

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Estudo da correlação entre perdas de água e energia para setores do sistema de abastecimento de água da cidade de São Lourenço – MG

Hellen Antunes Lamoglia

ITAJUBÁ

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

HELLEN ANTUNES LAMOGLIA

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE PERDAS DE ÁGUA E ENERGIA PARA
SETORES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE SÃO
LOURENÇO – MG

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal
de Itajubá, como parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva

Agosto de 2013

Itajubá - MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

L233e

Lamoglia, Hellen Antunes

Estudo da correlação entre perdas de água e energia para setores do sistema de abastecimento de água da cidade de São Lourenço – MG / Hellen Antunes Lamoglia. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2013.

236 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Sistema de abastecimento de água. 2. Rede de distribuição de água. 3. Perdas de água. 4. Tarifas energéticas. 5. Modelo Epanet. 6. Eficiência hidroenergética. I. Silva, Fernando das Graças Braga da, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

HELLEN ANTUNES LAMOGLIA

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE PERDAS DE ÁGUA E ENERGIA PARA
SETORES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE SÃO
LOURENÇO – MG

Dissertação aprovada por banca examinadora em 26 de agosto de 2013, conferindo ao autor o título de **Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos**.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva (Orientador)

Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

Prof^a. Dr^a Márcia Viana Lisboa Martins

Agosto de 2013

Itajubá - MG

DEDICATÓRIA

A minha filha Ana Júlia que amo tanto e é a inspiração para qualquer realização de um trabalho. Ao meu pai José Augusto, minha mãe Rosana e minha irmã Natalia.

A toda minha família que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado, incentivando a superar todos os obstáculos e conquistar essa vitória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por sempre me guiar, dar forças e ter colocado pessoas maravilhosas que me guiaram, apoiaram e auxiliaram para que este trabalho pudesse ser realizado com sucesso.

Ao professor Dr. Fernando das Graças Braga da Silva, orientador da dissertação, que acreditou no meu potencial e me confiou à realização deste trabalho junto à sua orientação. Além da grande compreensão em momentos de dificuldades, sempre trabalhando com sinceridade e companheirismo.

À minha família. Ao meu pai, José Augusto Lamoglia (*in memoriam*) que mesmo distante me orienta e dá toda a força necessária para vencer qualquer obstáculo! À minha mãe e minha irmã, Rosana Maria Antunes Lamoglia e Natalia Antunes Lamoglia, que sempre me apoiaram e no dia a dia compreenderam e me auxiliaram nas atividades e dificuldades que tive durante os trabalhos. Aos meus avós, Neuza e Francisco; meus tios e tias, primos e primas. A todos que sempre acreditaram em mim e torceram pelo meu sucesso.

À minha filha, Ana Júlia Lamoglia de Melo, que apesar de ser nova ainda, compreendeu os momentos de minha ausência para a realização deste trabalho e ao mesmo tempo sempre deu o maior apoio. Além de ser a maior inspiração para a realização de qualquer trabalho e obtenção de qualquer conquista.

Aos meus amigos e amigas que torcem pelo meu sucesso e estão sempre dispostos a auxiliar quando necessário. Aos mestrandos Diego e Thaisa Dias que me acompanharam e auxiliaram na visita a campo para obtenção de dados, além do companheirismo e amizade.

À companhia de água municipal, SAAE de São Lourenço. Ao diretor do SAAE Hemerson que disponibilizou tempo para esclarecimento de dúvidas, fornecimento de dados e informações. Além da disponibilidade dos servidores, com destaque ao servidor Cláudio que acompanhou toda a visita a campo e nos auxiliou nas instalações e utilização dos equipamentos.

Aos funcionários da Unifei, Oswaldo, Thiago Corrêa, André, que disponibilizaram de seu tempo e auxiliaram em treinamentos, instalação de equipamentos e esclarecimento de dúvidas.

À professora Nívea Pons devido à sua acessibilidade e por ter disponibilizado de seu conhecimento para esclarecimento de dúvidas surgidas durante a realização do trabalho.

Aos professores das disciplinas frequentadas durante o mestrado, que contribuíram muito para a escrita da dissertação e no grande conhecimento transmitido com as aulas ministradas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, FAPEMIG, pelo apoio dado pelo projeto Pesquisador Mineiro PPM 00633-11.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, pela bolsa concedida durante os anos de curso por meio do projeto FINEP: Monitoramento, simulação e operação de sistemas de distribuição de água – 983-10.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa Reuni durante o curso.

Ao Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos – NUMMARH.

Enfim, a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Abastecer uma população com água em quantidade e qualidade ideais é uma tarefa nada simples. Com base na complexidade encontrada, na análise e dimensionamento em sistemas de distribuição de água, muitos estudos vêm sendo necessários. Principalmente quando se trata de ampliações do sistema, que são realizadas para o atendimento da população sem, muitas vezes, o cuidado necessário e o planejamento prévio de acordo com as características e comportamento da rede já existente. Outro fator relevante refere-se à obtenção de um sistema eficiente, tanto em relação ao recurso natural quanto econômico. Para a obtenção da eficiência desejada e conseqüentemente um maior controle do comportamento da rede, ferramentas computacionais estão surgindo com a finalidade de auxiliar os estudos, proporcionando maior rapidez e facilidade na simulação visando à otimização de seu funcionamento. Os modelos de simulação hidráulica permitem, sem que haja interferência sobre a infraestrutura urbana, estudar os sistemas, diagnosticar conseqüências de ações no manuseio dos componentes, manipular informações e obter dados de maneira rápida e facilitada. Assim, neste trabalho realizou-se a determinação de perdas de água no sistema e conseqüentemente o custo destes volumes perdidos. Para tal, aplicaram-se indicadores com base nos dados de vazão mínima noturna. Valores dos quais juntos a dados de consumo, valores de perdas e custos de produção de água e bombeamento, possibilitaram a obtenção além do custo unitário, como o volume e custo de perda de água no sistema conduzindo a correlações entre perdas de água e energia em um sistema real de abastecimento da cidade de São Lourenço-MG que pelo seu pequeno porte pode servir de modelo a gerenciamento de dados.

Palavras-chave: Sistema de abastecimento de água; Rede de distribuição de água; Perdas de água; Tarifas Energéticas; Modelo Epanet; Eficiência hidroenergética.

ABSTRACT

Supply a population with water quantity and quality ideals is no simple task. Based on the complexity found in the analysis and design in water distribution systems, many studies have been necessary. Especially when it comes to extensions of the system, which are held for the care of people without often necessary care and prior planning in accordance with the characteristics and behavior of the existing network. Another relevant factor refers to obtaining an efficient, both in relation to natural resource and economic terms. To obtain the desired efficiency and hence greater control of network behavior, computational tools are emerging for the purpose of assisting the studies, providing greater speed and ease of simulation aiming to optimize its operation. Simulation models allow hydraulic, without interference on the urban infrastructure, study systems, diagnose consequences of actions in the handling of components, manipulate information and retrieve data quickly and easy. Thus, this study was performed to determine water losses in the system and consequently the cost of these lost volumes. To this end, we applied indicators based on minimum night flow data. Together the values of which consumption data, values of losses and costs of water production and pumping it possible to obtain than the unit cost, as the volume and cost of water loss in the system leading to correlations between water losses and energy a real system of supply of the city of São Lourenço-MG which by their small size can be a model for data management.

Keywords: Water supply system; distribution network water, water losses; Rates Energy; Model Epanet; Efficiency hydropower.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema de um sistema de suporte a decisão.....	13
Figura 2 – Esquema de um sistema de abastecimento de água.....	15
Figura 3 – Setorização em sistema de abastecimento de água.....	17
Figura 4 – Esquema de uma rede ramificada.....	20
Figura 5 – Esquema de uma rede malhada.....	21
Figura 6 – Parcela das perdas de água em relação ao volume que entra.....	26
Figura 7 – Tipos de vazamentos.....	27
Figura 8 – Vazamento nas conexões.....	29
Figura 9 – Vazamento na rede de distribuição.....	29
Figura 10 – Tipos de som provocado por vazamentos.....	31
Figura 11 – Haste de escuta e sua utilização.....	33
Figura 12 – Geofone mecânico.....	33
Figura 13 – Geofone eletrônico e sua utilização.....	34
Figura 14 – Correlacionador de ruídos.....	34
Figura 15 – Componentes do balanço hídrico.....	40
Figura 16 – Componentes da vazão mínima noturna.....	42
Figura 17 – Gráfico das componentes da vazão mínima noturna.....	42
Figura 18 – Ações estratégicas para a redução de perdas aparentes.....	48
Figura 19 – Ações estratégicas para a redução de perdas reais.....	50
Figura 20 – Representação da rede exemplo no Epanet.....	71
Figura 21 – Etapas da metodologia.....	74
Figura 22 – Localização dos setores a serem estudados.....	75
Figura 23 – Localização do município.....	76
Figura 24 – Localização do município no Google Earth.....	76
Figura 25 – Distância do município às proximidades.....	77
Figura 26 – Esquema de todo o sistema de abastecimento de água do município de São Lourenço.....	79
Figura 27 – Localização geral de partes do sistema de abastecimento de água do município.....	80
Figura 28 - Localização da captação do município – Rio Verde.....	81
Figura 29 – Captação.....	81
Figura 30 - Localização da ETA do município.....	82
Figura 31 – ETA.....	82
Figura 32 - Localização do Reservatório do município.....	83
Figura 33 – Reservatório Vila Nova.....	83
Figura 34 – Estação Elevatória Solar dos Lagos.....	83
Figura 35 – Esquema dos setores estudados.....	85
Figura 36 – Layout da rede de distribuição dos bairros Vale dos pinheiros e Moradas da Serra.....	86
Figura 37 – Layout da rede de distribuição do bairro Palmela.....	87

Figura 38 – Localização do booster no bairro Moradas da Serra e redes alimentadas.	87
Figura 39 – Localização do nó 80 no bairro Moradas da Serra.....	88
Figura 40 – Localização do nó 52 no bairro Vale dos Pinheiros.....	88
Figura 41 – Localização do nó 08 no bairro Palmela.	89
Figura 42 – Imagem SRTM aproximada na área dos bairros estudados.	89
Figura 43 – Curva de nível gerada dos bairros Moradas da Serra, Vale dos Pinheiros e Palmela.	90
Figura 44 – Mapa das ruas do bairro Vale dos Pinheiros para a geofonia.	90
Figura 45 – Mapa da localização das medições em 2010 nos bairros Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.....	91
Figura 46 – Mapa da localização das medições em 2010 no bairro Palmela.....	91
Figura 47 – Layout do software Epanet.....	92
Figura 48 – Esquema do geofone eletrônico.....	93
Figura 49 – Foto do geofone eletrônico utilizado.....	93
Figura 50 – Treinamento utilizando o geofone.	93
Figura 51 – Layout do software e o equipamento data logger.	94
Figura 52 – Treinamento com o data logger, instalação, configuração e obtenção de dados.	94
Figura 53 – Equipamentos para medição: maleta de registro; tubo de pitot e software.....	95
Figura 54 - Cálibre e sua instalação.....	96
Figura 55 – Partes do DGPS: antena, haste, GPS, bipé e bolha.	97
Figura 56 - Treinamento com DGPS.	97
Figura 57 - Localização dos medidores na campanha de 2010 dos bairros Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.....	98
Figura 58 - Localização dos medidores na campanha de 2010 do bairro Palmela. ...	98
Figura 59 - Gráfico da variação horária de pressão dos medidores em 2010.	99
Figura 60 – Localização dos medidores no bairro Moradas da Serra e Vale dos Pinheiros.	100
Figura 61 – Localização dos medidores no bairro Palmela.	100
Figura 62 – Fotos dos medidores, data logger, no bairro Vale dos Pinheiros.	101
Figura 63 – Foto do medidor, data logger, no bairro Moradas da Serra.....	101
Figura 64 – Foto do medidor, data logger, no bairro Palmela.	101
Figura 65 - Gráfico da variação horária de pressão mínima dos medidores em 2012.	102
Figura 66 - Gráfico da variação horária de pressão média dos medidores em 2012.	102
Figura 67 - Gráfico da variação horária de pressão máxima dos medidores em 2012.	103
Figura 68 - Variação dos dados de vazão na entrada do sistema.....	103
Figura 69 – Tubulação de entrada do sistema, adaptação e instalação do calibre.	104
Figura 70 – Instalação, calibração, sangria (retirada do ar) e funcionamento.	105

Figura 71 – Treinamento inicial junto ao profissional do SAAE na descarta da tubulação.....	106
Figura 72 – Passagem do geofone na rua Alameda A do bairro Moradas da Serra.	106
Figura 73 – Passagem do geofone na rua Alameda das Rosas e Alameda das Camélia do bairro Vale dos Pinheiros.	106
Figura 74 – Passagem do geofone na rua Sebastião Ribeiro da Silva e Jardim Nirvana do bairro Palmela.....	107
Figura 75 – Medição com GPS na residência e na rua do bairro Moradas da Serra.	107
Figura 76 – Medição com GPS na residência e na rua do bairro Moradas da Serra.	107
Figura 77 – Medição com GPS na residência e na rua do bairro Moradas da Serra.	108
Figura 78 – ETA de Carmo de Minas, base cartográfica e instalação DGPS.	108
Figura 79 – Área de influência de consumo nos nós.....	112
Figura 80 - Variação tarifária das energias consumidas no sistema de captação e ETA.	116
Figura 81 - Variação tarifária das energias consumidas no sistema de EEA.	116
Figura 82 - Demanda contratada e ultrapassada com suas respectivas tarifas do sistema de captação e ETA.....	117
Figura 83 - Demanda contratada e ultrapassada com suas respectivas tarifas da EEA.....	117
Figura 84 - Composição do custo total do sistema de captação e ETA.	118
Figura 85 - Composição do custo total da EEA.....	118
Figura 86 - Janela de definição das configurações pré-definidas.....	123
Figura 87 - Barra de ferramentas do EPANET.	124
Figura 88 - Imagem da rede desenhada no <i>software</i> Epanet.	124
Figura 89 - Janela responsável para a caracterização dos objetos da rede.	125
Figura 90 - Opções de configurações hidráulicas na simulação inicial.	126
Figura 91 - Resultado gráfico da rede de distribuição com análise de cotas e diâmetros.....	126
Figura 92 – Volume consumido mensal no bairro Vale dos Pinheiros.	127
Figura 93 – Perfil de consumo de água mensal do bairro Vale dos Pinheiros.	128
Figura 94 – Volume consumido mensal no bairro Moradas da Serra.....	129
Figura 95 – Perfil de consumo de água mensal do bairro Moradas da Serra.	130
Figura 96 – Volume consumido mensal no bairro Palmela.	131
Figura 97 – Perfil de consumo de água mensal do bairro Palmela.	132
Figura 98 - Gráfico dos dados de pressão mínima, média e máxima de cada ponto de medição e a cota dos medidores em 2010.....	133
Figura 99 - Gráfico dos dados de pressão mínima, média e máxima de cada ponto de medição e sua cota dos medidores em 2012.	134
Figura 100 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição na entrada do sistema.	136

Figura 101 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição nos nós 87 e 33.	136
Figura 102 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição no nó 82.....	136
Figura 103 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição nos nós 5 e 8.	137
Figura 104 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição nos nós 48 e 52.	137
Figura 105 - Variação dos dados de vazão mínima, média e máxima horária na entrada do sistema.	138
Figura 106 - Variação da pressão nodal representada através de isolinhas.....	139
Figura 107 - Variação do consumo nodal representado através de isolinhas.	139
Figura 108 - Gráfico na determinação de valores para o cálculo do fator de pesquisa.	141
Figura 109 – Relação entre pressão média horária e o fator FND com dados de pressão e vazão de 2010.	142
Figura 110 – Relação entre pressão média horária e o fator FND com dados de pressão de 2012 e vazão de 2010.	143
Figura 111 – Relação entre pressão média horária e o volume de vazamento com dados de pressão e vazão de 2010.	143
Figura 112 – Relação entre pressão média horária e o volume de vazamento com dados de pressão de 2012 e vazão de 2010.	144
Figura 113 – Relação entre pressão média, volume perdido e hora com dados de pressão e vazão de 2010.	144
Figura 114 – Relação entre pressão média, volume perdido e hora com dados de pressão de 2012 e vazão de 2010.	145
Figura 115 - Gráfico da percentagem referente aos bairros do custo de captação e tratamento de água.	146
Figura 116 - Gráfico da percentagem referente aos bairros do custo da estação elevatória Solar dos Lagos.	146
Figura 117 - Gráfico da percentagem de custo energético em relação ao custo total na captação e ETA.	147
Figura 118 - Gráfico da percentagem de custo energético em relação ao custo total na EEA.	147
Figura 119 - Gráfico da variação mensal dos custos totais para o consumo dos bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.	147
Figura 120 - Gráfico da variação mensal dos custos unitários para o consumo dos bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.	148
Figura 121 - Gráfico da variação mensal do volume abastecido para os bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.	149
Figura 122 - Gráfico dos custos proporcionais e totais com base no volume abastecido para os bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.	150
Figura 123 - Gráfico da variação mensal dos custos unitários para o volume abastecido nos bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.	151
Figura 124 - Gráfico da variação mensal do volume perdido e seu respectivo custo com dados de pressão e vazão de 2010.	151
Figura 125 - Gráfico da variação mensal do volume perdido e seu respectivo custo com dados de pressão 2012 e vazão de 2010.	152

Figura 126 – Correlação do volume perdido e custo com dados de pressão e vazão de 2010.	153
Figura 127 – Correlação do volume perdido e custo com dados de pressão 2012 e vazão de 2010.....	153
Figura 128 – Estimativa do volume perdido e custo com dados de pressão e vazão de 2010.	154
Figura 129 – Estimativa do volume perdido e custo com dados de pressão de 2012 e vazão de 2010.....	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Problemas mais comuns em sistemas de abastecimento.....	19
Tabela 2 - Dimensões das perdas.....	23
Tabela 3 - Relação do índice de perdas e situação do sistema.	28
Tabela 4 - Origem e magnitude de vazamentos aparentes.....	30
Tabela 5 - Relação do índice de perdas e situação do sistema.	37
Tabela 6 - Relação de valores de $N1e$ o material da rede de distribuição.	44
Tabela 7 - Estratégias de controle de perdas aparentes.....	47
Tabela 8 - Estratégias de controle de perdas reais.	49
Tabela 9 - Subgrupos do grupo de baixa tensão.....	58
Tabela 10 - Subgrupos do grupo de alta tensão.	59
Tabela 11 - Modos de redução de custos sem a necessidade de diminuição do consumo de energia elétrica.	63
Tabela 12 - Modos de redução de custo através da diminuição do consumo de energia.	64
Tabela 13 - Modos de redução de custo através da geração da energia elétrica.	67
Tabela 14 – Dados nominais dos conjuntos na captação.	81
Tabela 15 – Dados nominais dos conjuntos na ETA.....	82
Tabela 16 – Dados nominais dos conjuntos da EEA no bairro Solar dos Lagos.....	84
Tabela 17 – Configurações necessárias no equipamento do tubo de pitot.....	104
Tabela 18 – Tabela com o número de economias e volumes medidos do bairro Vale dos Pinheiros.....	109
Tabela 19 – Tabela com o número de economias e volumes medidos do bairro Moradas da Serra.....	110
Tabela 20 – Tabela com o número de economias e volumes medidos do bairro Palmela.	110
Tabela 21 – Volumes de água em todo o sistema.	111
Tabela 22 – Pressão média horária da campanha de 2010.....	113
Tabela 23 – Pressão média horária da campanha de 2012.....	114
Tabela 24 – Gasto mensal da estação de tratamento de água e da estação elevatória Vila Nova.	115
Tabela 25 - Fórmulas para o calculo da perda de carga contínua em escoamento em pressão.	123
Tabela 26 - Opções hidráulicas principais utilizadas nas configurações da rede no <i>software</i> Epanet.	125
Tabela 27 - Dados de pressão dos medidores na campanha em 2010.	133
Tabela 28 - Dados de pressão dos medidores na campanha em 2010.	134
Tabela 29 - Dados de cota dos locais medidos e comparados.	135
Tabela 30 - Índice de perdas mensais calculados.....	140
Tabela 31 - Dados de vazão para a determinação do fator de pesquisa.	141
Tabela 32 – Dados de pressão e vazão das campanhas de 2010 e 2012.....	142

Tabela 33 - Custo total mensal e médio por m ³ consumido.	148
Tabela 34 - Volume mensal afluyente dos bairros (m ³).....	149
Tabela 35 - Custo unitário para os bairros estudados.....	150
Tabela 36 - Volume perdido e seu custo mensal dos bairros estudados.	152
Tabela 37 - Volume perdido e seu custo mensal dos bairros estudados.	154

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Rede de distribuição de água das distritos de Moradas da Serra, Vale dos Pinheiros e Palmela.....	168
ANEXO B – Localização dos nós na rede de distribuição de água dos distritos de Moradas da Serra, Vale dos Pinheiros e Palmela	170
ANEXO C - Informações da rede em estudo fornecidas pelo SAAE da cidade de São Lourenço - MG.	172
ANEXO D - Informações de coordenadas geográficas e cotas dos nós na rede de estudo.	175
ANEXO E – Relatório da estação geodésica utilizado como base.....	177
ANEXO F - Dados de pressão obtidos pelos medidores na campanha de 2010. ...	178
ANEXO G - Dados de pressão obtidos pelos medidores na campanha de 2012....	183
ANEXO H - Dados de vazão obtidos pelos pela campanha no ano de 2010.	202
ANEXO I - Dados para o cálculo da vazão de perdas com dados de pressão e vazão da campanha de 2010.....	204
ANEXO J - Dados para o cálculo da vazão de perdas com dados de pressão da campanha de 2012 e vazão de 2010.	205
ANEXO K - Dados de consumo de água nodal.....	206
ANEXO L - Dados de custos energéticos da captação e ETA.	211
ANEXO M - Dados de custos energéticos da EEA Solar dos Lagos.....	213
ANEXO N - Dados de custos proporcionais aos bairros da captação e tratamento de água (R\$).	215
ANEXO O - Dados de custos proporcionais aos bairros da estação elevatória de água do Vale dos Pinheiros (R\$).....	216
ANEXO P - Dados de custos total proporcionais aos bairros (R\$).....	217
ANEXO Q – Custos proporcionais e totais para os bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra (R\$).....	218

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection (Global Digital Elevation Map)</i>
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CESAMA	Companhia de Saneamento de Juiz de Fora
COMPENSA	Companhia Pernambucana de Saneamento
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
DPPLOGGER	<i>Software do Equipamento Data Logger</i>
EEA	Estação de Elevatória de Água
EPANET	<i>Software do Environmental Protection Agency</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
FINESSE	<i>Water Software Systems</i>
FND	Fator Noite/Dia ou Fator de Correção
FP	Fator de Pesquisa
GDEM	<i>Global Digital Elevation Model</i>
H2ONET	<i>Software do Montgomery Watson Inc.</i>
H2OMap	<i>Software do Montgomery Watson Inc.</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IIE	Índice de Infraestrutura de Perdas
IPD	Índice Percentual de Perdas
IPL	Índice de Perdas por Extensão de Rede
IPR	Índice de Perdas por Ramal
IRN	Instituto de Recursos Naturais
IWA	<i>International Water Association</i>
LENHS	Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MDHidro	<i>Software do Equipamento de Pitometria</i>
NUMMARH	Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PIPE2000	<i>Software do KyPipe</i>
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNCDA	Programa Nacional de Combate e Desperdício de Água
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PROCEL	Programa de Conservação de Energia Elétrica
PVC	Cloreto de Polivinila
RNF	Reservatório de Nível Fixo
RNV	Reservatório de Nível Variável
SAAE	Sistema Autônomo de Água e Esgoto
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento
SABESP	Companhia de Saneamento Básico de São Paulo
SCADA	Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados
SESP	Secretaria de Segurança Pública (Hoje Fundação Nacional de Saúde)
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINISA	Sistema Nacional de Informação em Saneamento Básico
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
SNIS	Sistema Nacional em Informação sobre Saneamento Básico
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SSD	Sistema de Suporte a Decisões
SynerGEE	<i>Software do Stoner Workstation Service</i>
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
UTRs	Unidades Terminais Remotas
VMP	Válvula Medidora de Pressão
VRP	Válvula Redutora de Pressão
ZMC	Zona de Medição e Controle
WaterCAD	<i>Software do Bentley's Haestad Methods</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Coeficiente de Rugosidade (adimensional)
C_{EEA_MB}	Custo Mensal dos Bairros proporcional ao Custo Total da Estação Elevatória de Água Vila Nova (R\$)
C_{EEA_MT}	Custo Mensal Total da Estação Elevatória de Água Vila Nova (R\$)
C_{ETA_MB}	Custo Mensal dos Bairros proporcional ao Custo Total da Captação e Estação de Tratamento de Água (R\$)
C_{ETA_MT}	Custo Mensal Total da Captação e Estação de Tratamento de Água (R\$)
C_M	Consumo Medido (kW)
C_{MFP}	Consumo Medido Fora da Hora de Ponta (kW)
C_{MP}	Consumo Medido na Hora de Ponta (kW)
C_{TMB}	Custo Total Mensal dos Bairros (R\$)
C_{UME}	Custo Unitário Mensal do Volume de Entrada (R\$/m ³)
C_{UVC}	Custo Unitário do Volume Consumido (R\$/m ³)
C_{VPMB}	Custo do Volume Perdido Mensal dos Bairros (R\$)
d	Diâmetro da Tubulação (mm)
D_C	Demanda de Energia Contratada (kW)
D_{CFP}	Demanda de Energia Contratada Fora da Hora de Ponta (kW)
D_{CP}	Demanda de Energia Contratada na Hora de Ponta (kW)
D_M	Demanda de Energia Medida (kW)
D_{MFP}	Demanda de Energia Medida Fora da Hora de Ponta (kW)
D_{MP}	Demanda de Energia Medida na Hora de Ponta (kW)
D_r	Diâmetro do Bocal de Recalque (mm)
D_s	Diâmetro do Bocal de Sucção (mm)
f	Fator de Darcy-Weisbach (adimensional)
FND	Fator Noite/Dia ou Fator de Correção (adimensional)
FP_{4hs}	Fator de Pesquisa Calculado para hora igual à 4hs (adimensional)
FP_{5hs}	Fator de Pesquisa Calculado para hora igual à 5hs (adimensional)
H	Altura Manométrica (m)
I	Corrente Elétrica (A)
IIE	Índice de Infraestrutura de Perdas (adimensional)
IPD	Índice Percentual de Perdas (%)
IPL	Índice de Perdas por Extensão de Rede (m ³ /km.dia)
IPR	Índice de Perdas por Ramal (m ³ /ramal.dia)
L	Comprimento da Tubulação (m)
L_p	Extensão Total do Ramal Domiciliar Enterrado entre a Testada da Propriedade e o Hidrômetro (m)

