



# **SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA GRANDE VITÓRIA**

## **MUNICÍPIO DE VILA VELHA**



## **SETOR GARRIDO ĩ BAIRROS ATAÍDE E ARIBIRI**

### **DIAGNÓSTICO, ANÁLISE OPERACIONAL E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS**

### **VOLUME I - RELATÓRIO TÉCNICO**



Nº CESAN: A-050-000-00-5-RT-0009  
SETEMBRO DE 2014 ĩ REVISÃO 02

## APRESENTAÇÃO

A **GANEM Engenharia Ltda EPP** apresenta a seguir o diagnóstico, a análise operacional e a proposição de melhorias do Sistema de Abastecimento de Água dos bairros Aribiri e Ataíde, ambos do Setor Garrido, pertencente ao sistema de abastecimento de água da Grande Vitória, localizado no Município de Vila Velha, conforme contrato N° 284/2012, celebrado com a **CESAN ã Companhia Espírito Santense de Saneamento**.

O trabalho será apresentado em volume único.

## SUMÁRIO

|          |                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                          | <b>9</b>  |
| 1.1      | OBJETIVOS .....                                  | 9         |
| 1.2      | METODOLOGIA .....                                | 9         |
| 1.2.1    | Descrição da Metodologia.....                    | 9         |
| 1.2.2    | Simulador EPANET.....                            | 11        |
| <b>2</b> | <b>DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXISTENTE .....</b>      | <b>14</b> |
| 2.1      | INTRODUÇÃO.....                                  | 14        |
| 2.2      | REDES DE DISTRIBUIÇÃO .....                      | 15        |
| <b>3</b> | <b>DADOS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES .....</b>     | <b>17</b> |
| 3.1      | DEMANDA .....                                    | 17        |
| 3.1.1    | Macromedicação .....                             | 17        |
| 3.1.2    | Micromedicação.....                              | 17        |
| 3.2      | PERDAS NO SISTEMA.....                           | 20        |
| <b>4</b> | <b>CALIBRAÇÃO E DIAGNÓSTICO DO SISTEMA .....</b> | <b>22</b> |
| 4.1      | INTRODUÇÃO.....                                  | 22        |
| 4.2      | DADOS UTILIZADOS NA CALIBRAÇÃO .....             | 22        |
| 4.3      | RESULTADOS .....                                 | 33        |
| 4.3.1    | Introdução .....                                 | 33        |
| 4.3.2    | Bairro Aribiri .....                             | 33        |
| 4.3.2.1  | Considerações Gerais. ....                       | 33        |
| 4.3.2.2  | Calibração de Pressão.....                       | 33        |
| 4.3.2.3  | Diagnóstico do Sistema .....                     | 35        |
| 4.3.3    | Bairro Ataíde .....                              | 38        |
| 4.3.3.1  | Considerações Gerais. ....                       | 38        |
| 4.3.3.2  | Calibração de Pressão.....                       | 39        |
| 4.3.3.3  | Diagnóstico da rede de distribuição .....        | 42        |
| <b>5</b> | <b>PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS .....</b>             | <b>45</b> |
| 5.1      | INTRODUÇÃO.....                                  | 45        |
| 5.2      | ESTIMATIVA POPULACIONAL.....                     | 45        |
| 5.3      | CENÁRIO PROPOSTO .....                           | 45        |
| 5.3.1    | Introdução .....                                 | 45        |
| 5.3.2    | Cenário Bairro Aribiri.....                      | 46        |
| 5.3.2.1  | Considerações gerais .....                       | 46        |

|                                                             |                            |           |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------|
| 5.3.2.2                                                     | Booster .....              | 46        |
| 5.3.2.3                                                     | Redes de Distribuição..... | 48        |
| 5.3.2.4                                                     | Resultado do Cenário ..... | 49        |
| 5.3.3                                                       | Cenário Bairro Ataíde..... | 51        |
| 5.3.3.1                                                     | Considerações gerais ..... | 51        |
| 5.3.3.2                                                     | Booster .....              | 51        |
| 5.3.3.3                                                     | Redes de Distribuição..... | 54        |
| 5.3.3.4                                                     | Resultado do Cenário ..... | 55        |
| 5.3.4                                                       | Conclusão .....            | 58        |
| <b>ANEXO I – CURVA DE BOMBA ARIBIRI .....</b>               |                            | <b>60</b> |
| <b>ANEXO II – CURVA DE BOMBA ATAÍDE .....</b>               |                            | <b>61</b> |
| <b>ANEXO III – DIMENSIONAMENTO DO BOOSTER ARIBIRI .....</b> |                            | <b>62</b> |
| <b>ANEXO IV – DIMENSIONAMENTO DO BOOSTER ATAÍDE .....</b>   |                            | <b>66</b> |
| <b>ANEXO V - DESENHOS .....</b>                             |                            | <b>70</b> |



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 ĩ Área do Bairro Aribiri localizada acima da cota 20 m. ....                                                                                                  | 14 |
| Figura 2.2 ĩ Área do Bairro Ataíde localizada acima da cota 20 m. ....                                                                                                   | 15 |
| Figura 3.1 - Variação mensal do consumo micromedido para área estudada dos Bairros Aribiri e Ataíde. ....                                                                | 18 |
| Figura 3.2 ĩ Padrões de consumo nodal utilizado na áreas de estudo: (a) Padrão Aribiri, (b) Padrão Ataíde lado direito, e (c) Padrão Ataíde lado esquerdo. ....          | 19 |
| Figura 4.1 ĩ Localização dos pontos de medição de pressão e identificados respectivamente pelo nome do nó no modelo matemático de calibração para o Bairro Aribiri. .... | 24 |
| Figura 4.2 ĩ Localização dos pontos de medição de pressão identificados respectivamente pelo nome do nó modelo matemático de calibração no bairro Ataíde. ....           | 24 |
| Figura 4.3 ĩ Gráfico diário de pressão para os pontos P01, P02 e P03 medidos do Bairro Aribiri. ....                                                                     | 26 |
| Figura 4.4 ĩ Gráfico diário de pressão para os pontos medidos do Bairro Ataíde para a primeira campanha de medição. ....                                                 | 28 |
| Figura 4.5 ĩ Gráfico diário de pressão na EP existente da linha de 400mm da rua José Ramos de Oliveira ( Rua do Copolido). ....                                          | 29 |
| Figura 4.6 ĩ Gráfico diário de pressão para os pontos P01 e P02 do Bairro Ataíde na segunda campanha de medição. ....                                                    | 29 |
| Figura 4.7 ĩ Medição de todos os dias da primeira campanha para o Bairro Ataíde. ...                                                                                     | 30 |
| Figura 4.8 ĩ Correlação entre a pressão simulada e a pressão medida do Bairro Aribiri. ....                                                                              | 34 |
| Figura 4.9 ĩ Comparação entre a pressão média diária simulada e a pressão média diária medida no Bairro Aribiri ....                                                     | 34 |
| Figura 4.10 ĩ Variação horária de pressão nos nós: (a) N310 ĩ P01, (b) N338 ĩ P02, (c) N297 ĩ P03 para o bairro Aribiri. ....                                            | 35 |
| Figura 4.11 ĩ Variação espacial da pressão às 4:00 h (menores consumos) ĩ Bairro Aribiri. ....                                                                           | 36 |
| Figura 4.12 ĩ Variação espacial da pressão às 11:30 h (maiores consumos) ĩ Bairro Aribiri. ....                                                                          | 37 |
| Figura 4.13 - Variação espacial da perda de carga as 11:30 h (maior consumo). ....                                                                                       | 38 |
| Figura 4.14 ĩ Correlação entre a pressão simulada e a pressão medida para a calibração no Bairro Ataíde. ....                                                            | 39 |

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.15 ĩ Comparação entre a pressão média diária simulada e a pressão média diária medida para o Bairro Ataíde .....                                           | 39 |
| Figura 4.16 ĩ Variação horária de pressão nos nós: (a) N180 (P-EP), (b) N151 (P01), (c) N85 (P02), (d) N32 (P03), (e) N86 (P04), (e) N87 (P05), (g) N210 (P06)..... | 40 |
| Figura 4.17 ĩ Variação espacial da pressão às 4:00 h (menores consumos). ....                                                                                       | 42 |
| Figura 4.18 ĩ Variação espacial da pressão às 12:00 h (maiores consumos).....                                                                                       | 43 |
| Figura 4.19 - Variação espacial da perda de carga as 12:00 h (maior consumo).....                                                                                   | 44 |
| Figura 5.1 ĩ Localização do Booster Aribiri. ....                                                                                                                   | 46 |
| Figura 5.2 ĩ Pressão no N338, ponto mais alto da área em torno da cota 29 metros. ....                                                                              | 47 |
| Figura 5.3 ĩ Pressão no N349, ponto mais baixo da área em torno da cota 3 metros. ....                                                                              | 48 |
| Figura 5.4 ĩ Pressão nos nós N11 e N12, sucção e recalque respectivamente.....                                                                                      | 48 |
| Figura 5.5 ĩ Variação espacial da pressão no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 4h (menores demandas). ....                                              | 50 |
| Figura 5.6 ĩ Variação espacial da pressão no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 13h (maiores demandas).....                                              | 50 |
| Figura 5.7 ĩ Variação espacial da perda de carga no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 13h (maiores demandas). ....                                      | 51 |
| Figura 5.8 ĩ Localização do Booster Ataíde.....                                                                                                                     | 52 |
| Figura 5.9 ĩ Pressão no N223, ponto mais alto da área em torno da cota 33.6 metros. ....                                                                            | 53 |
| Figura 5.10 ĩ Pressão no N58, ponto mais baixo da área em torno da cota 3 metros. ....                                                                              | 54 |
| Figura 5.11 ĩ Pressão nos nós N7 e N4, sucção e recalque respectivamente.....                                                                                       | 54 |
| Figura 5.12 ĩ Variação espacial da pressão no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 4h (menores demandas). ....                                             | 56 |
| Figura 5.13 ĩ Variação espacial da pressão no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 12h (maiores demandas).....                                             | 57 |
| Figura 5.14 ĩ Variação espacial da perda de carga no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 13h (maiores demandas). ....                                     | 57 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1 ĩ Comprimentos das redes de distribuição e das adutoras existentes por diâmetro do Bairro Aribiri. .... | 16 |
| Tabela 2.2 ĩ Comprimentos das redes de distribuição e das adutoras existentes por diâmetro do Bairro Ataíde. ....  | 16 |
| Tabela 3.1 ĩ Resumo dos dados de consumo e perdas na área de estudo.....                                           | 21 |
| Tabela 4.1 ĩ Valores horários dos pontos de pressão medidos no Bairro Aribiri. ....                                | 31 |
| Tabela 4.2 ĩ Valores horários dos pontos de pressão medidos no Bairro Ataíde. ....                                 | 32 |
| Tabela 5.1 - Características dos conjuntos motobomba projetados para o Booster Aribiri. ....                       | 47 |
| Tabela 5.2 - Comprimento de rede por diâmetro ĩ Bairro Aribiri. ....                                               | 49 |
| Tabela 5.3 - Características dos conjuntos motobomba projetados para o Booster Ataíde.....                         | 53 |
| Tabela 5.4 - Comprimento de rede por diâmetro ĩ Bairro Ataídei. ....                                               | 55 |

## **RELATÓRIO**

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Objetivos

O contrato nº 284/2012 celebrado entre a CESAN e a GANEM Engenharia Ltda prevê o desenvolvimento do estudo de vários setores do sistema de abastecimento de água da Grande Vitória. Cada estudo deve contemplar o diagnóstico, a análise operacional e a proposição de soluções de melhorias para o respectivo sistema de abastecimento de água. Tais melhorias podem ser de caráter imediato, ou seja, para solucionar problemas da situação atual, ou podem considerar um determinado ano de alcance do projeto, conforme definição prévia e individual assumida pela contratante.

A CESAN vem vivenciando problemas na distribuição de água em toda a região metropolitana, gerando constantes reclamações por parte dos usuários. Estes problemas são ainda mais evidenciados nos períodos de maiores temperaturas, os quais provocam um aumento no consumo de água, além do agravamento ocorrido ao longo do tempo devido ao crescimento da população.

Nesse contexto, o presente estudo tem por objetivo realizar o diagnóstico, a análise operacional e propor soluções de melhorias para determinadas áreas dos bairros Ataíde e Aribiri, localizados no Setor Garrido.

## 1.2 Metodologia

### 1.2.1 Descrição da Metodologia

A metodologia utilizada neste estudo resume-se em quatro fases: (i) a modelagem do sistema de distribuição a partir do *software* EPANET; (ii) a calibração do mesmo; (iii) o diagnóstico do sistema existente a partir da simulação dinâmica do modelo em período mínimo de 24 horas; e (iv) a proposição de cenários com melhorias no abastecimento de água do setor, conforme horizonte definido pela contratante.

A primeira fase, **de modelagem do sistema**, consiste na reunião do maior número de dados pertinentes ao estudo e do lançamento destes dados no simulador EPANET. Esta fase se inicia com a avaliação dos dados cadastrais .

Após esta avaliação faz-se uma visita a localidade, a fim de se conversar com a equipe de gestores e operadores e se levantar as informações pertinentes a operação do sistema. Na sequência todas as informações física e operacionais obtidas são lançadas no EPANET, configurando o cadastro do sistema.

A fase de calibração consiste no carregamento do modelo com as vazões consumidas e perdidas no sistema, e no refinamento do cadastro físico e das informações de operação, de forma a obter do modelo matemático de sistema resultados compatíveis com dados reais de vazão, pressão, medidos em campo.

Para nortear a fase de calibração solicita-se à equipe de pitometria da CESAN a realização de uma campanha de medição de vazão e pressão em diversos pontos pré-determinados do sistema. A duração da campanha deve ser de no mínimo 48 horas, e preferencialmente, de forma simultânea para todos os pontos solicitados. Durante o período de medição devem ser anotados a descrição e os horários de todas as manobras realizadas no sistema, programadas ou não, como o fechamento parcial ou total de válvulas.

A distribuição dos consumos nos nós do modelo se baseia nos volumes consumidos por ligação georreferenciada. Nesta fase são utilizadas as informações do volume micromedido de água por ligação, oriundas do INFOGEO. O ideal seria a utilização destes dados referentes ao mês no qual ocorreu a campanha de medições de campo (vazão e pressão) que norteia a calibração, no entanto, dado que a periodicidade das leituras dos hidrômetros é mensal, e a defasagem entre a leitura e o processamento total das informações é de cerca de um mês, na maioria dos casos torna-se inviável a sua utilização, pois teria um grande impacto no tempo dos estudos. Proceda-se então a uma avaliação dos dados dos últimos meses a fim de se determinar, por projeção, o consumo para o mês desejado.

Sabe-se que as vazões macromedidas correspondem a soma das vazões micromedidas e das perdas. Utilizou-se o índice de perdas já calculado em estudos anteriores realizado pela Ganem Engenharia para estimar a vazão macro. A distribuição das perdas totais é dividida em perdas físicas e perdas. De acordo com estudo, para o município de Vila Velha obteve-se um índice de 50 % de perdas, sendo 35 % perdas físicas e 65 % perdas aparentes.

O consumo nodal no modelo pode ser dividido em duas parcelas. A primeira parcela corresponde ao consumo efetivo dos clientes, determinada pela soma do consumo micromedido com as perdas aparentes e podendo ser afetado por um padrão de consumo horário pré-estabelecido. A segunda parcela corresponde a uma saída de vazão que depende diretamente das pressões existente no ponto, e pode ser utilizada para simular as fugas do sistema, ou seja, as perdas reais.

Utiliza-se a metodologia dos polígonos de Thiessen para distribuir os consumos das ligações de água aos nós do modelo. A parcela de perdas aparentes atribuída a cada nó é proporcional a este consumo micromedido. Já a parcela de perdas aparentes atribuída ao nó leva em conta o semicomprimento dos trechos que convergem para este nó.

A fase de diagnóstico baseia-se nos resultados da simulação em tempo estendido do modelo matemático do sistema, previamente calibrado. Esta fase permite que seja efetuada a análise operacional do sistema, ou seja, permite conhecer em detalhes o seu comportamento ao longo do dia.

No diagnóstico são avaliados vários parâmetros, entre os quais, os resultados de (i) pressão, que indicam as regiões que trabalham com baixas pressões ou com pressões excessivas; (ii) perda de carga, revelando os trechos que trabalham com perdas de carga excessivas.

O conhecimento da realidade operacional do sistema de distribuição permite intervir nas deficiências do mesmo de forma sistematizada, propondo cenários mais otimizados que melhorem substancialmente a eficiência do sistema de abastecimento.

Foi avaliado um cenário de projeto para atender ao alcance final de 10 anos, viabilizando melhorar o abastecimento da área.

### **1.2.2 Simulador EPANET**

O simulador hidráulico utilizado no presente trabalho foi o *software* EPANET 2.0, desenvolvido e distribuído gratuitamente pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (*EPA U. S. Environmental Protection Agency*). A seguir é realizada uma breve apresentação deste *software* e no item seguinte é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento do presente trabalho.

O Simulador EPANET compreende um conjunto de funções que permitem efetuar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em sistemas de distribuição de água sob pressão. Este modelo utiliza o método híbrido nó-malha para resolver as equações da continuidade, da conservação da energia e da lei de resistência ao escoamento, que caracterizam as condições de equilíbrio hidráulico da rede num dado instante.

O EPANET modela um sistema de distribuição de água como sendo um conjunto de elementos ligados aos nós, elementos estes que representam as tubulações, bombas e válvulas de controle, e os nós representam ligações entre os diversos elementos, assim como reservatórios de nível fixo (RNF) e de nível variável (RNV).

O EPANET apresenta um ambiente gráfico integrado para edição do modelo hidráulico e dos cenários a serem simulados, permite a execução de simulações hidráulicas e de qualidade da água e possibilita a visualização dos resultados em vários formatos, inclusive compatíveis com a utilização em ambientes de edição de texto ou de cálculo. Sua interface gráfica permite examinar mapas da rede com auxílio de códigos de cores, além de apresentar desenhos gráficos de séries temporais, perfis de tubulação, mapas de pressões, frequências e outros.

Segue a descrição de algumas das características pertinentes ao módulo de simulação hidráulica do software EPANET:

- Dimensão ilimitada da rede em termos de número de elementos;
- Cálculo da perda de carga contínua nas tubulações de acordo com a fórmula de *Hazen-Williams*, de *Chezy-Manning* ou de *Darcy-Weisbach*;
- Consideração das perdas de carga localizadas em peças, como perdas em curvas, ampliações e reduções, etc.;
- Modelação de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;
- Modelação dos principais tipos de válvulas como de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão;
- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável de diversas formas, a partir de curvas de volume em função da altura do nível de água;
- Adição de múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação temporal;
- Modelação de dispositivos para os quais a vazão dependa da pressão no nó, como aspersores de rega. Estes dispositivos também podem ser utilizados para simular perdas em tubulações ou a vazão de combate a incêndio num nó;
- Configuração das condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição, como o período do dia, ou a altura de água em um reservatório de nível variável; ou em controles com condições múltiplas, como desligar / ligar a bomba e abrir / fechar a tubulação de *by-pass*, verificar quando a altura de água no reservatório de nível variável está acima / abaixo de um determinado valor especificado;
- Edição de uma propriedade para um grupo de objetos pertencentes a uma zona definida pelo utilizador;
- Exploração de diferentes possibilidades de visualização do mapa da rede a partir da personalização da caixa de diálogo de Opções do Mapa;
- Utilização de uma imagem de fundo no esquema da rede, em escala, evitando a necessidade da digitação do comprimento dos trechos;
- Criação de diferentes tipos de gráficos, tais como gráficos de perfil e gráficos de isolinhas;
- Adição de dados de medições ao projeto para calibração do modelo e visualização do relatório de calibração;



- Migração de gráficos e relatórios do mapa da rede para o *clipboard* ou para arquivos no formato de imagem ou como arquivo de dados ASCII;
- Importação / exportação de um cenário projetado, como por exemplo, um cenário com os consumos nodais correntes, ou um cenário de valores de rugosidade para as tubulações.

Nos próximos itens estão descritos as características do sistema estudado, o diagnóstico da situação atual e as intervenções necessárias em cada um dos cenários propostos.



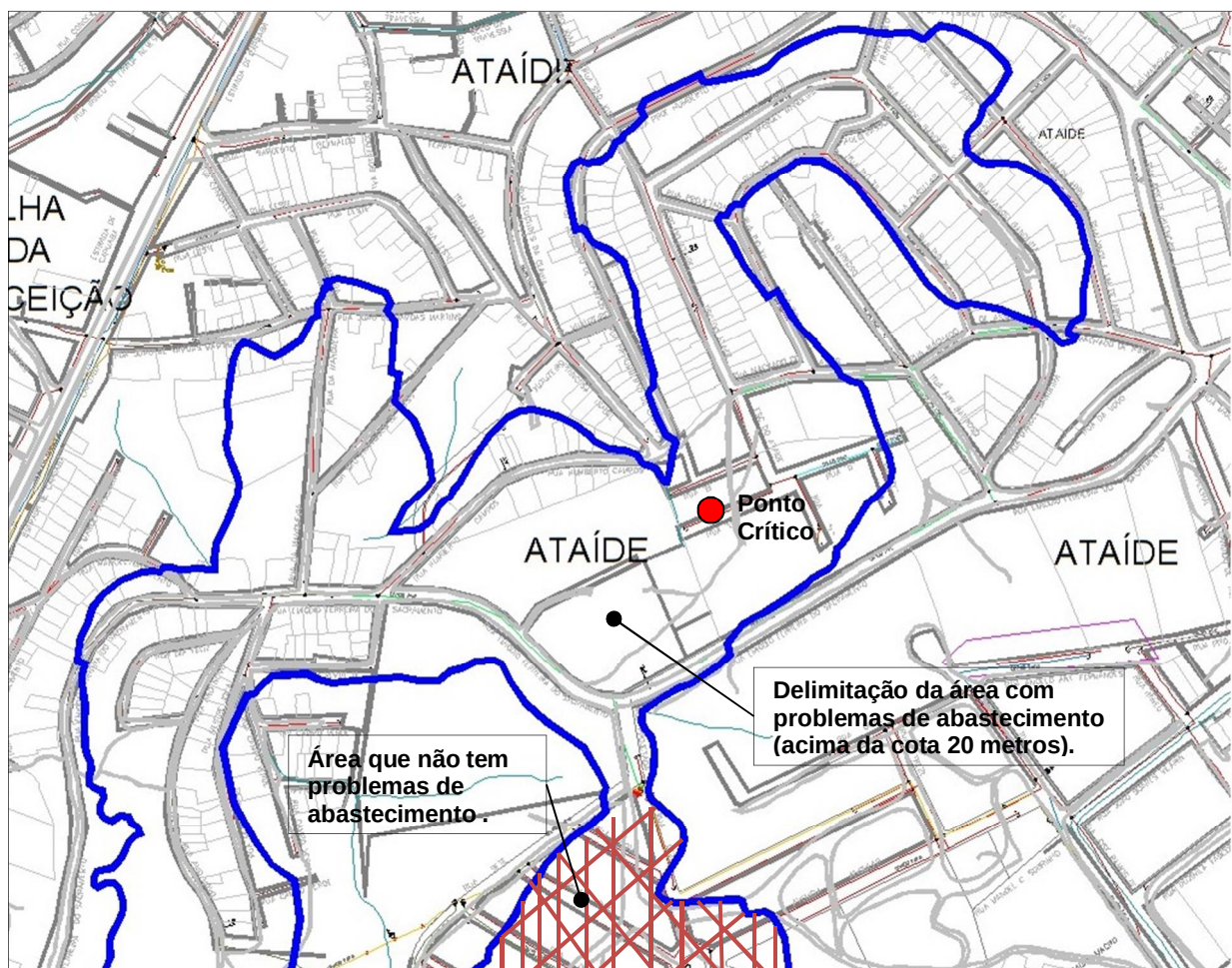


Figura 2.2 ĩ Área do Bairro Ataíde localizada acima da cota 20 m.

