFO. Na tabela não é apresentado o custo para colar tomada de 200 milímetros em virtude de dificilmente serem encontrados no mercado. Para instalação das ligações domiciliares em redes de 200 milímetros acima é utilizada uma rede paralela de diâmetro inferior, na maioria das vezes tubos de 50 milímetros para se fazer as ligações domiciliares.

A interligação da rede principal com a rede secundária se dá por meio de peças e conexões, tais como tês, curvas, reduções e cruzetas. É importante salientar que, assim como os colares, as peças e conexões também aumentam o custo conforme se dá o aumento do diâmetro e a facilidade de serem encontradas no mercado, por outro lado, diminui. Deve-se atentar também para este fato, uma vez que, essas peças podem também ser determinantes para escolha de um método em detrimento do outro.

## CAPÍTULO VI

### 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

De acordo com os objetivos delimitados e os resultados obtidos com a pesquisa, pode-se estabelecer as seguintes considerações:

Com base no estudo dos projetos iniciais e no projeto da expansão da rede de distribuição de água da cidade de Baraúna-PB, identificou-se diversos aspectos passíveis de adequação. A rede sofreu uma expansão de 9.127,73 metros e, para conseguir abastecer os usuários como um todo e ainda levar em consideração o horizonte de projeto de 20 anos para crescimento da cidade, a divisão da rede de distribuição em anéis mostrou-se uma solução economicamente e em termos práticos muito viável, uma vez que, com ela foi possível abastecer toda a área, englobando os consumidores atuais e os que futuramente possam se instalar naquela região e ainda facilitar processos de expansão no futuro, bem como os serviços de manutenção e de manobras na rede.

Muitas cidades de pequeno porte do Nordeste brasileiro ainda não possuem redes de distribuição de água, ocasionando assim uma falta de informações acerca do consumo de água, sendo está a situação do caso que foi estudado. Dessa forma, optou-se por determinar o consumo per capita da cidade com base na análise de cidades próximas de porte semelhante e que já possuíam dados acerca desse parâmetro, para assim se chegar a um valor fictício, mas que fosse coerente com a realidade da região, levando em conta a atual conjuntura a respeito da forma como se utilizam os recursos hídricos, que são bastante escassos na região que se encontra a cidade. Frente a este problema da ausência de dados de consumo de cidades de pequeno porte, recomenda-se estudar o consumo per capita dos locais que ainda não possuam rede de distribuição de água, de modo a buscar formas de determiná-lo.

O método de Hardy-Cross apesar de antigo, ainda é muito utilizado se mostra uma opção bastante viável economicamente falando e traz resultados que são bem assimilados pela execução de uma obra de implantação de rede de distribuição. O custo com as tubulações obtidas através do método foi de R\$ 84.643,33 e o custo da implantação da rede foi de R\$ 342.668,07, sendo obtido assim um total de R\$ 427.311,40 para a realização da obra da rede principal de distribuição de água.

O método de Pimentel Gomes, é mais recente, porém ainda sim é uma alternativa ao método de Hardy-Cross e fornece resultados bastante satisfatórios, porém, não leva em consideração a busca da alternativa de projeto que minimize o custo total do sistema,

apresentando para a tubulação principal da rede o custo de de R\$ 102.482,67 e para os serviços de execução, encontrou-se um custo de R\$ 344.604,04, totalizando assim R\$ 447.087,07.

Por fim, realizou-se o dimensionamento da rede através do método PNL2000, que apresentou um custo de R\$ 78.659,33 para os materiais e de R\$ 341.387,17 para os serviços de execução, totalizando assim o valor de R\$ 420.046,50 para a implementação da rede principal de distribuição de água, sendo ele o método que forneceu o menor custo final para a obra, levando em consideração as variáveis utilizadas.