L_{Rede}	Comprimento Total de Ramais (km)
L_{ri}	Extensão da Rede (m)
n	Coefficiente de Rugosidade de Manning (adimensional)
n	Rotação (rpm)
n°	Número de motores
N_C	Número de Ramais
N_1	Expoente que Depende das Características dos Materiais das Tubulações (adimensional)
N_{DM}°	Número de Dias do Mês (dias)
N_r°	Número de Ramais (ramais)
P	Pressão Média do Sistema (mca)
P_C	Preço Total do Consumo (R\$)
P_D	Preço Total da Demanda (R\$)
P_e	Potência do Equipamento (cv)
P_p	Porcentagem de Perdas (%)
$PMNS_{3-4hs}$	Pressão Noturna Média no Setor entre o Horário de 3 - 4hs (mca)
$PPMS_i$	Pressão Média Horária no Setor na Hora "i" do Dia (mca)
P_U	Preço Total da Ultrapassagem (R\$)
Q	Vazão (m^3/s)
Q_L	Vazão de Usos ou Consumo Legítimos Médio no Horário da Mínima Noturna (m^3/h)
$Q_{\text{máx diária}}$	Vazão Máxima Diária (m^3/h)
$Q_{\text{méd diária}}$	Vazão Média Diária (m^3/h)
$Q_{\text{mín not}}$	Vazão Mínima Noturna (m^3/h)
Q_{perdas}	Vazão de Perdas (m^3/dia)
T_C	Tarifa de Consumo (R\$/kW)
T_{CFP}	Tarifa de Consumo Fora da Hora de Ponta (R\$/kW)
T_{CP}	Tarifa de Consumo na Hora de Ponta (R\$/kW)
T_D	Tarifa de Demanda (R\$/kW)
T_{DFP}	Tarifa de Demanda Fora da Hora de Ponta (R\$/kW)
T_{DP}	Tarifa de Demanda na Hora de Ponta (R\$/kW)
T_U	Tarifa de Ultrapassagem (R\$/kW)
T_{UFP}	Tarifa de Ultrapassagem Fora da Hora de Ponta (R\$/kW)
T_{UP}	Tarifa de Ultrapassagem na Hora de Ponta (R\$/kW)
V	Voltagem (V)
V_{Cap}	Volume de Água Captada (m^3)
V_{CMB}	Volume de Água Consumido Mensal nos Bairros (m^3)
V_{Dist}	Volume de Água Distribuído (m^3)

V_{EMB}	Volume de Água de Entrada Mensal nos Bairros (m^3)
V_{PA}	Volume Perdido Anual (m^3)
V_{PMB}	Volume de Perda de Água Mensal dos Bairros (m^3)
V_{PTIA}	Volume Perdido Total Inevitável Anual (m^3/dia)
V_{Util}	Volume Utilizado (m^3)
ε	Rugosidade Absoluta (mm)
η	Rendimento (%)
ϕ_r	Diâmetro da Tubulação de Recalque (mm)

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 RECURSOS HÍDRICOS	10
3.1.1 Histórico.....	10
3.1.2 Uso racional e aplicação da Lei 9.433/1997	11
3.1.3 Sistemas de suporte a decisão aplicados a recursos hídricos	12
3.2 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	15
3.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	20
3.4 PERDAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	22
3.4.1 Causas principais e consequências ao sistema	22
3.4.2 Tipos de perdas.....	25
3.4.3 Detecção de perdas/vazamentos	31
3.4.4 Ações para controle e combate das perdas	45
3.4.5 Manutenção e reabilitação de estruturas da rede de distribuição.....	51
3.5 EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	53
3.5.1 Custos e gestão operacional	53
3.5.2 Tarifas de energia elétrica	57
3.5.3 Alternativas de redução de custo da energia elétrica	62
3.6 FERRAMENTAS DE AUXÍLIO NOS ESTUDOS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	67
3.6.1 Definição.....	67
3.6.2 Modelos de simulação hidráulica.....	68
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	74
4.1 ETAPAS DA REALIZAÇÃO DO ESTUDO	74
4.2 REDE DE ESTUDO	75
4.2.1 Informações dos setores estudados do município.....	75
4.2.2 Empresa - SAAE de São Lourenço	77
4.2.3 Dados de projeto do sistema	78

4.2.4	Manipulação das informações iniciais	88
4.3	CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	92
4.3.1	Software Epanet	92
4.3.2	Equipamentos.....	93
4.4	OBTENÇÃO DE DADOS	97
4.4.1	Medição de pressão	97
4.4.2	Medição de vazão.....	103
4.4.3	Detecção de vazamentos na rede de distribuição	105
4.4.4	Obtenção de cotas topográficas	107
4.5	PERFIL DE CONSUMO DE ÁGUA DOS BAIRROS	109
4.5.1	Bairro Vale dos Pinheiros	109
4.5.2	Bairro Moradas da Serra	109
4.5.3	Bairro Palmela	110
4.6	VOLUMES DE ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO	110
4.7	DETERMINAÇÃO DO CONSUMO NODAL	111
4.8	DETERMINAÇÃO DE PERDAS.....	112
4.9	CONSUMO ENERGÉTICO	114
4.10	DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS COM BASE NOS VOLUMES CONSUMIDOS.....	118
4.11	DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DO VOLUME PERDIDO	120
4.12	REPRESENTAÇÃO DO MODELO DE REDE E SIMULAÇÃO	122
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	127
5.1	PERFIL DE CONSUMO DOS BAIRROS	127
5.1.1	Bairro Vale dos Pinheiros	127
5.1.2	Bairro Moradas da Serra	129
5.1.3	Bairro Palmela	131
5.2	COMPARAÇÃO DOS DADOS DE PRESSÃO.....	133
5.2.1	Dados de pressão obtidos na campanha de 2010	133
5.2.2	Dados de pressão obtidos na campanha de 2012	134
5.2.3	Comparação dos dados de pressão obtidos nas campanhas	135
5.3	DADOS DE VAZÃO	137
5.4	RESULTADOS COMPUTACIONAIS	138
5.5	PERDAS	140
5.5.1	Índice de perdas	140

5.5.2	Fator de pesquisa	140
5.5.3	Vazão de perdas.....	141
5.6	CUSTOS ENERGÉTICOS DO VOLUME CONSUMIDO.....	145
5.7	CUSTOS ENERGÉTICOS DOS VOLUMES PERDIDOS	148
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	156
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	160
	ANEXOS	167

1 INTRODUÇÃO

A dependência na utilização da água, para suprir as necessidades humanas e a realização de tarefas, no dia a dia faz repensar sobre sua utilização e disponibilidade. Nos últimos anos, percebe-se a restrição do uso do recurso em quantidade, e principalmente, em qualidades necessárias para exercer certas atividades. Assim, tendo em vista a sua importância, surge a necessidade de maior controle na quantidade de água utilizada, já que a cada dia que passa a sua utilização para o abastecimento urbano tem aumentado.

Com a finalidade de se obter o maior controle, a instituição da Política de Recursos Hídricos por meio da Lei 9.433, em 1997 (BRASIL, 1997), permitiu a realização de estudos e intervenções nestes recursos. A fim de regulamentar o seu uso e despejo, considerando os vários tipos e qualidades de água. Além da regularização do uso, pretende-se conscientizar a sua utilização de forma correta e racional. Ainda na determinação de que a água é um bem de domínio público e devem-se privilegiar os seus usos múltiplos.

Para análise do sistema de produção de água potável, é necessário o conhecimento da disposição de suas estruturas, funcionamento dos equipamentos e demanda exigida no setor. Após o conhecimento busca-se o auxílio junto a sistemas que dão suporte às decisões para que problemas possam ser resolvidos e a eficiência alcançada.

Com a finalidade de que a análise seja feita de maneira rápida, econômica e eficaz, utiliza-se recursos computacionais, que permitirão a transferência ao computador de toda a estrutura do sistema de abastecimento, considerando suas localizações, características e funcionamento. Para essa representação, utiliza-se o recurso de transformação de situações reais em modelos matemáticos que permitam a obtenção e visualização de seu funcionamento.

Um dos *softwares* mais utilizados e conhecidos, para a realização desta modelagem e possível simulação do comportamento, por pesquisadores é o Epanet (ROSSMAN, 2000), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, que disponibiliza o código fonte facilitando a sua utilização e obtenção em várias versões e línguas.

Assim, grandes consumidores de água e responsáveis pelo abastecimento urbano vêm buscando uma gestão eficiente em todo o seu sistema de produção de água potável. Eficiência que pode ser obtida tanto na quantidade do recurso hídrico quanto nos custos financeiros da empresa. Para isso procura-se diminuir as perdas de água já tratadas, permitindo não apenas a diminuição da quantidade do recurso natural captado, mas também a sua perda. Portanto, a gestão eficiente de um sistema de abastecimento torna-se necessário, que trará economia do recurso natural e de recursos financeiros.

Perdas de água que ocorrem em todas as etapas do sistema de abastecimento urbano que dependem, entre outros vários fatores, da pressão que ocorre durante todo o sistema de abastecimento, tipo de material e idade utilizado, tempo de reparo. Para a análise do sistema inicialmente utilizam-se de indicadores que auxiliam na percepção inicial do sistema se há grandes perdas ou não no sistema. Além de técnicas utilizadas em campo que permitem a localização exata de um vazamento.

Para isso pode-se determinar as perdas através de tipos de volumes de água, relação entre a vazão mínima noturna e a vazão máxima diária, balanço hídrico. Mas a determinação correta deste valor não é tão fácil de ser encontrado, pois muitos volumes de água são bem subjetivos e depende do conhecimento de várias características de todo o sistema, que nem sempre são fáceis de obter.

Este trabalho foi realizado em dois bairros do município de São Lourenço – MG (Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra) e um do município de Carmo de Minas (Palmela), mas todos abastecidos pelo mesmo Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Com o objetivo de se obter uma relação entre volume de água perdido e seu respectivo custo. Para a realização, analisaram-se dados de volume consumido de água, volume distribuído, custos energéticos e simulação computacional (Epanet) para a verificação do comportamento da rede. Encontrando comportamento da rede como esperado e porcentagem de perdas em torno de 25,64% e 27,49% e volume perdido diário em torno de 126,44 m³ e 135,55 m³.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar a operação de setores do sistema de distribuição de água da cidade de São Lourenço – MG, com vistas à eficiência hidroenergética. Na pesquisa pode-se considerar os seguintes objetivos alcançados:

- Obtenção de informações junto à empresa responsável por todo o sistema de abastecimento do município, SAAE de São Lourenço;
- Medição de dados em várias partes do sistema, para que se possa alimentar os simuladores e obter informações para análise;
- Simulação computacional de todo o sistema estudado através do software Epanet, com a representação de seus componentes, como reservatório, tubulações, consumidores, válvulas, etc;
- Cálculo das perdas de água com base em dados de vazão e pressão do sistema;
- E a correlação dos custos de água e energia com as perdas de água ocorridas no sistema.
- Propor melhorias fruto desta pesquisa a serem aplicadas ao sistema de abastecimento de água.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RECURSOS HÍDRICOS

3.1.1 Histórico

Os recursos hídricos são extremamente importantes para a sobrevivência e desenvolvimento das cidades. Mas o crescimento exponencial e o uso de forma incorreta destes recursos alteram a sua disponibilidade em qualidades necessárias. Assim, a sua renovação natural necessita de mais tempo para ocorrer, dificultando o processo natural e diminuindo os recursos disponíveis ao uso.

Além de o crescimento acarretar no mau uso, há também uma interferência enorme na estrutura física dos sistemas públicos. Transformando, tais sistemas, em sistemas cada vez mais complexos e difíceis de administrar. Dentre todos os sistemas públicos, o sistema de abastecimento de água merece uma maior atenção por lidar com recurso escasso e de extrema importância para o desenvolvimento e sobrevivência do ser humano, a água (OLIVEIRA e FORMIGA, 2009).

Vale destacar que, para o controle, tanto na parte de projeto quanto operacional, de sistemas de abastecimento de água tem-se utilizado *softwares* para a sua simulação e modelagem. Possibilitando análises de comportamento e estudo sem que haja interferência na estrutura física nas estruturas. Deve-se ressaltar que os problemas relacionados a recursos hídricos são difíceis de modelar em um equacionamento de forma direta, por possuírem frequentemente características não lineares, tornando a simulação próxima do real uma tarefa árdua e complexa.

Para o auxílio da gestão e subsídio de decisões a serem tomadas nos sistema de abastecimento de água, é necessário grande quantidade de informações e dados. Que podem ser organizados, armazenados e disponibilizados através da ferramenta de sistema de informação geográfica (SIG). Baseado neste auxílio que a ferramenta SIG oferece Oliveira e Formiga (2009), analisaram a integração desta ferramenta e suas vantagens, ao acoplar a um modelo hidráulico. E com a finalidade de se obter uma ferramenta de suporte ao gerenciamento de redes de distribuição como nos bairro Parque Ateneu e Jardim Mariliza da cidade de Goiânia-MG. Obtiveram, então, uma melhor organização, qualidade e conhecimento dos dados e resultados, evitando ainda a sua dispersão.

3.1.2 Uso racional e aplicação da Lei 9.433/1997

Lei (BRASIL, 1997) que instituiu a política nacional de recursos hídricos e criou o sistema nacional de gerenciamento dos recursos hídricos, devido à necessidade de racionalizar o uso da água, evitar o desperdício e desenvolver métodos e tecnologias de conservação. Sendo resultado de um longo processo de avaliação das experiências de gestores de recursos hídricos e a formulação de propostas para melhorias da gestão como mostrado à necessidade de aplicação da gestão correta no trabalho de Albuquerque et. al. (2011).

Segundo Almeida¹ (2006 apud PIOLTINE et. al., 2009) com a promulgação da lei 9.433/97, as pesquisas no Brasil passaram enfocar na utilização de ferramentas que auxiliam nas decisões para gestão de recursos hídricos. Como o Sistema de Suporte a Decisões (SSD), que é uma das ferramentas que permite não apenas as pesquisas com a finalidade de reduzir conflitos de uso da água, mas também o seu uso pelos órgãos gestores. Assim, no trabalho de Pioltine et. al. (2009), são mostrados conflitos ocasionados devido ao aumento da necessidade do uso do recurso, em diversos tipos de uso e quantidades, e o crescimento populacional e econômico.

A lei 9.433/97 ainda institucionalizou seis ferramentas para o gerenciamento e planejamento integrados dos recursos hídricos, como o plano de recursos hídricos; enquadramento dos corpos de água em classe; outorga do direito de uso dos recursos hídricos; cobrança pelo uso dos recursos hídricos; compensação aos municípios; e criou o sistema de informação sobre recursos hídricos (PIOLTINE et. al., 2009).

Segundo Makino² (2007, apud MAKINO et. al., 2012) devido às necessidades de uso do recurso hídrico, leis são instituídas, com a finalidade, de forma integrada e não compartimentada, regularizarem o uso da água na bacia hidrográfica, enfocando seu gerenciamento, com estratégias de preservação. Além de possibilitar o uso de diretrizes aos usuários, possibilitando a preservação e o melhor aproveitamento.

¹ ALMEIDA C. N. Modelagem integrada de recursos hídricos com apoio de um sistema de informações geográficas. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2006.

² MAKINO, D. L. Transposição de águas entre bacias hidrográficas: Estudo de caso do município de Iracemápolis-SP. 2007. 64p. Trabalho de graduação interdisciplinar, Centro Superior de Educação Tecnológica - Universidade Estadual de Campinas, Limeira - SP.

"Entre as ações estão a cobrança pelo uso da água, programas de revitalização de mananciais; construções e ampliações de estações de tratamento de água e esgoto; aquisição de equipamentos tecnológicos para otimização de processos envolvidos em sistemas de abastecimento; construção de barragens de regularização; transposição de água entre bacias hidrográficas e desenvolvidas por instituição usuárias desse recurso, mediante ativos próprios e incentivos de organismos públicos e privados." (MAKINO, 2007 apud MAKINO et. al., 2012).

3.1.3 Sistemas de suporte a decisão aplicados a recursos hídricos

Em sistemas hídricos, a construção e o gerenciamento estão geralmente associados a investimentos de grande porte, prazos longos e políticas cuidadosas de operação e manutenção, impondo a necessidade de planejamentos estratégicos que conciliem a eficiência econômica, sustentabilidade, flexibilidade e igualdade.

Para auxílio, surgem os sistemas de suporte de decisões que devem considerar vários aspectos, como os aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais. No Brasil, devido à promulgação de leis estaduais e posteriormente a implantação dos respectivos sistemas de gerenciamento, vem se tornando notável o estudo nas áreas gerenciais e institucionais relativas ao aproveitamento integrado dos recursos hídricos (PORTO e AZEVEDO, 1997).

Segundo ainda Porto e Azevedo (1997) a arquitetura de um sistema de suporte a decisões esta baseada nos seguintes componentes, como a base de dados; base de modelos; e a interface de diálogo (Figura 1). A base de modelos solicita e recebe dados necessários, confere-os e realimenta a base de modelos. Contendo instrumentos conceituais necessários à análise e a formulação de alternativas para a solução do problema em questão.

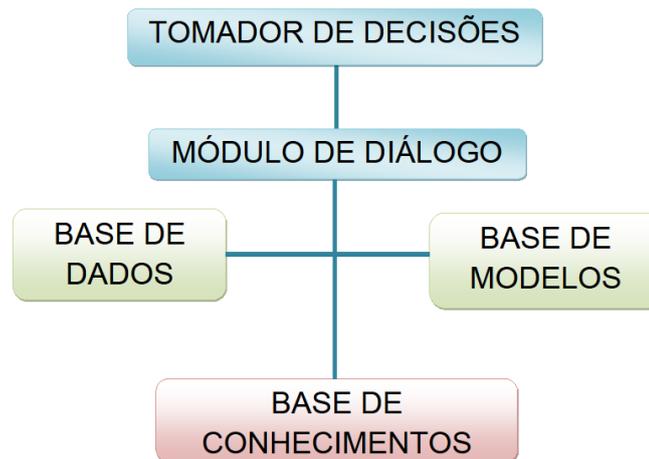


Figura 1 – Esquema de um sistema de suporte a decisão.

Fonte: Adaptado de Pioltine et. al. (2009).

A base de conhecimento refere-se à experiência de especialistas, conhecimentos empíricos, normas e regulamentos, com a finalidade de incorporar ao sistema de informações. O módulo de diálogo ocorre a transmissão de informações entre o usuário e computador, sendo responsável pela comunicação através do recebimento de instruções, consultas e informações do usuário e transmitir as respostas da forma mais apropriada possível (PORTO e AZEVEDO, 1997).

E, finalmente, a base de dados que recebe, identifica e armazena as séries de informações que podem ser recuperadas. Além de apresentar uma flexibilidade de modo que o usuário possa acrescentar alterar ou excluir dados de forma rápida e fácil (BRAGA³ et. al., 1998 apud PIOLTINE et. al, 2009).

Devido à tecnologia disponível hoje, é possível utilizar modelos e programas disponíveis no mercado, gratuitos ou de baixo custo, possibilitando o desenvolvimento de poderosos Sistemas de Suporte a Decisões. As experiências observadas vêm mostrando um sistema eficiente de auxílio aos grupos de tomada de decisões (PORTO e AZEVEDO, 1997).

Quando se faz um SSD, fatores subjetivos entram com pesos significativos ao tipo de aspecto a ser tratado baseado nos que devem ser mais objetivo. Combinações de melhores e atuais técnicas devem ser feitas com a finalidade de

³ BRAGA B., BARBOSA, P. S. F., NAKAYAMA, P. T. Sistemas de suporte a decisão em recursos hídricos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 1998, v. 3, p. 73-95.

auxiliar na tomada das melhores decisões para o problema em questão (PORTO e AZEVEDO, 1997).

A primeira versão do SSD foi obtida em 1998, sendo atualizado em 2003 com a finalidade de comportar um maior número de usuários. Sendo estruturado numa base mais moderna e com maior capacidade de armazenamento de dados. Além da migração de parte da *web* como interface de alimentação de dados e divulgação para entidades externas. Incluíram ainda uma interface SIG, e uma interface inicial e experimental para alimentação dos dados de qualidade de água (FUMES et. al., 2011).

Segundo Fumes et. al. (2011) o sistema atualmente compõe-se em três subsistemas como o SSD *desktop* que possui a interface SIG e consulta de dados para o *Windows*, SSD *web editor* para edição de dados e o SSD *web* visualizado para a divulgação de dados. Visando garantir o abastecimento em qualidade e quantidade de dados suficientes diante da variabilidade e irregularidades hidrológicas da estação do ano.

No trabalho de Fumes et. al. (2011) destaca-se a utilização deste tipo de ferramenta nos grandes sistemas produtores da Sabesp. Com a finalidade de realizar consultas e análises rápidas na região metropolitana de São Paulo que auxiliem nas tomadas de decisões. Assim, com um banco de dados hidrológicos centralizados, de acesso controlado, seguro e acessível e que, integrado ao sistema desenvolveu-se também modelos hidrológicos de simulação e otimização capazes de realizar análises em usos múltiplos de recursos hídricos.

Este modelo desenvolvido no estado de São Paulo para a Sabesp (FUMES et. al., 2011), permitiu a adoção de políticas operacionais com a finalidade de diminuir os riscos de desabastecimento, principalmente relacionado a ocorrências futuras, como estiagens, e também que proporcionem ganhos econômicos.

Pioltine et. al. (2009) veio a contribuir em seu trabalho, com uma revisão sobre os conflitos gerados pelo uso da água e mostrar a ferramenta SSD no auxílio do melhor planejamento dos recursos hídricos. Na qual se desenvolve um processo de interação constante do usuário e um ambiente com o planejamento baseado na legislação vigente e nas tecnologias disponíveis para auxílio da tomada de decisão.

Muitos dos trabalhos utiliza o modelo de simulação e otimização visando o suporte ao planejamento integrado devido a facilidade de integração entre as várias metodologias de modelagem dos recursos hídricos. Permitindo tomar decisões com

maior eficácia através do auxílio aos gestores para prever cenários futuros e estudar o sistema de forma e obter soluções eficientes principalmente para os conflitos gerados pelo uso da água (PIOLTINE et. al., 2011).

Observa-se que são muitas as aplicações, tanto nacionais quanto internacionais, com ênfase na melhor planejamento do processo de interação entre o usuário e o ambiente.

3.2 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Segundo Tsutiya ⁴ (2006 apud MOTTA, 2010) todas as estruturas necessárias para levar a água desde sua captação, em estado bruto, até os locais de consumo, como água tratada, compreendem em sistemas públicos de abastecimento de água. Sua concepção é bem variada em função do porte da cidade, topografia, entre outros fatores. Mas, de modo geral, são constituídos pelo manancial, captação, adução, estação de tratamento de água, reservatório, rede de distribuição e o ramal domiciliar (Figura 2).

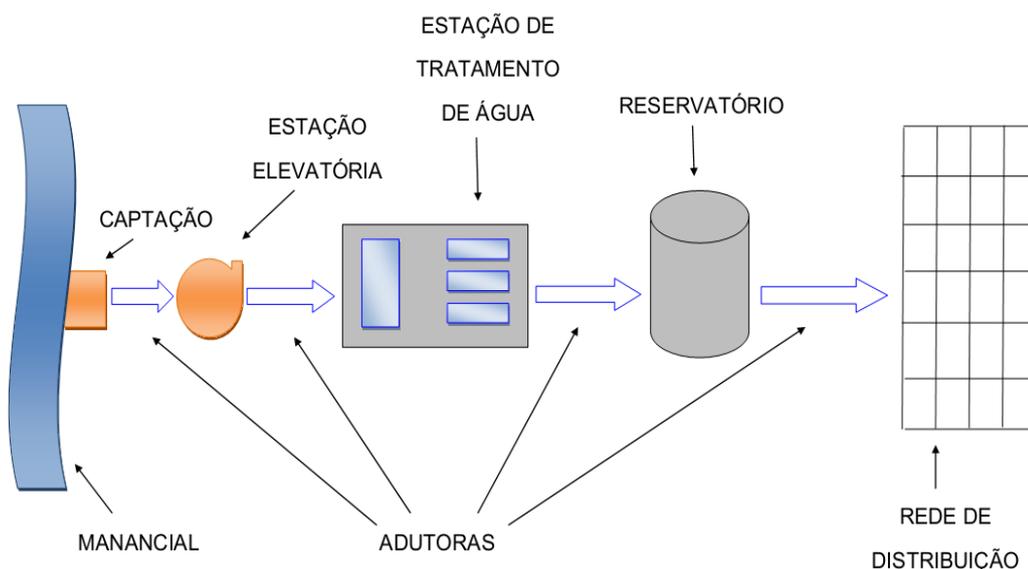


Figura 2 – Esquema de um sistema de abastecimento de água.

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2005).

⁴ TSUTIYA, M.T. et al. Abastecimento de água. 3 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. p. 389-456.

Um sistema de abastecimento de água é formado pelas seguintes partes (TSUTIYA, 2005):

- Manancial: fonte em que se retira a água, além de conter quantidade e padrões de qualidade para o abastecimento. Podendo ser superficial ou subterrâneo;
- Captação: conjunto de equipamentos e instalações que retira a água do manancial. Sua concepção pode ser variada dependendo das características do manancial, topografia do local, etc;
- Estação elevatória de água (EEA): são formadas por conjuntos moto-bomba que recalcam a água, bruta ou tratada, para outra parte do sistema;
- Adutora: tubulações que destinam a água às outras partes do sistema, como a água bruta da captação à estação de tratamento de água ou da estação de tratamento de água a um reservatório ou rede de distribuição;
- Estação de tratamento de água (ETA): parte do sistema que, através de várias tecnologias, transformam a água bruta em uma água que atenda as normas e padrões de potabilidades;
- Reservatório: local onde há o acúmulo de água para sua posterior distribuição com funções tais como manutenção da pressão na rede, garantia de abastecimento em horários de grande consumo. Podem ser enterrados ou não, dependem da necessidade da configuração e posição em relação à rede de distribuição;
- Rede de distribuição de água: são tubulações que levam a água tratada até aos consumidores. De acordo com a sua disposição podem ser classificados como redes malhadas, ou ramificadas, ou mistas.