A linha azul marcada nos mapas corresponde a curva de nível de 20 metros. Os pontos críticos dos Bairros Aribiri e Ataíde estão localizados no entorno da cota 29 metros.

Na Figura 2.2 é possível perceber que há uma área destacada, que está acima da cota 20 metros, porém, segundo informações da equipe técnica da CESAN não apresenta problemas de abastecimento.

O estudo desta área tem como principais objetivos: (i) garantir um abastecimento contínuo para a população residente na área, (ii) facilitar a operação do sistema, e (iii) otimizar as pressões no sistema com a criação de *boosters* e redes.

## 2.2 Redes de distribuição

De acordo com o cadastro da CESAN, as redes de distribuição da área estudada apresentam diâmetros variando entre 12 e 150 mm, totalizando um comprimento de aproximadamente 4.2 km e 14.9 km para os bairros Aribiri e Ataíde, respectivamente. Os comprimentos por diâmetro estão relacionados na Tabela 2.1 e Tabela 2.2 a seguir.

Tabela 2.1 i Comprimentos das redes de distribuição e das adutoras existentes por diâmetro do Bairro Aribiri.

| Diâmetro (mm) | Comprimento (m) |
|---------------|-----------------|
| 20            | 28.54           |
| 25            | 140.00          |
| 50            | 3001.97         |
| 75            | 305.91          |
| 100           | 621.22          |
| 150           | 88.80           |
| <b>Total</b>  | <b>4186.44</b>  |

Tabela 2.2 i Comprimentos das redes de distribuição e das adutoras existentes por diâmetro do Bairro Ataíde.

| Diâmetro (mm) | Comprimento (m) |
|---------------|-----------------|
| 12            | 18.45           |
| 25            | 473.79          |
| 40            | 93.55           |
| 50            | 10805.09        |
| 75            | 1215.92         |
| 100           | 1103.26         |
| 250           | 109.82          |
| 400           | 1119.59         |
| <b>Total</b>  | <b>14939.47</b> |

### 3 DADOS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES

#### 3.1 Demanda

##### 3.1.1 Macromedicação

Para determinação da vazão distribuída no sistema foram avaliados os dados de micromedicação e perdas. Sabe-se que a macromedicação é a soma da micromedicação e das perdas. Em estudos anteriores, já realizados pela GANEM ENGENHARIA, foi calculado um índice de perdas de 50% para o município de Vila Velha, sendo 35% perdas físicas e 65% perdas aparentes. Como o consumo micromedido e as perdas são dados conhecidos, então, estimou o consumo macromedido.

Não foi possível realizar medições de vazões nas áreas estudadas, pois existem várias entradas de água e as redes são muito finas.

##### 3.1.2 Micromedicação

Para avaliar a demanda da área de estudo foram utilizados as informações georreferenciadas constantes no banco de dados comercial da CESAN (INFOGEO). Os dados foram disponibilizados em forma de arquivo do tipo *shapefile* contendo a posição georreferenciada e as informações de consumo micromedido (últimos 12 meses), tipo e situação atual das ligações, para cada usuário do sistema.

Conforme metodologia apresentada no Capítulo 1 deste relatório, cria-se no software EPANET o modelo matemático que representa o sistema de abastecimento de água em estudo.

Com o auxílio do *software* ArcGis, foi possível efetuar-se o processamento dos dados de consumo de forma integrada ao modelo matemático do sistema. Algumas rotinas computacionais desenvolvidas especificamente para este trabalho viabilizou a sua execução.

Inicialmente criou-se um polígono representativo da área de estudo. Em seguida foram criados polígonos de influência para cada nó do modelo matemático desenvolvido em EPANET. Promoveu-se a interseção desta malha de polígonos com as informações georreferenciadas dos clientes do sistema. Esta interseção permitiu definir, com bastante precisão, o grupo de clientes que deveriam ter o seu consumo contabilizado em cada nó do modelo. Assim sendo, tornou-se possível contabilizar, para cada nó do modelo, qualquer informação constante no cadastro comercial dos clientes. No presente caso foram contabilizados o consumo micromedido mensal e número de economias para cada nó do modelo.



Para se prosseguir com o balanço de vazão no sistema é necessário dispor das micromedições (consumos dos clientes) e macromedições (estimada pela GANEM de acordo com o índice de perdas) referentes ao mesmo período. Como a campanha foi realizada ao final de Julho, precisava-se dos dados de consumo do mês de Agosto, que reflete o consumo de Julho, porém esses dados só estarão disponíveis em Setembro. Aguardar esses dados acarretaria em um atrasado do estudo, então por se tratar de uma área muito pequena, e com pequenas variações de consumo micromedido, optou-se por utilizar os dados do mês de Junho (o mês mais recente disponível) para fazer a distribuição.

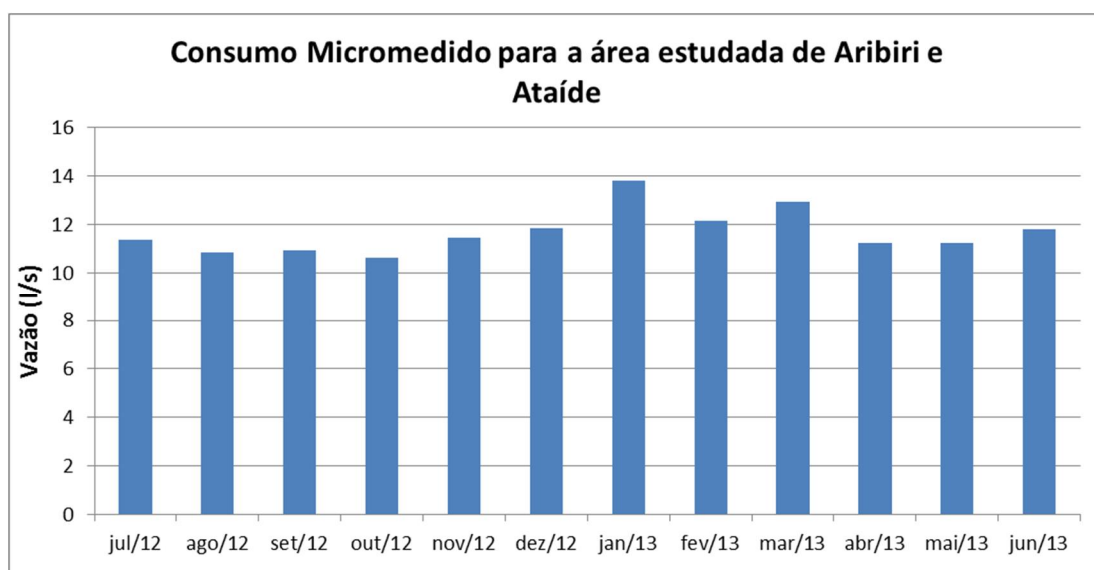


Figura 3.1 - Variação mensal do consumo micromedido para área estudada dos Bairros Aribiri e Ataíde.

Os valores médios de vazão macromedida, vazão micromedida e economias contabilizadas para cada área de estudo foram os seguintes:

#### **Aribiri**

- Consumo macromedido (estimado): 7.40 l/s;
- Consumo micromedido: 3.70 l/s;
- Número de ligações: 544 unidades.

#### **Ataíde**

- Consumo macromedido (estimado): 16.18 l/s;
- Consumo micromedido: 8.09 l/s;
- Número de ligações: 1 332 unidades.

Foram utilizados 3 padrões de consumo diferentes na área de estudo, sendo: (i) Padrão Aribiri, que abrange a área estudada do Bairro Aribiri. (ii) Padrão Ataíde lado

direito, e (iii) Padrão Ataíde lado esquerdo que abrange a área estudada no Bairro Ataíde dos lados esquerdo e direito respectivamente. Houve a necessidade de criar dois padrões de consumo para a área de Ataíde, pois se ajustavam de melhor forma na calibração. A Figura 3.2 apresenta esses padrões.

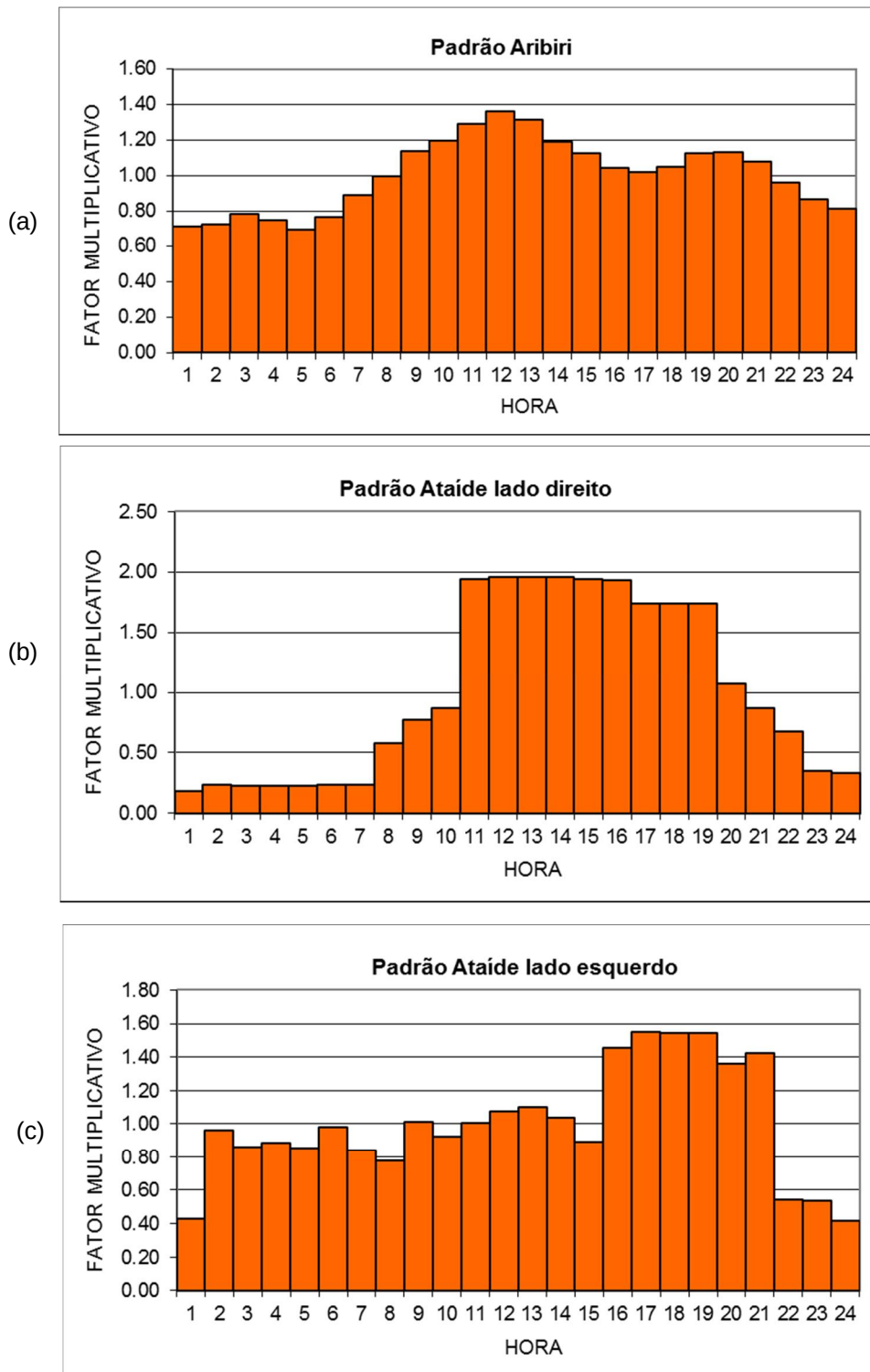


Figura 3.2 ĩ Padrões de consumo nodal utilizado na áreas de estudo: (a) Padrão Aribiri, (b) Padrão Ataíde lado direito, e (c) Padrão Ataíde lado esquerdo.

### 3.2 Perdas no Sistema

A simulação hidráulica do setor não contempla um estudo de perdas no sistema de distribuição. O volume total de perdas no sistema é determinado pela diferença entre os volumes macromedido e micromedido contabilizados na área de estudo. Posteriormente, este volume é dividido em duas parcelas: (i) uma correspondendo às perdas aparentes ou comerciais, e (ii) a outra, referindo às perdas reais.

As perdas aparentes (ou perdas não físicas de água) são constituídas pelos consumos não autorizados - furto a uso ilícito, e pelos erros de medição dos hidrômetros. As perdas reais (ou perdas físicas de água) correspondem ao volume perdido no sistema de adução e distribuição através de fugas, rupturas e extravasamentos e que podem ocorrer na captação, adução, tratamento, reserva e distribuição (incluindo os ramais de serviço), até ao hidrômetro do cliente.

Avaliando as características do município, e os estudos realizados anteriormente pela GANEM ENGENHARIA, estimou-se que 35% das perdas corresponderiam às perdas físicas, e por consequência 65% das perdas corresponderiam às perdas aparentes, resultando na distribuição seguinte:

#### Ataide

- Perdas Totais: 8.09 l/s;
- Perdas Reais: 2.85 l/s;
- Perdas Aparentes: 5.24 l/s.

#### Aribiri

- Perdas Totais: 3.70 l/s;
- Perdas Reais: 1.30 l/s;
- Perdas Aparentes: 2.40 l/s.

A parcela de perdas aparentes ou comerciais é tratada exatamente como consumo, ou seja, é distribuída entre os nós do modelo conforme metodologia apresentada no subitem 1.2.1, e acaba por sofrer variação horária conforme curva de consumo pré-estabelecida.

A parcela de perdas reais é distribuída por todos os nós do modelo, sendo ponderada pelo comprimento de todos os trechos que convergem para este ponto, uma vez que visam reproduzir a água perdida por vazamentos existentes nas tubulações. Esta parcela de perdas sofre variação horária proporcional às pressões existentes nos respectivos nós. Dessa forma, o consumo efetivo do setor é dado pelo volume macromedido subtraindo-se deste as perdas reais, ou pela soma do consumo micromedido com a parcela de perdas aparentes.



A Tabela 3.1 apresenta um resumo dos dados médios de consumo e perdas avaliados para a área de estudo.

Tabela 3.1 – Resumo dos dados de consumo e perdas na área de estudo.

| <b>Parâmetros</b>                       | <b>Ataíde</b> | <b>Aribiri</b> | <b>Total</b> |
|-----------------------------------------|---------------|----------------|--------------|
| Vazão macromedida estimada (l/s)        | 16.18         | 7.39           | 23.57        |
| Consumo micromedido (l/s)               | 8.09          | 3.70           | 11.79        |
| Volume total de perdas (l/s)            | 8.09          | 3.70           | 11.79        |
| Índice de perdas total (%)              | 50            | 50             | 50           |
| Índice de perdas reais relativo (%)     | 35            | 35             | 35           |
| Índice de perdas aparentes relativo (%) | 65            | 65             | 65           |
| Índice de perdas reais absoluto (%)     | 18            | 18             | 18           |
| Índice de perdas aparentes absoluto (%) | 33            | 33             | 33           |
| - Volume de perdas reais (l/s)          | 2.85          | 1.28           | 4.13         |
| - Volume de perdas aparentes (l/s)      | 5.26          | 2.40           | 7.66         |
| Volume efetivamente consumido (l/s)     | 13.35         | 6.10           | 19.45        |
| Número de economias (un)                | 544           | 1332           | 1876         |

## **4 CALIBRAÇÃO E DIAGNÓSTICO DO SISTEMA**

### **4.1 Introdução**

Para otimizar a gestão de sistemas de abastecimento de água é necessário conhecer, em pormenor, a forma como o consumo de água se processa no tempo e no espaço, assim como os fatores que o afetam e o condicionam. Trata-se de um problema muito abrangente, cuja solução deve se basear na conjugação de informações inerentes a várias áreas de conhecimento, tais como: a técnica, a operacional, a de manutenção e a de obras.

A definição da concepção operacional de um sistema de abastecimento de água constitui-se por um conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e informações necessárias para caracterizar tal sistema. A caracterização física dos componentes do sistema em conjunto com as informações pertinentes ao consumo de água do setor é de fundamental importância para a modelagem hidráulica e consequentemente para o diagnóstico do sistema estudado. O diagnóstico do sistema foi determinado a partir dos resultados das simulações com base no modelo matemático calibrado desenvolvido no *software* EPANET.

### **4.2 Dados utilizados na calibração**

Para calibrar o sistema é necessário dispor de medições de campo de alguns parâmetros do sistema. Neste estudo foram obtidas medições de pressão em vários pontos da área de estudo.

Para o presente sistema, no bairro Aribiri as medições de pressão, que compreendem um levantamento continuado, tiveram início às 08:30 horas do dia 29 de Julho e término às 15:00 horas do dia 02 de Agosto de 2013. Com este intervalo de medição foi possível dispor de ao menos três dias ininterruptos, o que permite uma confirmação dos dados apurados.

Já no bairro Ataíde as medições de pressão, que compreendem um levantamento continuado, tiveram início às 00:00 horas do dia 25 de Julho e término às 23:50 horas do dia 26 de Julho de 2013. Com este intervalo de medição foi possível dispor de ao menos dois dias ininterruptos, o que permite uma confirmação dos dados apurados.

No entanto, julgou-se necessário também medir a vazão e pressão na EP existente na rua linha de 400mm da rua José Ramos de Oliveira ( Rua do Copolido), próximo a Carlos Linderberg. Dessa forma, a medição do ponto da EP foi feita entre os dias 13 de

Agosto de 2013 com início às 12:00 horas e término dia 16 de Agosto de 2013 às 10:30 horas.

Após a equipe de pitometria da CESAN apresentar os resultados medidos nesses pontos nos dias citados, com uma análise percebeu-se que ocorreu um erro de medição nos pontos P01 e P02. Dessa forma, em conformidade com a equipe de pitometria solicitou uma segunda campanha de medição apenas para os pontos P01 e P02.

Analisando os dados obtidos entre a primeira e a segunda campanhas de medição, percebeu-se que houve algumas divergências entre os dados. Pois, os dados medidos na primeira campanha representavam valores de pressão mais baixos para os pontos do sistema. E os dados medidos na segunda campanha representavam valores de pressão mais altos. Como a primeira e a segunda campanha foram realizadas em dias diferentes julgou-se necessário medir a pressão instantânea de cada ponto, dessa maneira confirmaria com qual pressão o sistema estaria operando.

A medição das pressões instantâneas nos pontos do Bairro Ataíde ocorreu no dia 24/09/2013, das 14 às 15 horas.

A localização dos pontos de medição foi determinada pela GANEM, em conjunto com a equipe de pitometria da CESAN. Os resultados obtidos estão apresentados a seguir.

Para a calibração do sistema foram realizadas medições de pressão em três pontos para o Bairro Aribiri e em sete pontos no Bairro Ataíde. A localização dos pontos de calibração pode ser verificada na Figura 4.1 e na Figura 4.2, apresentada a seguir.

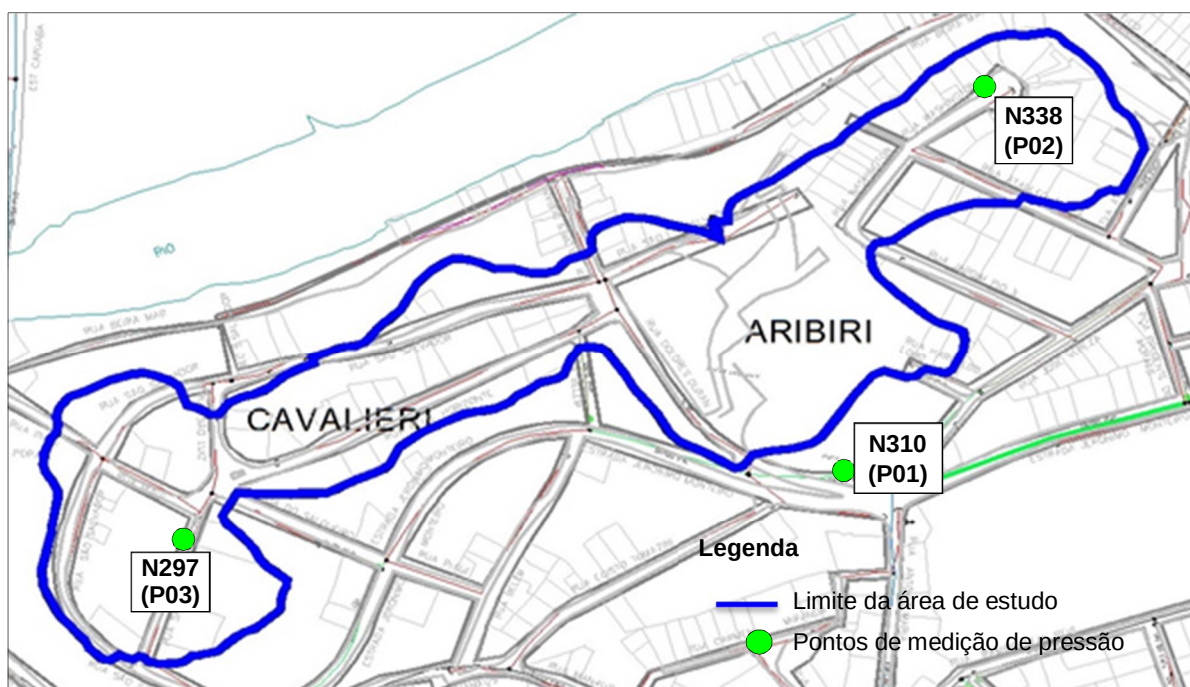


Figura 4.1 ĩ Localização dos pontos de medição de pressão e identificados respectivamente pelo nome do nó no modelo matemático de calibração para o Bairro Aribiri.