É importante ressaltar que diferentemente do que recomenda a NBR 12.218/2017 para projetos de distribuição de água para abastecimento público, optou-se por utilizar o diâmetro de 50 para a rede principal, uma vez que, por se tratar de uma cidade de pequeno porte, verificou-se através dos dimensionamentos que as condições hidráulicas foram satisfeitas. Ao se utilizar esse diâmetro para os condutores da rede, os custos da obra caem significativamente, fato esse, constatado ao se comparar os resultados obtidos entre o método PNL 2000 e o método de Pimentel Gomes, por exemplo, onde no primeiro, a tubulação de 50 milímetros é quase 50% maior. É importante mencionar também, que ao se utilizar diâmetros com as dimensões acima citadas, as ligações domiciliares podem ser feitas diretamente na rede principal, o que também contribui para uma queda do custo da obra.

Levando em consideração que a rede da cidade encontra-se em fase de implantação e trata-se de uma rede ramificada, priorizando a utilização de tubulações com diâmetro de 50 milímetros alguns trechos da rede que foi idealizada poderiam coincidir com a rede que está sendo executada, permitindo assim que a rede atual, com algumas adaptações, poderia vir a se tornar uma rede malhada em anéis, que é o tipo indicado para locais com as características de Baraúna. Assim, como sugestão, avaliar a viabilidade das redes de distribuição de água malhadas em blocos para cidades de pequeno porte, visando verificar a sua viabilidade para esse tipo de caso.

Sendo assim, observa-se que para atender a demanda hídrica de uma cidade de pequeno porte é possível encontrar diversas alternativas de projeto para a rede de distribuição de água, que fornecem soluções variadas, cabendo ao projetista julgar a que melhor se adequará a cada caso, de modo que, o abastecimento se dê de forma satisfatória e atenda aos consumidores como um todo. Como sugestão para dar prosseguimento a pesquisa, realizar estudos acerca dos métodos de dimensionamento de redes de distribuição e procurar maneiras de otimizá-los.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 2017.

A UNIÃO. João Pessoa: Superintendência de Imprensa e Editora, 2017. Disponível em: <[http://zeoserver.pb.gov.br/jornalauniao/auniao2/noticias/caderno\\_politicas/serido-e-curimatau-receberao-aguas-do-rio-sao-francisco](http://zeoserver.pb.gov.br/jornalauniao/auniao2/noticias/caderno_politicas/serido-e-curimatau-receberao-aguas-do-rio-sao-francisco)>. Acesso em: 18 ago. 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 11.145, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial, Brasília, DF, 05 jan. 2007. Seção 1, p. 2.

CHAIB, E. **Avaliação de Estratégias para a Redução do Consumo de água de Abastecimento como Meio de Diminuição da Pressão sobre os Recursos Hídricos**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 30. 2016.

FAVRETTO, C. R. et al. Planejamento, ordenamento e gestão integrada: análise do sistema de abastecimento de água do município de Arroio do Padre/RS. In: **Encontro Nacional de estudantes de Engenharia Ambiental, 16º, Brasília**. 2016.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água. 3ª Ed.** João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2009.

GUEDES, N. S. et al. Análise do consumo per capita de água em municípios do nordeste do Brasil. In: **VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Campina Grande**. 2016.

FUNASA. Manual de Saneamento. Ministério da Saúde. Brasília, 2007.

HELLER, Léo; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano: 1ª Ed.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859p.

JUSTINO, J. D; NOGUEIRA E. Estudo e análise de um sistema de distribuição de água: aplicação do método de Hardy Cross utilizando a equação universal de Darcy-Weisbach e o método de Hazen-Williams. **Cadernos UniFOA**. Rio de Janeiro, v. 22, p. 25-35, ago. 2013.

MARTINS, J.A. **Redes de distribuição de água**. Capítulo 13. In: Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. Vol. I. CETESB. São Paulo, 1976.

MEDEIROS Fº, C. F. **Abastecimento de Água**. 1ª Ed. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2006. 147p.

PORTO, R.M. **Hidráulica Básica, 4a. Edição**. Projeto REENGE, EESC/USP, 2006.

TIGRE. **Tubos e Conexões para Rede Adutora – MPVC DEFOFO**. Disponível em: <<https://www.tigre.com.br/tubo-defofo-mpvc>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

TIGRE. **Tubos e Conexões para Rede de Distribuição de Água – PBA**. Disponível em: <<https://www.tigre.com.br/tubo-pba-20-jei>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. 3ª Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 659p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 2ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.