Em um sistema de abastecimento, após o estudo e estabelecimento dos limites de pressão máxima e mínima necessárias para a rede inicia-se a concepção de setores de abastecimento. Para a concepção define-se o posicionamento dos reservatórios, limites de zonas de pressão, áreas abastecidas por boosters e áreas controladas por válvulas redutoras de pressão. Segundo Gonçalves e Alvim (2007) um sistema de abastecimento pode ter mais de uma zona de pressão (setorização), já que auxiliam no seu gerenciamento através de subsetores com maior eficiência (Figura 3).

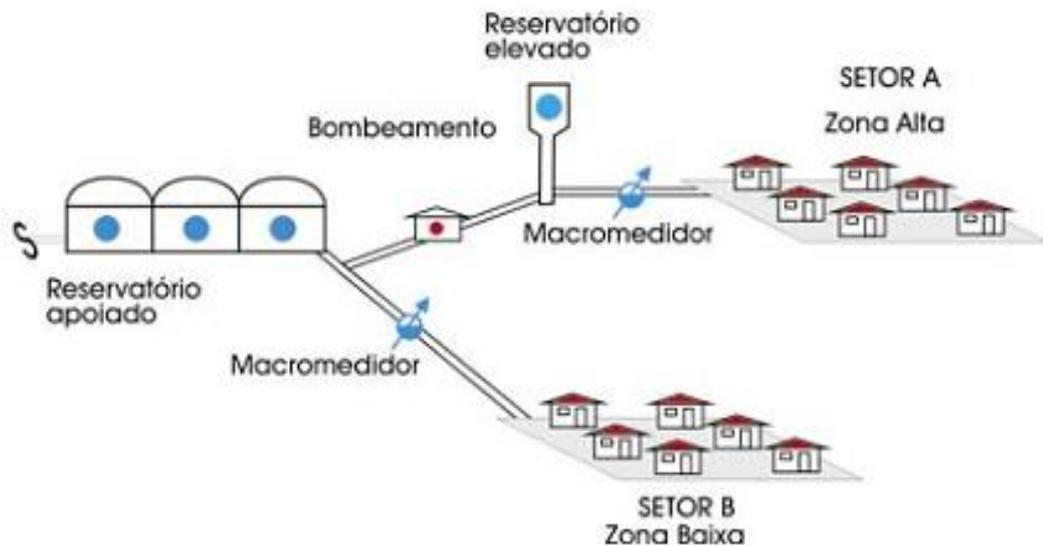


Figura 3 – Setorização em sistema de abastecimento de água.

Fonte: Gonçalves e Alvim (2007).

Deve-se considerar que o sistema de abastecimento de água possui variações em sua configuração devido à topografia do local, provocando diferentes condições de funcionamento na rede (CARVALHO et. al., 2011).

No trabalho de Obradovic (2000) discute-se a situação de uma antiga cidade Herzegovina, que devido a um crescimento muito rápido, o recurso hídrico utilizado não foi capaz de suprir as necessidades da população, havendo a necessidade de utilizar outros recursos próximos. Para isso expandiu-se o sistema através de novas estações de bombeamento. Mas a rede de distribuição antiga foi mantida o que contribuiu para altos valores de perdas de água e comprometimento de parte do sistema.

Segundo o trabalho realizado por Lima, et. al. (2012), no município de São Lourenço, a partir da análise de todo o sistema de distribuição de água, a etapa de bombeamento (estações elevatórias) é a que mais gasta energia. Para a otimização buscou-se a redução do índice de perdas, setorização dos consumidores, utilização de boosters, aumento da eficiência das estações elevatórias, análise do ponto de funcionamento do conjunto motobomba, desligamento de bombas no horário de ponta e redução de perdas de carga na tubulação.

Já em casos em que a ampliação do sistema de abastecimento de água são necessários, no trabalho de Condurú e Pereira (2012a), sugere-se primeiramente a

realização da redução de perdas em todo o sistema. E para a realização deste, é interessante, a utilização de informações vindas de sistemas já operantes e de experiências de sucesso para análise e comparação.

Informações que podem ser encontradas, de forma bem superficial, em bases governamentais como Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD); Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB); e Sistema Nacional em Informação sobre o Saneamento Básico (SNIS). Onde a PNAD, sob a coordenação do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), mostra as características do saneamento básico, na forma de amostragem probabilística dos domicílios brasileiros; o PNSB, sob a coordenação do IBGE em parceria com o Ministério das Cidades traz informações sobre as condições do saneamento básico dos municípios brasileiros; e o SNIS, coordenado apenas pelos Ministérios das Cidades, traz informações sobre o desempenho das prestadoras dos serviços de saneamento básico (CONDURÚ e PEREIRA, 2012a).

São informações que também foram retratadas em outro trabalho de Condurú e Pereira (2012b), que mostra a importância e a necessidade de tais informações, mas que precisam de uma maior confiabilidade e sistematização. Para isso tem se proposto a transição para apenas uma base governamental denominada Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA).

“A disponibilidade de informações hidroenergéticas para a regulação dos serviços visa incentivar a maior integração e participação da equipe com as ações da empresa, o que refletirá na qualidade das informações utilizadas nos diagnósticos e planejamentos do titular dos serviços de saneamento básico e nas atividades relacionadas com o controle social dos serviços prestados aos usuários.”
(CONDURÚ e PEREIRA, 2012b).

Tais medidas possibilitarão um melhor planejamento, que aliado à expansão da capacidade de produção, produz uma melhor gestão do sistema. Por isso a transição, que apesar de ser um desafio, precisa ser aproveitada para criar oportunidades futuras com ações integradas e disponibilidade de maiores condições para a busca de gestão eficiente (CONDURÚ e PEREIRA, 2012b).

Além disso, segundo Cunha (2009) devido à importância do sistema de abastecimento sua operação necessita ter um atendimento confiável das necessidades com o custo mínimo, tanto de energia quanto de manutenção. Para isso o sistema requer decisões eficientes e em tempo real. Portanto, o sistema deve ter a melhor combinação instantânea de conjunto de regras operacionais das bombas e coeficiente de abertura de válvulas.

Os problemas mais comuns encontrados em sistemas de abastecimento segundo Tardelli Filho⁵ (2006, apud COSTA et. al., 2011) estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Problemas mais comuns em sistemas de abastecimento.

Problemas	Causas
Falta de água	Insuficiência de oferta de água
	Tubulações subdimensionadas
	Tubulações entupidadas
	Falta de manutenção do sistema
Arrebentamentos	Rompimentos da tubulação
	Grandes perdas de água
Vazamentos	Falhas em junções dos tubos
	Trincas nas tubulações
	Perfurações nas tubulações
	Perdas de água através de fluxos contínuos.
Baixa pressão	Insuficiência de água
	Entupimentos das tubulações
	Situações topográficas adversas
Alta pressão	Em pontos baixos da rede
	Facilitando arrebentamentos
	Aumenta perdas por vazamentos
Água suja	Danificação de boias de caixas d'água
	Corrosão das tubulações de ferro fundido
	Infiltração de esgoto

⁵ TARDELLI FILHO, J. Controle e Redução de Perdas. In: TSUTYIA, M. T. (org). Abastecimento de água. 3ª Ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

3.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Segundo Porto (2006) um sistema de distribuição de água tem a finalidade de atender a população em qualidade e quantidade suficientes, destacando as pressões e vazões convenientes aos diversos pontos de consumo do sistema. Definido então como um conjunto de equipamentos dentre eles, tubulações, acessórios, reservatórios, etc.

Dependendo do porte do sistema de abastecimento de água, a análise é bem complexa, não apenas no dimensionamento, mas também na operação e manutenção. Sua concepção geométrica é determinada a partir do porte da cidade a ser abastecida, condições viárias e topográficas. Composto por tubulações primárias e secundárias, que possuem suas específicas funções e podem ser dispostas de maneiras diferentes de acordo com a topografia presente no local (PORTO, 2006).

As redes podem ser classificadas de acordo com a sua disposição e sentido do escoamento, como ramificadas (Figura 4), malhadas (Figura 5) ou ainda mistas. As redes ramificadas possuem uma tubulação principal chamada tronco que distribui para as tubulações secundárias e o sentido do escoamento é conhecido. Já as redes malhadas, possuem tubulações troncos em formatos de anéis ou malhas na qual o sentido da vazão pode ser revertida de acordo com as necessidades (PORTO, 2006).

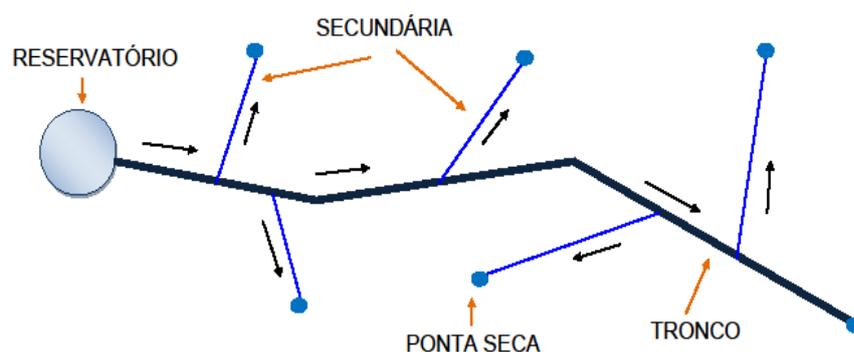


Figura 4 – Esquema de uma rede ramificada.

Fonte: Adaptado de Porto (2006).

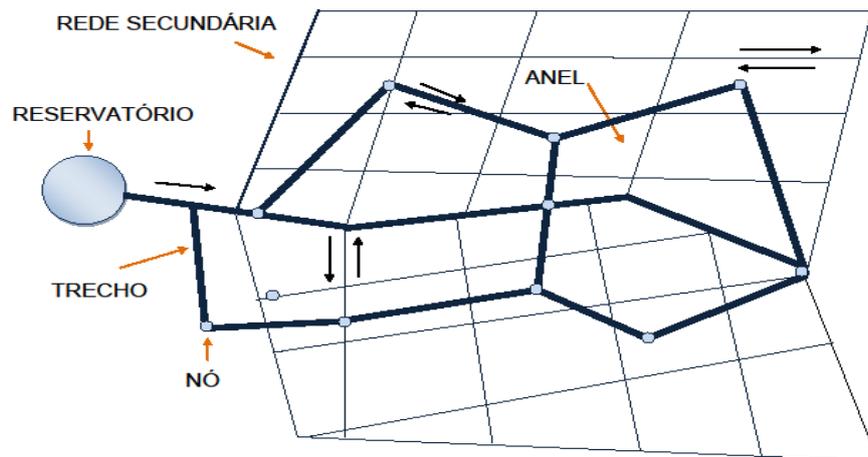


Figura 5 – Esquema de uma rede malhada.

Fonte: Adaptado de Porto (2006).

De acordo com Porto (2006), baseado na finalidade de garantir o bom funcionamento ao longo de toda a rede de distribuição, deve-se manter a pressão dinâmica mínima de 15 mca e uma carga de pressão estática máxima de 50 mca. Observando então, a importância do controle de pressão dentro das redes de distribuição por aumentarem o desperdício de água no sistema.

O excesso de pressão onera custos energéticos de bombeamento desnecessariamente e provoca mudanças nas tubulações e acessórios, diminuindo a sua vida útil. Para tal controle, uma das alternativas é realização da setorização com pontos de consumo como mostrado no trabalho de Carvalho et. al. (2011).

Segundo Motta (2010) vários municípios sofrem crescimento populacional acelerado. Crescimento que ocorre geralmente em áreas periféricas como vales e encostas. Situação na qual a ampliação do sistema de distribuição ocorre em condições hidráulicas muito favoráveis às perdas. Nestes casos, a adoção de um sistema setorizado, e conseqüentemente com controle de pressões, permitem o abastecimento das novas áreas sem maiores prejuízos.

Sugere-se, no trabalho de Carvalho et. al. (2011), que para um sistema forneça pressão uniforme em toda a rede sem que haja comprometimento quantitativamente e qualitativamente, devem-se introduzir novos equipamentos. Equipamentos com a finalidade de equalizar a pressão no sistema e em algumas áreas novas de zonas de alimentação ou impulsão, como válvulas redutoras de pressão e boosters.

Ainda há muitos casos, em redes de distribuição, que o seu monitoramento é feito por critérios empíricos e primitivos, devido à falta parcial ou total de cadastros das redes. E a operação fica sendo responsável por pessoas pouco qualificadas para a tarefa. Tais situações acarretam em problemas, como a insuficiência de abastecimento, elevados custos da manutenção e elevado nível de perdas (SILVA et. al., 2002).

Assim, as previsões realísticas de uma rede de distribuição de água vêm sendo o destaque de muitos trabalhos. Etapa na qual os processos de modelagem e calibração dependem muito. Sendo destacada a previsão do comportamento no processo de suporte, nas atividades de operação, manutenção e reabilitação dos sistemas (SILVA et. al., 2002).

3.4 PERDAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Segundo a terminologia da IWA:

"Perda de água é o volume referente à diferença entre a água entregue ao sistema de abastecimento e os consumos autorizados, medidos e não medidos, faturados ou não faturados, fornecidos aos consumidores cadastrados, à própria Prestadora de Serviços e a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo." (ALEGRE⁶ et. al., 2006 apud COSTA et. al., 2011).

3.4.1 Causas principais e consequências ao sistema

Sistemas de distribuição de água com o passar do tempo deixam de se tornar eficiente devido ao envelhecimento físico e funcional. Assim, a falta de planejamento e manutenção adequada, associado à escassez de recursos financeiros vem progressivamente reduzindo a eficiência dos sistemas de distribuição de água. Esses efeitos de 'envelhecimento' natural dos sistemas podem ser sentidos através dos altos índices de perdas de água. Em que altas pressões acabam gerando rupturas, aumento das despesas com manutenção e aumento significativo do consumo energético. Para evitar essas situações, empresas vêm

⁶ ALEGRE, H. et al. Performance Indicator for Water Supply Services - 3ªEd. U.K: IWA Publishing, 2006.

buscando atender as diversas questões na gestão operacional de todo o sistema (VENTURINE e BARBOSA, 2002). A importância das perdas pode ser demonstrada através de diversas dimensões como na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões das perdas.

Econômico financeira	Perdas de faturamento.
Técnica	Anulação da ideia de redes totalmente estanques.
Ambiental	Água como recurso finito.
Saúde pública	Pontos onde existem fugas são potenciais fontes de contaminação.
Social	Principalmente se o custo da água incorporar as perdas.

Fonte: Adaptado de ALEGRE⁷ et. al. (2005, apud SOUZA, 2011).

Os vazamentos e as perdas físicas ao longo da rede de distribuição, segundo a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA⁸ (2010 apud MEDINA e REIS, 2011) podem chegar até 80% da vazão distribuída. Além do desperdício do recurso natural, que vem sofrendo grandes pressões devido ao enorme uso, há uma grande perda econômica. Perdas que atrapalham os investimentos em ampliações ou melhorias do serviço, perdas de energia utilizada para transporte, riscos para a saúde (caso algum poluente ou agente patogênico possa ingressar na água da rede), riscos geológicos e comprometimento estrutural de obras como pavimentos, edifício e outros.

No Brasil as perdas físicas podem chegar, em média, em torno de 50% do volume de água tratada e distribuída, devido a diversos fatores como valores extremos de pressão nas redes; rupturas nas tubulações; desperdícios; vazamentos em tubulações e conexões; medidas inferiores as reais em hidrômetros; consumo público não registrado ou conexões ilegais; etc. Considera-se ainda que além da variação comum que há na rede devido a variação da demanda, as perdas contribuem para tal, ocasionando na variação da eficiência hidráulica na rede na

⁷ ALEGRE, H.; COELHO, S. T., ALMEIDA, M. C. A.; VIEIRA, P. 2005. Controle de perdas em sistemas públicos de adução e distribuição. Ed. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. 2005.

⁸ SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Ministério das Cidades, Brasil, 2010.

qual durante o dia tem-se o consumo elevado e baixa pressão; e durante a noite, consumo baixo e alta pressão (SILVA, F. et. al., 2007).

Devido às alterações nas condições hidráulicas de uma rede de distribuição promovem-se situações não previstas em projeto, como transientes hidráulicos, alterações de qualidade da água e aumento no custo de operação (ARANHA e SILVA, 2009). Assim, ações importantes, juntamente com as outorgas e cobrança do uso, a regularização tarifária e a prestação de serviços com o intuito do uso eficiente da água, vêm sendo desenvolvidas para o combate à perda de água, entre outros, como:

- *International Water Association* - IWA: agência que busca através de padronização de conceitos e métodos dos termos relacionados a companhias de serviços de abastecimento de água (SOUZA, 2011).
- Programa Nacional de Combate e Desperdício de água - PNCD: instituída em 1997 com o objetivo de promover o uso racional do recurso nos sistemas de abastecimento com a finalidade de proporcionar uma melhor produtividade nestes e assim aumentar investimentos para a sua ampliação (ARANHA e SILVA, 2009; SOUZA, 2011).
- Sistema Nacional de Informações de Saneamento - SNIS: sendo um diagnóstico com informações de prestadoras de serviços que indicam o desempenho (SOUZA, 2011).
- Programa de Qualificação e Certificação em Detecção de Vazamentos Não visíveis de Líquidos sob Pressão: criado em 1999-2000 (SOUZA, 2011).

A viabilidade econômica na implantação de medidas alternativas de controle realizou-se no trabalho de Aranha e Silva (2009) ao confrontar os dados de custo despendido com a água perdida e o investimento na redução do volume de água perdida.

No trabalho de Souza et. al. (2007) destaca-se uma visão diferente sobre os vazamentos relacionados à proteção hidráulica que há na rede de distribuição na sua ocorrência. Em sua metodologia utilizou-se redes disponíveis em literatura e determinaram-se vazamentos em pontos da rede com a finalidade de avaliar o comportamento da pressão. Considerando que menores pressões resultariam na diminuição dos danos causados pelas altas pressões e/ou vazamentos. Para o estudo, utilizaram uma representação hidráulica com o enfoque das perdas serem

uma proteção da rede. Assim, tenta-se quantificar se o aumento do custo de energia e o volume de água perdida nos vazamentos compensam os custos operacionais de reparo e substituição da tubulação danificada.

Devido a Região Metropolitana do Recife possuir um volume de água não contabilizada em torno de 50% do volume distribuído estudos foram realizados no sistema. Assim, devido a operação deficiente sob o ponto de vista técnico, como descontinuidade de fornecimento e o comprometimento financeiro das empresas, Araújo e Montenegro (2002) propuseram um estudo. Com a finalidade de identificar, qualificar e quantificar as perdas existentes.

No mesmo trabalho, toma-se como foco o estudo do setor lembrado de rede de abastecimento do distrito de Cruz de Souza, município de Igarassu – PE, que possui o sistema abastecido por um poço artesiano. Para tal trabalho, realizou-se instalação de dispositivos de medição de vazão, volume e detecção de vazamentos. Além de cadastros técnicos e comerciais da concessionária COMPENSA (Companhia Pernambucana de Saneamento).

3.4.2 Tipos de perdas

As perdas em sistemas de abastecimento de água podem ser classificadas (Figura 6) como perdas reais ou físicas, que ocorrem por vazamentos ou extravasamentos; ou perdas aparentes (não físicas) que correspondem à água não contabilizada ou que não são tarifadas (TSUTIYA, 2005; MEDINA e REIS, 2011).

Água que entra no sistema. (m ³ /ano)	Consumo autorizado. (m ³ /ano)	Consumo autorizado faturado. (m ³ /ano)	Consumo medido faturado (inclui água exportada). (m ³ /ano)	Água faturada. (m ³ /ano)	
			Consumo faturado não medido (m ³ /ano)		
		Consumo autorizado não faturado. (m ³ /ano)		Consumo não faturado medido (m ³ /ano)	Água não faturada. (m ³ /ano)
				Consumo não faturado não medido (m ³ /ano)	
	Perdas de água. (m ³ /ano)	Perdas aparentes. (m ³ /ano)		Uso não autorizado (m ³ /ano)	
				Erros de medição (m ³ /ano)	
		Perdas reais. (m ³ /ano)		Perdas reais nas tubulação de água bruta e no tratamento (quando aplicável). (m ³ /ano)	
				Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição. (m ³ /ano)	
				Vazamentos e extravasamentos nos reservatório de adução e/ou distribuição. (m ³ /ano)	
				Vazamento nos ramais (a montante do ponto de medição).	

Figura 6 – Parcela das perdas de água em relação ao volume que entra.

Fonte: Adaptado de Gomes (2005).

- Perdas físicas ou reais

São consideradas as águas que efetivamente não chegam no consumidor (Figura 8 e Figura 9). Segundo descrito em Padilha e Niida (2003), podem ser classificados em visíveis, que são aquelas que afloram e podem ser detectadas visualmente, ou não visíveis (Figura 7).



Figura 7 – Tipos de vazamentos.

Fonte: Adaptado de Zanta et. al. (2008).

Sendo que os vazamentos visíveis podem ser reconhecidos rapidamente e os não visíveis com maiores dificuldades ou após muito tempo. Mas nem todos os não visíveis são detectados através de técnicas de detecção, portanto, sendo classificado ainda como detectáveis ou não. Por isso a importância da constante pesquisa e utilização de técnicas.

Outra característica dos vazamentos, além do seu conhecimento e localização, que deve ser destacado é o tempo de reparo. Que influenciará diretamente na duração média do vazamento e conseqüentemente nas perdas (PADILHA e NIIDA, 2003). A Tabela 3 mostra um resumo de perdas reais considerando todo o sistema de abastecimento de água, sua origem e magnitude.

Tabela 3 - Relação do índice de perdas e situação do sistema.

Local	Origem	Magnitude
Adução de água bruta	Vazamentos na tubulação	Variável, função do estado de conservação e procedimentos operacionais.
	Limpezas (volumes além do necessário)	
Tratamento	Vazamentos nas estruturas	Significativa, função do estado de conservação e procedimentos operacionais.
	Lavagem de filtros	
	Descarga de lodo	
Reservação	Vazamentos nas estruturas	Variável, função do estado de conservação e procedimentos operacionais.
	Extravasamentos	
	Limpezas (volumes além do necessário)	
Adução de água tratada	Vazamentos na tubulação	Variável, função do estado de conservação e procedimentos operacionais.
	Descargas	
	Limpezas (volumes além do necessário)	
Distribuição	Vazamentos na rede	Significativa, função do estado de conservação e das pressões.
	Vazamentos nos ramais	
	Descargas	

Fonte: Adaptado de Marcka⁹ (2004, apud MOTTA, 2010).

Segundo Souza et. al. (2007) e Tsutiya (2005), as perdas físicas podem ser causadas pela (Figura 8 e Figura 9):

- Idade da tubulação e de seus acessórios;
- Natureza e qualidade dos materiais utilizados e suas adequações;
- Pressão hidráulica a que o sistema esta sujeito;
- Intervenções nos solos na vizinhança da rede;
- Rupturas em adutoras, sub adutoras, redes e ramais prediais;
- Falhas em conexões e peças especiais;

⁹ MARCKA, E. Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água - DTA A2. Programa de combate ao desperdício de água - PNCDA, Secretaria especial de desenvolvimento urbano, Secretaria de Política Urbana, 80 p. Brasília, 2004.

- Trincas nas estruturas;
- Defeitos nas impermeabilizações das estações de tratamento e reservatórios.

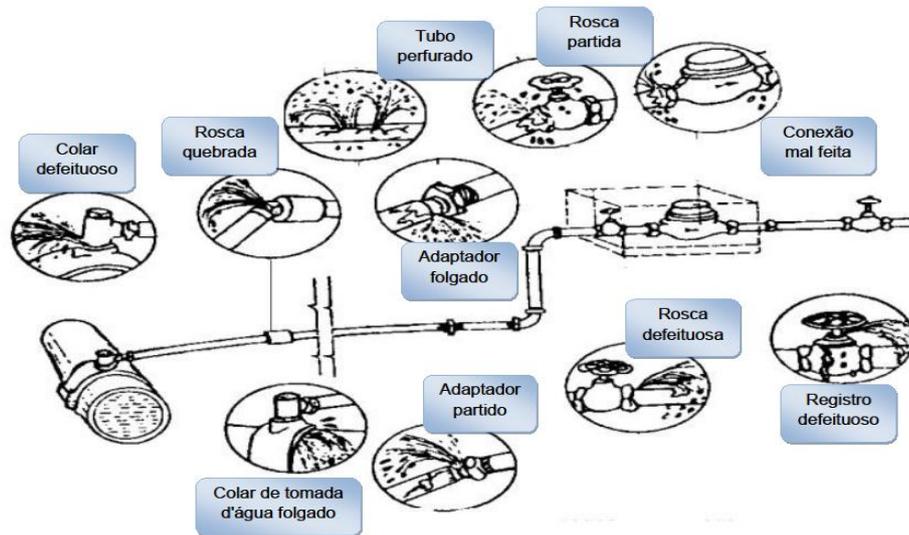


Figura 8 – Vazamento nas conexões.

Fonte: Adaptado de Padilha e Niida (2003).

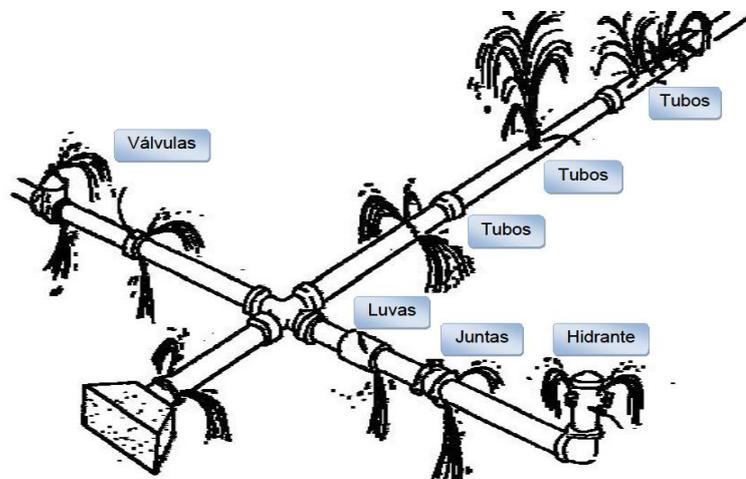


Figura 9 – Vazamento na rede de distribuição.