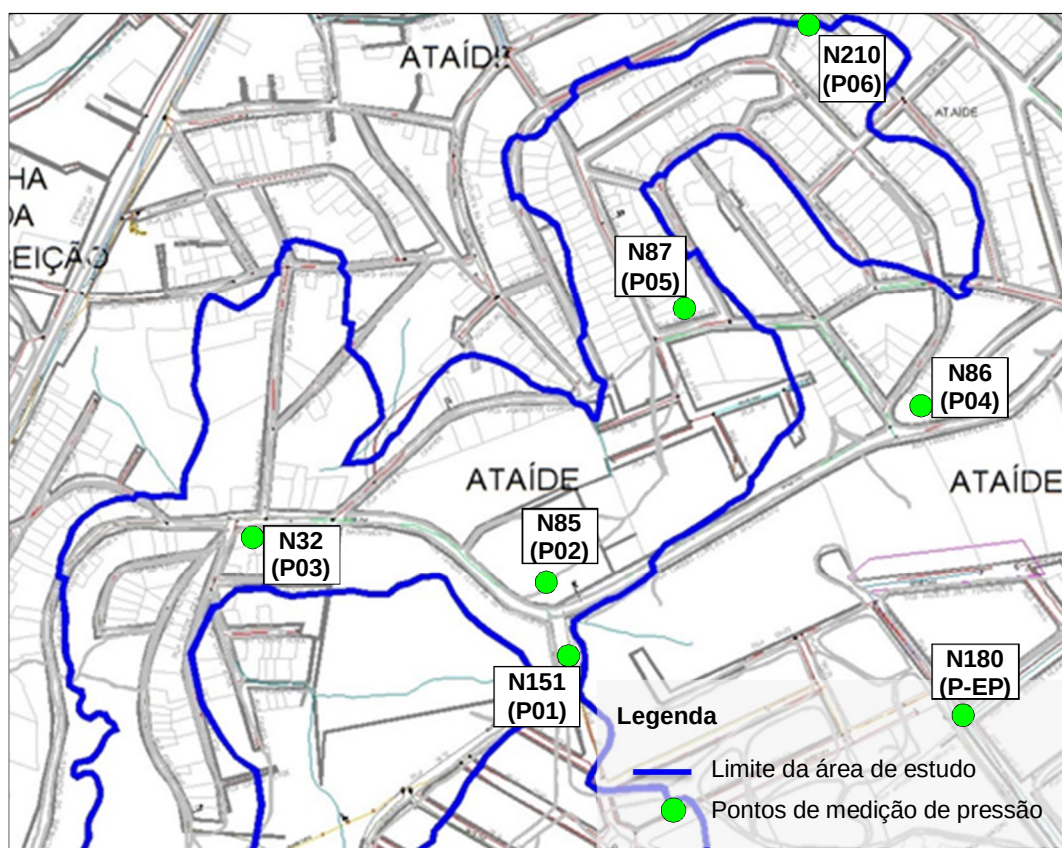


Figura 4.2 ĩ Localização dos pontos de medição de pressão identificados respectivamente pelo nome do nó modelo matemático de calibração no bairro Ataíde.

A Figura 4.1 apresenta os pontos de medição da área estudada do Bairro Aribiri estão marcados em planta os pontos N310 (P01), N338 (P02), N297 (P03).

A Figura 4.2 apresenta os pontos de medição da área estudada do Bairro Ataíde estão marcados em planta os pontos N180 (P-EP), N151 (P01), N85 (P02), N32 (P03), N86 (P04), N87 (P05), N210 (P06).

Os resultados das medições de pressão foram agrupados em gráficos diários, com o intuito de facilitar a análise e de verificar possíveis inconsistências nas medições. A Figura 4.3 e a Figura 4.4 apresentam esses gráficos para as áreas de Aribiri e Ataíde, respectivamente.

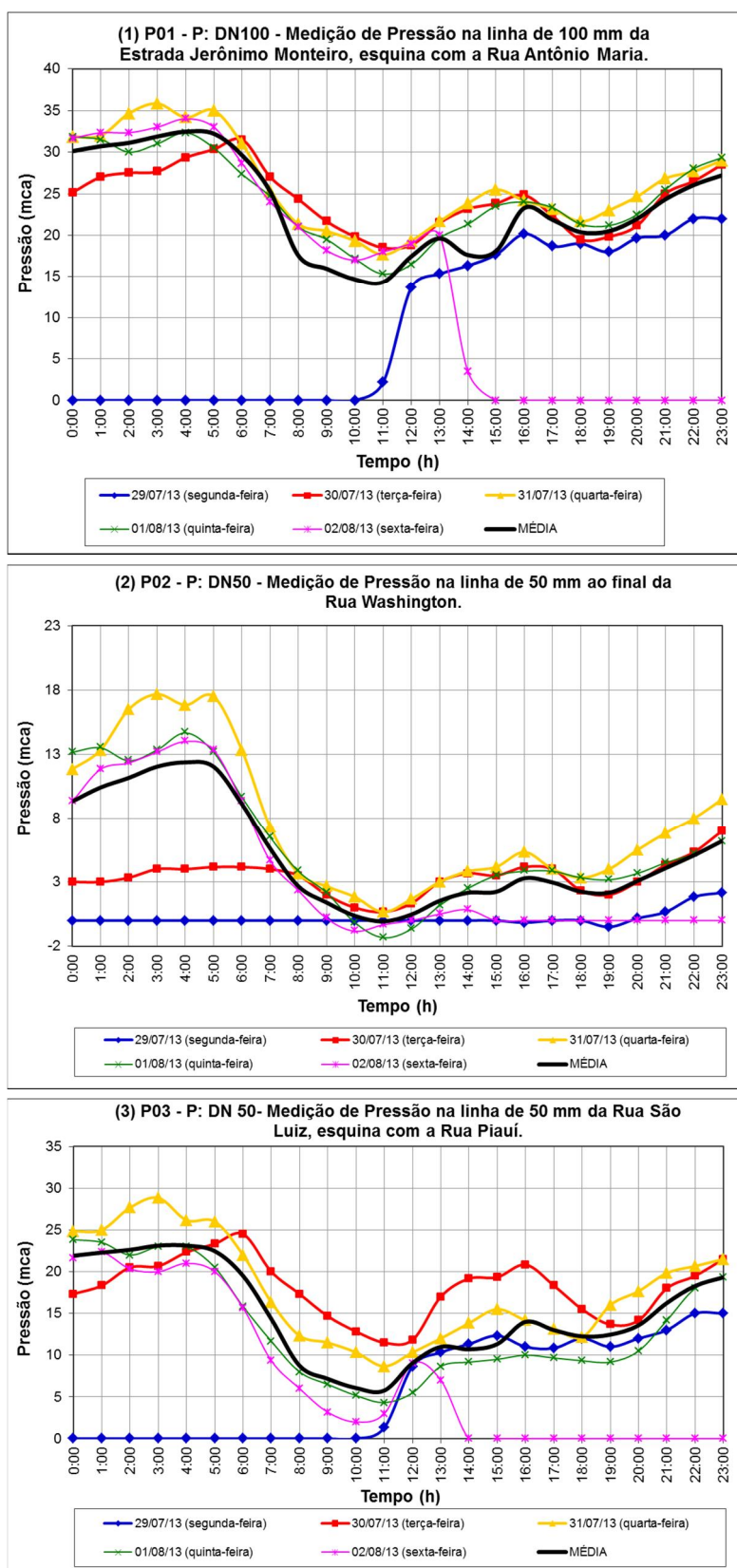


Figura 4.3 ĩ Gráfico diário de pressão para os pontos P01, P02 e P03 medidos do Bairro Aribiri.



Conforme já mencionado anteriormente a duração total da campanha, para o Bairro Aribiri foi de quatro dias incompletos (29/07/2013 a 02/08/13), o que resulta em resultados completos para apenas três dias (30/07/13, 31/07/13 e 01/08/13). Após avaliados os gráficos diários de todos os pontos medidos na campanha, optou-se pela utilização dos resultados do dia 01 de Agosto (quinta-feira) para servirem de parâmetro para a calibração do modelo matemático do sistema por estes apresentaram melhor continuidade temporal e maior uniformidade para todos os pontos de medição avaliados.



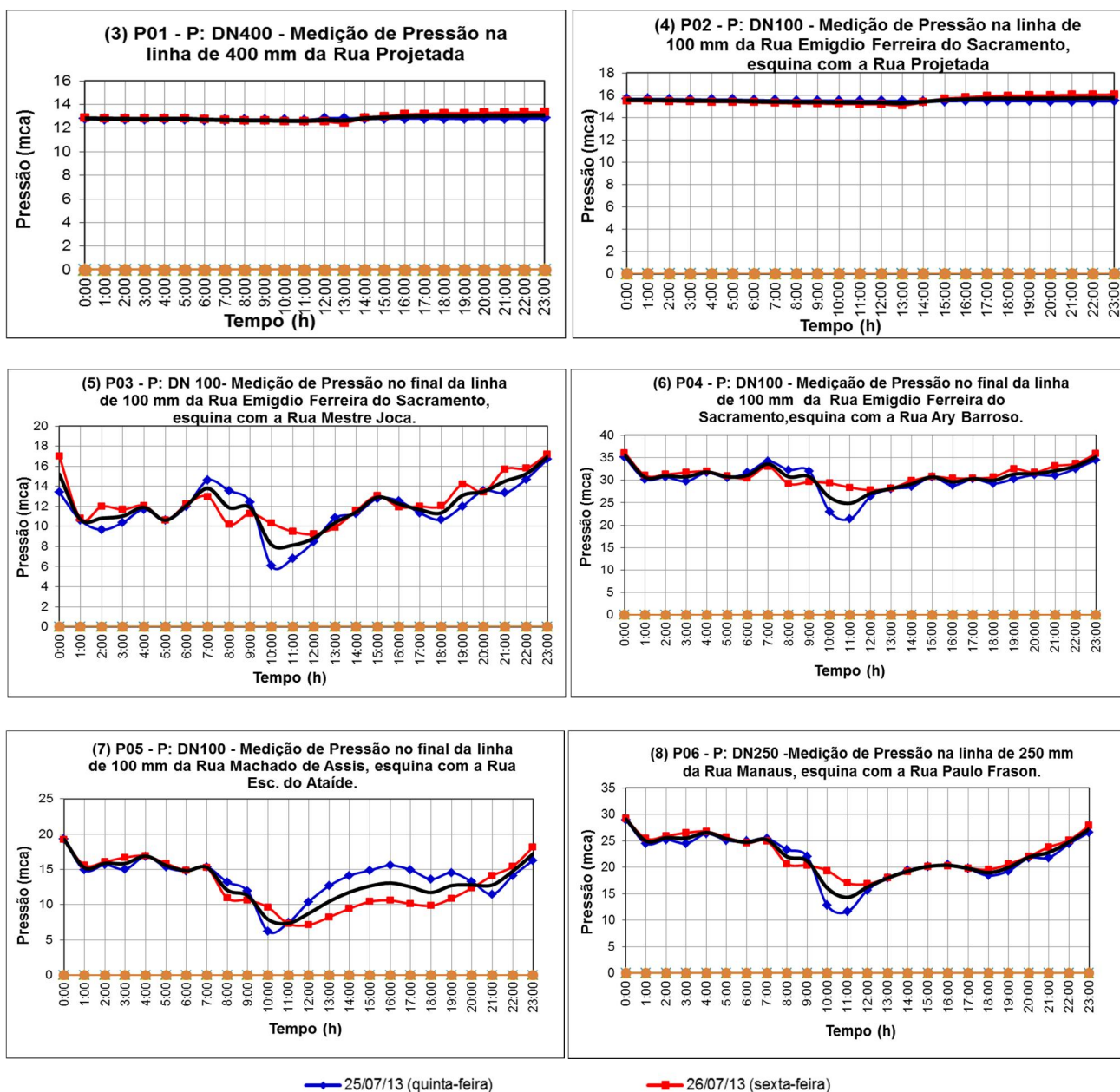


Figura 4.4 ĩ Gráfico diário de pressão para os pontos medidos do Bairro Ataíde para a primeira campanha de medição.

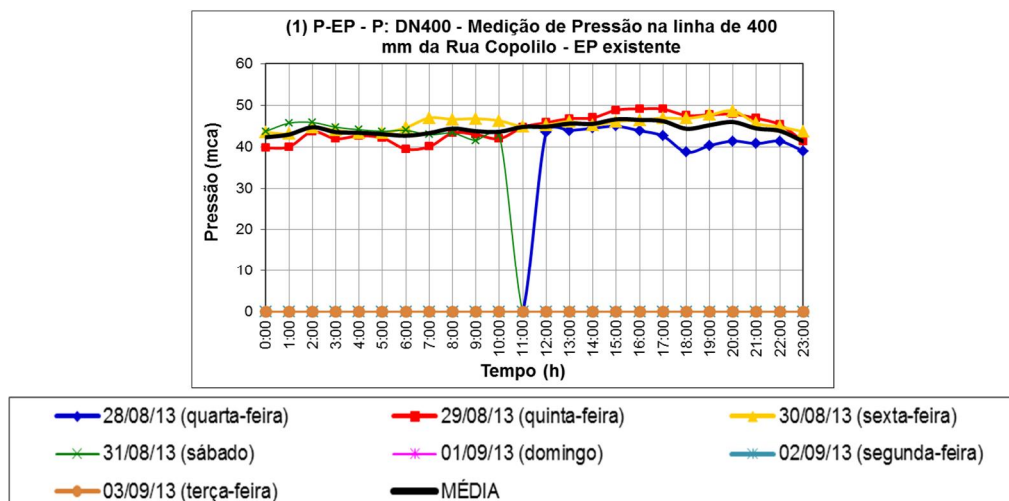


Figura 4.5 ĩ Gráfico diário de pressão na EP existente da linha de 400mm da rua José Ramos de Oliveira ( Rua do Copolido).

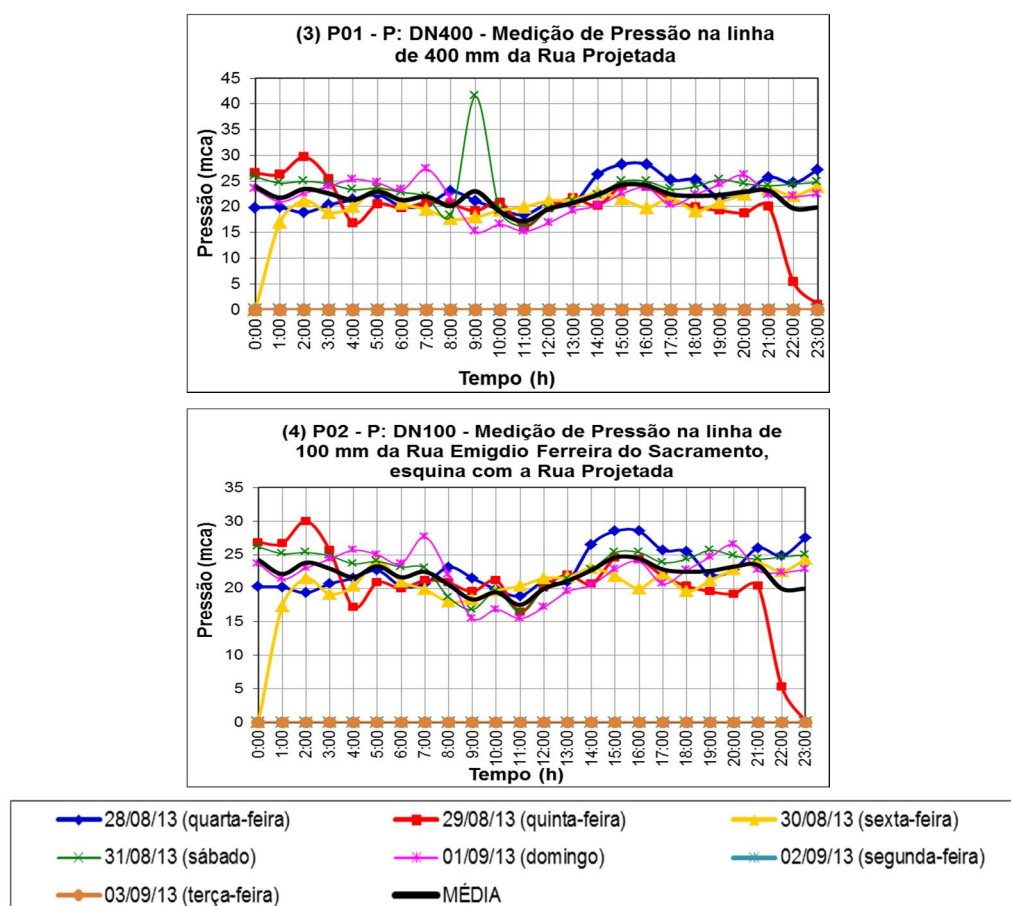


Figura 4.6 ĩ Gráfico diário de pressão para os pontos P01 e P02 do Bairro Ataíde na segunda campanha de medição.

Já para o Bairro Ataíde, foram necessárias duas campanhas de medição para que fossem verificadas a veracidade dos dados. Durante a análise dos dados, na primeira campanha de medição, percebeu-se que os P01 e P02 apresentaram valores de

pressão quase que constantes entorno da 13 e 15 mca para os pontos P01 e P02 respectivamente. Como os outros pontos medidos apresentavam grande variação ao longo do dia, não justifica apenas os pontos P01 e P02 apresentarem constância nas medições de pressão.

Dessa forma, foi feito contato com a equipe de pitometria da CESAN, e como não havia coerência nos resultados das medições dos pontos P01 e P02, julgou-se conveniente repetir as medições nesses pontos. Os resultados da primeira e segunda campanhas de medição podem ser observados na Figura 4.4, Figura 4.5 e Figura 4.6 .

A Figura 4.7 mostra o resultado da primeira campanha de medição, de todos os pontos. É possível perceber que os pontos P-EP, P03, P04, P05 e P06 seguem a mesma tendência de variação diária. Enquanto os pontos P01 e P02 mantêm-se praticamente constantes ao longo do dia. Devido a esse fato, houve necessidade de repetir as medições nos pontos P01 e P02, solicitando a segunda campanha de medição para o Bairro Ataíde, nos pontos que ocorreram problemas.

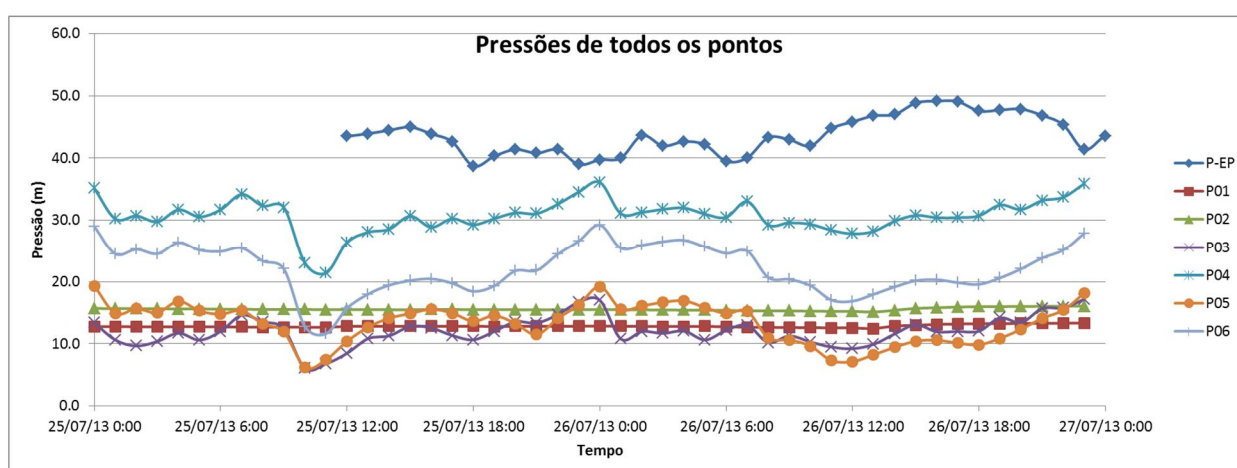


Figura 4.7 ĩ Medição de todos os dias da primeira campanha para o Bairro Ataíde.

A equipe de pitometria nos apresentou os resultados das medições de dois dias completos (25 e 26/07/2013) para a primeira campanha de medição e de cinco dias completos (28/08 a 01/09/2013). Então, avaliados os gráficos diários de todos os pontos medidos na campanha, optou-se pela utilização dos resultados do dia 26 de Agosto (sexta-feira) da primeira campanha e o dia 28/08/2013 (quarta-feira) para os pontos P01 e P02 na segunda campanha para servirem de parâmetro para a calibração do modelo matemático do sistema por estes apresentarem melhor continuidade temporal e maior uniformidade para todos os pontos de medição avaliados. Foram comparados dias diferentes para servirem de parâmetro na calibração, no entanto, o resultado final dessa comparação, pode ser considerado bom. Esse assunto será amplamente discutido no capítulo de calibração.

A medição do ponto na EP existente foi feito entre os dias 13/08/2013 a 16/08/2013, porém esse ponto também foi inserido no gráfico das medições dos dias 25/07/2013 e 26/07/2013 para justificar que todos os pontos do sistema seguem uma variação de pressão ao longo do dia. O que acarreta que a constância dos pontos P01 e P02 foi devido uma falha ocorrida durante a medição.

Como já citado anteriormente, para confirmar os dados medidos, e entender quais pressões estavam disponíveis no sistema, foi medido as pressões instantâneas nos pontos do Bairro Ataíde.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados das medições de pressão para o Bairro Aribiri enquanto a Tabela 4.2 apresenta os resultados das medições de pressão para o bairro Ataíde obtidas para todos os pontos avaliados. A identificação do ponto de pressão se dá pelo nome do nó utilizado no modelo matemático do sistema.