## **ANEXOS**

**ANEXO A – SEGUNDA INTERAÇÃO DO MÉTODO DE HARDY CROSS**

| Anel     | Trecho | Comprimento | Diâmetro | Vazão Inicial (Q2) | Perda de Carga (h2) | n*(h2/Q2) | ΔQ2   | Q3    |
|----------|--------|-------------|----------|--------------------|---------------------|-----------|-------|-------|
| -        | -      | (m)         | (m)      | (L/s)              | (m)                 | (L/s)     | (L/s) | (L/s) |
| ANEL I   | 1-2    | 180,00      | 0,15     | -7,47              | -0,25               | 0,061     | 0,02  | -7,45 |
|          | 2-3    | 385,00      | 0,15     | -5,90              | -0,34               | 0,106     | 0,02  | -5,88 |
|          | 3-4*   | 280,00      | 0,075    | 0,28               | 0,03                | 0,170     | -0,23 | 0,05  |
|          | 4-5    | 450,00      | 0,15     | -3,75              | -0,17               | 0,085     | 0,02  | -3,73 |
|          | 1-5    | 144,00      | 0,15     | 7,83               | 0,21                | 0,051     | 0,02  | 7,85  |
|          |        |             |          | Σ =                | -0,01               | 0,472     |       |       |
|          |        |             |          | ΔQ =               | 0,02                | L/s       |       |       |
| ANEL II  | 3-4*   | 280,00      | 0,075    | -0,28              | -0,03               | 0,170     | 0,23  | -0,05 |
|          | 4-6    | 368,00      | 0,15     | 4,88               | 0,23                | 0,087     | 0,25  | 5,13  |
|          | 6-7    | 182,00      | 0,10     | 3,4                | 0,42                | 0,227     | 0,25  | 3,65  |
|          | 7-8*   | 200,00      | 0,10     | 1,76               | 0,14                | 0,142     | 0,33  | 2,09  |
|          | 8-9*   | 240,00      | 0,05     | 0,33               | 0,21                | 1,204     | 0,33  | 0,66  |
|          | 3-10   | 246,00      | 0,10     | -4,32              | -0,88               | 0,376     | 0,25  | -4,07 |
| 10-9     | 390,00 | 0,10        | -3,13    | -0,77              | 0,453               | 0,25      | -2,88 |       |
|          |        |             |          | Σ =                | -0,67               | 2,659     |       |       |
|          |        |             |          | ΔQ =               | 0,25                | L/s       |       |       |
| ANEL III | 9-8*   | 240,00      | 0,05     | -0,33              | -0,21               | 1,204     | -0,66 | -0,77 |
|          | 8-7*   | 200,00      | 0,10     | -1,76              | -0,14               | 0,142     | -2,09 | -0,19 |
|          | 7-13   | 400,00      | 0,05     | 0,73               | 1,56                | 3,942     | 0,65  | 1,25  |
|          | 13-12  | 225,00      | 0,05     | -0,22              | -0,10               | 0,800     | -0,30 | -0,17 |
|          | 12-11  | 275,00      | 0,075    | -1,02              | -0,28               | 0,500     | -1,10 | -0,32 |
|          | 11-9   | 314,00      | 0,10     | -2,04              | -0,28               | 0,253     | -2,12 | -0,30 |
|          |        |             |          | Σ =                | 0,55                | 6,842     |       |       |
|          |        |             |          | ΔQ =               | -0,88               | L/s       |       |       |