Fonte: Adaptado de Padilha e Niida (2003).

Ou ainda, podem ser causadas por fatores operacionais na qual estão relacionadas à lavagem de filtros, descarga em redes, limpeza e extravasamento de reservatório, etc. Assim, para que haja um combate eficaz necessita-se de um controle das perdas, controle da pressão, de velocidade no reparo e principalmente, planejamento e gestão do sistema de distribuição (SOUZA et. al., 2007).

- Perdas não físicas ou aparentes

Trata-se da água produzida e consumida, mas que não é faturada pela companhia. Nestes casos são necessárias um controle da água medida e não faturada, diminuição nos erros de leitura e medição, diminuição de consumos clandestinos e acompanhamento das características hidráulicas da rede de distribuição de água (SOUZA et. al., 2007). As perdas não físicas ocorrem devido a imprecisão da medição de hidrômetros, fraudes, ligações clandestinas e falhas no sistema de cadastramento da Companhia (PADILHA e NIIDA, 2003).

Suas causas podem ser avaliadas com base na origem e magnitude (Tabela 4).

Tabela 4 - Origem e magnitude de vazamentos aparentes.

Origem	Magnitude
Ligações clandestinas/irregulares	Procedimento cadastral e de faturamentos
Ligações não hidrometradas	
Hidrômetros parados	Manutenção preventiva
Hidrômetros subdimensionados	
Ligações inativas reabertas	Adequação de hidrômetros
Erros de leituras	Monitoramento via sistema
Número de economias errado	

Fonte: Adaptado de Souza (2011).

Com o objetivo de abastecimento contínuo propôs, no trabalho de Araújo e Montenegro (2002), a utilização de um sistema de automatização no reservatório. Após estudos e análises obtiveram-se cinco pontos de perdas visíveis, três de perdas não visíveis, sete ligações clandestinas, sete fraudes e um extravasamento, totalizando em 30,58% de perdas de águas distribuídas. Medidas para a redução das perdas físicas e não físicas ao serem detectadas, regularizadas ou ao haver cortes das ligações clandestinas e fraudes, e finalmente a obtenção de um desempenho técnico-operacional visando boas manutenções corretivas e preventivas para a rede de distribuição.

Com a finalidade de detectar vazamentos e posteriormente fazer o seu controle, entre as metodologias utilizadas estão à inspeção de redes através do

visual ou até o uso de sensores acústicos, como os geofones ou a injeção de gás. Pode-se realizar também testes de vazões ou pressões em seguimentos isolados da rede, como *step*-teste, e o uso de sensores acústicos automáticos, como *loggers* (MEDINA e REIS, 2011).

Métodos que possuem grandes limitações por não permitirem grandes informações sobre toda a rede numa determinada medição, implicando grande dificuldade de ser aplicado a sistemas de grande porte. Os sistemas acústicos até permitiriam a obtenção de coleta de informações contínuas, mas dependendo da quantidade necessária de equipamentos à instalar o sistema exige altos custos como mostrado no trabalho de Wu et. al.¹⁰ (2010 apud MEDINA e REIS, 2011). No trabalho de Araújo e Montenegro (2002) também utilizou estes recursos para a detecção, qualificação e quantificação de perdas.

3.4.3 Detecção de perdas/vazamentos

Na detecção de vazamentos vários métodos utilizam como base o ruído de vazamento. Assim, quando ocorre algum vazamento de uma tubulação sobre pressão, sabe-se que é emitido um som contínuo, porém com intensidade irregular (COSTA et. al., 2011). O som gerado pela saída da água é propagado não apenas pela água, mas também através dos sólidos. Sendo composto por vários tipos de sons, como na Figura 10.

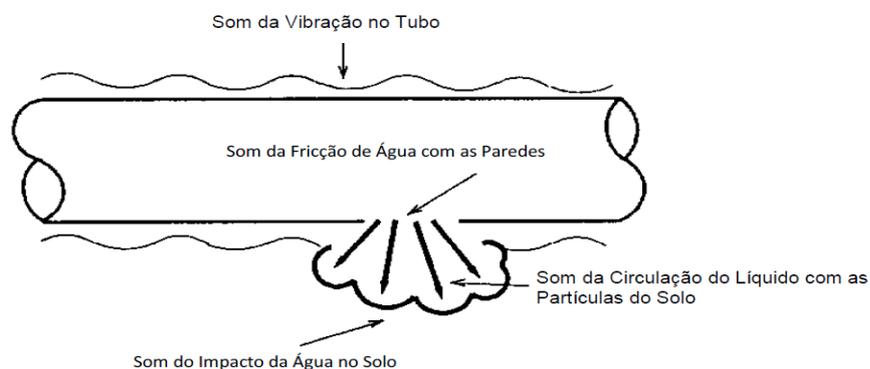


Figura 10 – Tipos de som provocado por vazamentos.

Fonte: Costa (2011).

¹⁰ WU, Z. Y., SAGE, P., e TURTLE, D. Pressure-dependent leak detection model and its application to a district water system. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*. v. 136, n.1, p. 116-128. 2010

Já a intensidade dos ruídos depende do tipo de material da tubulação, do diâmetro, espessura, pressão, configuração da abertura, entre outras características. Seu ruído geralmente varia numa faixa de 100 a 8000 Hz, sendo que frequências abaixo de 1000 Hz são as que melhor propagam até a superfície por serem pouco absorvidas pelo solo. As faixas de frequência são diferentes para os diferentes materiais do tubo, sendo que o ferro fundido e aço carbono apresentam alta faixa e os tubos de PVC, plástico e cimento amianto, baixa faixa (COSTA et. al., 2011).

Segundo Gonçalves e Alvim (2007) a detecção de perdas/vazamentos não visíveis podem ser realizadas de várias formas, dependendo das características e condições do sistema. Podem ser através de varreduras na rede com o uso de equipamentos acústicos; pesquisa não baseada em medição que é realizada através do levantamento das características físicas e de funcionamento de todo o sistema; e finalmente a pesquisa baseada em medição em que se baseia nos volumes de água medidos em todo o sistema.

Assim, as técnicas a serem empregadas para a localização de perdas de água devem ser escolhidas de forma a alcançar padrões de eficiência, confiabilidade, operacionalidade, segurança e economia, desde que tais técnicas sejam adequadas e satisfatórias para entender a população (COSTA et. al., 2011).

3.4.3.1 Detecção através de varreduras no sistema

Nesta forma não são realizadas nenhuma medição ou análise do sistema, mas apenas pesquisa acústica em todo o sistema. São utilizados equipamentos acústicos, como a haste de escuta mecânica; geofone mecânico; geofone eletrônico; e correlacionador de ruídos (GONÇALVES E ALVIM, 2007).

Haste de escuta mecânica

É constituída por uma haste de metal de 1 a 1,5 metro que transmite as vibrações ou o 'stick' captadas nas peças da rede de distribuição, como cavaletes e registros, para um amplificador mecânico. É menos sensível que o geofone eletrônico. Sua faixa de operação situa-se entre 200 a 1500 Hz e detecção com maior facilidade ruídos na faixa de 600 a 800 Hz. Geralmente é utilizado como um primeiro mapeamento para a indicação de ocorrência de vazamentos. Sendo

necessária posteriormente a utilização de outros equipamentos como o geofone (Figura 11).



Figura 11 – Haste de escuta e sua utilização.

Fonte: Zanta et. al. (2008).

Geofone mecânico

Para a detecção de vazamentos utiliza-se o princípio de estetoscopia, sendo menos sensível que o geofone eletrônico. É composto de duas sapatas (sensores mecânicos), guias de onda e auriculares (Figura 12).



Figura 12 – Geofone mecânico.

Fonte: Zanta et. al. (2008).

Geofone eletrônico

Possui a função de captar as vibrações provenientes do movimento da água fora do tubo, como o seu impacto contra o solo e o ruído da circulação de água no solo. Equipamento de alta sensibilidade que possui como partes básicas o amplificador, sensor ou transdutor de ruído e fones de ouvido (Figura 13). Sendo que sua faixa de operação esta entre 100 e 2700 Hz.



Figura 13 – Geofone eletrônico e sua utilização.

Correlacionador de ruídos

Sistema computadorizado capaz de detectar vazamentos em tubulações de ferro, aço, cobre, concreto e PVC. É constituído por sensores de ruídos, com pré-amplificadores que transmitem, através de ondas de rádio ou por cabos, informações para o equipamento correlacionador (Figura 14). Possui faixa de operação entre 300 e 5000 Hz.



Figura 14 – Correlacionador de ruídos.

Fonte: Zanta et. al. (2008).

3.4.3.2 Detecção sem medições no sistema

Com base nas medições e levantamentos das informações e condições de operação existentes de todo o sistema, identifica-se assim áreas com maiores suscetibilidade de ocorrência de vazamentos não visíveis. São realizados o mapeamento da rede em função das pressões atuantes, da idade das tubulações, da incidência de vazamentos, do número de vazamentos por extensão de rede, além da comparação entre macro e micromedição (COSTA et. al., 2011).

É um dos métodos mais utilizados pelas companhias por não ser dispendiosa, mas exige um excelente banco de dados e gerenciamento de informações.

3.4.3.3 Detecção baseada em medições no sistema

Determina-se através de medições de vazão e pressão nos distritos de medição e controle os parâmetros de controle que irão auxiliar a seleção das áreas críticas de vazamentos. Entre as etapas iniciais estão a realização de medição de vazão durante sete dias; cálculo do fator de pesquisa; varredura acústica, campanha de conserto; novas medições de vazão e determinação de novos fatores de pesquisa (COSTA et. al., 2011).

Segundo ainda Costa (2011) este método apresenta como uma das vantagens de otimização dos recursos, pois há pesquisa somente dos locais com grande potencial de vazamentos.

3.4.3.4 Métodos de avaliação de perdas

Existem dois métodos de avaliação de perdas. O primeiro método refere-se ao balanço de água em que se avaliam as perdas pelo volume que entra no sistema menos o consumido, sendo calculadas perdas totais resultantes. E o método de pesquisa em campo que verifica cada componente de perda real ou aparente.

Assim, na tentativa de unificar a quantificação das perdas e uniformizar a linguagem, permitindo a comparação entre diferentes sistemas de organizações nacionais ou internacionais, surgiram os indicadores de perdas. Que medirão a eficiência e eficácia na prestação dos serviços de abastecimento (SOUZA, 2011).

“A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço. A eficácia mede até que ponto os objetivos da gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos.” (ALEGRE et al¹¹, 2005 apud SOUZA, 2011).

Desta forma, são instrumentos gerenciais que auxiliam no controle e medição de perdas com a finalidade de dar suporte nas tomadas de decisões econômicas e eficiências (ALEGRE¹², 1997 apud SILVA, F. et. al., 2007).

Os indicadores, ou índices de perdas, permitem quantificar, retratar e gerenciar a evolução dos volumes perdidos. Possibilitam, ainda, a análise de comparação de desempenho com outros operadores e serviços. Em nível mundial, são discutidos a padronização dos indicadores através do IWA (GIROL, 2008 e ZANTA et. al., 2008).

Situações, em sistemas de abastecimento de água, vêm sendo analisados com o intuito de se obter os indicadores de desempenho. Que podem ser obtidos a partir de dados fornecidos pelo setor de controle de perdas e de registros da empresa concessionária (ARANHA e SILVA, 2009). Dentre os indicadores de desempenho calculado estão o índice de perdas aparentes, índice de perdas físicas, índice de micromedição e índice de perdas no faturamento, além da elaboração do balanço hídrico.

Indicador percentual

Um dos primeiros parâmetros de fácil determinação e que nos permite obter o conhecimento do nível de perdas do sistema. Conhecimento obtido através da relação do volume utilizado e o volume disponibilizado (Equação 1). Deve-se lembrar de ainda que no volume disponibilizado deve-se retirar a parcela dos usos autorizados, mas não faturados, como água de descarga de rede, combate a incêndios, entre outros (GONÇALVES e ALVIM, 2007).

¹¹ ALEGRE, H.; COELHO, S. T., ALMEIDA, M. C. A.; VIEIRA, P. 2005. Controle de perdas em sistemas públicos de adução e distribuição. Ed. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. 2005.

¹² ALEGRE, H. e BAPTISTA, J.M. O Sistema de Indicadores de Desempenho: Serviços de Abastecimento de Água. Portugal. 1993.

$$IPD = \frac{V_{Dist} - V_{Util}}{V_{Dist}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- IPD - Índice percentual de perdas (%)
 V_{Dist} - Volume Distribuído (m³)
 V_{Util} - Volume Utilizado (m³)

Ressalta-se ainda que este índice, apesar de ser muito usado, não deve ser usado isoladamente para medir o desempenho do sistema. Servindo apenas como uma avaliação inicial através de classificações (Tabela 5).

Tabela 5 - Relação do índice de perdas e situação do sistema.

IPD	Situação do sistema
Maior que 40%	Sistema com mau gerenciamento
Entre 40% e 25%	Sistema com gerenciamento de nível intermediário.
Menor que 25%	Sistema com bom gerenciamento.

Fonte: Gonçalves e Alvim (2007).

Índice de perdas por ramal

Outra fórmula relaciona o volume perdido real e o número de ligações de água, como na Equação 2. É recomendado em setores em que a densidade do ramal seja maior que 20 ramais/km, o que ocorre geralmente em áreas urbanas.

$$IPR = \frac{V_{PA}}{N^{\circ}_r * 365} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- IPR - Índice de Perda por Ramal $\left(\frac{m^3}{ramal.dia}\right)$
 V_{PA} - Volume Perdido Anual (m³)
 N°_r - Número de ramais

Índice de perdas por extensão de rede

Relaciona o volume perdido total anual com o comprimento da rede de distribuição de água (Equação 3). Aconselha-se a sua utilização em locais que a densidade de ramais seja menor que a 20 ramais/km, o que ocorre em áreas mais afastadas, como ocupação rural.

$$IPL = \frac{V_{PA}}{L_{rede} * 365} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

IPL - Índice de Perda por Extensão de Rede $\left(\frac{m^3}{km.dia}\right)$

V_{PA} - Volume de Perdas Anuais (m^3)

L_{rede} - Comprimento Total dos Ramais (km)

Índice de infraestrutura de perdas

É um novo indicador proposto pela IWA e permite a comparação entre sistemas distintos. Relaciona o volume perdido total anual e o volume perdido total inevitável anual (Equação 4). Mas não é indicado a ser utilizado para setores com menos de 5000 ligações, pressão menor que 20 mca e densidade menor que 10 ligações/km.

$$IIE = \frac{V_{PA}}{V_{PTIA}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

IIE - Índice de Infraestrutura de Perda (adimensional)

V_{PA} - Volume de Perdas Anuais (m^3)

V_{PTIA} - Volume Perdido Total Inevitável Anual (m^3)

$$V_{PTIA} = (18 \times Lri + 0,8 \times Nc + 25 \times Lp) \cdot P \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

V_{PTIA} - Volume perdido total inevitável anual (m^3/dia);

Lri - Extensão da rede (km);

- Nc - Número de ramais;
 Lp - Extensão total do ramal domiciliar enterrado entre a testada da propriedade e o hidrômetro (km);
 P - Pressão média do sistema (mca).

Fator de pesquisa

Indicador que relaciona a vazão mínima noturna e a vazão média diária (Equação 6). Sendo um dos indicadores mais forte sobre a existência do vazamento. Sendo que valores altos traduzem grandes chances na detecção acústicas dos vazamentos e valores baixos, necessidade de maior pesquisa para a detecção do mesmo (COSTA et. al., 2011).

$$FP = \frac{Q_{\min \text{ not}}}{Q_{\text{méd diária}}} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

- FP - Fator de pesquisa (adimensional).
 $Q_{\min \text{ not}}$ - Vazão mínima noturna encontrada nas horas de vazão mínima, entre 3-4 horas (m³/h).
 $Q_{\text{méd diária}}$ - Vazão média diária (m³/h).

Balanço hídrico

Consistem em chegar nos volumes perdidos a partir do volume total disponibilizado para a distribuição, excluindo os volumes dos usos conhecidos. Sendo indicada para uma análise mais macroscópica e setores grande porte. Na Figura 15 mostra-se a divisão de perdas no balanço hídrico, entrada e consumo de água (SOUZA, 2011).

A	B	C	D	E
Água que entra no sistema. (m ³ /ano)	Consumo autorizado. (m ³ /ano)	Consumo autorizado faturado. (m ³ /ano)	Consumo medido faturado (inclui água exportada). (m ³ /ano)	Água faturada. (m ³ /ano)
			Consumo faturado não medido (m ³ /ano)	
		Consumo autorizado não faturado. (m ³ /ano)	Consumo não faturado medido (m ³ /ano)	Água não faturada. (m ³ /ano)
			Consumo não faturado não medido (m ³ /ano)	
	Perdas de água. (m ³ /ano)	Perdas aparentes. (m ³ /ano)	Uso não autorizado (m ³ /ano)	
			Erros de medição (m ³ /ano)	
		Perdas reais. (m ³ /ano)	Perdas reais nas tubulação de água bruta e no tratamento (quando aplicável). (m ³ /ano)	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição. (m ³ /ano)	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatório de adução e/ou distribuição. (m ³ /ano)	
			Vazamento nos ramais (a montante do ponto de medição). (m ³ /ano)	

Figura 15 – Componentes do balanço hídrico.

Fonte: Adaptado de Alegre et. al. (2005 apud SOUZA, 2011).

Para a realização do cálculo da água não faturada e as perdas as nove etapas da metodologia proposta por ALEGRE¹³ et. al. (2005, apud SOUZA, 2011) devem ser realizados:

- Etapa 1: Determinar o volume de água de entrada no sistema e colocá-lo na Coluna A;
- Etapa 2: Determinar o consumo faturado medido e o consumo faturado não medido e colocar na Coluna D; colocar o total como consumo autorizado faturado na Coluna C e como água faturada na Coluna E;

¹³ ALEGRE, H.; COELHO, S. T., ALMEIDA, M. C. A.; VIEIRA, P. 2005. Controle de perdas em sistemas públicos de adução e distribuição. Ed. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. 2005.

- Etapa 3: Calcular o volume de água não faturada na Coluna E subtraindo a água faturada da Coluna E da água de entrada no sistema da Coluna A;
- Etapa 4: Definir o consumo não faturado medido e o consumo não faturado não medido na Coluna D; registrar o total em consumo autorizado não faturado na Coluna C;
- Etapa 5: Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado e ao consumo autorizado não faturado na Coluna C; registrar o total em consumo autorizado na Coluna B;
- Etapa 6: Calcular as perdas na Coluna B como a diferença entre a água entrada no sistema da Coluna A e o consumo autorizado na Coluna B;
- Etapa 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas de uso não autorizado e erros da medição na coluna D, somá-las e registrar o resultado em perdas aparentes na Coluna C;
- Etapa 8: Calcular as perdas reais na Coluna C subtraindo as perdas aparentes na Coluna C das perdas de água na Coluna B;
- Etapa 9: Avaliar as parcelas das perdas reais na Coluna D usando os melhores métodos disponíveis (como análise da vazão mínima noturna, entre outros métodos), somá-las e comparar com o resultado das perdas reais na Coluna C.

Vazão mínima noturna

Fornece uma medida bem aproximada da vazão dos vazamentos já que está sendo avaliada no horário em que o consumo é mínimo no sistema, período noturno. Está extremamente ligada às pressões na rede de distribuição. Sendo obtida através da medição da vazão no horário mínimo de consumo e posterior associação com a variação de pressão no sistema ao longo do dia (SOUZA, 2011). Fornecendo assim o perfil diário de perdas reais do sistema. Na Figura 16 e Figura 17 representam-se os componentes da vazão mínima noturna.



Figura 16 – Componentes da vazão mínima noturna.

Fonte: Adaptado de Souza, 2011.



Figura 17 – Gráfico das componentes da vazão mínima noturna.

Fonte: Zanta et al, 2008.

Geralmente a vazão mínima noturna ocorre entre 3:00 a 4:00 horas. Horário na qual o consumo refere-se praticamente à vazão de vazamentos. Mas para a sua determinação deve-se conhecer todos os seus componentes (ZANTA et. al., 2008). Na Figura 17 podem-se observar as componentes da vazão mínima noturna, onde as perdas até o hidrômetro se referem a todos os tipos de vazamentos no sistema de distribuição, como vazamentos visíveis e não visíveis arrebertos e vazamentos

inerentes. Já as perdas após hidrômetro refere-se o uso noturno, como consumo noturno residencial, não residencial e excepcional, além das perdas nas instalações internas dos usuários (MELATO, 2010).

Segundo Motta (2010) deve-se lembrar de que a medição da vazão mínima noturna deve ocorrer nos momentos de maior pressão no sistema. Sendo que a vazão de vazamento esta estritamente relacionada à pressão do sistema. Assim, durante o dia, como o consumo é maior, a pressão existente no sistema acaba sendo menor, diminuindo o vazamento.

Devido a essa característica o valor encontrado no período noturno deve ser corrigido através de um valor denominado Fator Noite/Dia ou FND (Equação 7). Valor dados em horas por dia que multiplicado pela vazão dos vazamentos resulta no volume médio diário dos vazamentos (SOUZA, 2011).

Se a vazão fosse multiplicada por 24 horas estaria supervalorizando os volumes diários perdidos. Este fator geralmente é menor que 24 horas/dia em setores de abastecimento por gravidade partindo de reservatórios sem nenhuma interferência operacional. Quando apresenta valores superiores, significa que o sistema apresenta um gerenciamento de pressão, como bombeamento ou uso de VRPs (MELATO, 2010).

$$Q_{Perdas} = (Q_{\min not} - Q_L) \times FND \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

Q_{Perdas} - Vazão média das perdas reais diárias (m³/dia);

$Q_{\min not}$ - Vazão mínima noturna média do período amostrado (m³/h);

Q_L - Vazão de usos ou consumos legítimos médio no horário da mínima noturna (m³/h);

FND - Fator de correção ou fator noite/dia.

Para o cálculo do fator de correção utiliza-se a Equação 8.

$$FND = \sum \left(\frac{PPMS_i}{PMNS_{3-4}} \right)^{N_1} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

FND - Fator de correção (adimensional)

$PPMS_i$ - Pressão média horária no setor, durante o período de dias de amostragem, da hora "i" do dia (mca).

$PMNS_{3-4}$ - Pressão noturna média no setor, obtida no horário entre 3:00 e 4:00 horas, correspondendo à pressão média de todos os dias no horário da vazão mínima noturna (mca).

N_1 - Expoente que depende das características dos materiais das tubulações (adimensional).

Segundo Motta (2010) os valores de N_1 são bem variados. Sendo baseados de acordo com as características dos materiais da rede de distribuição e ramais (Tabela 6).

Tabela 6 - Relação de valores de N_1 e o material da rede de distribuição.

Valores de N_1	Materiais da rede
0,50	Ferro fundido e aço
1,00 - 1,15	Mistura de materiais
1,50 - 2,50	PVC e PEAD

Fonte: Motta, 2010.

Este tipo de análise dos índices de perda foi realizado no trabalho de Aranha e Silva (2009). Realizado na cidade de Boa Vista-RR com os dados de 2006, 2007 e 2008. Concluindo que a cidade obteve uma redução do índice de perda, mesmo que haja ainda muito que se fazer para otimizar o gerenciamento e o controle de perdas.

As condições de saneamento e distribuição de água no município da região metropolitana do Recife realizaram-se no município de Abreu e Lima e foi descrito no trabalho de Albuquerque et. al. (2011). Tal estudo foi necessário devido à região apresentar constantemente racionamento de água imposto pela Compensa e um índice de perda em torno de 50%. Obtiveram-se dados com a companhia de saneamento e aplicou-se um questionário na população. Os resultados mostraram que a oferta de água é maior que a demandam, mas o desperdício faz com que haja o racionamento e que há o total desconhecimento da população em relação ao problema.

3.4.4 Ações para controle e combate das perdas

O controle de perdas deve ser considerado como parte da gestão do sistema de abastecimento de água considerando que esse modo altera-se de acordo com as características da população, como cultura, necessidade, equipe responsável, entre outros. Sendo ainda a primeira ação necessária para considerar a ampliação do sistema, baseando-se assim na utilização racional e eficiente dos recursos, além do melhor aproveitamento das instalações já existentes no sistema (SOUZA, 2011).

Ainda no trabalho de Souza (2011) para a adoção de um Programa de Controle de Perdas, devem-se adotar cinco etapas dentro da estratégia de combate a perdas, como a preparação, definição de metas, implantação de ações, gerenciamento e monitoramento. Sendo que:

- Preparação: elaboração de um plano com o detalhamento de causas e efeitos;
- Definição: definir metas de curto e em longo prazo para a redução;
- Implantação: implantar ações e executar as intervenções;
- Monitoramento: constantes avaliações de perdas;
- Gerenciamento: acompanhamento das ações avaliando as ações e o andamento, além de analisar os resultados.

Segundo Souza (2011) para se conhecer os volumes de água utilizados e conseqüentemente os volumes de perdas, as ferramentas de macro e micromedição são fundamentais. Sendo que a macromedição oferece confiabilidade na determinação dos volumes de água captados, aduzidos, tratados, armazenados e distribuídos; e a micromedição o volume de água comercializado.

No trabalho de Adani e Garcia (2002) desenvolveu-se uma gerência de controle de perdas e programas de redução dos índices de perda justamente com o objetivo de obter políticas e maior controle na SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento) de Campinas. Assim, realizaram-se avaliações junto a um corpo técnico dedicado e responsável pelo monitoramento das informações, diagnósticos das causas e pela implantação de ações, com a finalidade de prevenção e combate às perdas no sistema de produção e distribuição.