Tabela 4.1 – Valores horários dos pontos de pressão medidos no Bairro Aribiri.

| Tempo<br>(h) | P01   | P02   | P03   |
|--------------|-------|-------|-------|
|              | N310  | N338  | N297  |
| 0            | 31.83 | 13.17 | 23.83 |
| 1            | 31.50 | 13.50 | 23.50 |
| 2            | 30.00 | 12.50 | 22.00 |
| 3            | 31.00 | 13.33 | 23.00 |
| 4            | 32.33 | 14.67 | 23.00 |
| 5            | 30.50 | 13.17 | 20.50 |
| 6            | 27.33 | 9.67  | 15.83 |
| 7            | 24.67 | 6.50  | 11.67 |
| 8            | 21.00 | 3.83  | 8.00  |
| 9            | 19.50 | 2.17  | 6.50  |
| 10           | 17.17 | -0.17 | 5.17  |
| 11           | 15.33 | -1.33 | 4.33  |
| 12           | 16.50 | -0.67 | 5.50  |
| 13           | 19.67 | 1.17  | 8.67  |
| 14           | 21.33 | 2.50  | 9.17  |
| 15           | 23.50 | 3.50  | 9.50  |
| 16           | 24.00 | 3.83  | 10.00 |
| 17           | 23.33 | 3.83  | 9.67  |
| 18           | 21.33 | 3.33  | 9.33  |
| 19           | 21.17 | 3.17  | 9.17  |
| 20           | 22.50 | 3.67  | 10.50 |
| 21           | 25.50 | 4.50  | 14.17 |
| 22           | 28.00 | 5.17  | 18.00 |
| 23           | 29.33 | 6.17  | 19.33 |

Tabela 4.2 – Valores horários dos pontos de pressão medidos no Bairro Ataíde.

| Tempo (h) | P-EP  | P01 (1ª camp.) | P01 (2ª camp.) | P02 (1ª camp.) | P02 (2ª camp.) | P02 (instan.) | P03   | P03 (instan.) | P04   | P04 (instan.) | P05   | P05 (instan.) | P06   | P06 (instan.) |
|-----------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|
|           | N310  | N338           |                | N297           |                |               | N310  |               | N338  |               | N297  |               | N297  |               |
| 0         | 39.72 | 12.85          | 19.84          | 15.50          | 20.25          |               | 16.99 |               | 36.11 |               | 19.20 |               | 29.22 |               |
| 1         | 40.02 | 12.83          | 19.87          | 15.49          | 20.17          |               | 10.78 |               | 31.07 |               | 15.59 |               | 25.44 |               |
| 2         | 43.63 | 12.81          | 18.88          | 15.47          | 19.33          |               | 11.97 |               | 31.29 |               | 16.09 |               | 25.94 |               |
| 3         | 41.95 | 12.79          | 20.37          | 15.44          | 20.67          |               | 11.68 |               | 31.76 |               | 16.68 |               | 26.53 |               |
| 4         | 42.65 | 12.79          | 21.37          | 15.42          | 21.50          |               | 12.07 |               | 31.98 |               | 16.92 |               | 26.77 |               |
| 5         | 42.13 | 12.81          | 22.35          | 15.41          | 22.67          |               | 10.62 |               | 31.00 |               | 15.84 |               | 25.67 |               |
| 6         | 39.48 | 12.73          | 20.01          | 15.37          | 20.33          |               | 12.19 |               | 30.50 |               | 14.87 |               | 24.60 |               |
| 7         | 40.05 | 12.67          | 20.32          | 15.32          | 20.67          |               | 12.97 |               | 33.02 |               | 15.24 |               | 24.97 |               |
| 8         | 43.28 | 12.64          | 22.96          | 15.29          | 23.17          |               | 10.20 |               | 29.23 |               | 10.93 |               | 20.66 |               |
| 9         | 42.95 | 12.63          | 21.15          | 15.29          | 21.50          |               | 11.28 |               | 29.60 |               | 10.63 |               | 20.36 |               |
| 10        | 41.97 | 12.59          | 19.47          | 15.25          | 19.83          |               | 10.30 |               | 29.35 |               | 9.64  |               | 19.37 |               |
| 11        | 44.73 | 12.57          | 18.45          | 15.23          | 18.83          |               | 9.49  |               | 28.38 |               | 7.31  |               | 17.03 |               |
| 12        | 45.82 | 12.56          | 20.64          | 15.22          | 21.00          |               | 9.22  |               | 27.82 |               | 7.14  |               | 16.86 |               |
| 13        | 46.78 | 12.47          | 20.62          | 15.12          | 21.00          |               | 9.92  |               | 28.21 |               | 8.24  |               | 17.96 |               |
| 14        | 47.00 | 12.87          | 26.22          | 15.39          | 26.50          | 20,00         | 11.59 |               | 29.86 |               | 9.45  |               | 19.17 |               |
| 15        | 48.85 | 12.98          | 28.26          | 15.71          | 28.50          |               | 13.05 | 15,00         | 30.79 | 27,00         | 10.43 | 7,00          | 20.15 | 22,00         |
| 16        | 49.15 | 13.13          | 28.26          | 15.80          | 28.50          |               | 11.95 |               | 30.43 |               | 10.59 |               | 20.31 |               |
| 17        | 49.07 | 13.19          | 25.21          | 15.92          | 25.67          |               | 12.00 |               | 30.44 |               | 10.12 |               | 19.84 |               |
| 18        | 47.55 | 13.24          | 25.23          | 15.97          | 25.50          |               | 12.03 |               | 30.73 |               | 9.84  |               | 19.56 |               |
| 19        | 47.72 | 13.25          | 21.76          | 15.99          | 22.00          |               | 14.17 |               | 32.47 |               | 10.89 |               | 20.61 |               |
| 20        | 47.87 | 13.28          | 22.59          | 16.01          | 22.83          |               | 13.42 |               | 31.75 |               | 12.35 |               | 22.07 |               |
| 21        | 46.85 | 13.30          | 25.76          | 16.03          | 26.00          |               | 15.68 |               | 33.17 |               | 14.11 |               | 23.83 |               |
| 22        | 45.33 | 13.32          | 24.59          | 16.06          | 24.83          |               | 15.78 |               | 33.70 |               | 15.41 |               | 25.13 |               |
| 23        | 41.33 | 13.34          | 27.20          | 16.07          | 27.50          |               | 17.17 |               | 35.90 |               | 18.16 |               | 27.88 |               |

## **4.3 Resultados**

### **4.3.1 Introdução**

Após a realização da simulação hidráulica no EPANET, recorreu-se ao relatório de calibração para que, visualmente, se procedesse à comparação dos dados medidos com os dados calculados. Para as situações de distorção, foram realizados ajustes na rugosidade das tubulações, na abertura de registros, nos padrões de consumo diário, e, principalmente, foram verificados os possíveis dados altimétricos divergentes e as falhas de cadastro.

Com o sistema calibrado é possível avaliar as suas deficiências quanto às pressões insuficientes, desconexão (falta de água) e também conhecer onde há perdas de carga excessiva.

A seguir são apresentados os resultados de comparação entre valores aferidos em campo e calculados a partir da simulação, para os parâmetros pressão e vazão, nos diversos pontos avaliados no processo de calibração.

### **4.3.2 Bairro Aribiri**

#### **4.3.2.1 Considerações Gerais.**

A área do estudada do bairro Aribiri, possui duas entradas de água, uma na Rua Antônio Maria (DN150) e outra na Rua Manaus (DN100). Para simular a entrada de água na área estudada, foram colocados dois reservatórios nesses pontos e a variação de nível foi regulada de acordo com pressão medida nos pontos próximos a jusante. Dessa maneira, dispúnhamos da variação de pressão na entrada da área estudada.

#### **4.3.2.2 Calibração de Pressão**

A Figura 4.8 apresenta a correlação entre os valores médios de pressão resultantes da simulação do modelo calibrado e as pressões medidas em campo. A Figura 4.9 apresenta a comparação direta entre os valores médios de pressão resultantes da simulação no modelo calibrado e dos valores medidos em campos.



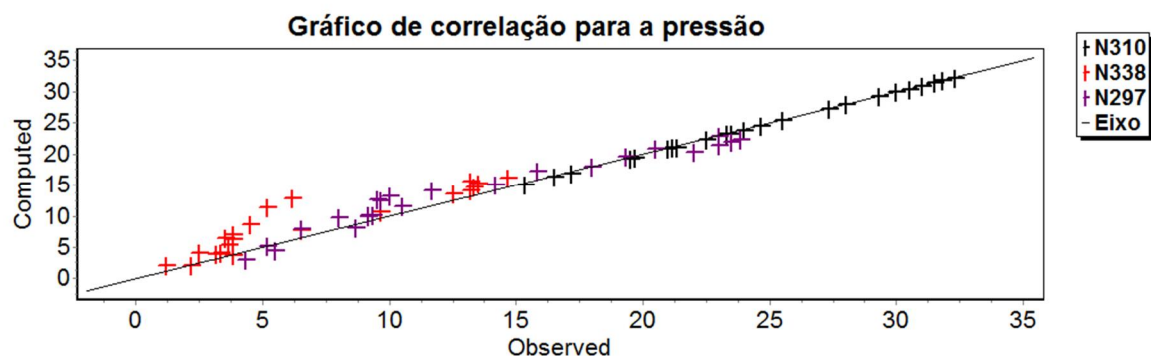


Figura 4.8 ĩ Correlação entre a pressão simulada e a pressão medida do Bairro Aribiri.

É possível perceber que todos os pontos apresentam uma boa correlação, o que justifica que o sistema está calibrado.

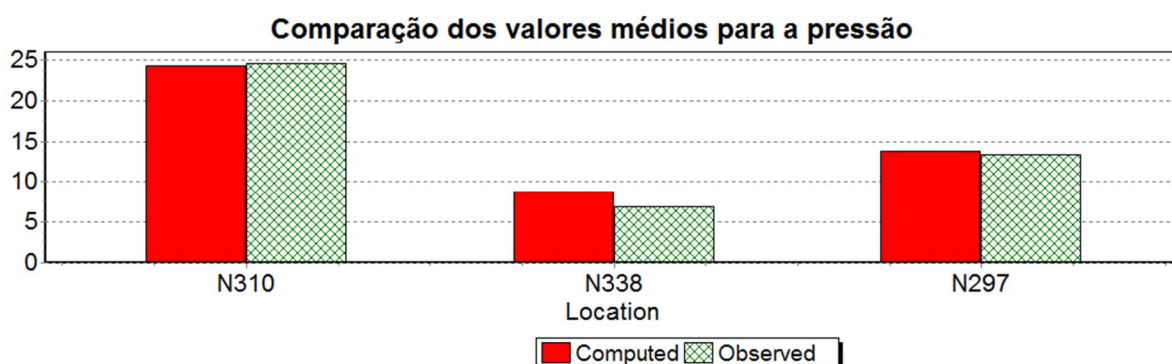


Figura 4.9 ĩ Comparação entre a pressão média diária simulada e a pressão média diária medida no Bairro Aribiri

A Figura 4.10 apresenta a comparação entre a variação horária da pressão medida e da pressão simulada nos pontos de calibração.



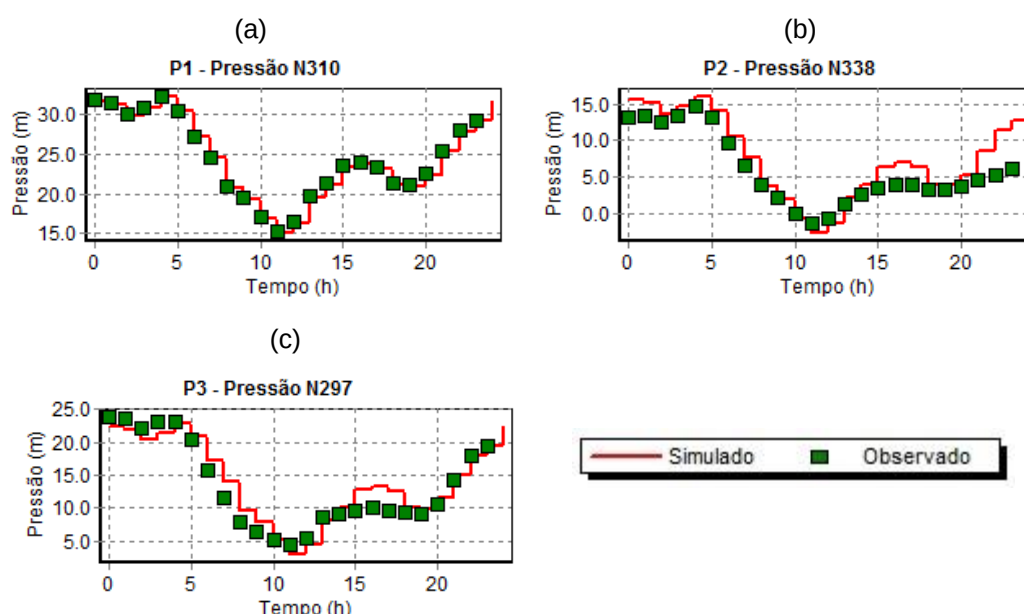


Figura 4.10 – Variação horária de pressão nos nós: (a) N310 – P01, (b) N338 – P02, (c) N297 – P03 para o bairro Aribiri.

A Figura 4.10(a), apresenta a variação de pressão no nó N310, no cruzamento das ruas Antônio Maria e estrada Jeronimo Monteiro. Esse ponto é uma das entradas de água no sistema.

A Figura 4.10(b) apresenta a variação de pressão no nó N338, que representa o ponto crítico da área. Nota-se que em boa parte do dia tem-se pressões bem baixas, e essas pressões podem também ser observadas na simulação.

A Figura 4.10(c) apresenta a variação de pressão na Rua São Luiz esquina com Piauí. Próximo a esse ponto também há uma entrada de água na área estudada.

De acordo com as figuras acima as pressões médias horárias simuladas e as pressões médias horárias observadas apresentam, na maioria dos pontos avaliados, distorções que podem ser desprezadas considerando toda a incerteza existente nos dados cadastrais do sistema.

### 4.3.2.3 Diagnóstico do Sistema

O diagnóstico da área de estudo foi compatível com as informações recolhidas junto à equipe de operação da CESAN. As deficiências no sistema de abastecimento de água do setor Garrido, bairro Aribiri são descritas a seguir.

Como pode ser observado nas Figura 4.11 e na Figura 4.12, as pressões estão muito baixas ao longo de toda a rede. Também há ocorrência de pressões negativas em alguns pontos altos do sistema.

A Figura 4.11 e a Figura 4.12 apresentam a variação de pressão nos nós do sistema às 4:00 h (quando se verificam as maiores pressões) e às 11:30 h (quando se verificam as menores pressões), respectivamente. A Figura 4.13 mostra a variação espacial de perda de carga, pelos trechos da área estudada, no horário de maior consumo.

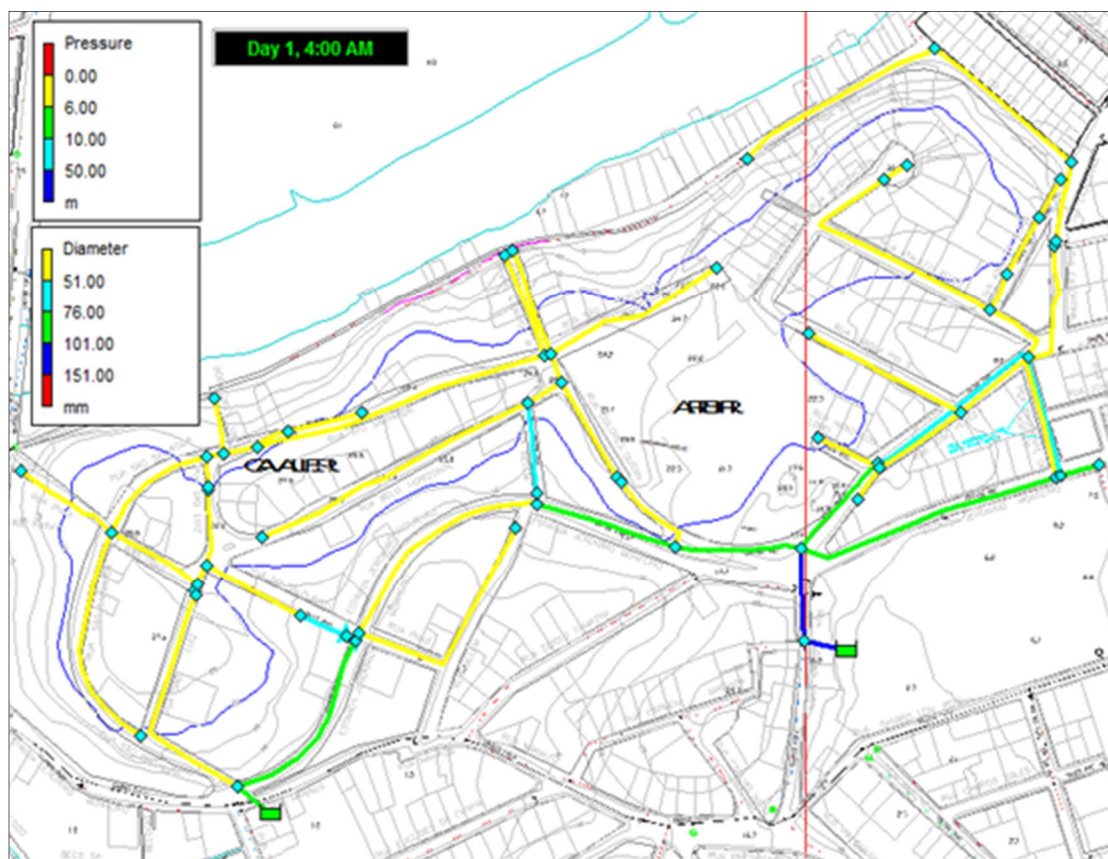


Figura 4.11 – Variação espacial da pressão às 4:00 h (menores consumos) – Bairro Aribiri.

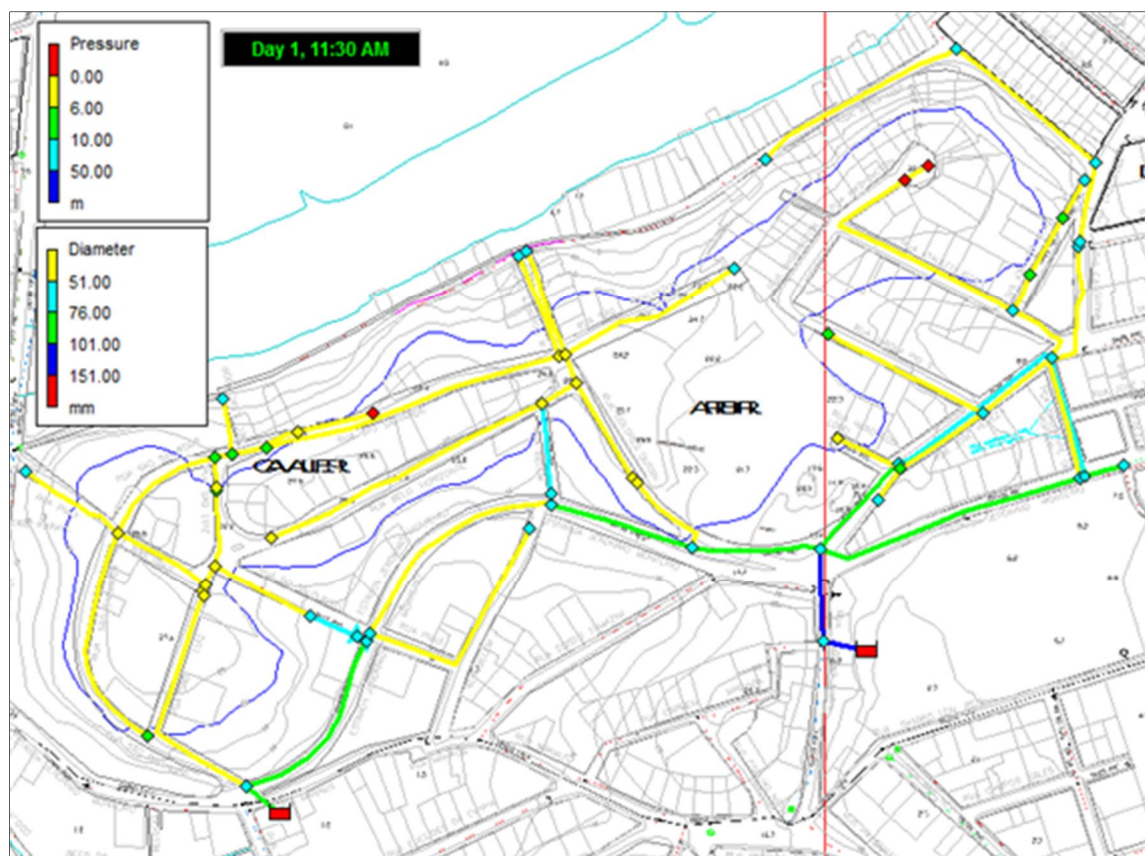


Figura 4.12 – Variação espacial da pressão às 11:30 h (maiores consumos) – Bairro Aribiri.

Conforme pode ser observado na Figura 4.12, as pressões no sistema variam entre valores muito baixos, que provocam o desabastecimento do setor.

Pode-se identificar que em poucos locais há uma deficiência de rede de distribuição demonstrada pela excessiva perda de carga, cujos valores ultrapassam 10 m/km. De modo geral, não há grande deficiência de rede de distribuição neste sistema.

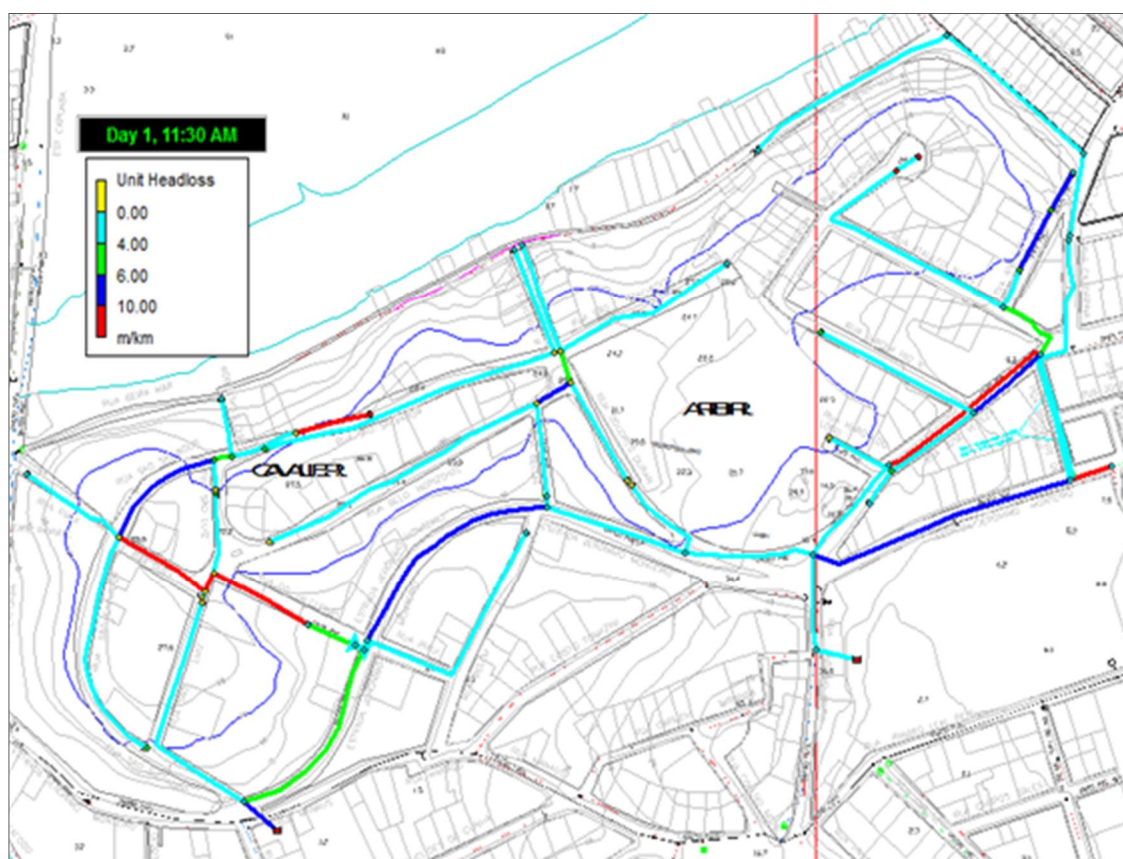


Figura 4.13 - Variação espacial da perda de carga as 11:30 h (maior consumo).