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

### ANEXO B – TERCEIRA INTERAÇÃO DO MÉTODO DE HARDY CROSS

| Anel     | Trecho | Comprimento | Diâmetro | Vazão Inicial (Q3) | Perda de Carga (h3) | n*(h3/Q3) | $\Delta Q3$ | Q4    |
|----------|--------|-------------|----------|--------------------|---------------------|-----------|-------------|-------|
| -        | -      | (m)         | (m)      | (L/s)              | (m)                 | (L/s)     | (L/s)       | (L/s) |
| ANEL I   | 1-2    | 180,00      | 0,15     | -7,45              | -0,24               | 0,061     | 1,43        | -6,02 |
|          | 2-3    | 385,00      | 0,15     | -5,88              | -0,34               | 0,106     | 1,43        | -4,45 |
|          | 3-4*   | 280,00      | 0,050    | 0,05               | 0,01                | 0,283     | 1,62        | 1,67  |
|          | 4-5    | 450,00      | 0,10     | -3,73              | -1,22               | 0,607     | 1,43        | -2,30 |
|          | 1-5    | 144,00      | 0,15     | 7,85               | 0,22                | 0,051     | 1,43        | 9,28  |
|          |        |             |          | $\Sigma =$         | -1,58               | 1,107     |             |       |
|          |        |             |          | $\Delta Q =$       | 1,43                | L/s       |             |       |
| ANEL II  | 3-4*   | 280,00      | 0,050    | -0,05              | -0,01               | 0,283     | -1,62       | -1,67 |
|          | 4-6    | 368,00      | 0,15     | 5,13               | 0,25                | 0,090     | -0,19       | 4,94  |
|          | 6-7    | 182,00      | 0,10     | 3,65               | 0,48                | 0,241     | -0,19       | 3,46  |
|          | 7-8*   | 200,00      | 0,075    | 2,09               | 0,76                | 0,669     | -0,41       | 1,68  |
|          | 8-9*   | 240,00      | 0,05     | 0,66               | 0,77                | 2,171     | -0,41       | 0,25  |
|          | 3-10   | 246,00      | 0,10     | -4,07              | -0,79               | 0,357     | -0,19       | -4,26 |
| 10-9     | 390,00 | 0,10        | -2,88    | -0,66              | 0,422               | -0,19     | -3,07       |       |
|          |        |             |          | $\Sigma =$         | 0,81                | 4,233     |             |       |
|          |        |             |          | $\Delta Q =$       | -0,19               | L/s       |             |       |
| ANEL III | 9-8*   | 240,00      | 0,05     | -0,77              | -0,77               | 2,171     | 0,41        | -0,25 |
|          | 8-7*   | 200,00      | 0,075    | -0,19              | -0,76               | 0,669     | 0,41        | -1,68 |
|          | 7-13   | 400,00      | 0,05     | 1,25               | 1,25                | 3,572     | 0,22        | 0,87  |
|          | 13-12  | 225,00      | 0,05     | -0,17              | -0,17               | 1,041     | 0,22        | -0,08 |
|          | 12-11  | 275,00      | 0,075    | -0,32              | -0,32               | 0,533     | 0,22        | -0,88 |
|          | 11-9   | 314,00      | 0,075    | -0,30              | -1,22               | 1,063     | 0,22        | -1,90 |
|          |        |             |          | $\Sigma =$         | -1,98               | 9,049     |             |       |
|          |        |             |          | $\Delta Q =$       | 0,22                | L/s       |             |       |

Fonte: Autoria Própria (2018).