Dentre as intervenções destaca-se o programa de redução de perdas criadas pela própria empresa SANASA que estão sendo implementados em médio

prazo. Entre as intervenções estão a macromedição, micromedição, cadastro técnico, telemetria e telecomando, sistemas informatizados, setorização das áreas, redução de pressão, controle do funcionamento das ventosas, detecção de vazamentos não aparentes, consulta de vazamentos aparentes, entre outros. Com esse monitoramento/análise possibilitou a tomada de decisão, como a definição do direcionamento das atividades, modificações em processos, priorização de ações com a finalidade de eliminar as perdas e desperdícios (ADANI E GARCIA, 2002).

No trabalho de Coelho (2002), demonstra-se a importância do desenvolvimento de metodologias destinadas a identificação e quantificação das causas. Detalha-se algumas medidas como a determinação de pesos permitindo que haja subsídios para o desenvolvimento de um modelo de redução de perdas nos sistemas de abastecimento de água. Modelo que se baseou num relatório final com dados que poderão subsidiar estudos de otimização da rede de abastecimento.

Na detecção de perdas algumas características das estruturas auxiliam na localização e determinação do local do reparo, como: a idade, o material, manutenção das tubulações e dos outros elementos da rede; as pressões; o comprimento dos segmentos de tubulações e a quantidade, propriedade, localização e outras dos ramais prediais (PILCHERD¹⁴, 2007 apud MEDINA e REIS, 2011).

Baggio¹⁵ (2000 apud TSUTIYA, 2005) propôs em seu trabalho uma metodologia para o diagnóstico de perdas. Em que inicialmente implantasse um modelo de gerenciamento da rotina do processo de operação de sistemas de abastecimento e depois a democratização de informações. Tais ferramentas permitiram a criação de consciência e finalmente o bloqueio das causas predominantes.

Outra ferramenta que pode auxiliar na determinação de áreas críticas de pressão e auxílio na tomada de decisão é através do mapeamento. Criação de mapas temáticos que correlacionam informações de cota das curvas de nível com a cota do reservatório em relação aos pontos (pressão estática). Auxílio bem sucedido e demonstrado no trabalho de Almeida et. al. (2012). Onde os mapas trazem uma

¹⁴ PILCHERD, R. Leak Location and Repair Guidance Notes and.... The Never Ending War against Leakage. Water Loss, Bucarest, Romênia, 2007. p. 412-422.

¹⁵ BAGGIO, M. A. Diagnósticos de perdas em sistemas de abastecimento de água. Apostila. ABES. França, 2000.

melhor visualização e entendimento para a tomada de decisão e visualização do problema em questão na área.

Controle de perdas aparentes (não reais)

Estratégias de controle de perdas foram definidas pela agência internacional de gestão de água (IWA). Estratégias para ambas as perdas e que se baseiam em suas origens (Tabela 7).

Tabela 7 - Estratégias de controle de perdas aparentes.

Maior precisão da medição e da informação	Complementação da medição.
	Substituição dos hidrômetros.
	Aferição de macro/micro medidores.
	Mudança de local de padrão.
	Setorização.
Controle ativo de fraudes	Treinamento.
	Revisão cadastro comercial.
	Estruturação de equipes de pesquisa de fraudes.
Gerenciamento da infraestrutura	Aquisição de equipamentos de pesquisa.
	Manutenção dos atuais padrões.
Rapidez e qualidade de medidores	Padronização de cavaletes.
	Estruturação de equipes de hidrometria.
	Cadastro de medidores.

Fonte: Souza (2011).

Ainda baseado nas estratégias de controle de perdas, a caixa representada na Figura 18 refere-se a uma caixa de perdas onde relaciona perdas aparentes inevitáveis, o nível econômico de perdas aparentes e a quantidade de perdas comerciais potencialmente recuperáveis. Assim, atuando nas estratégias em destaque, podem-se diminuir as perdas aparentes ou as inevitáveis.

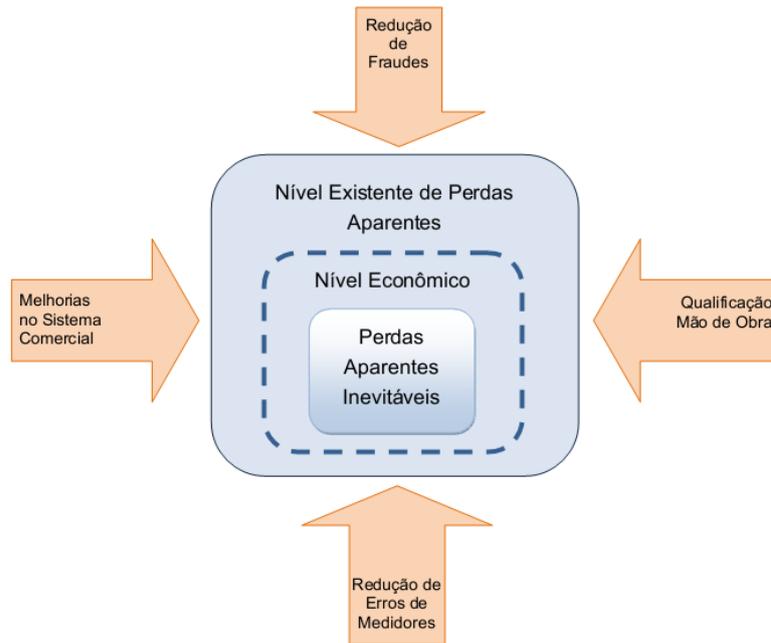


Figura 18 – Ações estratégicas para a redução de perdas aparentes.

Fonte: Adaptado de Tardelli Filho¹⁶ (2004 apud SOUZA, 2011).

Controle de perdas reais

Estratégias de controle de perdas foram definidas pela agência internacional de gestão de água (IWA – International Water Association). Estratégias para ambas as perdas e que se baseiam em suas origens (Tabela 8).

¹⁶ TARDELLI FILHO, J. 2004. Controle e Redução de Perdas. In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. São Paulo. Ed. Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento/USP, 2004. (1).

Tabela 8 - Estratégias de controle de perdas reais.

Controle de pressão	Instalação de válvulas redutoras de pressão (VRP).
	Setorização;
	Unidades de reservação.
Controle ativo de vazamentos e fugas	Pesquisa de vazamentos e fugas.
	Pesquisa de vazamento não visível.
Gerenciamento de infraestrutura	Substituição de redes e ramais.
	Recuperação.
	Revitalização.
	Padronização e treinamento.
Rapidez e qualidade de reparos	Setorização de redes.
	Cadastro.
	Agilizar o atendimento.

Fonte: Souza (2011).

O mesmo tipo de análise está representado na caixa da Figura 19 para as perdas reais. Em que se relacionam perdas reais inevitáveis, o nível econômico de perdas reais e a quantidade de perdas reais potencialmente recuperáveis. Assim, atuando nas estratégias em destaque, podem-se diminuir as perdas reais ou inevitáveis.

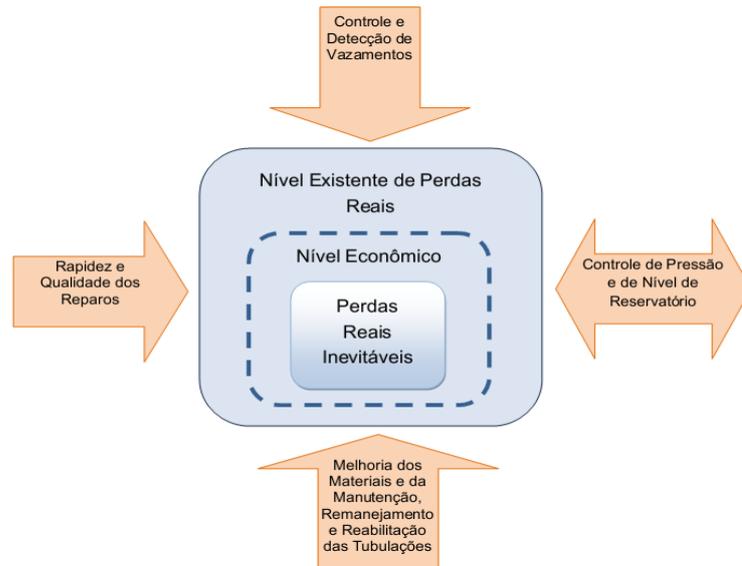


Figura 19 – Ações estratégicas para a redução de perdas reais.

Fonte: Adaptado de Tardelli Filho¹⁷ (2004 apud SOUZA, 2011).

Válvulas redutoras de pressão

Outra forma muito utilizada, na obtenção de um maior controle e redução de perdas, é a utilização de válvulas redutores de pressão (VRP). A VRP possui a facilidade de ter o controle das pressões, assegurando as pressões máximas e mínimas permitidas obedecendo aos limites. Com isso maior controle nas perdas, já que são extremamente influenciadas pela pressão (GONÇAVES E ALVIM, 2007).

Sistemas que apresentam altas pressões consequentemente apresentam altos volumes de vazamentos. Nestes casos, torna-se economicamente viável o controle das pressões no sistema com válvulas redutoras de pressão ou reservatórios (GONÇAVES E ALVIM, 2007).

No trabalho de Colombo (2007) ressalta-se o ponto de vista da sustentabilidade no controle de perdas por vazamentos em um sistema de abastecimento de água. Ao tentar minimiza-los, muitas empresas responsáveis vêm adotando o uso, além de outras medidas, de válvulas redutoras de pressão. Equipamentos que abaixam o plano piezométrico das redes quando o consumo é pequeno. Medida denominada preventiva e para funcionar corretamente necessitam estar ajustados e localizados corretamente.

¹⁷ TARDELLI FILHO, J. 2004. Controle e Redução de Perdas. In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. São Paulo. Ed. Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento/USP, 2004. (1).

Souza et. al. (2012) avaliou em seu trabalho a eficiência da instalação de válvulas redutoras de pressão (VRPs) em pontos críticos na rede de distribuição de dois bairros da cidade de Goiânia (GO). Trabalho com a finalidade de mostrar que, com a utilização da válvula, reduz-se a pressão dentro a tubulação e conseqüentemente reduz os vazamentos. Sua análise sobre a eficiência baseou-se nos relatórios feitos a partir de reparos realizados na rede na qual obteve resultados satisfatórios comprovando a eficiência da instalação. Mas não descartando a necessidade de uma programação de manutenção periódica.

Thornton e Lambert¹⁸ (2005 apud SOUZA et. al., 2012) ressalta que entre as estratégias de controle de perdas de água, o gerenciamento de pressão encontra-se em grande destaque. Reduzindo a pressão na tubulação, em partes que ha um grande número de vazamentos, diminui muito a sua incidência. E para isso tem sido muito utilizadas as VRPs.

Setorização

Devido este método permitir um maior controle e gerenciamento de partes de redes de abastecimento de água, permite com maior eficiência a identificação de pontos com maior incidência de vazamentos (GONÇALVES e ALVIM, 2007).

A setorização através de zonas de medição e controle (ZMC), seguido por medições noturnas e inspeção com equipamentos como acelerômetros, hidrofones e geofones foram as medidas adotadas para a redução de perdas de água, principalmente a não faturada, pela empresa de Águas de Coimbra no seu sistema de distribuição. Salientaram ainda a importância na análise da vazão mínima noturna (SÁ e PINA, 2012).

3.4.5 Manutenção e reabilitação de estruturas da rede de distribuição

Manutenção

Atualmente diversas técnicas modernas estão disponíveis e bastante acessíveis viabilizando o monitoramento do sistema de distribuição. Monitoramento

¹⁸ THORNTON, J. e LAMBERT, A. O. Progress in practical prediction of pressure: leakage pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. Leakage, 2005. Specialized Conference – Conference Proceedings. Halifax: IWA, 2005.

que pode ser feito através da automação de medições em tempo real de pressões, vazões e níveis d'água em diversos locais e a implantação de modelagem matemática com simuladores numéricos. Possibilitando a obtenção do funcionamento hidráulico e a desejada otimização operacional do sistema segundo Righetto (2001).

Hoogsteen¹⁹ (1993 apud VENTURINE e BARBOSA, 2002) se diz surpreso por perceber que ainda há empresas que não se conscientizam da importância de manter um completo sistema de manutenção e controle. Manutenção que pode ser feita através da aplicação de revestimentos internos, limpeza das tubulações, substituição e reparos, substituição de válvulas e acessórios que aumentam a eficiência operacional. Sendo que as causas mais frequentes de problemas em redes de distribuição tem origem em:

- Altas pressões, variação na pressão e transientes hidráulicos;
- Influência externa como tráfego e acidez do solo;
- Envelhecimento natural do material da tubulação;
- Alto índice de sedimentação nas tubulações devido à ineficiência da estação de tratamento;
- Qualidade do material empregado.

Reabilitação

Reabilitação baseia-se em melhorias de intervenções físicas que podem estar relacionados a ampliação e restauração. Buscando alcançar o desempenho hidráulico, estrutural ou funcional. Podendo haver ampliação no sistema onde há troca ou substituição de tubulações e equipamentos. Já a tomada de decisão é feita todos os dias e consiste na identificação do problema e na busca da melhor solução, mas, planejar as medidas associa-se ao custo-benefício como mostrado no trabalho de Venturine e Barbosa (2002).

Em redes reais, todos os tipos de perdas são realidades, na qual entre soluções para as perdas reais está o processo de reabilitação. Em que há a identificação dos os vazamentos através de substituição de tubulações antigas, válvulas, registros e outros equipamentos, como também o melhoramento do

¹⁹ HOOGSTEEEN, K. J., Basic Distribution System Maintenance, AWWA. In: ANNUAL CONFERENCE AND EXPOSITION: Chicago, Illinois. 1993, p. 20-24.

sistema de impulsão para proporcionar pressão adequada as diversas partes do sistema (SALVINO et. al., 2011).

A importância do processo de reabilitação no contexto de preservação dos recursos hídricos foi salientada no trabalho de Venturine e Barbosa (2002). No qual apresentou técnicas de reabilitação com a finalidade de evitar desperdício de água. Ressaltando a manutenção preventiva, implantação de um avançado programa de recuperação e renovação progressiva das tubulações para a manutenção da integridade da infraestrutura do sistema de distribuição de água para auxiliar e facilitarem a reabilitação.

Assim que as tubulações começam a apresentar problemas no fornecimento de água, são necessárias intervenções, que se forem relacionadas ao desempenho hidráulico adotam-se técnicas de reabilitação hidráulica, mas se estiver associado a deterioração das instalações, necessita-se de reabilitação estrutural (VENTURINE e BARBOSA, 2002).

3.5 EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

3.5.1 Custos e gestão operacional

Nos trabalhos de Righetto (2002), Carrijo e Reis (2005) e Machado et. al. (2005), demonstrou-se que a eficiência é uma ferramenta essencial, não apenas para o atendimento perfeito aos consumidores, mas também pode manter um custo ideal de energia elétrica. Além disso, a sua manutenção dentro de padrões aceitáveis, proporciona um prolongamento ao máximo da vida útil do sistema.

Para isso é necessário o completo conhecimento do sistema, obtido através de certas ferramentas. Como modelos de simulação hidráulica, otimização e assim, a definição de regras. Deve-se ainda ressaltar que o sistema de abastecimento de água deve garantir a confiabilidade no atendimento dos serviços, economia no uso de equipamentos e o planejamento para futuras expansões.

Entre os diversos fatores que fazem o consumo de energia, em sistemas de abastecimento de água seja elevado, alguns foram citados no trabalho de Pedrosa Filho (2006):

- Falta de compartilhamento de informações, dados e situações entre as gerências da companhia, obtendo uma melhor continuidade no desenvolvimento, otimização e expansão do sistema;
- Ausência de medição e monitoramento, de dados e parâmetros, que possibilitam a regulação e controle do sistema;
- Permanência e utilização de equipamentos antigos e ultrapassados;
- Envelhecimento das tubulações;
- Elevado desperdício de água tratada, tanto em relação a perdas quanto mal uso;
- Falta de uma política de manutenção e substituição de equipamentos e tubulações, antigos e envelhecidos, simultaneamente;
- Complexidade das redes de distribuição para estudos, manutenção e análises;
- Falta de uma política e gerenciamento operacional dos grupos elevatórios, que são grandes consumidores de energia;
- Falta de investimentos na área operacional.

Segundo Condurú e Pereira (2012b) entre os fatores que influenciam o controle operacional estão a eficiência na macromedição de volumes, setorização da rede de distribuição, micromedição do volume consumido nas instalações, qualidade e compatibilidade dos cadastros, entre outras. E justamente devido às dificuldades de se obter um controle efetivo e devido a dependência das características do sistema, a eficiência energética torna-se complexa em ser determinada e buscada.

Deve-se lembrar de que este sistema não é apenas uma sequência de comandos exercidos sobre equipamentos, com a finalidade de atender a demanda. Mas também necessita de planejamento, controle e supervisão, serviços de infraestrutura de apoio e atendimento ao usuário (CARRIJO E REIS, 2005).

Assim, uma equipe de planejamento da operação define as regras de controles dos sistemas baseadas nas informações, experiências e conhecimentos anteriores. Esta equipe, responsável pelo controle, implanta as regras e dá o retorno ao setor de planejamento. Assim, na definição da melhor regra de operação é necessário o conhecimento do sistema, a definição clara dos objetivos e a

disponibilidade de modelos de análise hidráulica e de otimização (CARRIJO e REIS, 2005).

Devido estudos apresentarem que cerca de 90% dos gastos de uma empresa de saneamento esta relacionado ao consumo de energia elétrica das estações elevatórias, outros estudos foram iniciados. Como o realizado e descrito na dissertação de mestrado da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) por Nazaré e Souza (2011). Em que se apresentou estudos de modelagem hidráulica, utilizando o Epanet, no sistema coletivo da bacia leiteira. Com a finalidade de reduzir as perdas de água na companhia de saneamento de Alagoas (CASAL), que se encontrava em torno de 54,60% e assim, tentar através de uma reestruturação administrativa e operacional para reduzir este índice.

Lima et. al. (2012) ressaltou a importância dos estudos baseados em condições operacionais do sistema, com a finalidade de se obter um diagnóstico para a redução de gastos energéticos através de medidas técnicas e econômicas viáveis. Assim, não apenas se economiza energia, mas otimiza-se a utilização das fontes limpas, renováveis e traz como foco a preocupação da escassez do recurso e energia.

No trabalho de Nazaré e Souza (2011), com foco na redução de custos operacionais e energéticos foram apresentados cenários da simulação, de tal forma que mantenha a confiabilidade do sistema. Pode-se perceber que o sistema é extremamente sensível as mudanças nas regras operacionais e que as bombas possuíam um baixo rendimento. Apesar de ter apresentado uma economia de 58% houve um comprometimento no atendimento da demanda. Observou-se ainda que o custo energético total do sistema varia inversamente com o rendimento e apresenta uma grande sensibilidade na variação.

Diante do custo cada vez mais elevado da energia elétrica e a sua dependência direta, buscam-se novas formas de promover seu uso da maneira mais eficaz. De acordo com o Procel (Programa de Conservação de Energia Elétrica) no setor de saneamento, as principais ações são (TSUTIYA, 2005):

- Alteração de funcionamento nos horários de ponta dos sistemas elétricos;
- Controle das vazões de recalque em relação à demanda;
- Dimensionamento adequado dos equipamentos eletromecânicos;
- Automação operacional do sistema.

Deve-se ressaltar ainda que no orçamento das despesas das empresas de saneamento, a energia elétrica variam entre 4,7% a 36,3%. Para tal redução há a necessidade de implementação de várias ações como o diagnóstico do sistema para descobrir os principais consumidores de energia; seguidas de ações administrativas; otimização dos equipamentos eletromecânicos; e a otimização hidráulica (TSUTIYA, 2005).

Segundo, ainda, Tsutiya (2005) a maioria dos métodos para a economia de energia elétrica busca se organizar em etapas, como:

- Conhecimento do sistema tarifário;
- Redução da potência do equipamento;
- Alteração do sistema operacional;
- Automação do sistema de abastecimento de água;
- Geração de energia elétrica.

Entre as etapas acima, que são passos iniciais para um estudo e análise do sistema energético, deve-se ainda considerar os aspectos relacionados a redução do custo de energia através de várias formas e interferências no sistema como a redução (TSUTIYA, 2005):

- Sem diminuição do consumo de energia elétrica;
- Com diminuição do consumo de energia elétrica;
- Pela alteração do sistema operacional;
- Pela automação do sistema de abastecimento de água;
- Pela geração de energia elétrica.

No trabalho de Righetto (2002) apresentou-se metodologias para se alcançar operação ótima de um sistema de distribuição de água fictício simples. Avaliando o desempenho das regras operacionais ao longo de 24 horas de funcionamento dos sistemas e relacionando com os parâmetros de consumo de energia, confiabilidade operacional, satisfação em relação ao atendimento da demanda, controle das pressões nodais, níveis d'água em reservatórios e mudanças operacionais.

Para tal estudo, utilizou-se modelo hidráulico juntamente a um modelo de otimização, na qual demonstrou eficientes na aplicação da rede exemplo. Obteve-se

bastante flexibilidade ao incorporar diversas características desejáveis a operação do sistema e grande utilidade para determinar regras operacionais desejáveis para um sistema real de distribuição de água (RIGHETTO, 2002).

No trabalho de Barbalho e Formiga (2009), com a finalidade de otimizar a operação de reservatórios de usos múltiplos, utilizou-se um modelo de simulação juntamente ao algoritmo genético, buscando minimizar o déficit entre demanda e o abastecimento do sistema hidráulico. Tal estudo aplicou-se numa situação hipotética na Usina Hidrelétrica de Itumbiara. Obtendo resultados satisfatórios, sendo que o simulador apresentou flexibilidade e o otimizador alcançou soluções realmente melhores. Havendo uma melhora em média de 13,65% em ambos os cenários estudados e regras operacionais bem semelhantes.

Com a finalidade de se aperfeiçoar ainda mais a operacionalidade do sistema e reduzir o seu consumo de energia, estudou-se a utilização de inversores de frequência nas máquinas hidráulicas de velocidade de rotação variável. Estudo realizado no trabalho de Makino et. al. (2012), em que se estabeleceu um critério operacional de pressão para que o consumo atenda dentro dos limites estabelecidos, como 15 mca de pressão no ponto mais distante e mais crítico do sistema. Critério que estabeleceu uma pressão de saída do bombeamento entre 38 a 67 mca para que chegasse em torno de 11 a 25 mca, de pressão dinâmica mínima, no ponto mais crítico.

3.5.2 Tarifas de energia elétrica

A importância sobre os estudos e busca de soluções para a redução dos custos de energia elétrica, vem se tornando cada vez maior nos últimos anos, devido às crises energéticas e a necessidade de contenção de despesas de operação nas empresas, como mostrado no trabalho de Machado et. al. (2005).

Entre as alternativas de se reduzir custos, a primeira está relacionada ao conhecimento detalhado das características do sistema tarifário. Determina-se a forma de cobrança mais adequada visa sempre à redução dos custos. Entre os tipos de tarifas que podem ser escolhidos pelo consumidor estão tarifa convencional, tarifa horo-sazonal azul e tarifa horo-sazonal verde (TSUTIYA, 2005 e CUNHA, 2009).

Deve-se lembrar de que a ANEEL (Agência Nacional de Energia elétrica) é quem define os critérios de classificação dos consumidores, a forma de cobrança e as tarifas aplicadas. E que o enquadramento tarifário mais adequado baseia-se no conhecimento da formação das contas e dos hábitos de consumo com a finalidade de se reduzir os gastos com a energia elétrica (GUEDES, 2011).

Há uma diferenciação de preço em algumas tarifas considerando o consumo de energia no horário de ponta ou fora do horário de ponta. Sendo que o horário de ponta é o período de três horas consecutivas exceto sábado, domingos e feriados nacionais, definidos pela concessionária em função das características do sistema elétrico. Já o horário fora de ponta refere-se as demais 21 horas do dia (GUEDES, 2011).

Segundo ainda Guedes (2011) outra diferenciação que há em determinadas tarifas é referente ao período seco e úmido. Sendo que o período seco considera-se entre maio a novembro e o úmido de dezembro a abril.

Os consumidores ainda são classificados de acordo com o nível de tensão em que são atendidos (GUEDES, 2011). Podendo ser classificados em baixa tensão ou grupo B, de 127 ou 220 volts; ou de alta tensão ou grupo A, acima de 2300 volts. Os grupos acima ainda podem ser classificados em subgrupos como na Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9 - Subgrupos do grupo de baixa tensão.

Subgrupos	Consumidores
B1	Residenciais
B2	Rurais

Fonte: Guedes (2011).

Tabela 10 - Subgrupos do grupo de alta tensão.

Subgrupos	Tensão de fornecimento (kV)
A1	Superior a 230
A2	88 a 138
A3	69
A3a	30 a 44
A4	2,3 a 25
AS	Subterrâneo

Fonte: Guedes (2011).

3.5.2.1 Tarifa convencional

Pode ser utilizada tanto para consumidores de alta ou baixa tensão (residencial, rural, iluminação pública e subterrânea). Para o seu enquadramento exige-se um contrato específico com a concessionária em que há apenas um valor da demanda, independente da hora do dia ou período do ano (GUEDES, 2011).

Segundo Guedes (2011), os consumidores do grupo A (subgrupos A3a, A4 ou AS) podem ser enquadrados apenas se a demanda contratada for inferior a 300 kW. E sua conta de energia é composta pela soma das parcelas referentes ao consumo (Equação 9), demanda (Equação 10) e ultrapassagem (Equação 11).

Preço do consumo

$$P_c = T_c * C_M \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

- P_c - Preço do consumo (R\$)
- T_c - Tarifa de consumo (R\$/kW)
- C_M - Consumo medido (kW)

Preço da demanda

$$P_D = T_D * D_c \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

- P_D - Preço da demanda (R\$)
- T_D - Tarifa da demanda (R\$/kW)
- D_C - Demanda contratada (kW)

Preço da ultrapassagem

$$P_U = T_U * (D_M - D_C) \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

- P_U - Preço da potência ultrapassada (R\$)
- T_U - Tarifa de ultrapassagem (R\$/kW)
- D_M - Demanda medida (kW)
- D_C - Demanda contratada (kW)

3.5.2.2 Tarifa horo-sazonal azul

Aplica-se para consumidores de alta tensão (A1, A2 e A3), na qual possui preços diferenciados de demanda e consumo, de acordo com as horas e o período do ano utilizado. Considerando ainda que há variação do preço da demanda, entre fora ou dentro do horário de ponta (GUEDES, 2011).