No capítulo a seguir são apresentadas alternativas de melhoria do sistema, com base nas demandas solicitadas pela equipe gestora da companhia e nos problemas avaliados no diagnóstico do mesmo. O abastecimento contínuo para a população residente é premissa básica para a concepção das alternativas.

### **4.3.3 Bairro Ataíde**

#### **4.3.3.1 Considerações Gerais.**

A área do estudada do Bairro Ataíde, possui três entradas de água, uma na Rua 10 (DN400), outra na Rua Ramiro Leal (DN250) e outra na Rua João Vargas Martins (DN50), por se tratar de uma rede fina, acredita-se que nesse ponto há saída de água, e não entrada. Para simular a entrada de água na área estudada, foram colocados três reservatórios nesses pontos e a variação de nível foi regulada de acordo com pressão medida nos pontos próximos a jusante. Dessa maneira, dispúnhamos da variação de pressão na entrada da área estudada.



### 4.3.3.2 Calibração de Pressão

A Figura 4.14 apresenta a correlação entre os valores médios de pressão resultantes da simulação do modelo calibrado e as pressões medidas em campo. A Figura 4.9 apresenta a comparação direta entre os valores médios de pressão resultantes da simulação no modelo calibrado e dos valores medidos em campos.

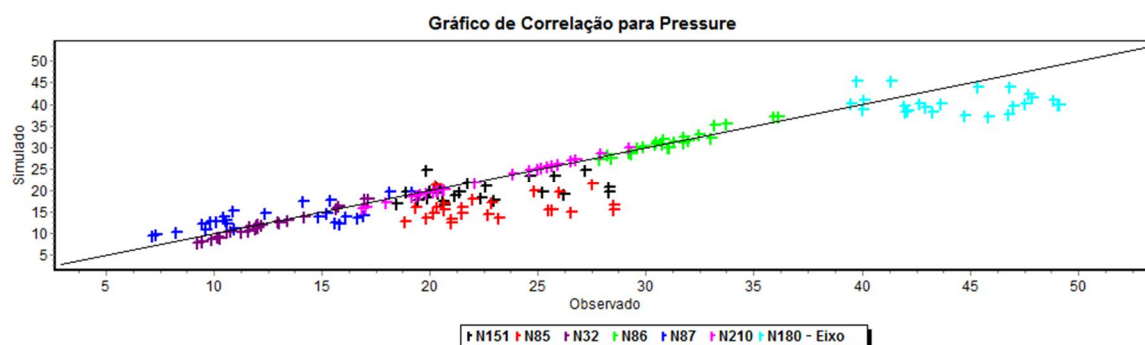


Figura 4.14 i Correlação entre a pressão simulada e a pressão medida para a calibração no Bairro Ataíde.

É possível perceber que todos os pontos apresentam uma boa correlação, o que justifica que o sistema está calibrado.

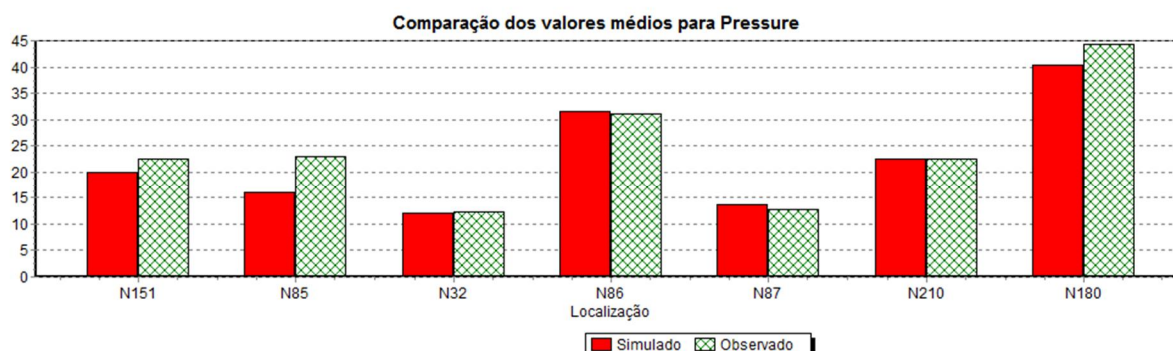


Figura 4.15 i Comparação entre a pressão média diária simulada e a pressão média diária medida para o Bairro Ataíde

A Figura 4.16 apresenta a comparação entre a variação horária da pressão medida e da pressão simulada nos pontos de calibração da área estudada do Bairro Ataíde.

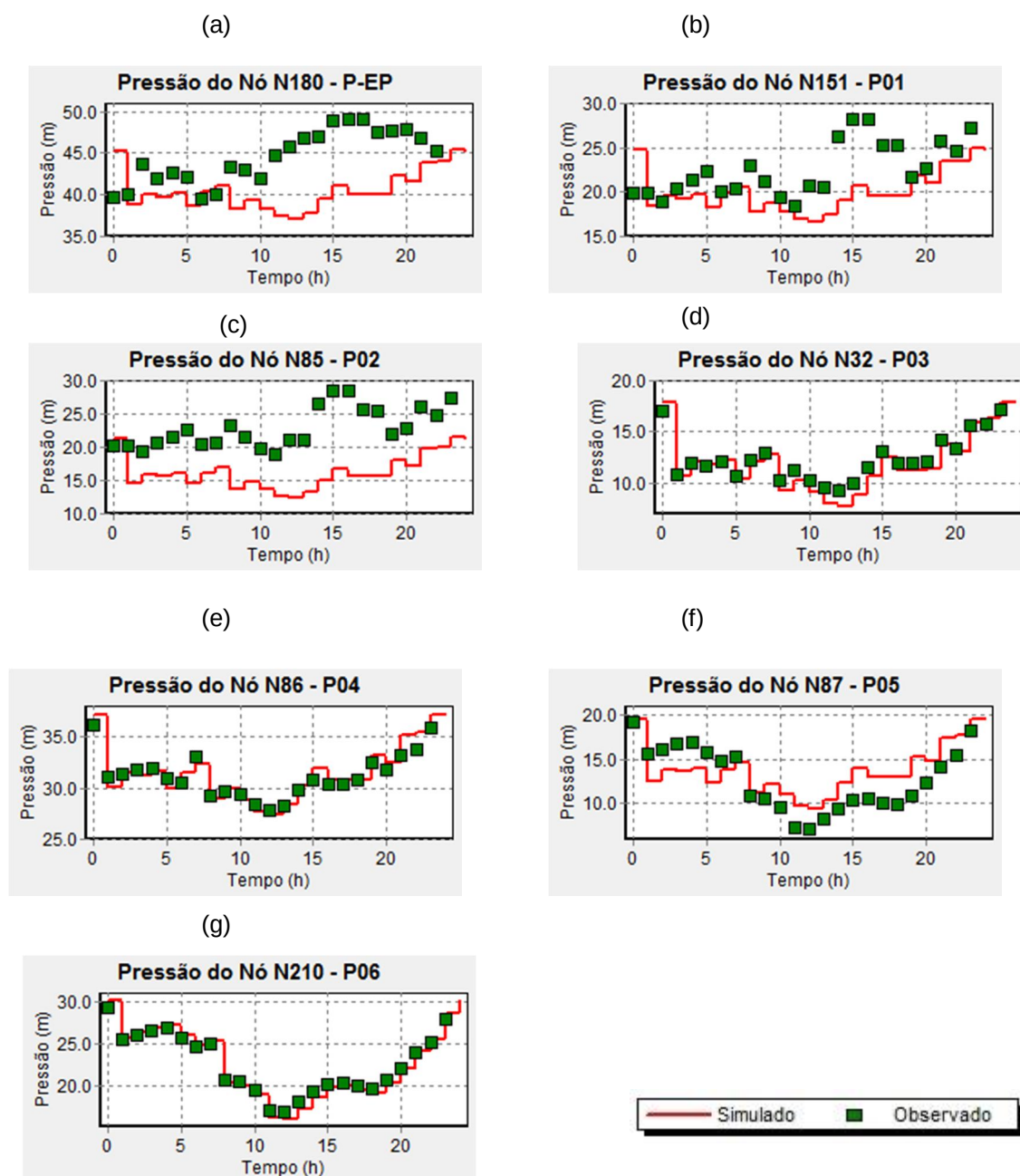


Figura 4.16 ĩ Variação horária de pressão nos nós: (a) N180 (P-EP), (b) N151 (P01), (c) N85 (P02), (d) N32 (P03), (e) N86 (P04), (e) N87 (P05), (g) N210 (P06).

A Figura 4.16(a), apresenta a variação de pressão no nó N180 (P-EP), medida na estação pitometrica existente na linha DN400, da Rua José Ramos de Oliveira ( Rua do Copililo), próximo a Rodovia Carlos Lindenberg. Como foi medida em dia diferente dos demais pontos da campanha, optou-se por distribuir como padrão de entrada sendo a pressão medida nos demais pontos, dessa maneira, o ponto P- EP fica descalibrado.

A Figura 4.16 (b) apresenta a variação de pressão no nó N151 (P01), medido na linha DN 50 na Rua Projetada. Nesse ponto houve necessidade de repetir as medições,

como já citado anteriormente. As pressões medidas e calculadas são bem próximas, porém não coincidem completamente, esse fato é justificado pois a pressão distribuída ao sistema foi dada pela primeira campanha de medição. Já o parâmetro de comparação do ponto P01 foi utilizando as medições da segunda campanha. Como já citado anteriormente, foram descartados as medições da primeira campanha para os pontos P01 e P02 devido a inconsistência dos dados. Como foi distribuída a pressão medida da primeira campanha e comparada com os dados medidos da segunda campanha para P01, é normal observar algumas distorções entre os dados medidos e a pressão calculada. No entanto, a media geral é boa, a curva calculada está em torno da curva medida. As pressões instantâneas comprovaram que o sistema está trabalhando com pressões mais baixas. Dessa forma o modelo não consegue enxergar as pressões mais altas medidas nos pontos P01 e P02.

A Figura 4.16 (c) apresenta a variação da pressão no N85 (P02). Esse ponto encontra-se na cota 25 m, foram medidos valores de pressão muito próximos aos valores medidos no ponto P01 que está na cota 22 m. Dessa forma constata-se uma incoerência entre os dados. Pois é hidraulicamente impossível dois pontos próximos com diferença de cota em torno de 3 metros serem medidos praticamente os mesmos valores de pressão. Esse fato nos leva a supor que (i) há algum erro nas medições, (ii) há algum erro no cadastro, (iii) há algum erro no levantamento topográfico. Dessa forma, pelas dúvidas levantadas, optou-se por desconsiderar esse ponto de medição e dar sequencia na calibração.

A Figura 4.16 (d) mostra a variação da pressão no nó N32 (P03) que foi medido ao final da linha de 75 mm na Rua Emigdio Ferreira do sacramento e os valores simulados estão bem próximos dos valores medidos.

A Figura 4.16 (e) mostra a variação da pressão no nó N86 (P04) que foi medido ao final da linha de 100 mm na Rua Emigdio Ferreira do sacramento e os valores simulados estão bem próximos dos valores medidos.

A Figura 4.16 (f) mostra a variação da pressão no nó N87 (P05) que foi medido na Rua Machado de Assis da linha de 50 mm esse ponto está bem próximo ao ponto mais alto na área estudada, onde há ocorrências de falta d'água. Percebe-se que os valores simulados estão bem próximos dos valores medidos.

A Figura 4.16 (e) mostra a variação da pressão no nó N210 (P06) que foi medido na Rua Vinte e Um de Abril na linha de 50 mm. Existe uma injeção de água da linha de 250 mm na Rua Manaus bem próximo a esse ponto. Dessa forma, a pressão no mesmo foi regulada a partir dessa pressão na linha DN250. Nota-se que os valores simulados estão bem próximos dos valores medidos.



#### 4.3.3.3 Diagnóstico da rede de distribuição

O diagnóstico da área de estudo foi compatível com as informações recolhidas junto à equipe de operação da CESAN. As deficiências no sistema de abastecimento de água do setor Garrido, Bairro Ataíde são descritas a seguir.

Como pode ser observado nas Figura 4.17 e na Figura 4.18, as pressões estão muito baixas ao longo de toda a rede. Acarretando assim no desabastecimento da área. Também há ocorrência de pressões negativas em alguns pontos altos do sistema.

A Figura 4.11 e a Figura 4.12 apresentam a variação de pressão nos nós do sistema às 4:00 h (quando se verificam as maiores pressões) e às 12:00 h (quando se verificam as menores pressões), respectivamente. A Figura 4.13 mostra a variação espacial de perda de carga, pelos trechos da área estudada, no horário de maior consumo.

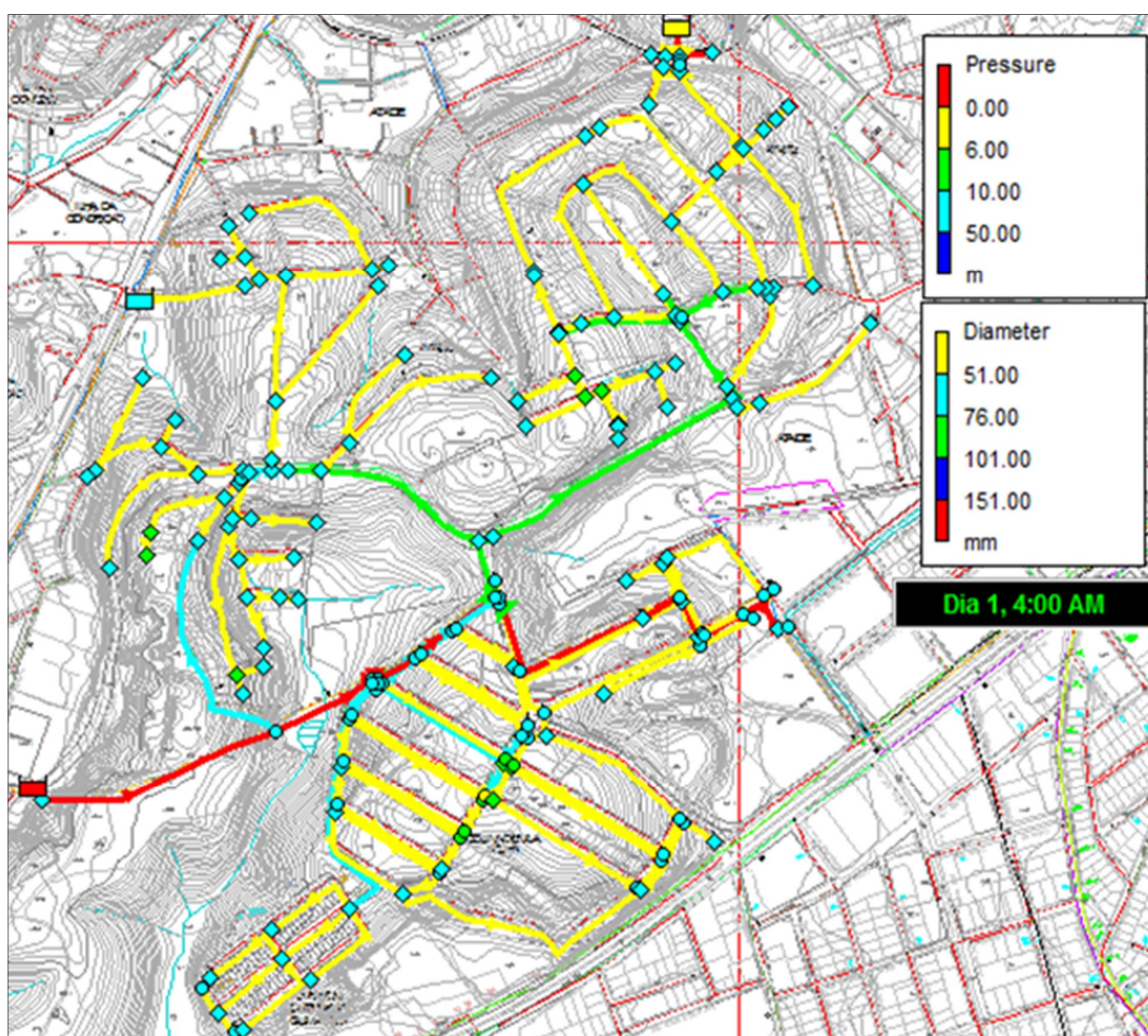


Figura 4.17 i Variação espacial da pressão às 4:00 h (menores consumos).



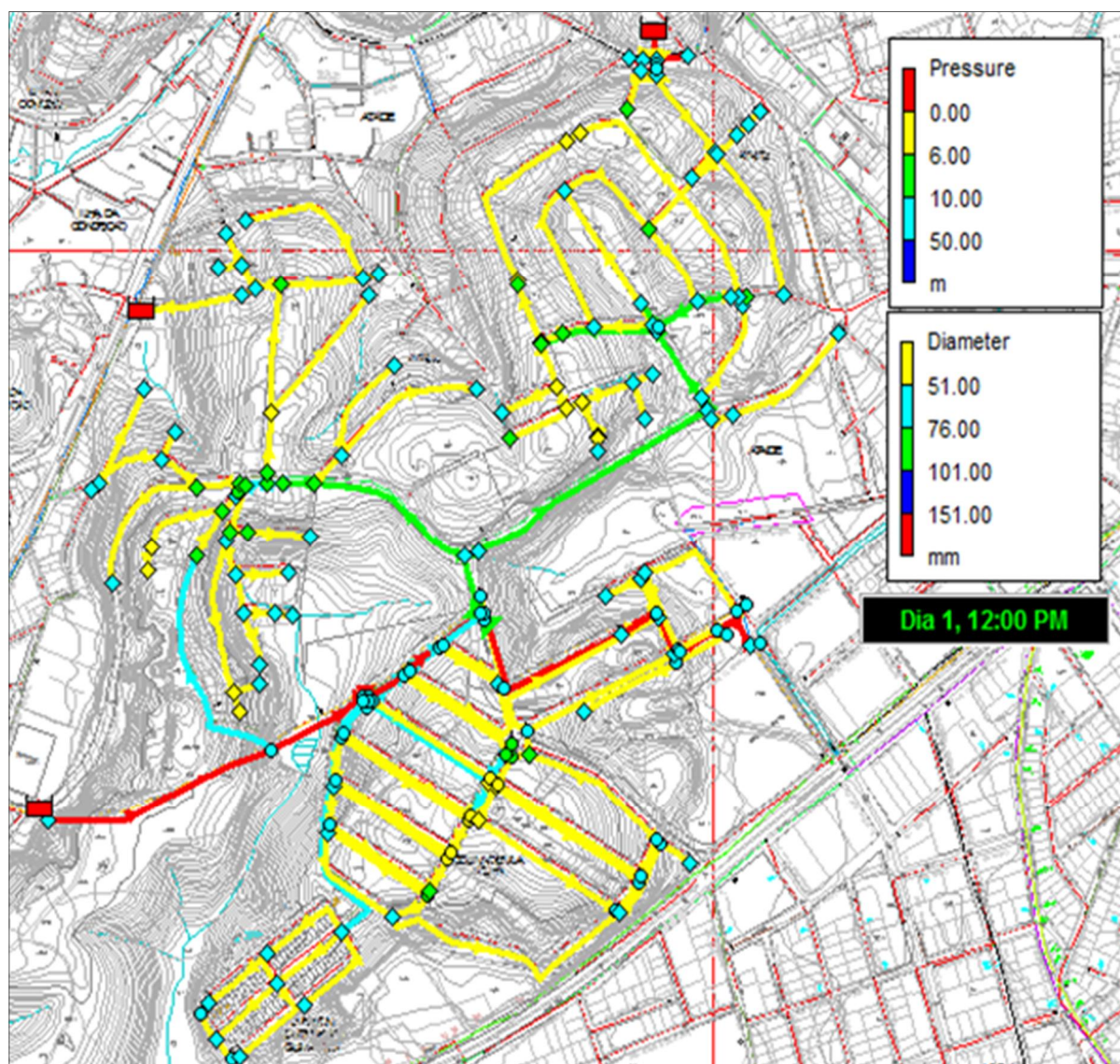


Figura 4.18 i Variação espacial da pressão às 12:00 h (maiores consumos).

Conforme pode ser observado na Figura 4.17 e Figura 4.18, em ambas as situações de operação as pressões na área estudada, em alguns pontos apresentam valores muito baixos, que provocam o desabastecimento do dessa áreas.

Pode-se identifica na Figura 4.19 que em alguns locais há uma deficiência de rede de distribuição demonstrada pela excessiva perda de carga, cujos valores ultrapassam 10 m/km. De modo geral, há mais deficiência de rede de distribuição neste sistema, as vazões demandadas para área não são supridas totalmente pela tubulação instalada.