## ANEXO B – QUARTA INTERAÇÃO DO MÉTODO DE HARDY CROSS

| Anel     | Trecho | Comprimento | Diâmetro | Vazão Inicial (Q4) | Perda de Carga (h4) | n*(h4/Q4) | ΔQ4   | Q5    |
|----------|--------|-------------|----------|--------------------|---------------------|-----------|-------|-------|
| -        | -      | (m)         | (m)      | (L/s)              | (m)                 | (L/s)     | (L/s) | (L/s) |
| ANEL I   | 1-2    | 180,00      | 0,15     | -6,02              | -0,16               | 0,051     | 1,43  | -6,02 |
|          | 2-3    | 385,00      | 0,15     | -4,45              | -0,20               | 0,084     | 1,43  | -4,45 |
|          | 3-4*   | 280,00      | 0,050    | 1,67               | 2,02                | 3,667     | 1,62  | 1,67  |
|          | 4-5    | 450,00      | 0,10     | -2,30              | -0,50               | 0,402     | 1,43  | -2,30 |
|          | 1-5    | 144,00      | 0,15     | 9,28               | 0,29                | 0,058     | 1,43  | 9,28  |
|          |        |             |          | Σ =                | 1,45                | 1,107     |       |       |
|          |        |             |          | ΔQ =               | -0,34               | L/s       |       |       |
| ANEL II  | 3-4*   | 280,00      | 0,050    | -1,67              | -2,02               | 3,667     | -1,62 | -1,67 |
|          | 4-6    | 368,00      | 0,15     | 4,94               | 0,29                | 0,097     | -0,19 | 4,94  |
|          | 6-7    | 182,00      | 0,10     | 3,46               | 0,59                | 0,266     | -0,19 | 3,46  |
|          | 7-8*   | 200,00      | 0,075    | 1,68               | 0,95                | 0,744     | -0,41 | 1,68  |
|          | 8-9*   | 240,00      | 0,05     | 0,25               | 1,49                | 2,932     | -0,41 | 0,25  |
|          | 3-10   | 246,00      | 0,10     | -4,26              | -0,63               | 0,323     | -0,19 | -4,26 |
|          | 10-9   | 390,00      | 0,10     | -3,07              | -0,48               | 0,364     | -0,19 | -3,07 |
|          |        |             |          | Σ =                | 0,20                | 8,394     |       |       |
|          |        |             |          | ΔQ =               | -0,02               | L/s       |       |       |
| ANEL III | 9-8*   | 240,00      | 0,05     | -0,25              | -1,49               | 2,932     | 0,41  | -0,25 |
|          | 8-7*   | 200,00      | 0,075    | -1,68              | -0,95               | 0,744     | 0,41  | -1,68 |
|          | 7-13   | 400,00      | 0,05     | 0,87               | 1,97                | 4,397     | 0,22  | 0,87  |
|          | 13-12  | 225,00      | 0,05     | -0,08              | -0,03               | 0,478     | 0,22  | -0,08 |
|          | 12-11  | 275,00      | 0,075    | -0,88              | -0,23               | 0,458     | 0,22  | -0,88 |
|          | 11-9   | 314,00      | 0,075    | -1,90              | -1,03               | 0,986     | 0,22  | -1,90 |
|          |        |             |          | Σ =                | -1,76               | 9,995     |       |       |
|          |        |             |          | ΔQ =               | 0,18                | L/s       |       |       |

Fonte: Autoria Própria (2018).

**ANEXO D – COMPARATIVO ENTRE OS DIÂMETROS DOS TRECHOS OBTIDOS PELOS TRÊS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO**

| DIÂMETROS DOS TRECHOS (mm) |             |                |         |
|----------------------------|-------------|----------------|---------|
|                            | MÉTODOS     |                |         |
| TRECHOS                    | HARDY-CROSS | PIMENTEL GOMES | PNL2000 |
| RD-1                       | 200         | 200            | 150     |
| 1-2                        | 150         | 15             | 150     |
| 2-3                        | 100         | 150            | 150     |
| 3-4                        | 50          | 75             | 50      |
| 4-5                        | 100         | 150            | 150     |
| 1-5                        | 150         | 150            | 150     |
| 3-6                        | 150         | 15             | 50      |
| 6-7                        | 100         | 150            | 50      |
| 7-8                        | 75          | 75             | 50      |
| 8-9                        | 50          | 50             | 75      |
| 4-10                       | 100         | 75             | 100     |
| 10-9                       | 100         | 50             | 100     |
| 7-13                       | 50          | 100            | 50      |
| 13-12                      | 100         | 75             | 50      |
| 12-11                      | 50          | 75             | 75      |
| 11-9                       | 75          | 50             | 100     |

É concedida à Universidade Federal de Campina Grande permissão para reproduzir cópias desta monografia e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Santos, Fluanderson Manoel Geraldino

Análise de Projetos de Redes de Distribuição de Água em cidades de pequeno porte / Fluanderson Manoel Geraldino Santos.

Campina Grande, 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais,

Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

Orientador: Prof. Janiro Costa Rêgo

1. Abastecimento 2. Dimensionamento 3. Expansão. I. Universidade Federal de Campina Grande. II. Título