Segundo Guedes (2011), exige-se um contrato mais específico em que há uma diferenciação do consumo, fora ou dentro de ponta, realizado em períodos secos ou úmidos. A conta de energia é calculada considerando consumo (Equação 12), demanda (Equação 13) e ultrapassagem (Equação 14).

Preço do consumo

$$P_C = T_{CP} * C_{MP} + T_{CFP} * C_{MFP} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

- P_C - Preço do consumo (R\$)
- T_{CP} - Tarifa de consumo na ponta (R\$/kW)
- C_{MP} - Consumo medido na ponta (kW)
- T_{CFP} - Tarifa de consumo fora de ponta (R\$/kW)
- C_{MFP} - Consumo medido fora de ponta (kW)

Preço da demanda

$$P_D = T_{DP} * D_{MP} + T_{MFP} * D_{CFP} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

- P_D - Preço da demanda (R\$)
- T_{DP} - Tarifa da demanda na ponta (R\$/kW)
- D_{MP} - Demanda medida na ponta (kW)
- T_{DFP} - Tarifa da demanda fora de ponta (R\$/kW)
- D_{MFP} - Demanda medida fora de ponta (kW)

Preço da ultrapassagem

$$P_U = T_{UP} * (D_{MP} - D_{CP}) + T_{UFP} * (D_{MFP} - D_{CFP}) \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

- P_U - Preço da potência ultrapassada (R\$)
- T_{UP} - Tarifa de ultrapassagem na ponta (R\$/kW)
- D_{MP} - Demanda medida na ponta (kW)
- D_{CP} - Demanda contratada na ponta (kW)
- T_{UFP} - Tarifa de ultrapassagem (R\$/kW)
- D_{MFP} - Demanda medida fora de ponta (kW)
- D_{CFP} - Demanda contratada fora de ponta (kW)

3.5.2.3 Tarifa horo-sazonal verde

Também se aplica aos consumidores de alta tensão e possui um preço único de demanda, mas diferenciados de acordo com a hora e com os períodos do ano, seco ou úmido. Podem ser enquadrados os consumidores do grupo A (subgrupos A3a, A4 e AS) (GUEDES, 2011).

Neste caso, segundo Guedes (2011), a conta de energia é composta das parcelas referentes ao consumo (ponta ou fora de ponta) (Equação 15), demanda (Equação 16) e ultrapassagem (Equação 17).

Preço do consumo

$$P_C = T_{CP} * C_{MP} + T_{CFP} * C_{MFP} \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

- P_C - Preço do consumo (R\$)
- T_{CP} - Tarifa de consumo na ponta (R\$/kW)
- C_{MP} - Consumo medido na ponta (kW)
- T_{CFP} - Tarifa de consumo fora de ponta (R\$/kW)
- C_{MFP} - Consumo medido fora de ponta (kW)

Preço da demanda

$$P_D = T_D * D_C \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

- P_D - Preço da demanda (R\$)
- T_D - Tarifa da demanda (R\$/kW)
- D_C - Demanda contratada (kW)

Preço da ultrapassagem

$$P_U = T_U * (D_M - D_C) \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

- P_U - Preço da potência ultrapassada (R\$)
- T_U - Tarifa de ultrapassagem (R\$/kW)
- D_M - Demanda medida (kW)
- D_C - Demanda contratada (kW)

3.5.3 Alternativas de redução de custo da energia elétrica

Dependendo das características dos sistemas de abastecimento de água, segundo Tsutiya (2005), algumas intervenções podem ser realizadas com a finalidade de:

3.5.3.1 Redução de custo sem a necessidade da diminuição do consumo de energia elétrica:

Podem ser realizados com ou sem investimentos (Tabela 11).

Tabela 11 - Modos de redução de custos sem a necessidade de diminuição do consumo de energia elétrica.

Sem investimentos (ações administrativas)	Com investimentos (novos equipamentos e instalações)
Verificação da classe em que se enquadra a instalação.	
Adequação da demanda contratada.	Correção do fator de potência.
Alteração da estrutura tarifária.	
Corte da ligação caso não esteja sendo utilizada.	
Conferência dos dados para detectar erros de leitura.	Capacitores de potência atuando como geradores de corrente alternativa.
Negociação com as companhias energéticas para a redução de tarifas e operações emergenciais.	

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2005).

3.5.3.2 Redução de custos através da diminuição do consumo de energia elétrica:

Pode ser obtida através da redução da altura manométrica, na redução do volume de água, ou no aumento do rendimento dos conjuntos motor-bomba (Tabela 12).

Tabela 12 - Modos de redução de custo através da diminuição do consumo de energia.

Redução da altura manométrica.	Redução do volume de água.	Aumento no rendimento dos conjuntos motor-bomba.
Redução da altura geométrica.	Controle de perdas.	Eficiência e rendimento do motor elétrico.
Redução de perdas de carga	Uso racional.	Motores de alto rendimento Bomba centrífuga de alto rendimento

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2005).

Sendo que a redução de perdas de água através de escolha ideal do diâmetro, limpeza ou revestimento da tubulação, eliminação do ar em conduto forçado, disposição das tubulações na elevatória e entrada do reservatório, vórtices no poço de sucção e em reservatórios de distribuição.

Já o controle de perdas deve ser adotado pelas empresas de saneamento por estarem diretamente relacionado com a receita e a despesa da empresa e para o controle. O governo Federal lançou em 1997 o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA, que promove o uso racional da água de abastecimento público brasileiro, define e implanta um conjunto de ações para economia dos volumes de água demandados. Além de incentivar o uso racional através de linhas de ações, como mudanças de hábitos e culturas, aspectos normativos, legais e tecnológicos.

E finalmente para o aumento no rendimento dos conjuntos motor-bomba através da eficiência e do rendimento do motor elétrico, utilização de motores de alto rendimento e da bomba centrífuga de alto rendimento (TSUTIYA, 2005).

A redução no custo da energia elétrica também pode ser realizada através de alteração do sistema bombeamento-reservação, como (TSUTIYA, 2005):

- Determinação na capacidade de reservação em conjunto com as curvas de consumo e alternativas operacionais de bombeamento-reservação de acordo com as características do sistema;
- Utilização de variadores de rotação nos conjuntos motor-bomba para sistemas que possuem altura geométrica de recalque menor que as perdas que ocorrem na tubulação;

- Alteração nos procedimentos operacionais da estação de tratamento de água, na qual é necessário conhecer bem as instalações elétricas existentes e os equipamentos eletromecânicos.

No trabalho de Makino et. al. (2012) analisou-se a alternativa de se reduzir o consumo de energia elétrica através da utilização de inversores de frequência. Equipamentos que instalado junto ao conjunto motobomba é capaz de produzir uma variação dos valores de frequência elétrica, variando a sua rotação ou velocidades, alterando no funcionamento e no ponto de operação.

3.5.3.3 Redução de custos pela automação de sistema de abastecimento de água.

A automação do sistema de abastecimento de água apesar de aumentar os custos do sistema, ao comparar a sua utilização ou não, opta-se pelo seu uso devido à:

- Diminuição dos custos de pessoal;
- Redução do consumo de energia elétrica e produtos químicos;
- Melhora a eficiência dos processos;
- Aumento a segurança na operação do sistema;
- Etc.

Este método pode ser realizado de várias maneiras, ou através do controle por módulos ou do sistema integrado de controle de água. Uma vez feita à automatização, busca-se pela a maximização dos custos operacionais através da otimização máxima desses sistemas, na qual se utiliza algoritmos que identificam o comportamento dinâmico do sistema e determina o ponto ótimo de operação.

Entre os algoritmos mais conhecidos nessa área estão os que usam a Lógica Fuzzy, Redes Neurais e abordagem Genética ou a realização de aprendizagem ao determinar parâmetros de processo através de processo de uma dinâmica de aprendizagem (TSUTIYA, 2005).

O trabalho de Almeida (2012) teve como objetivo mostrar a importância da automatização na área de saneamento e sua aplicação na Companhia de Saneamento de Juiz de Fora (Cesama). Obtiveram-se resultados satisfatórios na economia de energia elétrica e nos ganhos operacionais.

Assim, a Cesama desenvolveu, dentro da sua equipe, pessoas capazes de implementar e executar o projeto na área de sistemas de automação, com vistas a atender as necessidades internas, além de trazer grande economia para a empresa e viabilização de sua expansão.

Tal sistema tinha como meta (ALMEIDA, 2012):

- Obter ganhos operacionais e financeiros;
- Aumentar a confiabilidade do sistema de controle;
- Reduzir o tempo de varredura e ampliar as unidades terminais remotas (UTRs);
- Ampliar ferramentas de gerenciamento de alarmes;
- Redefinir algumas malhas de controle;
- Ampliar o número de pontos de telemetria;
- Ampliar o monitoramento de pressão, vazão e outros parâmetros;
- Ampliar o programa de eficiência energética.

Para a automação, supervisão e controle utilizou-se o *software* de Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) disponível no mercado. Seus alvos para a automação foram os reservatórios, elevatórias e boosters, ETAs, EEA, VRP e VMP, pontos críticos de pressão. O sistema que a empresa trabalha possui a característica das estruturas estarem bem dispersas, por isso utilizou-se em grande parte tecnologias de medição e controle a distancia, como telemetria e telecomando. Este sistema apresentou, além da redução de faturas mensais, um grande ganho operacional, por não depender de meios físicos para a disponibilização de informações junto ao centro de controle (ALMEIDA, 2012).

3.5.3.4 Redução de custos através da geração de energia elétrica.

Os modos de redução de custos através da geração de energia elétrica serão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Modos de redução de custo através da geração da energia elétrica.

Reservatório para captação com desnível	Geradores
Redução de gastos com energia elétrica.	
Garantia de energia firme em períodos de racionamento.	Uso no horário de ponta
Uso racional de potenciais energéticos disponível sem impacto adicional.	Podem ser a diesel ou a gás

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2005).

No trabalho de Carrijo e Reis (2005) utilizou-se um módulo indutor de regras através do algoritmo de aprendizado de máquina juntamente ao modelo de simulação hidráulica. Utilizou os códigos do EPANET2 e módulo otimizador com algoritmos genéticos. Tal estudo teve a finalidade de reduzir custos operacionais relacionados ao consumo de energia elétrica nas estações de bombeamento e incrementar os benefícios hidráulicos ao sistema. Aplicou-se num sistema macro de distribuição de água da cidade de Goiânia e como resultados obtiveram que, apesar da simulação vir comprovar a validade do modelo.

3.6 FERRAMENTAS DE AUXÍLIO NOS ESTUDOS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

3.6.1 Definição

Na alternativa de se trabalhar um sistema de forma simplificada, segundo Porto e Azevedo (1997) e Oliveira e Formiga (2009), modelos são utilizados para representarem um sistema real do qual se deseja analisar. Sua utilização vem a contribuir com:

- Barateamento em relação análise real do sistema;
- Redução de custos ao cometer erros e da realização de experiências na exploração do modelo;
- Ferramentas de aprendizado que podem ser processados gratuitamente e contribuem para a melhor compreensão e estimulam a concepção de novas ideias e linhas de ação;
- Instrumentos eficientes para treinamento;

- Confere flexibilidade devido o curto tempo de para a realização de análises e a análises de várias alternativas.
- Facilita as atualizações ou revisões de um cadastro de redes.

A dificuldade de se estudar uma rede de distribuição de água esta no não conhecimento da rede hidráulica, ou seja, muitas empresas não possuem dados e cadastros. Sendo que certas informações apenas alguns funcionários sabem e que se perdem ao saírem das empresas. Desta forma, mesmo utilizando ferramentas hidráulicas para o estudo de uma rede há a necessidade de um alto conhecimento da rede e de pessoas treinadas (NEVES et. al., 2007).

Obradovic (2000) discute sobre solucionar vários problemas modelados devido à dificuldade de se obter adequadamente os valores de demanda e perdas próximos dos valores da realidade. Principalmente por dependerem da pressão e outros fatores que os influenciam e que nem sempre são conhecidos. Destacando-se a necessidade de melhorar estudos para a determinação de fatores que influenciam e aprimorar os modelos para que possam representar o mais próximo possível da realidade.

3.6.2 Modelos de simulação hidráulica

A simulação hidráulica auxilia o estudo de redes distribuição de água sem que haja interferência física no mesmo. Permite ainda simular a utilização de dispositivos para melhorar a eficiência do sistema como a utilização de válvulas de pressão, entre outras, com a finalidade de que a vida útil da estrutura não seja comprometida. Assim, a partir de um conjunto de dados descritivos, que caracterizem fisicamente os sistemas, solicitações e condições operacionais, podem-se reproduzir da melhor forma possível seu comportamento hidráulico (SILVA, F. et. al., 2007 e CUNHA, 2009).

No trabalho de Silva, F. et. al. (2007) aplicou-se um modelo de avaliação hidráulica a rede de distribuição de água da cidade de Itajubá-MG e os resultados mostraram-se bons, coerentes e consistentes.

Destaca-se ainda a extrema necessidade da simulação do comportamento hidráulico na elaboração de projetos e na fase de operação. Ele auxilia a análise do

sistema em relação ao atendimento de pressão e vazão adequadas a diferentes condições operacionais. Assim, para obter resultados com a qualidade de acordo com as necessidades, deve-se adquirir e utilizar dados com precisão das características físicas do sistema. Dentre a mais decisiva para análise da situação do sistema, está a rugosidade da tubulação, na qual pode identificar trechos críticos que necessitam de serviços como limpeza, desobstrução ou substituição (SILVA, A. et. al., 2007).

Deve-se lembrar de que simuladores podem se comportar de maneira diferente quando relacionados com o tempo, como mostrado em Neves et. al. (2007). Podendo ser um simulador de regimes permanente, quando não se considera a variação das condições de contorno com o tempo; ou um simulador de regimes não permanentes ou transientes que considera a variação das características no tempo. E ainda, na tentativa de simular um comportamento inconstante surge um modelo, simulação por período estendido, para a análise em regime permanente, mas em diversos intervalos de tempo, variando as características limites.

Os modelos de simulação em sistemas de água são construídos geralmente com a finalidade de trabalhar com a hidráulica ou com a qualidade da água. Sendo que para a hidráulica o modelo tem a habilidade de avaliar o comportamento hidráulico. E o de qualidade de água fornece os dados de estimativas de qualidade como apresentado no trabalho de White²⁰ (1999 apud OLIVEIRA E FORMIGA, 2009).

Os primeiros modelos hidráulicos foram desenvolvidos na década de 60 devido à motivação dos avanços na área da computação digital que permitiram, para a resolução de complexos sistemas de equações, o desenvolvimento de algoritmos. Na busca de melhores estudos, facilidades de análises e obtenções de dados, vários autores afirmam a possibilidade de integração entre os softwares de modelagem hidráulica e os SIG. Mas devem-se atentar as restrições, peculiaridades e diferentes níveis de compatibilidade (OLIVEIRA E FORMIGA, 2009).

Segundo Carrijo e Reis (2005) os modelos de simulação consistem basicamente no equacionamento de vazões em trechos e cargas hidráulicas nos nós

²⁰ WHITE, C. Using GIS to Implement Hierarchical Organization in Water Distribution System Simulation Models. In: ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE, 1999. Disponível em: <<http://www.esri.com/library/userconf/procpp/proceed/papers/pg386.html>>.

em trechos consecutivos. Podem ser estudados isoladamente ou por análises sucessivas, com alterações impostas por usuários, ou em combinação com modelos de otimização, obtendo a solução automaticamente.

Soares et. al. (2002) expôs, em seu trabalho, modelos já existentes e propôs uma avaliação de vazamentos e demandas dependentes da pressão. Ou seja, modelos de simulação hidráulica dirigidos pela pressão, de maneira integrada ao simulador hidráulico Epanet utilizando uma rede hipotética apresentada em literatura. Mesmo que o procedimento seja considerado robusto, ao se analisar a convergência dos dados, as simulações a partir do modelo proposto não mostraram discrepâncias em relação à rede estudada. Provando que há uma viabilidade no emprego de modelos de simulação hidráulica dirigidos pela pressão.

Com a finalidade de encontrar o ponto de funcionamento ideal para as bombas do sistema, Machado et. al. (2005), utilizou um modelo de simulação que garantisse um escoamento contínuo dentro das limitações físicas e operacionais impostas. Forneceu como dados os valores de vazão e velocidade em cada tubo, os níveis dos reservatórios, a pressão em cada nó, as propriedades do fluido e o custo de operação em relação ao consumo e a demanda de energia.

No trabalho de Ribeiro et. al. (2012) mostra-se a importância de se utilizar programas computacionais e ferramentas, como a simulação e otimização, para a busca da eficiência do sistema e conseqüentemente a redução de perdas. Possibilitando uma integração da rede de distribuição com os consumos nodais, perdas, transformando-as em perdas nodais.

Segundo Cunha (2009) existem vários modelos e *softwares* para a modelagem matemática, tanto para análise hidráulica quanto para qualidade de água, como H2ONET - H2OMap - *Montgomery Watson Inc.*; SynerGEE - *Stoner Workstation Service*; Epanet - *Environmental Protection Agency*; WaterCAD - *Bentley's Haestad Methods*; Pipe2000 - *KYPipe*; FINESSE - *Water Software Systems*; etc.

3.6.2.1 Epanet

O Epanet (ROSSMAN, 2000) é um *software* que permite simulações estáticas ou dinâmicas do comportamento hidráulico e da qualidade da água da rede pressurizada de distribuição. Além da facilidade do uso, é encontrado em várias

versões e gratuitamente, graças à política adotada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, que desenvolveu o *software*, e fornece o código fonte do programa. Entre suas funcionalidades estão:

- Obtenção de valores de vazão em cada trecho/nó da tubulação;
- Pressão em cada nó;
- Altura de água em cada reservatório de nível variável;
- Concentração de espécies químicas através da rede e durante o processo de simulação.

O programa foi concebido com a finalidade de servir principalmente de ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição de água. Ao melhor o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água de consumo em diversas situações. Algumas aplicações que podem ser feitas são o estabelecimento de cenários de projeto, calibração de modelos hidráulicos, análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos (GOMES e SALVINO, 2009).

E entre as facilidades de se trabalhar com este *software* esta também a facilidade de utilização em ambiente *Windows* que fornece uma interface integrada para editar dados de entrada de rede (Figura 20), execução de simulações hidráulicas e visualização dos resultados em vários formatos.

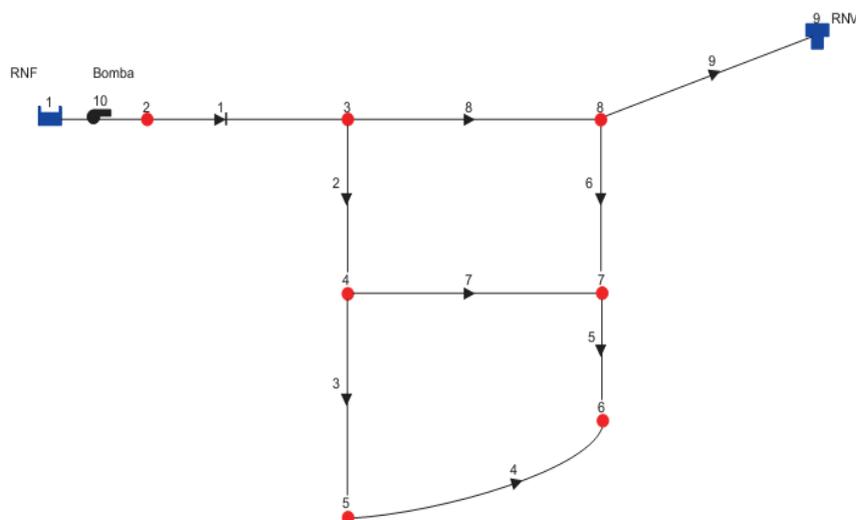


Figura 20 – Representação da rede exemplo no Epanet.

Fonte: Tutorial do Epanet.

O conjunto de ferramentas para o cálculo e apoio à simulação são vários, como (GOMES e SALVINO, 2009):

- Dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada;
- Cálculo da perda de carga através de várias formas (Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning);
- Consideração de perdas de cargas singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos e outros;
- Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo, modelagem dos principais tipos de válvulas;
- Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável ou formas diversas através de curvas de volume; múltiplas categorias de consumo nos nós;
- Modelagem da relação entre vazão e pressão efluente de dispositivos emissores;
- Possibilidade de se basear as condições de operação do sistema em controles simples.

Assim, este programa foi escolhido para ser utilizado neste trabalho. Escolha baseada nas características já destacadas e as seguintes:

- Ter caráter gratuito e versão portuguesa traduzida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC (2000);
- Seu código fonte ser acessível, na qual são disponibilizados seu código de origem e um *Toolkit* formado pela coleção de funções de programação destinadas ao desenvolvimento de interfaces computacionais que possam incorporar ao simulador;
- Sua confiabilidade, por ser amplamente utilizado e conhecido pela comunidade científica;
- E a sua facilidade de modelação e obtenção de resultados, tanto na forma tabular quanto na gráfica, facilitando a visualização dos resultados e obtenção dos mesmos (PEDROSA FILHO, 2006).

Os trabalhos como de Soares et. al. (2002), Carrijo e Reis (2005), Pedrosa Filho (2006), Silva, F. et. al. (2007), Silva, A. et. al. (2007), Souza et. al. (2007), Cunha (2009), Rocha et. al. (2009), Oliveira e Formiga (2009), Salvino et. al. (2011), Nazaré e Souza (2011), Rocha et. al. (2011), Ribeiro et. al. (2012), Gamen et. al. (2012), Makino et. al. (2012), Zaque et. al. (2012), entre outros muitos trabalhos utilizaram o Epanet como o programa de simulação hidráulica.

Que possibilitaram a análise do comportamento do sistema., definição de regras operacionais com a finalidade de se obter um sistema com maior eficiência hidroenergética baseada no máximo atendimento ao consumidor, redução de perdas e redução de custos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ETAPAS DA REALIZAÇÃO DO ESTUDO

Na Figura 21 estão relacionadas às etapas que serão realizadas no trabalho.

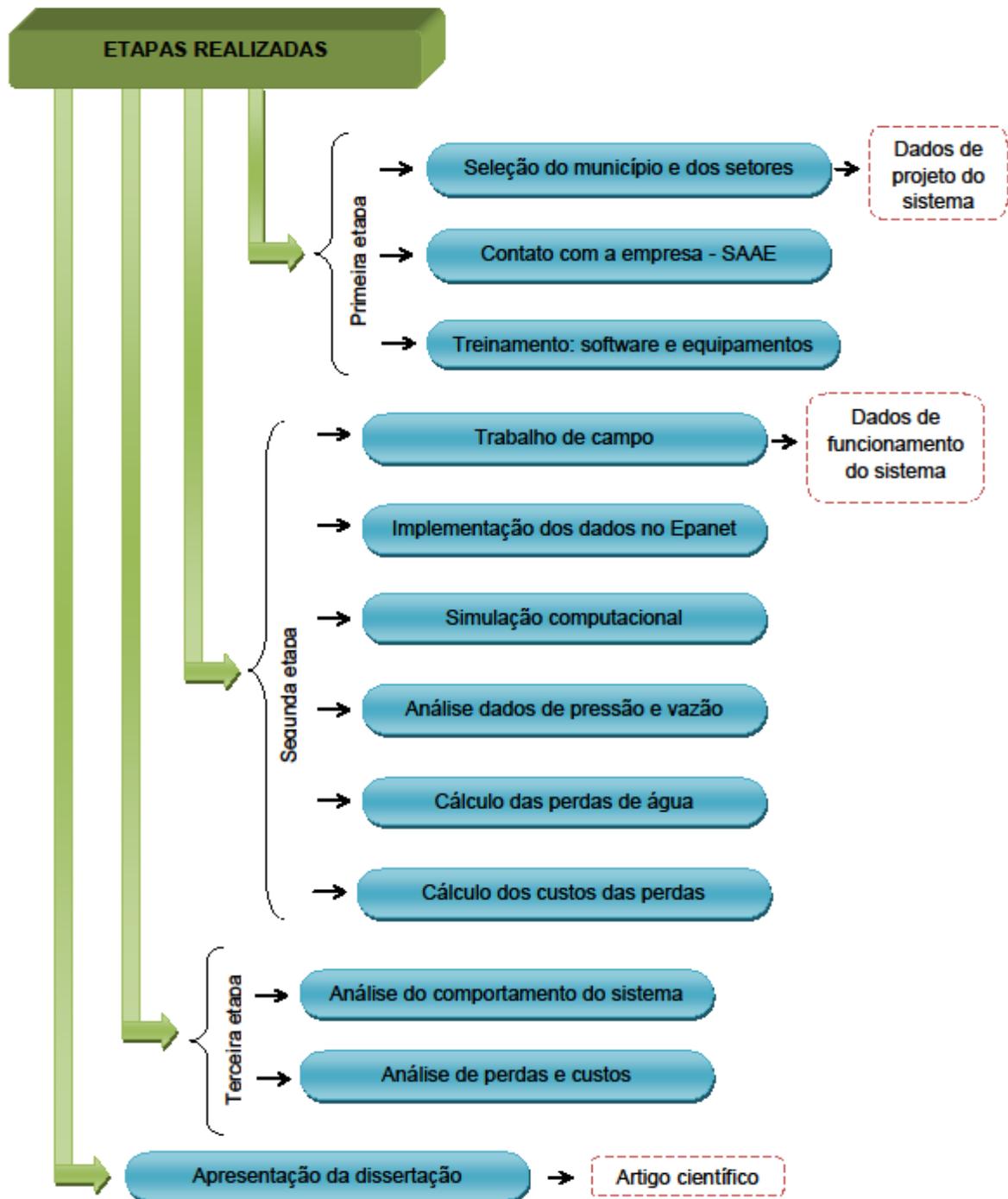


Figura 21 – Etapas da metodologia.

Fonte: Lamoglia, H. A. (2013).

4.2 REDE DE ESTUDO

4.2.1 Informações dos setores estudados do município

As redes de distribuição estudadas (Figura 22) pertencem a distritos dos municípios de São Lourenço-MG (Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra) e Carmo de Minas-MG (Palmela), sendo que este último distrito também é abastecido pelo SAAE (Sistema Autônomo de Água e Esgoto) de São Lourenço, devido sua proximidade ao município e maior facilidade na garantia de abastecimento.