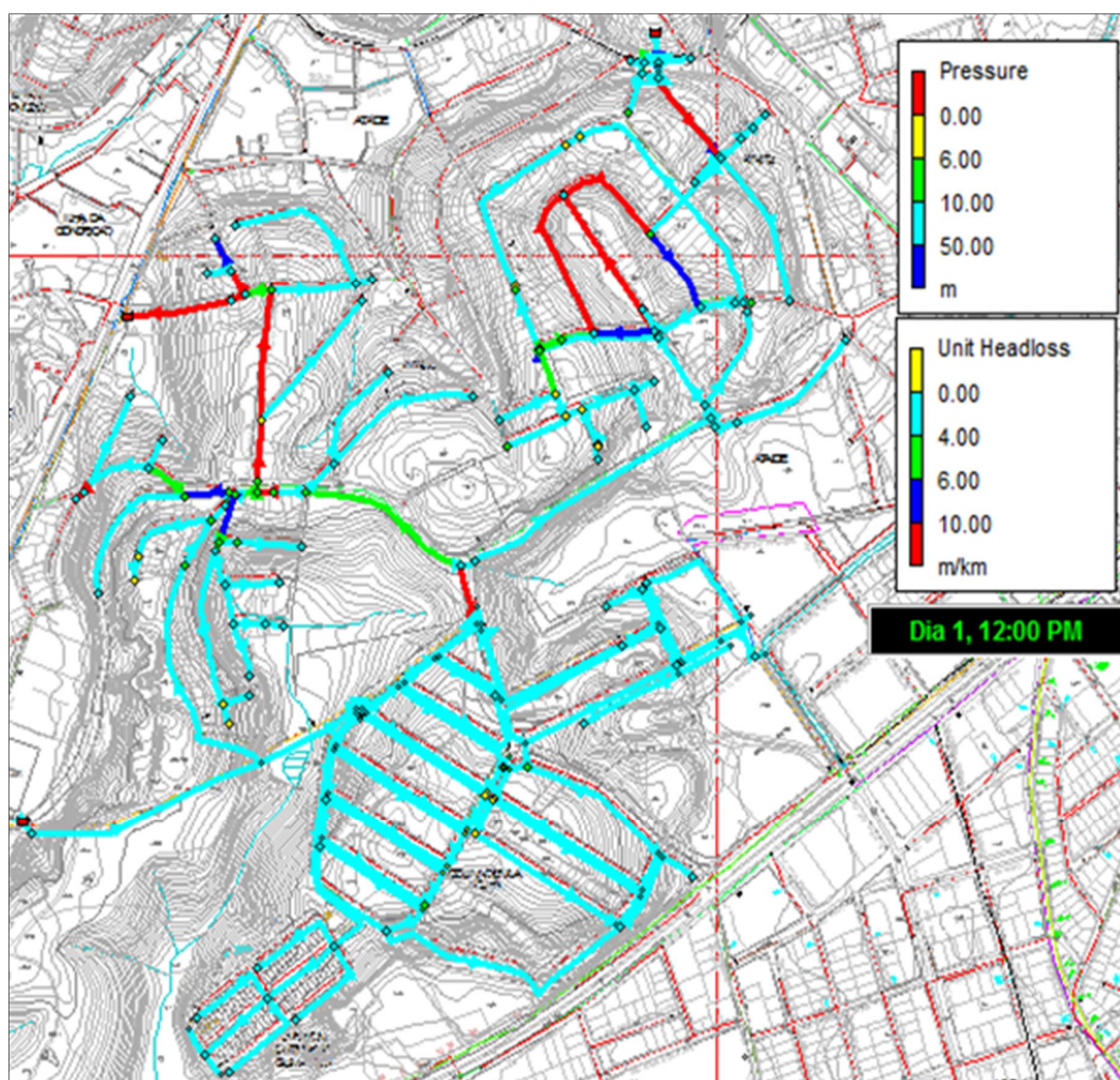


Figura 4.19 - Variação espacial da perda de carga as 12:00 h (maior consumo).

No capítulo a seguir são apresentadas alternativas de melhoria do sistema, com base nas demandas solicitadas pela equipe gestora da companhia e nos problemas avaliados no diagnóstico do mesmo. O abastecimento contínuo para a população residente é premissa básica para a concepção das alternativas.

## 5 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS

### 5.1 Introdução

A necessidade prioritária de programar a melhoria da qualidade dos serviços de abastecimento de água prestados aos utilizadores é clara, contudo, o conceito de serviço de boa qualidade depende do estado de evolução da entidade gestora e do sistema em questão. Em geral, a qualidade dos serviços do sistema de abastecimento de água pode dividir-se em três vertentes principais, consoante o objetivo principal da entidade gestora: (i) a abrangência do atendimento; (ii) a qualidade técnica dos serviços prestados; e (iii) o estado de desenvolvimento sustentável em termos sociais, económicos e ambientais.

O presente estudo apresenta como principais objetivos a estabilização do abastecimento de água da população da região e a permanência das pressões na faixa normalizada (entre 10 e 50 mca), que se traduz na diminuição direta do volume de água perdido em fugas e vazamentos.

Em acordo com a equipe técnica da CESAN, foi proposto um cenário para atender a demanda atual, considerando um alcance de 10 anos.

### 5.2 Estimativa populacional

Para a estimativa da população para os anos de cenário futuro, foi necessário definir a taxa de crescimento populacional a ser utilizada. Utilizou-se como referencia o estudo populacional do plano diretor de esgoto do município de Vila Velha. Para as determinadas áreas de estudo tem-se uma taxa de crescimento média de 0.95% e 1.14% para os bairros Aribiri e Ataíde, respectivamente.

### 5.3 Cenário Proposto

#### 5.3.1 Introdução

O cenário estudado consiste na adequação das pressões entre a faixa de 10 a 50 mca das áreas estudadas dos Bairros Aribiri e Ataíde com base nos consumos estimados.

Para a construção do cenário, foi feito o carregamento para o ano de alcance previsto, 2023. Foram necessárias diversas intervenções no sistema visando resolver os problemas de abastecimento da área. Entre essas intervenções destacam-se a implantação de redes de distribuição, a criação de *booster*, além da interligação e do seccionamento de redes em vários pontos do sistema.

### 5.3.2 Cenário Bairro Aribiri

#### 5.3.2.1 Considerações gerais

No cenário futuro, a área estuda do Bairro Aribiri, continuará sendo abastecida pelas redes da Rua Manaus (DN100) e da Rua José Vereza (DN150). No entanto, foram necessárias diversas intervenções para que as pressões ficassem estabilizadas na área (10 a 50 mca).

#### 5.3.2.2 Booster

Atualmente, a região em questão sofre com a falta de abastecimento de água, e a pressão disponível na entrada da região não é suficiente para abastecer o ponto crítico. Dessa maneira, em conformidade com a equipe técnica da CESAN foi projetado um *Booster* denominado *Booster Aribiri*. A localização do mesmo foi decidida em conformidade com a equipe da CESAN.



Figura 5.1 – Localização do Booster Aribiri.

Os conjuntos motobomba desse *booster* foram escolhidos para atender a demanda atual e para um cenário de 10 anos (ano 2023). Vale ressaltar que a área já está bastante adensada e que o crescimento local se deve apenas pelo crescimento vegetativo (taxa de 0.95 ao ano)

O *Booster* Aribiri será do tipo armário e a calçada em que será instalado é larga, como o trânsito de pedestres nessa calçada não é muito intenso, optou-se por projetar duas bombas no armário, trabalhando 1+1.



Em algumas horas do dia (nos horários de menor consumo), há pressão suficiente para abastecer o ponto crítico da região. Então, nessas horas, a bomba ficará desligada.

A Tabela 5.1 mostra as principais características dos conjuntos motobomba projetados para a área.

Tabela 5.1 - Características dos conjuntos motobomba projetados para o Booster Aribiri.

| Parâmetros                     | Bombas       |
|--------------------------------|--------------|
| Vazão bomba (l/s)              | 6.04         |
| Altura manométrica (m)         | 14.23        |
| Potência do motor (cv)         | 2            |
| Rotação (rpm)                  | 3500         |
| Eficiência mínima da bomba (%) | 45           |
| Marca                          | Thebe        |
| Modelo                         | THL 13 Série |
| Diâmetro do rotor (mm)         | 104          |
| Inversor                       | Sim          |
| Número de conjuntos            | 1+1          |

Durante o dimensionamento do *booster*, foi sempre analisada o ponto crítico da área em torno da cota 29 metros. Com o *booster* em operação a pressão mínima nesse ponto é atendida. É possível observar na Figura 5.2 a variação de pressão no ponto crítico ao longo de dois dias.

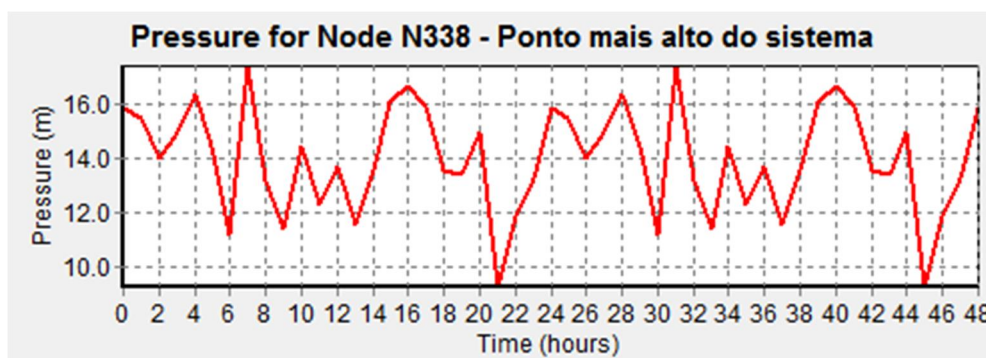


Figura 5.2 - Pressão no N338, ponto mais alto da área em torno da cota 29 metros.

Foram projetadas várias intervenções para que a área do *booster* fosse isolada. Porém há grande variação de nível entre os pontos da área estudada (cotas variando entre 29 a 3 metros). Os pontos cujo estão localizados em cotas baixas possuem pressão elevada. No entanto, optou-se por manter esses pontos dentro da área do *booster* para evitar obras de seccionamento e interligação em outra rede, pois apesar das pressões estarem altas, estão abaixo dos 50 metros de coluna de água. A Figura 5.3 mostra a variação da pressão no ponto mais baixo da área estudada.



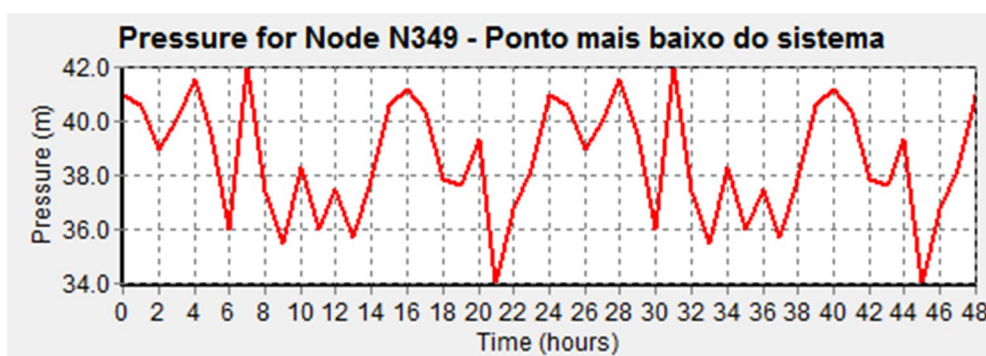


Figura 5.3 ĩ Pressão no N349, ponto mais baixo da área em torno da cota 3 metros.

Na Figura 5.4 é possível observar a variação da pressão na sucção e no recalque do *Booster Aribiri*.

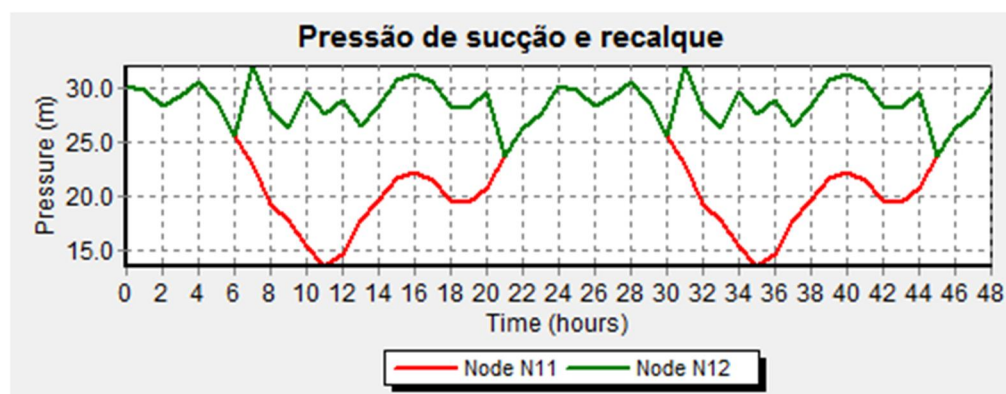


Figura 5.4 ĩ Pressão nos nós N11 e N12, sucção e recalque respectivamente.

### 5.3.2.3 Redes de Distribuição

Para adequar a atual malha de distribuição ao cenário proposto e garantir o abastecimento contínuo de todas as economias do sistema são necessários aproximadamente 4.53 km de rede, incluindo redes de reforço, interligações e redes em substituição. Este incremento de rede tem o objetivo de reforçar a atual malha de distribuição e promover a setorização da área de estudo. As redes projetadas possui diâmetros que variam entre 50 e 150 mm, conforme pode ser observado na Tabela 5.2, apresentada a seguir.

Tabela 5.2 - Comprimento de rede por diâmetro - Bairro Aribiri.

| Diâmetro     | Existente a ser mantida | Rede a ser desativada | Rede projetada | Total Analisado |
|--------------|-------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| 20           | 28.54                   | -                     | -              | 28.54           |
| 25           | 140.3                   | -                     | -              | 140.3           |
| 50           | 3067.81                 | 23.86                 | 19.12          | 3110.10         |
| 75           | 302.52                  | 3.30                  | 244.81         | 550.63          |
| 100          | 619.33                  | -                     | -              | 619.33          |
| 150          | 13.42                   | 3.60                  | 61.11          | 78.13           |
| <b>Total</b> | <b>4174.92</b>          | <b>30.76</b>          | <b>325.04</b>  | <b>4527.03</b>  |

Para as redes projetadas em ruas, vale a seguinte distribuição de materiais: tubulações com diâmetros de 50 a 100 mm serão em PVC PBA, e acima de 150 mm devem ser executados em ferro fundido, salvo indicação contrária.

As redes, interligações e seccionamentos a serem executadas no entorno da área estudada, são intervenções necessárias para diminuir a perda de carga e promover a setorização do sistema.

#### **5.3.2.4 Resultado do Cenário**

A Figura 5.5 e a Figura 5.6 apresentam, respectivamente, a variação espacial de pressão para os horários de menores e de maiores demandas, enquanto a Figura 5.7 mostra a variação espacial da perda de carga nas tubulações na área de estudo do Bairro Aribiri.

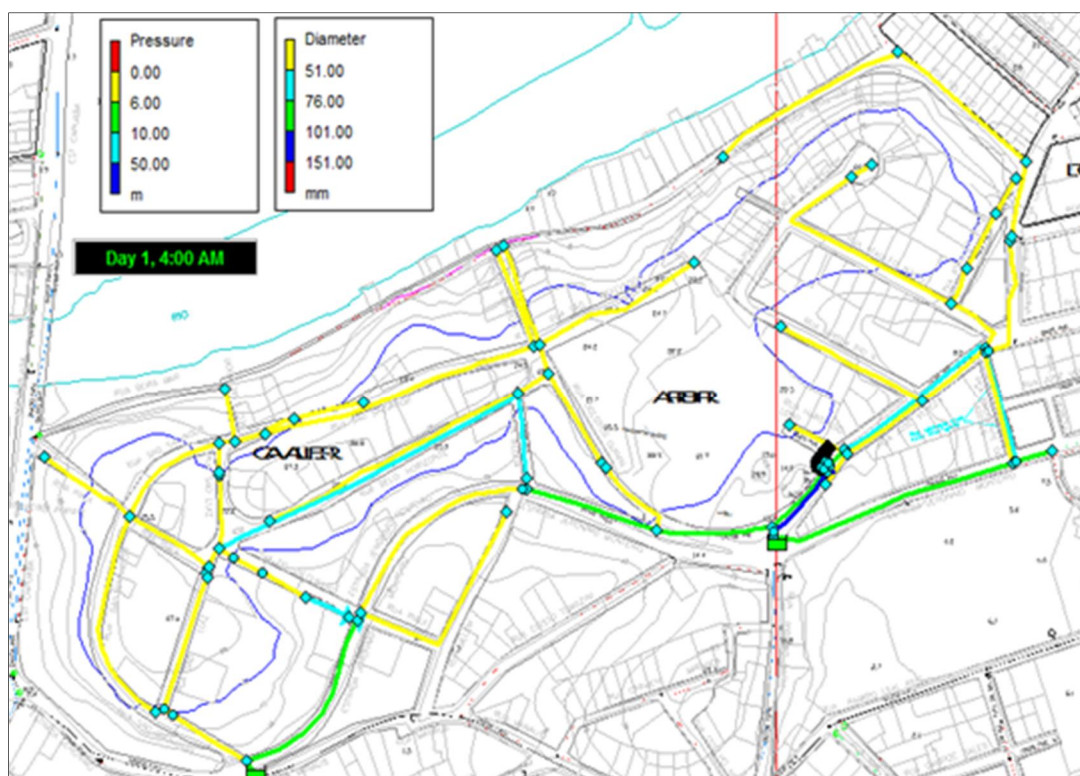


Figura 5.5 ĩ Variação espacial da pressão no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 4h (menores demandas).

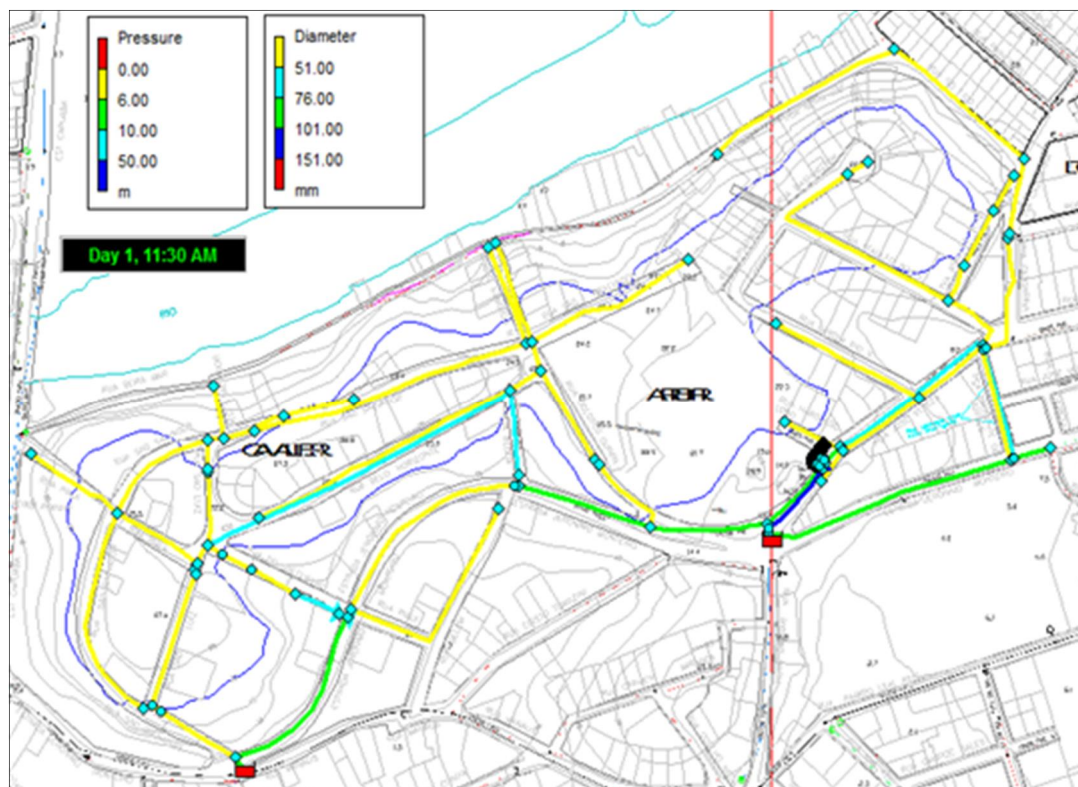


Figura 5.6 ĩ Variação espacial da pressão no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 13h (maiores demandas).



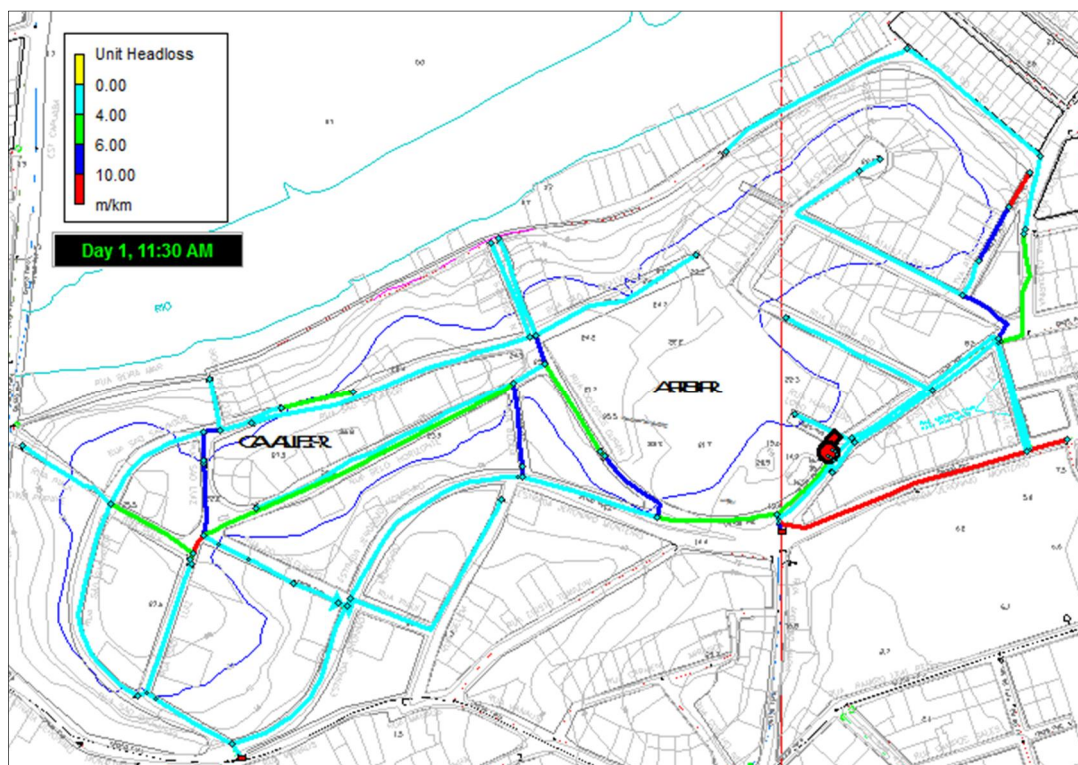


Figura 5.7 ĩ Variação espacial da perda de carga no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 13h (maiores demandas).

### 5.3.3 Cenário Bairro Ataíde

#### 5.3.3.1 Considerações gerais

No cenário futuro, a área estuda do Bairro Ataíde, continuará sendo abastecida pelas redes da Rua 10 (DN400), e da Rua Ramiro Leal (DN250). No entanto, foram necessárias diversas intervenções para que as pressões ficassem estabilizadas na área (10 a 50 mca). Foi necessário o dimensionamento de um booster e diversas intervenções como capeamentos e interligações para que a área do booster esteja isolada.

#### 5.3.3.2 Booster

Atualmente, a região em questão sofre com a falta de abastecimento de água, e a pressão disponível na entrada da região não é suficiente para abastecer o ponto crítico. Dessa maneira, em conformidade com a equipe técnica da CESAN foi projetado um *Booster* denominado ĩBooster Ataíde. A localização do mesmo foi decidida em conformidade com a equipe da CESAN.



Figura 5.8 – Localização do Booster Ataíde.

Os conjuntos motobomba desse *booster* foram escolhidos para atender a demanda atual e para um cenário de 10 anos (ano 2023). Vale ressaltar que a área já está bastante adensada e que o crescimento local se deve apenas pelo crescimento vegetativo (taxa de 1.14 ao ano).

O *Booster* Ataíde será do tipo armário e a calçada em que será instalado é larga, como o trânsito de pedestres nessa calçada não é muito intenso, optou-se por projetar duas bombas no armário, trabalhando 1+1.

Em algumas horas do dia (nos horários de menor consumo), há pressão suficiente para abastecer o ponto crítico da região. Então, nessas horas, a bomba utilizará inversor de frequência. Também poderá ser verificado em campo o desligamento do *booster* na madrugada.

A Tabela 5.3 mostra as principais características dos conjuntos motobomba projetados para a área.



Tabela 5.3 - Características dos conjuntos motobomba projetados para o Booster Ataíde.

| Parâmetros                     | Bombas          |
|--------------------------------|-----------------|
| Vazão bomba (l/s)              | 11.55           |
| Altura manométrica (m)         | 13              |
| Potência do motor (cv)         | 3               |
| Rotação (rpm)                  | 3500            |
| Eficiência mínima da bomba (%) | 44              |
| Marca                          | Dancor          |
| Modelo                         | Padrão 27-50 JM |
| Diâmetro do rotor (mm)         | 118             |
| Inversor                       | Sim             |
| Número de conjuntos            | 1+1             |

Durante o dimensionamento do *booster*, foi sempre analisada o ponto crítico da área em torno da cota 33.6 metros. Com o booster em operação a pressão mínima nesse ponto é atendida. É possível observar na Figura 5.9 a variação de pressão no ponto crítico ao longo de dois dias.

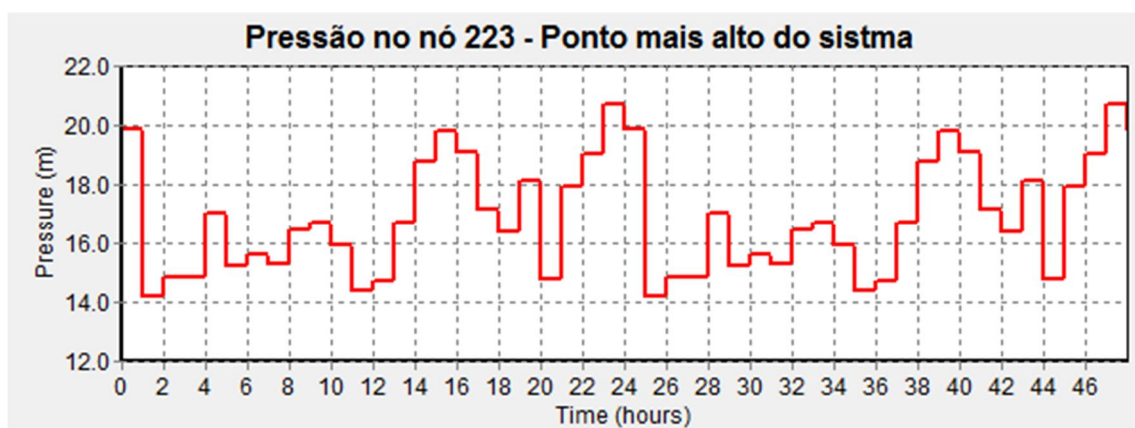


Figura 5.9 ĩ Pressão no N223, ponto mais alto da área em torno da cota 33.6 metros.

Foram projetadas várias intervenções para que a área do *booster* fosse isolada. Porém há grande variação de nível entre os pontos da área estudada (cotas variando entre 33 a 3 metros). Os pontos cujo estão localizados em cotas baixas possuem pressão elevada. No entanto, optou-se por manter esses pontos dentro da área do booster para evitar obras de seccionamento e interligação em outra rede, pois apesar das pressões estarem altas, estão em torno dos 50 metros de coluna de água, são pontas de rede ocorrem apenas picos de pressão maiores que 50 metros. A Figura 5.10 mostra a variação da pressão no ponto mais baixo da área estudada.

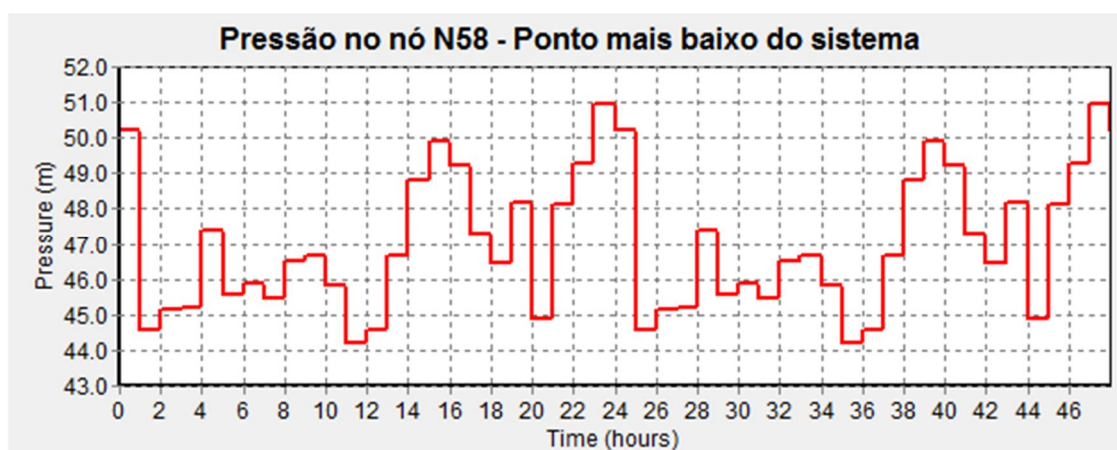


Figura 5.10 ĩ Pressão no N58, ponto mais baixo da área em torno da cota 3 metros.

Na Figura 5.11 é possível observar a variação da pressão na sucção e no recalque do *Booster Ataíde*.

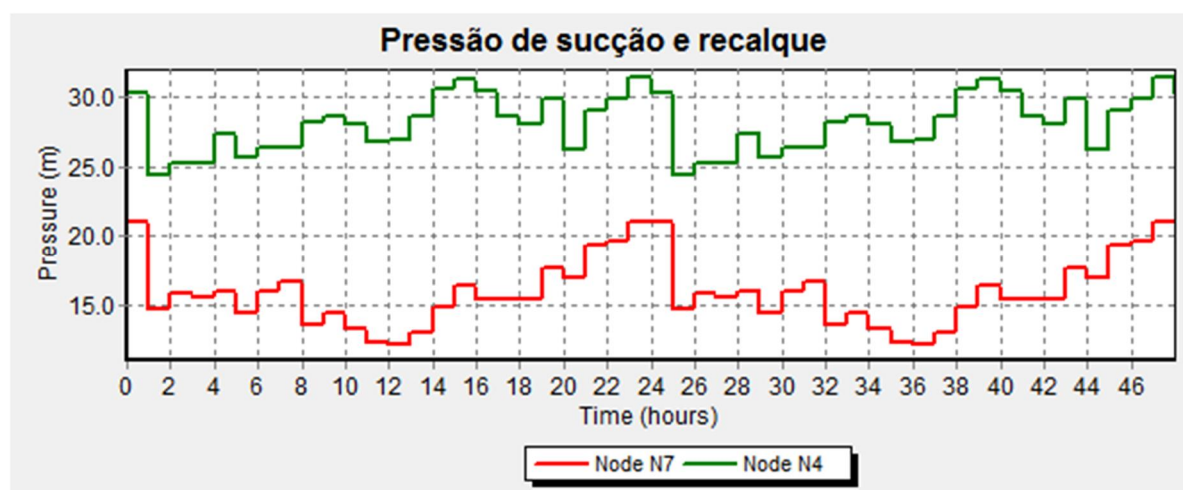


Figura 5.11 ĩ Pressão nos nós N7 e N4, sucção e recalque respectivamente.

### 5.3.3.3 Redes de Distribuição

Para adequar a atual malha de distribuição ao cenário proposto e garantir o abastecimento contínuo de todas as economias do sistema são necessários aproximadamente 15,3 km de rede, incluindo redes de reforço, interligações e redes em substituição. Este incremento de rede tem o objetivo de reforçar a atual malha de distribuição e promover a setorização da área de estudo. As redes projetadas possui diâmetros que variam entre 50 e 100 mm, conforme pode ser observado na Tabela 5.4, apresentada a seguir.

Tabela 5.4 - Comprimento de rede por diâmetro - Bairro Ataíde.

| Diâmetro     | Existente a ser mantida | Rede a ser desativada | Rede projetada | Total Analisado |
|--------------|-------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| 20           | 7.4                     | -                     | -              | 7.4             |
| 25           | 475.22                  | 6.67                  | -              | 481.89          |
| 40           | 93.55                   | -                     | -              | 93.55           |
| 50           | 10768.4                 | 5.23                  | 300.6          | 11074.23        |
| 75           | 1164.34                 | 51.96                 | 93.05          | 1309.35         |
| 100          | 1100.61                 | -                     | 4.61           | 1105.22         |
| 250          | 109.82                  | -                     | -              | 109.82          |
| 400          | 1119.59                 | -                     | -              | 1119.59         |
| <b>Total</b> | <b>14838.93</b>         | <b>63.86</b>          | <b>398.26</b>  | <b>15301.05</b> |

Para as redes projetadas em ruas, com diâmetros de 50 a 100 mm serão em PVC PBA.

As redes DN75 e DN50 projetadas na rua da Mangueira, auxiliam apenas na redução de perda de carga. Caso a CESAN opte por não construí-las os pontos a jusante não ficaram desabastecidos.

As redes, interligações e seccionamentos a serem executadas no entorno da área estudada, são intervenções necessárias para diminuir a perda de carga e promover a setorização do sistema.

#### **5.3.3.4 Resultado do Cenário**

A Figura 5.12 e a Figura 5.13 apresentam, respectivamente, a variação espacial de pressão para os horários de menores e de maiores demandas, enquanto a Figura 5.14 mostra a variação espacial da perda de carga nas tubulações na área de estudo do Bairro Ataíde.

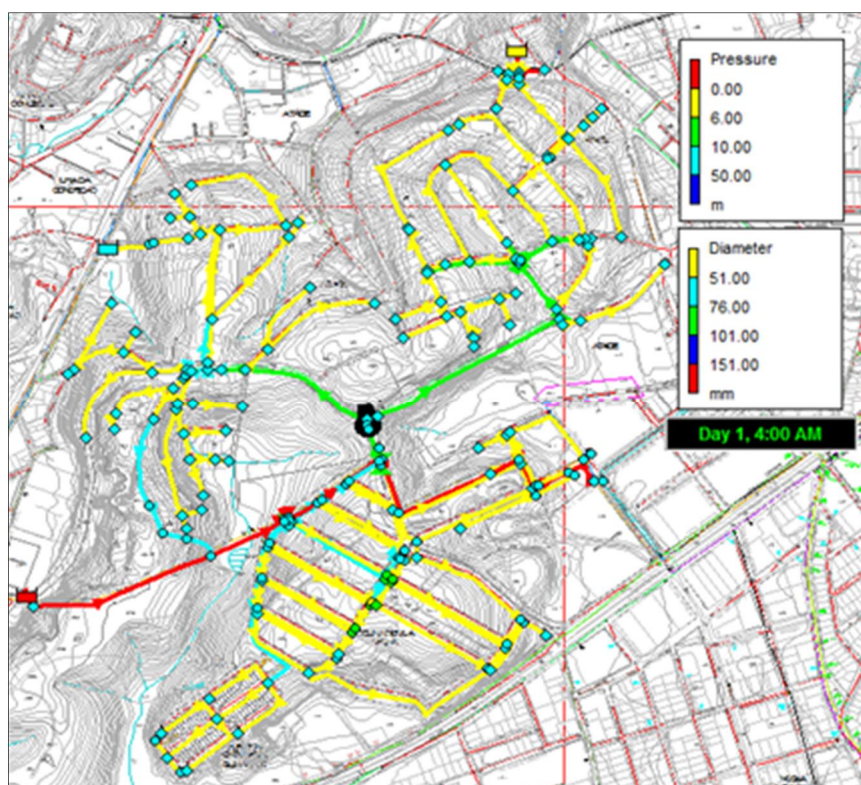


Figura 5.12 ÿ Variação espacial da pressão no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 4h (menores demandas).



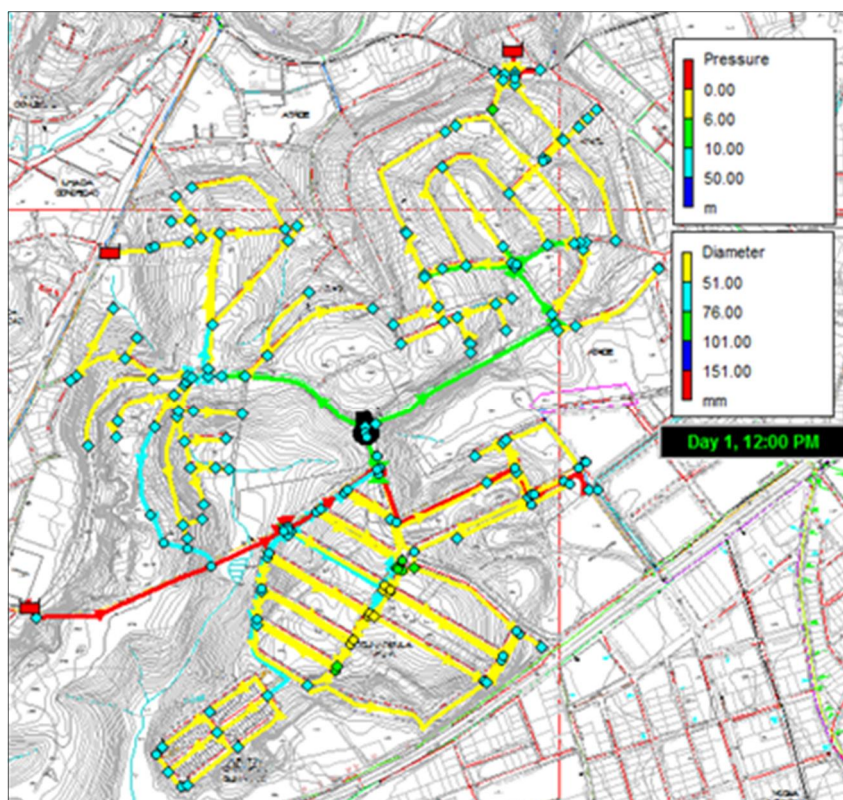


Figura 5.13 ĩ Variação espacial da pressão no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 12h (maiores demandas).

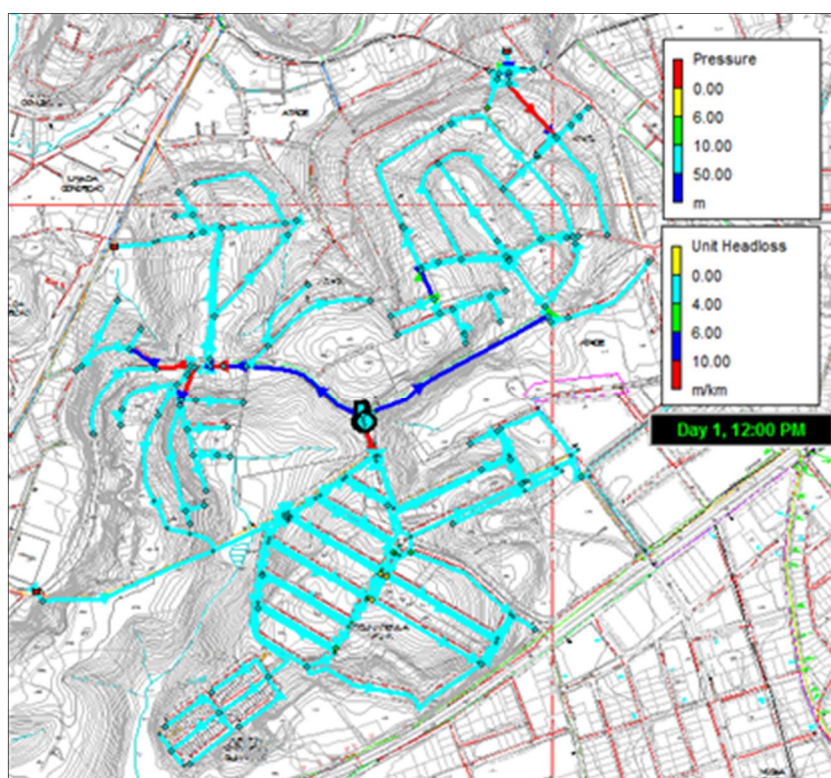


Figura 5.14 ĩ Variação espacial da perda de carga no cenário da área estudada do Bairro Aribiri às 13h (maiores demandas).



A perda de carga em alguns trechos continua alta, no entanto optou-se em não reforçar as redes, pois com as redes já instaladas os pontos altos conseguem ser abastecidos.

#### **5.3.4 Conclusão**

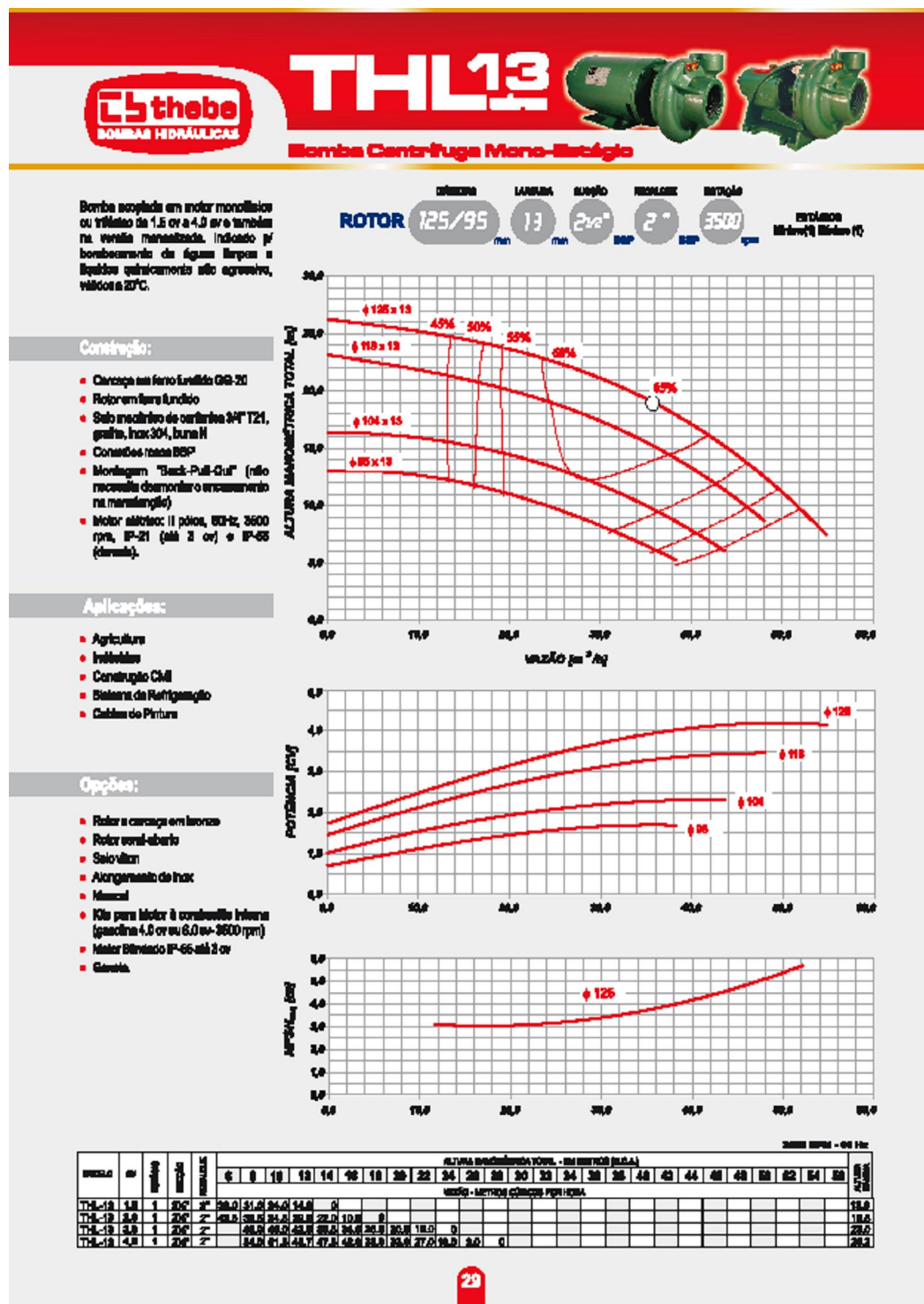
O cenário proposto para os Bairros Aribiri e Ataíde consideram a implantação de um *booster* para cada bairro, alguns reforços de rede, interligações e capeamentos.

A partir da implantação das ações propostas para o cenário avaliado e considerando os resultados apresentados no presente estudo, conclui-se que o Bairros Aribiri e Ataíde apresentarão uma melhoria considerável no seu abastecimento.