Figura 22 – Localização dos setores a serem estudados.

Fonte: Google Earth (2012).

São Lourenço localiza-se no Sul de Minas Gerais (Figura 23 e Figura 24), com população em cerca de 41,6 mil habitantes (IBGE, 2013) e faz parte do Circuito das Águas. Sua população possui uma significativa parcela de população flutuante, principalmente em feriados prolongados, devido a sua infraestrutura, tranquilidade e clima, além do atrativo do Parque das Águas.

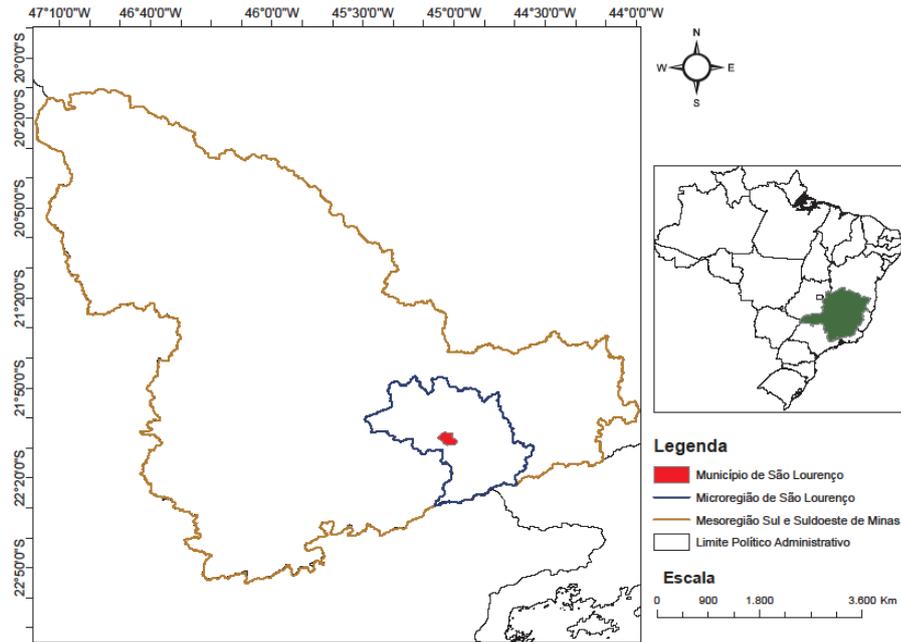


Figura 23 – Localização do município.

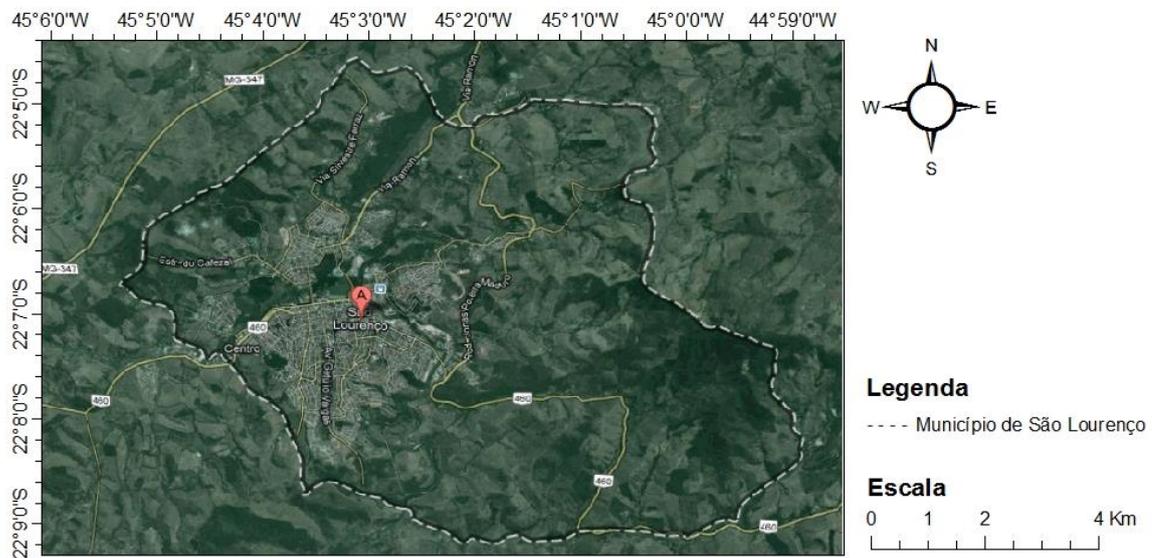


Figura 24 – Localização do município no Google Earth.

Fonte: Google Earth (2012).

O município está localizado a 93,2 km de Itajubá, pela MG-347, passando pelos municípios de Piranguinho, São José do Alegre, Pedralva; ou a 64,6 km pelas

rodovias MG-347 e BR-460, através dos municípios de Maria da Fé e Cristina (Figura 25).

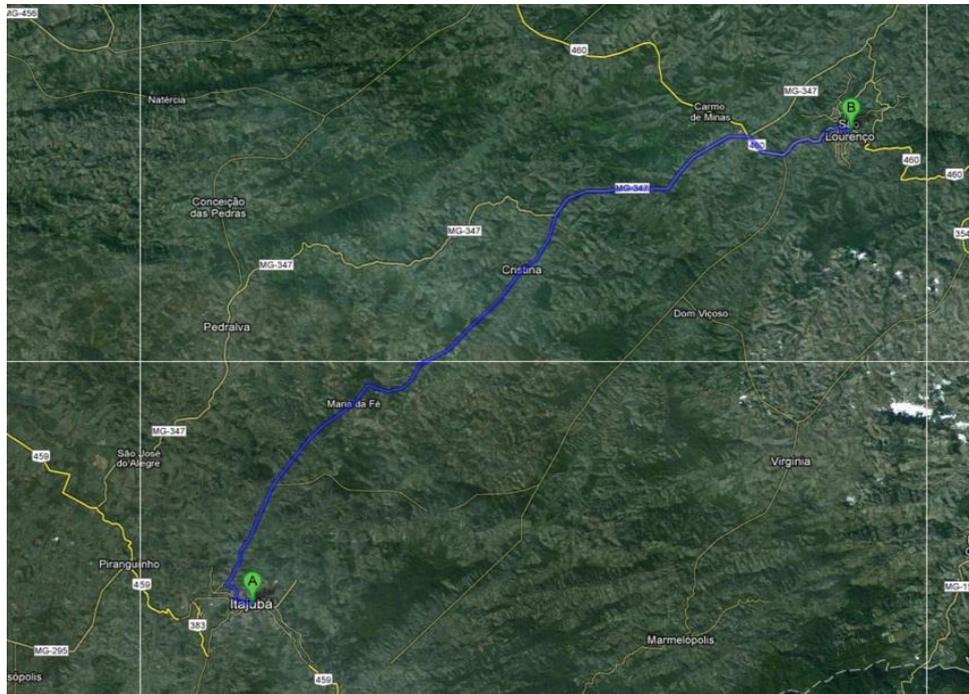


Figura 25 – Distância do município às proximidades.

Fonte: Google Earth (2012).

Entre as características que permitiram que estes setores fossem estudados estão:

- Isolabilidade, na qual há o benefício de não ocorrer influências de outras partes do sistema da rede, facilitando o estudo específico naquela área;
- Existência de cadastros da rede, facilitando a obtenção de informações e dados necessários para um estudo mais confiável;
- Acordo realizado com técnicos do SAAE de São Lourenço-MG, que auxiliaram na instalação de equipamentos, contato com moradores, obtenção de informações e todo o auxílio necessário para a realização do estudo.

4.2.2 Empresa - SAAE de São Lourenço

O SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Lourenço é uma autarquia. Foi criado em 15 de outubro de 1979, através da Lei Municipal nº 1.181,

com a finalidade de solucionar os problemas que a prefeitura não estava conseguindo suprir em relação ao sistema de abastecimento de água e esgoto sanitário. Inicialmente contou com o apoio da Prefeitura Municipal e a Fundação SESP. Após o rompimento com a Fundação SESP, hoje Fundação Nacional de Saúde (órgão do Ministério da Saúde), em setembro de 1.999, passou a ter seu Diretor Presidente, Diretor Adjunto e Diretor Administrativo Financeiro, nomeados pelo chefe do poder Executivo (SAAE, 2013a).

Desenvolvido com a finalidade de melhorar as condições sanitárias da população, baseadas em implantação e organização de estruturas, para a obtenção de uma maior confiabilidade. As suas atividades baseiam-se nos sistemas de água, esgoto e drenagem. Seu sistema de água, objeto de estudo, baseia-se nas etapas de captação de água, tratamento e distribuição, principalmente em quantidade e qualidade, de acordo com os padrões de potabilidades determinados pelo Ministério de Saúde (SAAE, 2013a).

4.2.3 Dados de projeto do sistema

A água é captada no rio Verde, passando por um rígido processo de tratamento e controle até chegar às residências. O rio Verde faz parte da bacia hidrográfica do Rio Grande e possui a qualidade da água monitorada pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão de Águas). Destaca-se ainda que a água do rio encontra-se enquadrada na classe apropriada para o tratamento destinada ao consumo humano (SAAE, 2013a).

4.2.3.1 Rede de abastecimento de água municipal

O esquema da rede de abastecimento de água do município esta apresentada na Figura 26 e a parte do sistema estudado esta destacada (SAAE, 2012).

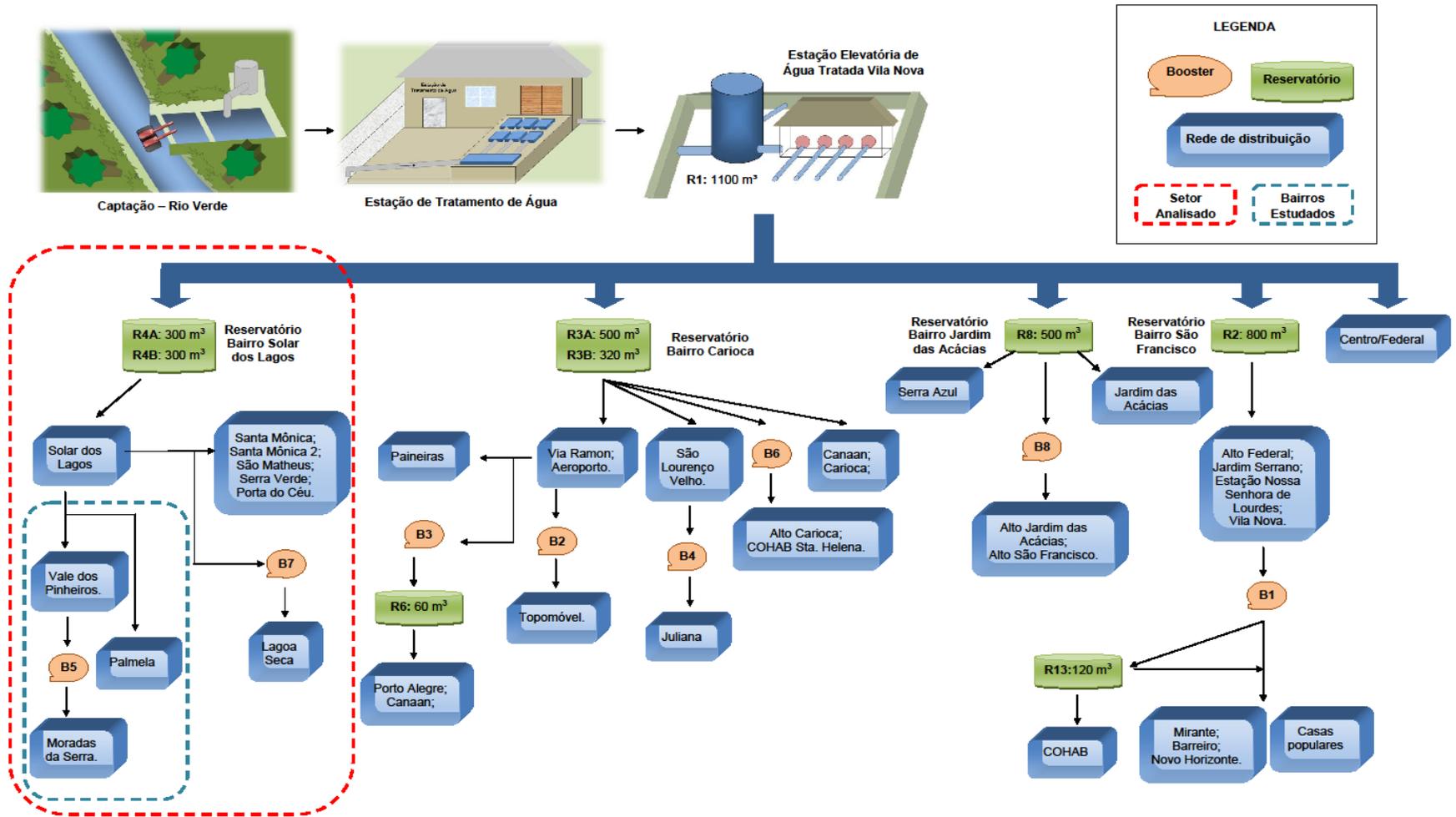


Figura 26 – Esquema de todo o sistema de abastecimento de água do município de São Lourenço.

Fonte: Lamoglia, H. A. (2013).

Na Figura 27 pode-se observar a localização de partes do sistema de abastecimento do município.



Figura 27 – Localização geral de partes do sistema de abastecimento de água do município.

Fonte: Google Earth (2012)

Segundo VIANA (2010), Lima et. al. (2012) e SAAE (2012, 2013b) o sistema é baseado nas seguintes etapas:

- **Captação**

É realizada através de um sistema de balsas permitindo com que seja realizada independente da variação de nível de água no rio. Sendo que o sistema de estação elevatória é composta por 3 conjunto moto-bomba, funcionando apenas dois e um fica de reserva (Figura 29). Sua localização esta na Figura 28.



Figura 28 - Localização da captação do município – Rio Verde.

Fonte: Google Earth (2012).



Figura 29 – Captação.

Fonte: Lima et. al. (2012).

Os conjuntos moto-bomba recalcam a água até o reservatório através de três tubulações de 300 mm de (PVC DEFOFO). Estes funcionam em torno de 12 horas por dia, sendo que um deles é desligado por volta das 20:00 horas e o outro funciona até 1:00 ou 2:00 horas do próximo dia. São ligados novamente entre 5:30 - 6:00 horas. Suas características nominais estão na Tabela 14.

Tabela 14 – Dados nominais dos conjuntos na captação.

Bombas		Motores	
n (rpm)	1750	n (rpm)	1770
Q (m ³ /s)	432	I (A)	97
H (m)	18	V (V)	220
ϕ_r (mm)	249	P _e (cv)	40
D _s (mm)	275	Fabricante	EBERLE B 200 M4
D _r (mm)	254	n°	296/0995
Potência (cv)	40	η (%)	92
Fabricante	IMBIL 150-260		

Fonte: SAAE (2013b).

- Estação de tratamento de água (ETA)

Sua localização apresenta-se na Figura 30. E o tratamento adotado pelo sistema é o convencional, devido às características da água captada (Figura 31).



Figura 30 - Localização da ETA do município.

Fonte: Google Earth (2012).



Figura 31 – ETA.

Fonte: Lima et. al. (2012).

Possui três conjuntos moto-bombas para alimentar o reservatório Solar dos Lagos. Destes conjuntos, dois operam em torno de 14 horas contínuas e um fica de reserva. Em torno das 21:00 horas um deles é desligado e o segundo as 2:00 horas. São religados em torno de 5:30 - 6:00 horas. Na Tabela 15 estão as características nominais dos conjuntos.

Tabela 15 – Dados nominais dos conjuntos na ETA.

Bombas		Motores	
n (rpm)	1750	n (rpm)	1785
Q (m ³ /s)	-	I (A)	353
H (m)	-	V (V)	220
ϕ_r (mm)	-	P _e (cv)	150
D _s (mm)	200	Fabricante	WEG 280 S/M
D _r (mm)	175	η (%)	92
Potência (cv)	150		
Fabricante	MARK-PEERLEES		

Fonte: SAAE (2013b).

- Reservação

A capacidade de reservação está distribuída em 10 reservatórios, sendo um deles de concreto no bairro Vila Nova de 1200m³ (Figura 32 e Figura 33). A partir destes ramificam-se por toda a cidade abastecendo por gravidade nas partes baixas e bombeamento aos outros reservatórios que servem para suprir as variações de consumo e manter as pressões adequadas nas redes de distribuição de água.



Figura 32 - Localização do Reservatório do município.

Fonte: Google Earth (2012).



Figura 33 – Reservatório Vila Nova.

Fonte: Lima et. al. (2012).

- Estações elevatórias de água (EEA)

Saindo do reservatório Vila Nova encontra-se quatro estações elevatórias responsáveis por distribuir a água a diversos bairros, como Solar dos Lagos, São Francisco, Jardim das Acácias e Carioca. Sendo que a estação responsável por abastecer os bairros estudados é a Solar dos Lagos (Figura 34).



Figura 34 – Estação Elevatória Solar dos Lagos.

Fonte: Lima et. al. (2012).

EEA Solar dos Lagos possui dois conjuntos moto-bomba que operam isoladamente e possui as características nominais apresentadas na Tabela 16. Tais conjuntos funcionam em torno de 10 e 12 horas durante o dia.

Tabela 16 – Dados nominais dos conjuntos da EEA no bairro Solar dos Lagos.

Bombas		Motores	
n (rpm)	3500	n (rpm)	3540
Q (m ³ /s)	142,27	I (A)	138
H (m)	60,2	V (V)	220
ϕ_r (mm)	186	P _e (cv)	60
D _s (mm)	121	Fabricante	EBERLE B 200 L2
D _r (mm)	108	η (%)	91
Potência (cv)	50		
Fabricante	IMBIL 80-200		

Fonte: SAAE (2013b).

- Rede de distribuição de água

A distribuição é realizada pela cidade através de redes ramificadas. Ressalta-se que há o controle de qualidade de água é realizado de acordo com a portaria vigente, tanto nas etapas da estação de tratamento quanto na captação, reservatórios e rede de distribuição. As redes de distribuição, neste caso, apresentam valores de perdas bem abaixo da média nacional, devido às ações adotadas pela empresa.

Entre as ações tem-se a pesquisa de vazamentos ocultos através de geofonia, realizada pela equipe de Manutenção Preventiva de Redes e Ramais de água do SAAE. Trabalho no qual, inicia-se com o contato com o cliente, que é informado quando há serviços a serem realizados na região ou em suas residências. E ainda, os vazamentos encontrados em ramais, cavaletes e problemas nos hidrômetros são anotados e passados a equipe de manutenção que efetua os reparos (SAAE, 2013a).

Este contato direto permite com que os vazamentos sejam identificados e corrigidos o mais rápido possível, sem a necessidade de grandes investimentos, justamente devido ao auxílio que os moradores trazem à equipe. Situação que

proporciona uma maior satisfação dos clientes e melhoria no serviço do SAAE (SAAE, 2013a).

4.2.3.2 Setores em estudo

Na Figura 35 pode-se observar com detalhamento os setores estudados do município de São Lourenço-MG.

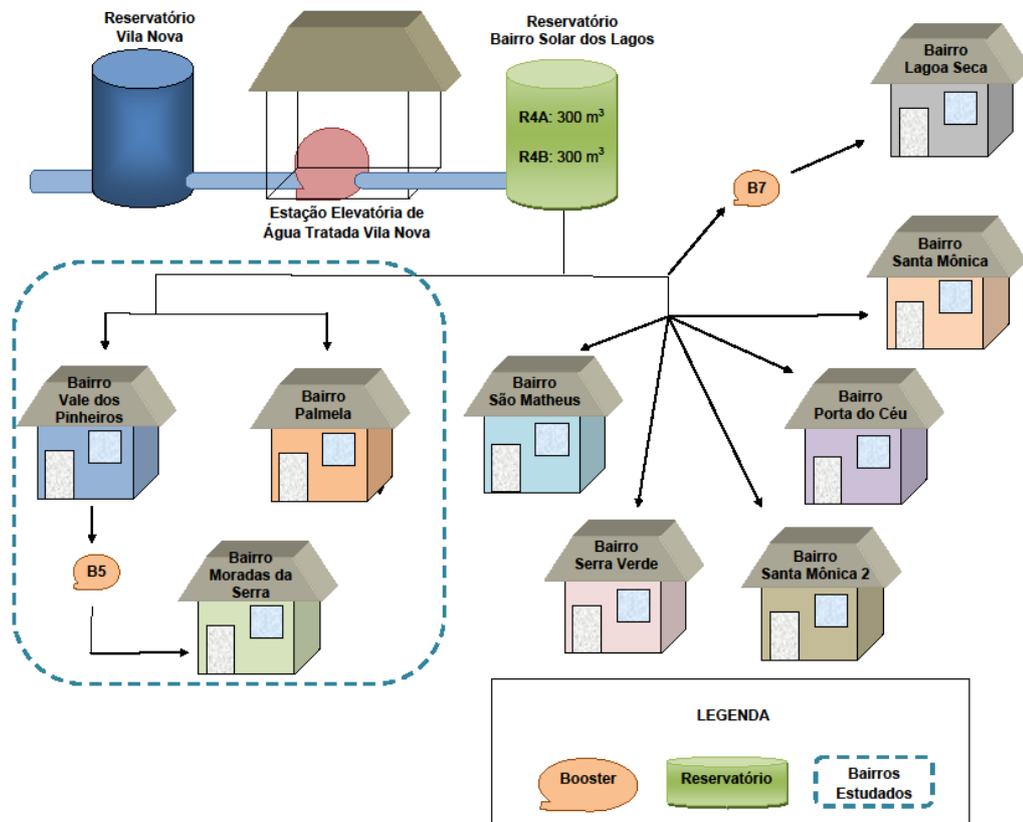


Figura 35 – Esquema dos setores estudados.

Fonte: Lamoglia, H. A. (2013).

Estes setores são constituídos das seguintes partes (VIANA, 2010 e SAAE, 2012):

- Reservatório/Elevatória

O reservatório Vila Nova tem a capacidade de 1100 m³ e distribui água à rede de distribuição através de 4 estações elevatórias, já citadas anteriormente. Sendo que a elevatória, Solar dos Lagos, é responsável pela distribuição nos bairros em estudo, como Vale dos Pinheiros, Moradas da Serra e Palmela, e a outros bairros como pode ser visualizado no esquema da Figura 35.

- Rede de distribuição

Os setores estudados possuem uma estação elevatória, 11,3 Km de tubulação em PVC e um booster. Na Figura 36 e Figura 37 está representado o *layout* da rede de distribuição de água dos distritos. E no ANEXO A está o mapa completo e toda representação dos distritos.

A rede de distribuição dos bairros estudados são todos em PVC, tendo seu diâmetro variando de 50 mm até 150 mm (ANEXO A). Nos bairros Moradas da Serra e Vale dos Pinheiros a tubulação está instalada nos passeios e no bairro Palmela no terço da rua.

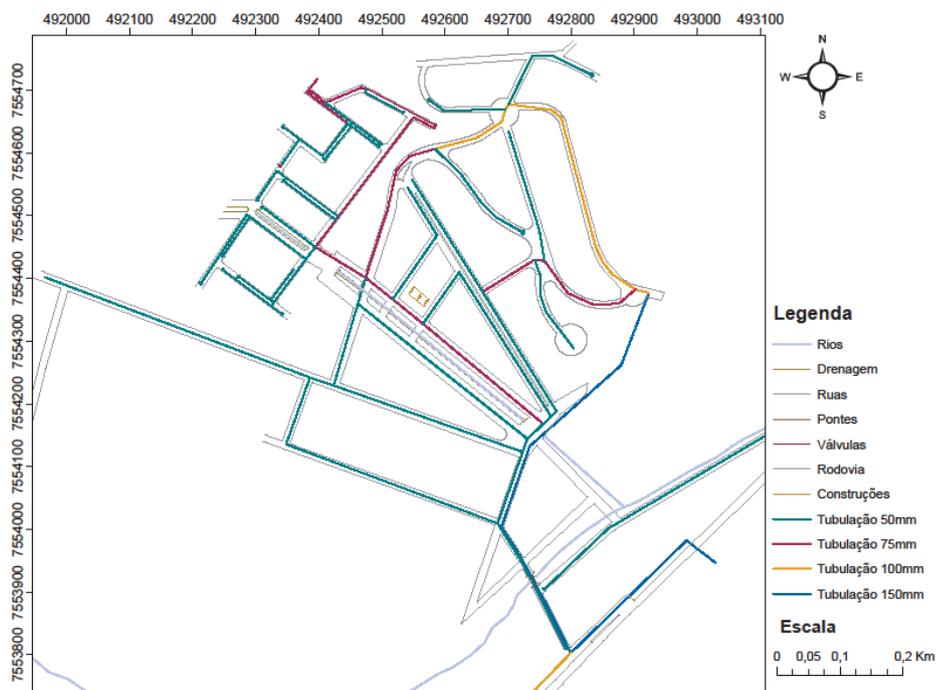


Figura 36 – Layout da rede de distribuição dos bairros Vale dos pinheiros e Moradas da Serra.