## **ANEXOS**

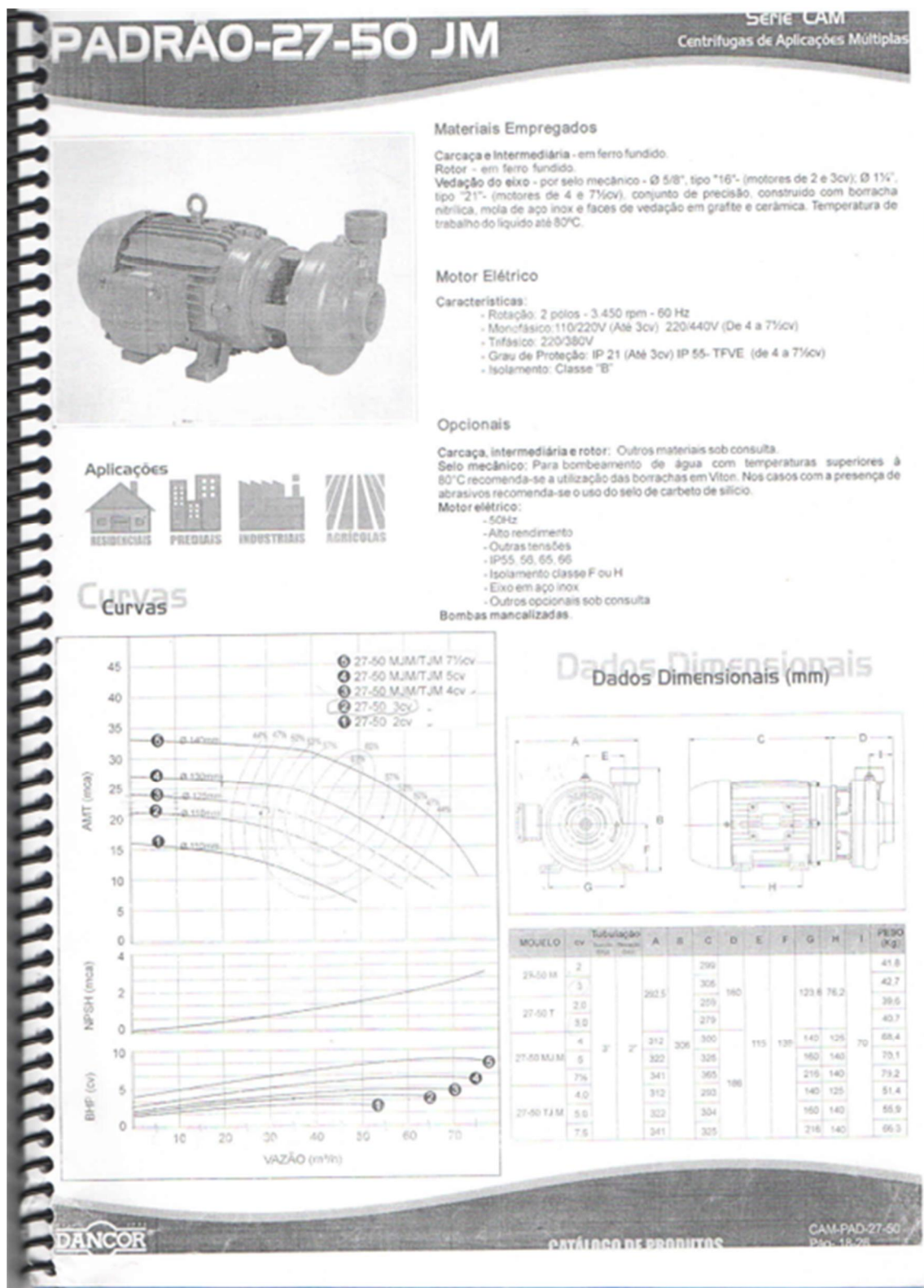
## ANEXO I - CURVA DE BOMBA ARIBIRI

Segue a curva da bomba utilizada no modelo matemático para o *Booster Aribiri*.



## ANEXO II - CURVA DE BOMBA ATAÍDE

Segue a curva da bomba utilizada no modelo matemático para o *Booster Ataíde*.



## ANEXO III – DIMENSIONAMENTO DO BOOSTER ARIBIRI

### BOOSTER ARIBIRI

Situação:                                  Projetado  
Variador de velocidade?                SIM  
Modelo da Bomba:                        THEBE THL 13 - 2 CV

Dados do EPANET:

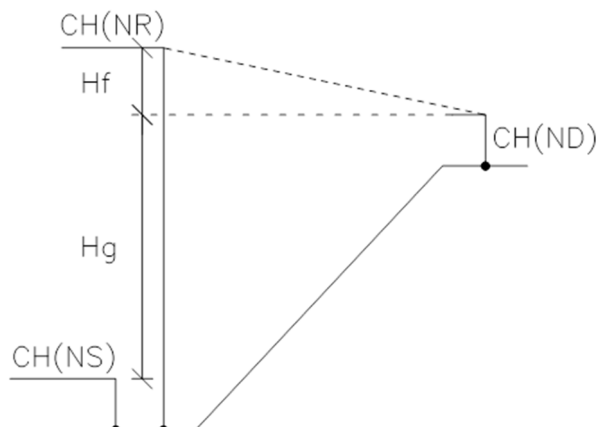
|                           |     |                      |          |
|---------------------------|-----|----------------------|----------|
| Nó de Sucção (NS)         | N11 |                      | Cota (m) |
| Nó de Recalque (NR)       | N12 | Elevatória           | 15.1     |
| Nó mais desfavorável (ND) | N88 | Nó mais desfavorável | 28.9     |

| Horas | Carga hidráulica CH (m) |       |       | Vazão da bomba (l/s) |
|-------|-------------------------|-------|-------|----------------------|
|       | N11                     | N12   | N88   |                      |
| 00:00 | 45.18                   | 45.18 | 44.78 | 0.00                 |
| 01:00 | 44.84                   | 44.84 | 44.43 | 0.00                 |
| 02:00 | 43.36                   | 43.35 | 42.88 | 0.00                 |
| 03:00 | 44.34                   | 44.34 | 43.91 | 0.00                 |
| 04:00 | 45.68                   | 45.67 | 45.29 | 0.00                 |
| 05:00 | 43.85                   | 43.85 | 43.40 | 0.00                 |
| 06:00 | 40.65                   | 40.65 | 40.06 | 0.00                 |
| 07:00 | 37.95                   | 47.12 | 45.62 | 4.46                 |
| 08:00 | 34.25                   | 43.05 | 40.38 | 5.08                 |
| 09:00 | 32.76                   | 41.36 | 38.11 | 5.33                 |
| 10:00 | 30.39                   | 44.61 | 41.97 | 5.74                 |
| 11:00 | 28.55                   | 42.59 | 39.30 | 6.04                 |
| 12:00 | 29.74                   | 43.90 | 41.02 | 5.85                 |
| 13:00 | 32.91                   | 41.53 | 38.35 | 5.30                 |
| 14:00 | 34.59                   | 43.44 | 40.90 | 5.02                 |
| 15:00 | 36.77                   | 45.84 | 44.01 | 4.66                 |
| 16:00 | 37.26                   | 46.38 | 44.69 | 4.57                 |
| 17:00 | 36.62                   | 45.67 | 43.80 | 4.68                 |
| 18:00 | 34.59                   | 43.44 | 40.90 | 5.02                 |
| 19:00 | 34.44                   | 43.27 | 40.66 | 5.05                 |
| 20:00 | 35.78                   | 44.77 | 42.65 | 4.82                 |
| 21:00 | 38.83                   | 38.82 | 38.14 | 0.00                 |
| 22:00 | 41.34                   | 41.34 | 40.77 | 0.00                 |
| 23:00 | 42.67                   | 42.67 | 42.17 | 0.00                 |
| 00:00 | 45.18                   | 45.18 | 44.78 | 0.00                 |

**Curva do Sistema:**



Caso a elevatória possua variador de velocidade, este estará atuando em determinados horários do dia. Portanto, é conveniente que o sistema apresente uma curva para cada momento de operação.



Onde:

|         |                            |
|---------|----------------------------|
| $H_m$ = | Altura manométrica (m)     |
| $H_g$ = | Altura geométrica (m)      |
| $H_f$ = | Perda de carga (m)         |
| $CH$ =  | Carga hidráulica no nó (m) |

A curva do sistema, em função da vazão, é dada por:

$$H_m = H_g + K_1 \times Q^{1,85} + K_2 \times Q^2$$

Onde:

|         |                                          |
|---------|------------------------------------------|
| $K_1$ = | Coeficiente de perda de carga linear     |
| $K_2$ = | Coeficiente de perda de carga localizada |
| $Q$ =   | Vazão (m³/s)                             |

#### 1) Altura Geométrica

$$H_g = CH(ND) - CH(NS)$$

|                        |          | Curva - I |      |
|------------------------|----------|-----------|------|
| Nó                     | Cota (m) | Pressão   | CH   |
| N88                    | 28.9     | 14.0      | 42.9 |
| N11                    | 15.1     | 23.0      | 38.1 |
| Altura Geométrica (Hg) |          |           | 4.8  |

#### 2) Perda de carga

$$h_f = K_1 \times Q^{1,85} + K_2 \times Q^2$$

Onde  $K_1$  está relacionado com as perdas lineares e  $K_2$  com as perdas localizadas.

Uma vez que os dados utilizados provêm do EPANET, consideram-se as perdas localizadas inseridas nas perdas lineares. Portanto, é razoável considerar a aproximação:

$$K = \frac{h_f}{Q^{1.85}}$$

Onde:  $h_f$  = CH (nó de recalque) - CH (nó desfavorável)

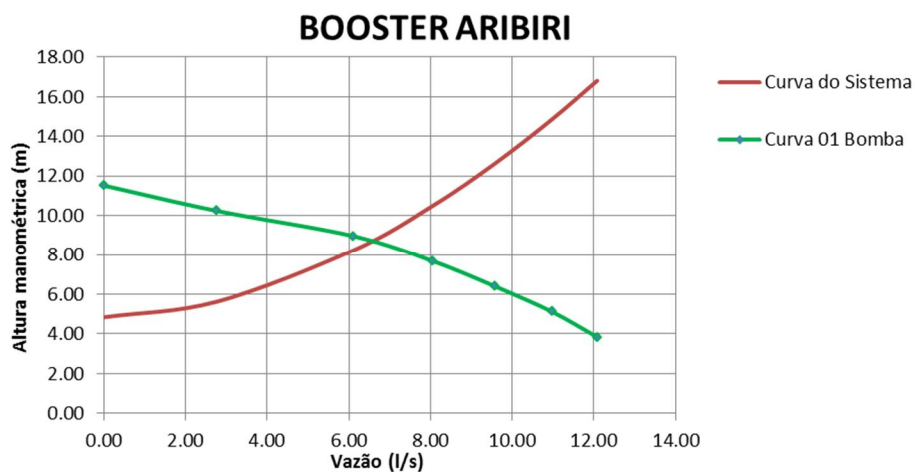
Cálculo de K médio:

| Horas | h (m) | Q (l/s) | K     |
|-------|-------|---------|-------|
| 00:00 | 0.40  | 0.00    |       |
| 01:00 | 0.41  | 0.00    |       |
| 02:00 | 0.47  | 0.00    |       |
| 03:00 | 0.43  | 0.00    |       |
| 04:00 | 0.38  | 0.00    |       |
| 05:00 | 0.45  | 0.00    |       |
| 06:00 | 0.59  | 0.00    |       |
| 07:00 | 1.50  | 4.46    | 33483 |
| 08:00 | 2.67  | 5.08    | 46845 |
| 09:00 | 3.25  | 5.33    | 52172 |
| 10:00 | 2.64  | 5.74    | 36950 |
| 11:00 | 3.29  | 6.04    | 41906 |
| 12:00 | 2.88  | 5.85    | 38918 |
| 13:00 | 3.18  | 5.30    | 51584 |
| 14:00 | 2.54  | 5.02    | 45555 |
| 15:00 | 1.83  | 4.66    | 37665 |
| 16:00 | 1.69  | 4.57    | 36061 |
| 17:00 | 1.87  | 4.68    | 38184 |
| 18:00 | 2.54  | 5.02    | 45555 |
| 19:00 | 2.61  | 5.05    | 46297 |
| 20:00 | 2.12  | 4.82    | 40992 |
| 21:00 | 0.68  | 0.00    |       |
| 22:00 | 0.57  | 0.00    |       |
| 23:00 | 0.50  | 0.00    |       |
| 00:00 | 0.40  | 0.00    |       |
| Média |       |         | 42298 |

Admitindo um K médio para as duas situações e, considerando a altura geométrica calculada em (1), tem-se que a equação da curva do sistema pode ser dada pela equação abaixo:

Curva do sistema (média):

$$H_m = 4.8 + 42297.7 \times Q^{1.85}$$



A partir das informações acima e, dada a curva característica do fabricante do conjunto motobomba escolhido para o Booste Aribiri, obtém-se o gráfico das curvas da bomba e do sistema. A curva da bomba não corresponde exatamente a curva do fabricant, pois na modelagem utilizou-se inversor de frequência, sendo o ponto de trabalho  $Q=6.04$  l/s e  $H_m=9$ m.

## ANEXO IV - DIMENSIONAMENTO DO BOOSTER ATAÍDE

### BOOSTER ATAÍDE

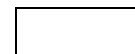
Situação: Projetado  
Variador de velocidade? SIM  
Modelo da Bomba: DANCOR 27-50 - 118MM

Dados do EPANET:

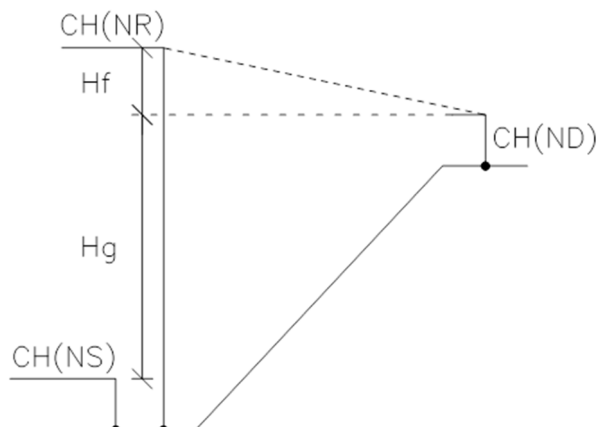
|                           |      |                      |          |
|---------------------------|------|----------------------|----------|
| Nó de Sucção (NS)         | N7   |                      | Cota (m) |
| Nó de Recalque (NR)       | N4   | Elevatória           | 25.0     |
| Nó mais desfavorável (ND) | N223 | Nó mais desfavorável | 33.6     |

| Horas | Carga hidráulica CH (m) |       |       | Vazão da bomba (l/s) |
|-------|-------------------------|-------|-------|----------------------|
|       | N7                      | N4    | N223  |                      |
| 00:00 | 46.04                   | 55.36 | 53.48 | 7.94                 |
| 01:00 | 39.67                   | 49.45 | 47.81 | 7.38                 |
| 02:00 | 40.85                   | 50.26 | 48.43 | 7.83                 |
| 03:00 | 40.56                   | 50.17 | 48.45 | 7.58                 |
| 04:00 | 41.00                   | 52.29 | 50.61 | 7.48                 |
| 05:00 | 39.44                   | 50.65 | 48.85 | 7.75                 |
| 06:00 | 40.92                   | 51.40 | 49.22 | 8.61                 |
| 07:00 | 41.58                   | 51.40 | 48.89 | 9.26                 |
| 08:00 | 38.47                   | 53.14 | 50.08 | 10.32                |
| 09:00 | 39.40                   | 53.59 | 50.30 | 10.74                |
| 10:00 | 38.25                   | 53.11 | 49.51 | 11.25                |
| 11:00 | 37.31                   | 51.75 | 47.97 | 11.55                |
| 12:00 | 37.10                   | 51.91 | 48.29 | 11.28                |
| 13:00 | 37.99                   | 53.57 | 50.30 | 10.69                |
| 14:00 | 39.75                   | 55.53 | 52.37 | 10.50                |
| 15:00 | 41.38                   | 56.32 | 53.41 | 10.06                |
| 16:00 | 40.33                   | 55.50 | 52.69 | 9.85                 |
| 17:00 | 40.41                   | 53.55 | 50.77 | 9.81                 |
| 18:00 | 40.36                   | 53.02 | 50.00 | 10.23                |
| 19:00 | 42.57                   | 54.91 | 51.76 | 10.48                |
| 20:00 | 41.94                   | 51.17 | 48.41 | 9.76                 |
| 21:00 | 44.38                   | 54.09 | 51.55 | 9.35                 |
| 22:00 | 44.61                   | 54.91 | 52.62 | 8.82                 |
| 23:00 | 46.07                   | 56.49 | 54.28 | 8.67                 |
| 00:00 | 46.04                   | 55.36 | 53.48 | 7.94                 |

Curva do Sistema:



Caso a elevatória possua variador de velocidade, este estará atuando em determinados horários do dia. Portanto, é conveniente que o sistema apresente uma curva para cada momento de operação.



Onde:

|         |                            |
|---------|----------------------------|
| $H_m$ = | Altura manométrica (m)     |
| $H_g$ = | Altura geométrica (m)      |
| $H_f$ = | Perda de carga (m)         |
| $CH$ =  | Carga hidráulica no nó (m) |

A curva do sistema, em função da vazão, é dada por:

$$H_m = H_g + K_1 \times Q^{1,85} + K_2 \times Q^2$$

Onde:

|         |                                          |
|---------|------------------------------------------|
| $K_1$ = | Coeficiente de perda de carga linear     |
| $K_2$ = | Coeficiente de perda de carga localizada |
| $Q$ =   | Vazão (m³/s)                             |

#### 1) Altura Geométrica

$$H_g = CH(ND) - CH(NS)$$

|                        |          | Curva - I |      |
|------------------------|----------|-----------|------|
| Nó                     | Cota (m) | Pressão   | CH   |
| N223                   | 33.6     | 16.9      | 50.5 |
| N7                     | 25.0     | 16.1      | 41.1 |
| Altura Geométrica (Hg) |          |           | 9.5  |

#### 2) Perda de carga

$$h_f = K_1 \times Q^{1,85} + K_2 \times Q^2$$

Onde  $K_1$  está relacionado com as perdas lineares e  $K_2$  com as perdas localizadas.

Uma vez que os dados utilizados provêm do EPANET, consideram-se as perdas localizadas inseridas nas perdas lineares. Portanto, é razoável considerar a aproximação:



$$K = \frac{h_f}{Q^{1.85}}$$

Onde:  $h_f$  = CH (nó de recalque) - CH (nó desfavorável)

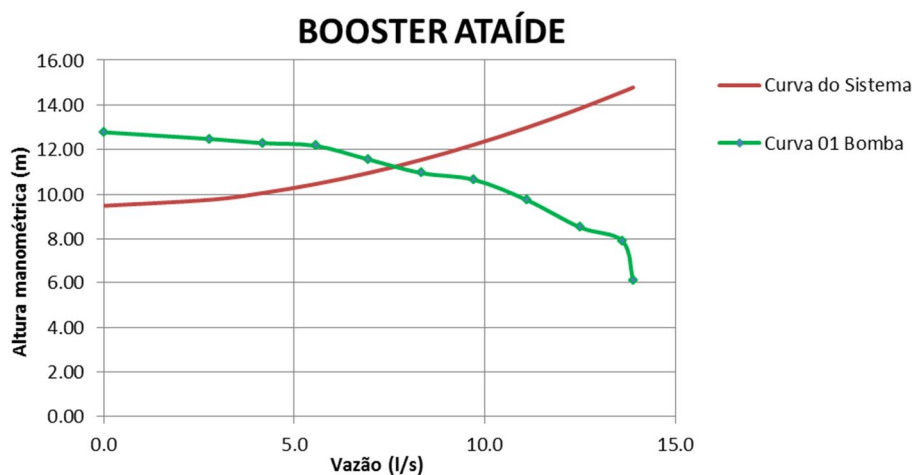
Cálculo de K médio:

| Horas | h (m) | Q (l/s) | K     |
|-------|-------|---------|-------|
| 00:00 | 1.88  | 7.94    | 14437 |
| 01:00 | 1.64  | 7.38    | 14419 |
| 02:00 | 1.83  | 7.83    | 14421 |
| 03:00 | 1.72  | 7.58    | 14393 |
| 04:00 | 1.68  | 7.48    | 14408 |
| 05:00 | 1.80  | 7.75    | 14457 |
| 06:00 | 2.18  | 8.61    | 14411 |
| 07:00 | 2.51  | 9.26    | 14503 |
| 08:00 | 3.06  | 10.32   | 14468 |
| 09:00 | 3.29  | 10.74   | 14449 |
| 10:00 | 3.60  | 11.25   | 14510 |
| 11:00 | 3.78  | 11.55   | 14512 |
| 12:00 | 3.62  | 11.28   | 14519 |
| 13:00 | 3.27  | 10.69   | 14486 |
| 14:00 | 3.16  | 10.50   | 14471 |
| 15:00 | 2.91  | 10.06   | 14424 |
| 16:00 | 2.81  | 9.85    | 14483 |
| 17:00 | 2.78  | 9.81    | 14436 |
| 18:00 | 3.02  | 10.23   | 14512 |
| 19:00 | 3.15  | 10.48   | 14476 |
| 20:00 | 2.76  | 9.76    | 14469 |
| 21:00 | 2.54  | 9.35    | 14416 |
| 22:00 | 2.29  | 8.82    | 14478 |
| 23:00 | 2.21  | 8.67    | 14423 |
| 00:00 | 1.88  | 7.94    | 14437 |
| Média |       |         | 14457 |

Admitindo um K médio para as duas situações e, considerando a altura geométrica calculada em (1), tem-se que a equação da curva do sistema pode ser dada pela equação abaixo:

Curva do sistema (média):

$$H_m = 9.5 + 14456.7 \times Q^{1.85}$$



A partir das informações acima e, dada a curva característica do fabricante do conjunto motobomba escolhido para o Booste Ataíde, obtém-se o gráfico das curvas da bomba e do sistema. A curva da bomba não corresponde exatamente a curva do fabricante, pois na modelagem utilizou-se inversor de frequência, sendo o ponto de trabalho  $Q=8.5$  l/s e  $H_m=11$ m. Vale ressaltar que há uma variação de vazão na bomba variando de 7.38l/s a 11.55l/s.

## ANEXO V - DESENHOS

### LISTAS DE DESENHOS

| Número da CESAN          | Referência do desenho                                                                                                           | Revisão    |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1 A-050-000-60-5-XX-0118 | Setor Garrido ĩ Melhorias do SAA do Bairro Aribiri ĩ Rede de distribuição de água ĩ Planta, detalhe de nós e lista de materiais | Revisão 03 |
| 2 A-050-000-60-5-XX-0116 | Booster Aribiri ĩ projeto hidráulico ĩ planta, corte AA, corte BB, corte CC e lista de materiais                                | Revisão 03 |
| 3 A-050-000-60-5-XX-0117 | Booster Aribiri ĩ projeto hidráulico ĩ planta de situação, detalhes e montagem                                                  | Revisão 03 |
| 4 C-050-000-60-5-XX-0005 | Setor Garrido ĩ Melhorias do SAA do Bairro Ataíde ĩ Rede de distribuição de água - Planta                                       | Revisão 01 |
| 5 C-050-000-60-5-XX-0004 | Setor Garrido ĩ Melhorias do SAA do Bairro Ataíde ĩ Rede de distribuição de água ĩ Detalhe de nós e lista de materiais.         | Revisão 03 |
| 6 A-050-000-60-5-XX-0119 | Booster Ataíde ĩ projeto hidráulico ĩ planta, corte AA, corte BB, corte CC e lista de materiais                                 | Revisão 02 |
| 7 A-050-000-60-5-XX-0120 | Booster Ataíde ĩ projeto hidráulico ĩ planta de situação, detalhes e montagem                                                   | Revisão 02 |