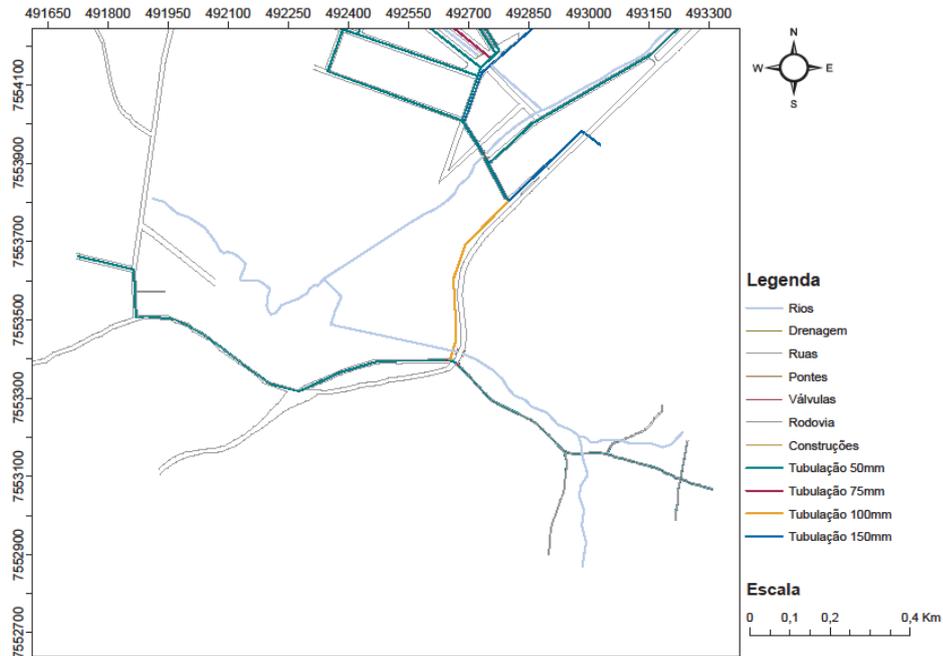


Figura 37 – Layout da rede de distribuição do bairro Palmela.

- Booster

A maior parte do sistema é abastecida apenas pela gravidade, sendo apenas utilizado um booster na parte mais alta, localizada no bairro Moradas da Serra e que abastece 8 ruas e 12 trechos de tubulação (Figura 38). Possui potência de 1,5 (cv).



Figura 38 – Localização do booster no bairro Moradas da Serra e redes alimentadas.

4.2.4 Manipulação das informações iniciais

4.2.4.1 Determinação dos nós na rede de distribuição

Para trabalhar com uma rede de distribuição em um simulador hidráulico, necessita-se determinar a localização de alguns pontos, chamados de nós. Dos quais permitirão o acompanhamento e inserção de informações que auxiliarão na modelagem e na própria simulação.

A localização de tais nós é determinada a partir de certas características da distribuição da rede de distribuição. Característica como mudança de diâmetro da tubulação, mudança de direção, comprimento da tubulação e em pontos finais da rede de distribuição. Para a rede em estudo foram determinados 87 nós (ANEXO B). Nas Figura 39 a Figura 41 estão representados algumas localizações de alguns nós determinados nos distritos estudados.

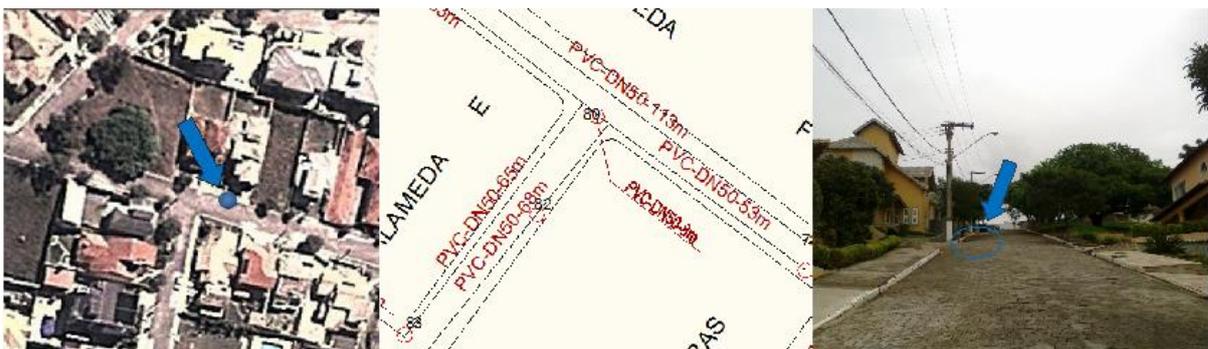


Figura 39 – Localização do nó 80 no bairro Moradas da Serra



Figura 40 – Localização do nó 52 no bairro Vale dos Pinheiros.

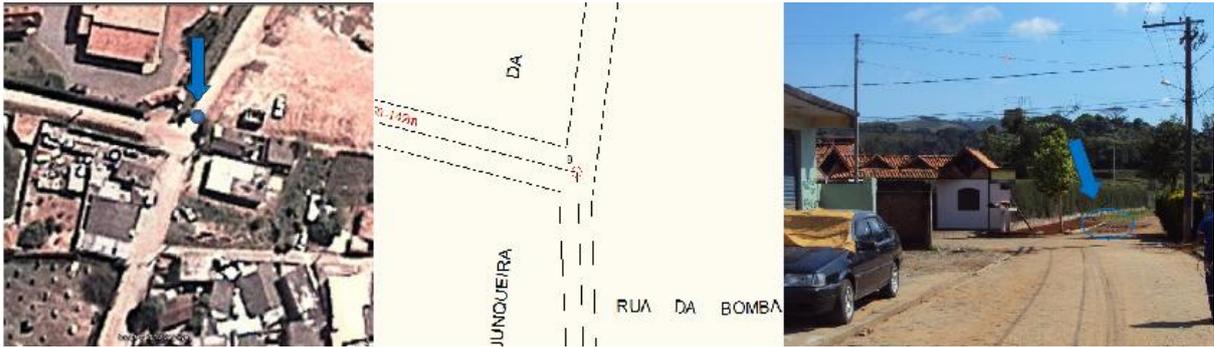


Figura 41 – Localização do nó 08 no bairro Palmela.

4.2.4.2 Organização e preparação para ida a campo

Com a finalidade de determinar os melhores locais para a instalação dos medidores de pressão (data loggers) baseou-se nas cotas do terreno. Sendo obtida através da imagem ASTER de satélites, gerando assim, curvas de níveis (Figura 42). Tal imagem pode ser obtida através do site ASTER GDEM disponível em <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>. As imagens são modelos numéricos de terreno com pixels de precisão de 30 por 30 metros, onde há a representação da elevação do terreno.

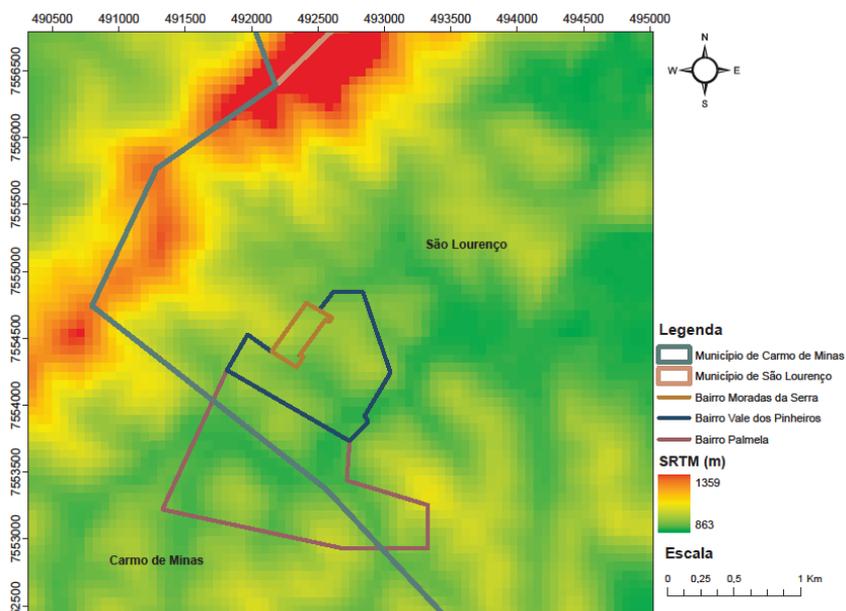


Figura 42 – Imagem SRTM aproximada na área dos bairros estudados.

Após a utilização das ferramentas do software, obteve as curvas de nível (Figura 43). Com estas informações, podem-se determinar os pontos críticos para a instalação dos equipamentos com a finalidade de se obter os dados de pressão.

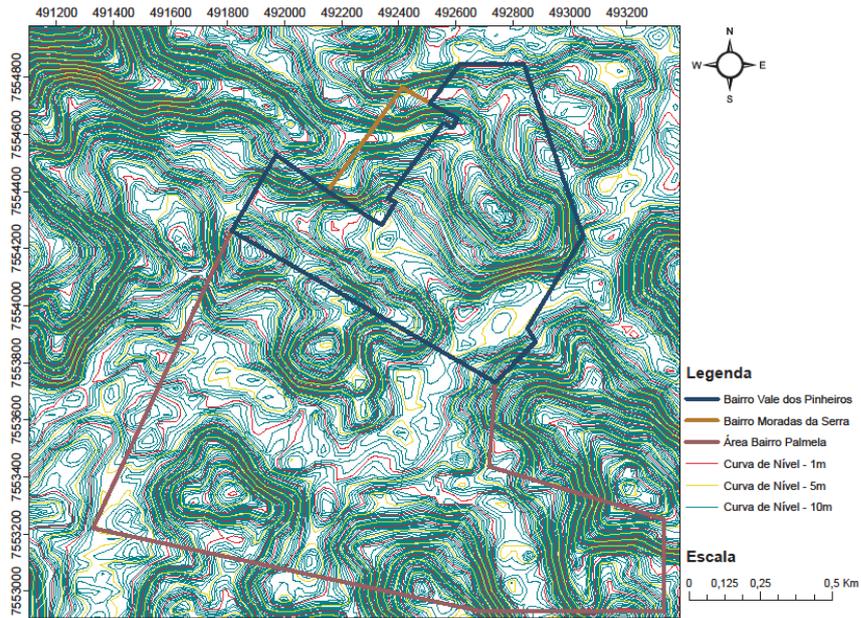


Figura 43 – Curva de nível gerada dos bairros Moradas da Serra, Vale dos Pinheiros e Palmela.

Antes ainda de ir a campo, organizaram-se mapas das ruas para todos os bairros para a varredura do geofone. Na Figura 44 está representado o esquema do bairro Vale dos Pinheiros como exemplo.



Figura 44 – Mapa das ruas do bairro Vale dos Pinheiros para a geofonia.

4.2.4.3 Dados de pressão e vazão obtidos na campanha de 2010.

No ano de 2010 realizou-se um estudo breve sobre a mesma área de estudo (OLIVEIRA e SILVA, 2010). Mediram-se dados de vazão na entrada do sistema e pressão em alguns locais na rede de estudo (Figura 45 e Figura 46).

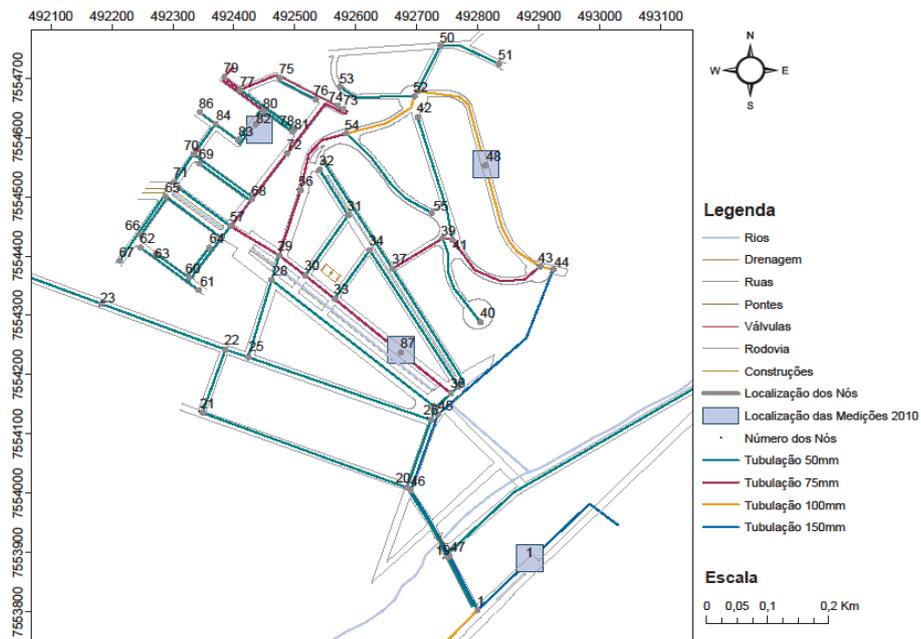


Figura 45 – Mapa da localização das medições em 2010 nos bairros Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.

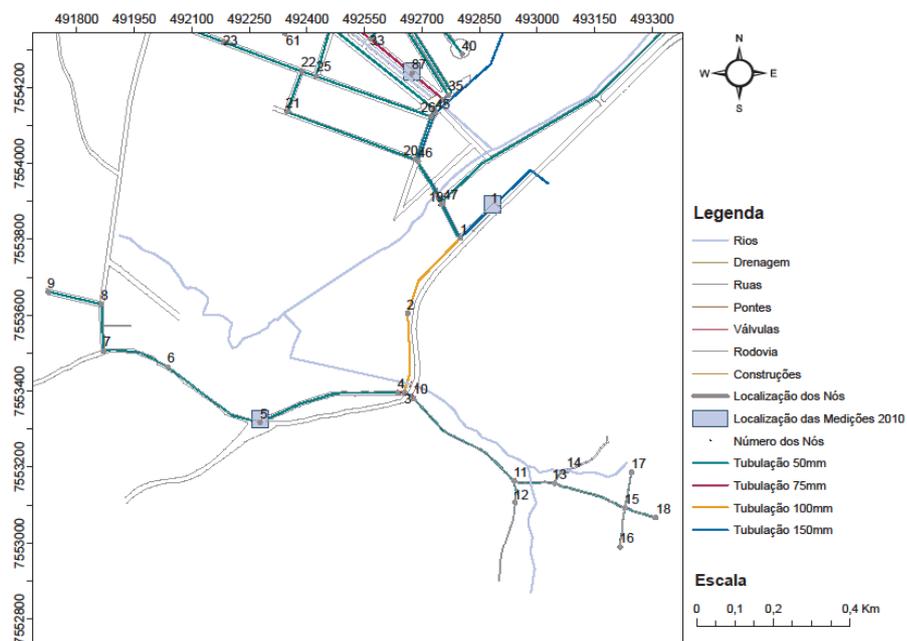


Figura 46 – Mapa da localização das medições em 2010 no bairro Palmela.

Os dados medidos nesta campanha serão utilizados com o intuito de auxiliar e complementar o trabalho. Trazendo maiores informações para a realização do estudo.

4.3 CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

4.3.1 Software Epanet

Para um simulador hidráulico é fundamental que a base de dados seja conhecida, como a sua topologia, *layout*, características hidráulicas e mecânicas dos elementos. Permitindo assim que consiga representar o sistema em estudo de forma mais fiel possível, tanto fisicamente como seu comportamento dinâmico (CUNHA, 2009).

Portanto este *software* permitirá a simulação da rede de distribuição (Figura 47). Para isso são necessárias informações como nós, diâmetros, níveis de reservatórios, características da tubulação, demandas e cotas topográficas. Informações que permitirão a simulação e obtenção de dados como vazão e pressão em cada ponto.

Com todas as características da rede de distribuição definidos, pode-se iniciar a etapa de desenho da rede, edição de propriedades dos objetos e opções de simulação.

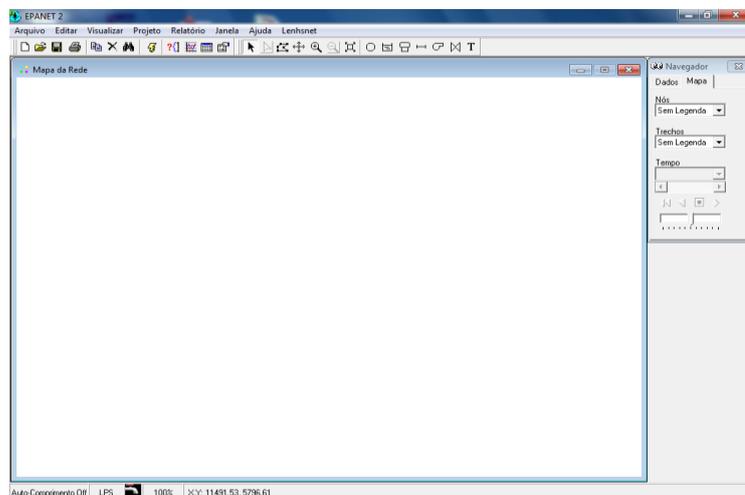


Figura 47 – Layout do software Epanet.

Fonte: Epanet.

4.3.2 Equipamentos

4.3.2.1 Geofone eletrônico

É um detector acústico de vazamento (Figura 48), na qual além da capacidade de detectar o vazamento, ainda aponta com exatidão o seu local. É constituído por um amplificador, sensor ou transdutor de ruído e fone (Figura 49). Com tais funções captam as vibrações resultantes da movimentação da água fora do tubo (tanto o impacto das gotas no solo quanto a sua transição através das partículas de solo).

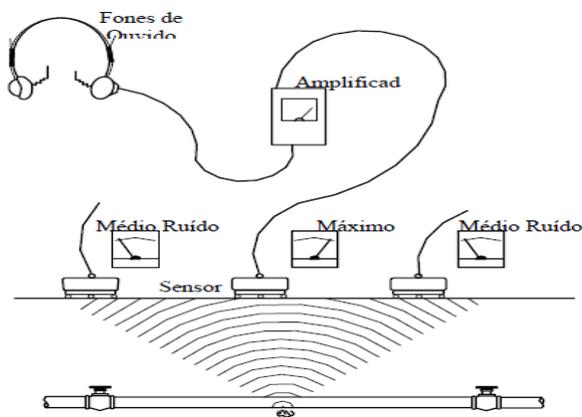


Figura 48 – Esquema do geofone eletrônico.

Fonte: Padilha e Niida (2003).



Figura 49 – Foto do geofone eletrônico utilizado.

O teste realizou-se na Universidade Federal de Itajubá para o conhecimento da forma de atuação do equipamento e análise do sistema para a detecção de perdas (Figura 50).



Figura 50 – Treinamento utilizando o geofone.

4.3.2.2 Data Logger

O data logger de pressão é utilizado em cavaletes para a verificação das condições de pressão do abastecimento, tanto em pequenos como em grandes consumidores. O equipamento é protegido por uma caixa plástica e possui um display. Além de possuir um *software* DPPLOGGER que permite a configuração, leitura e monitoramento dos dados (Figura 51).

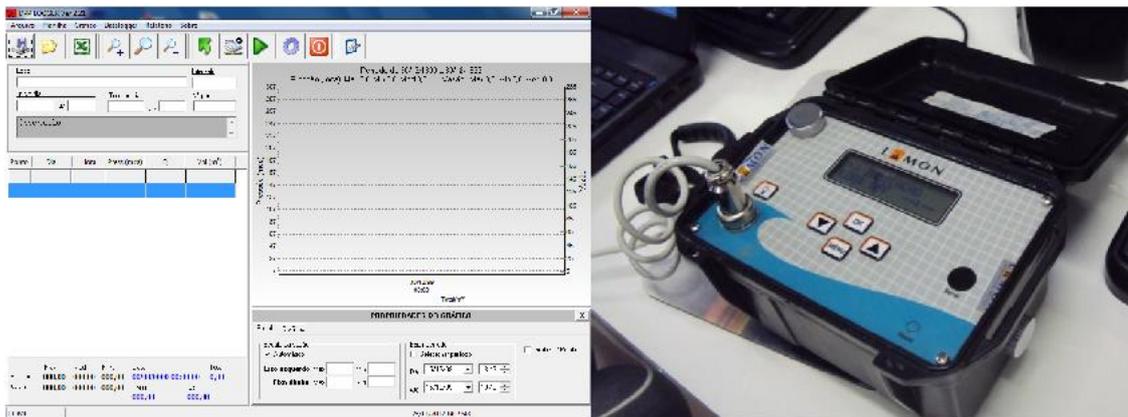


Figura 51 – Layout do software e o equipamento data logger.

Com base no manual do equipamento e no *software* fornecido, realizaram-se as configurações necessárias, inicialização e finalização através de logger. Além da obtenção dos dados após as medições.

O treinamento foi realizado nas dependências da Unifei, no laboratório NUMMARH – Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos e nas instalações do IRN - Instituto de Recursos Naturais (Figura 52).



Figura 52 – Treinamento com o data logger, instalação, configuração e obtenção de dados.

Com a finalidade de se obter valores de pressão na tubulação determinaram-se alguns nós foram escolhidas residências próximas para a instalação do equipamento e medição.

4.3.2.3 Pitometria

Equipamento responsável pela medição e registro de pressão e vazão. Possui uma maleta de medição de parâmetros hidráulicos, sendo um medidor e registrador de pressão, outro de pressão diferencial e tubo de pitot. Juntamente é fornecido o *software* MDHidro versão 4.2 com capacidade de conversão de pressão em vazão, coleta de dados e geração de relatórios automáticos. Além de possuir alimentação através de uma bateria recarregável (Figura 53).

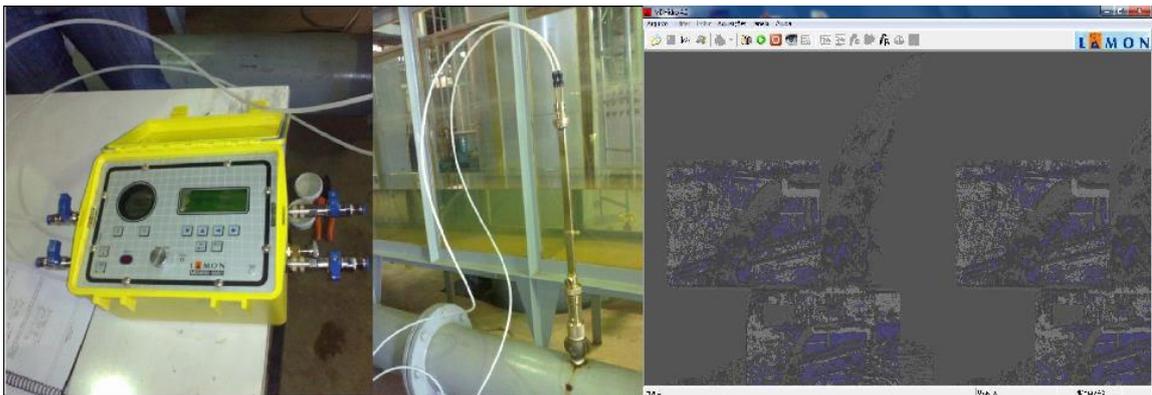


Figura 53 – Equipamentos para medição: maleta de registro; tubo de pitot e software.

Entre as maneiras de se trabalhar pode-se obter uma indicação simultânea dos parâmetros medidos como pressão vazão e velocidade no visor LCD. Ou ainda, configurar horário de início e término de medição.

O treinamento realizou-se no laboratório de Estruturas Hidráulicas da Unifei.. Entre todas as configurações, necessita-se, antes de qualquer coisa, fazer a medição do diâmetro interno útil com o Cálibre, que é uma haste (Figura 54).



Figura 54 - Cálbre e sua instalação.

4.3.2.4 DGPS – Sistema de Posicionamento Global Diferencial

Equipamento que se baseia na suposição de que o erro, na determinação de um ponto, é semelhante a todos os pontos. Assim corrige-se este erro permitindo a redução do erro total nas medições. Neste caso, instala-se um equipamento GPS base num local georreferenciado, em algum marco topográfico normalizado pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. O outro GPS é movido pelos pontos em que se deseja a medição. Para tal, obtém-se a posição real do equipamento e que permite a correção diferencial do erro. Este erro será corrigido através do *software* de pós-processamento.

O DGPS é formado por uma antena, haste de 2 metros, bipé com bolha e o GPS (Figura 55). Sendo a antena responsável pela captação do sinal dos satélites; a haste para elevar a antena e fixar o GPS; bipé para fixar o equipamento e evitar que se mova durante a medição; e o GPS para o registro das informações. A bolha no bipé auxilia na verificação do posicionamento na vertical.



Figura 55 – Partes do DGPS: antena, haste, GPS, bipé e bolha.

Ainda nas dependências da Unifei, realizou-se a calibração do DGPS com o técnico responsável (Figura 56). Este equipamento será utilizado para a obtenção das cotas dos nós e locais das quais foram medidas as pressões em partes do sistema.



Figura 56 - Treinamento com DGPS.

4.4 OBTENÇÃO DE DADOS

4.4.1 Medição de pressão

4.4.1.1 Campanha em 2010

Em 2010, devido a um estudo prévio realizado nos mesmos setores pelo grupo de pesquisa do NUMMARH (OLIVEIRA E SILVA, 2010), há medições de

pressão em determinados locais do sistema. Na Figura 57 e Figura 58 pode-se observar a localização destas medições.

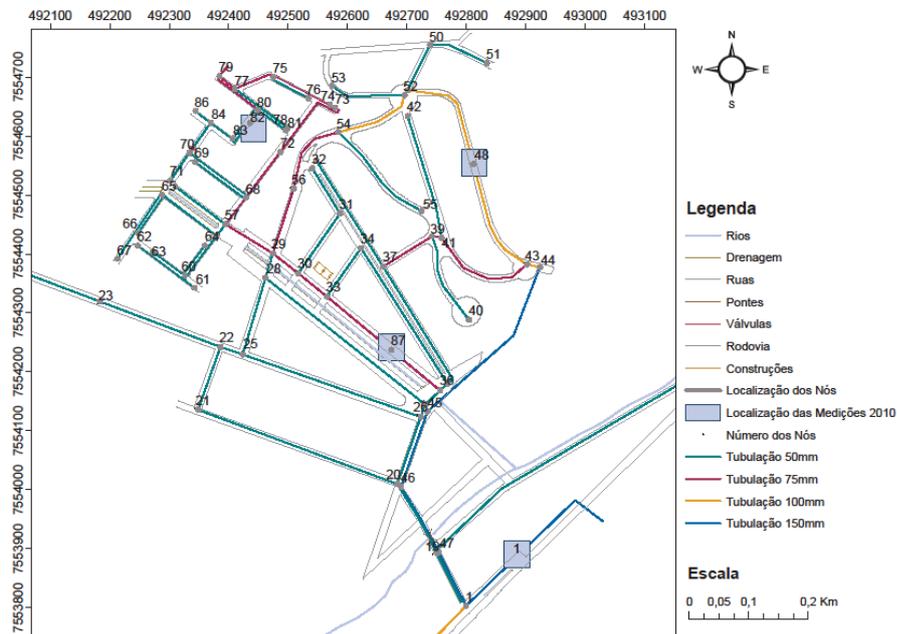


Figura 57 - Localização dos medidores na campanha de 2010 dos bairros Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.

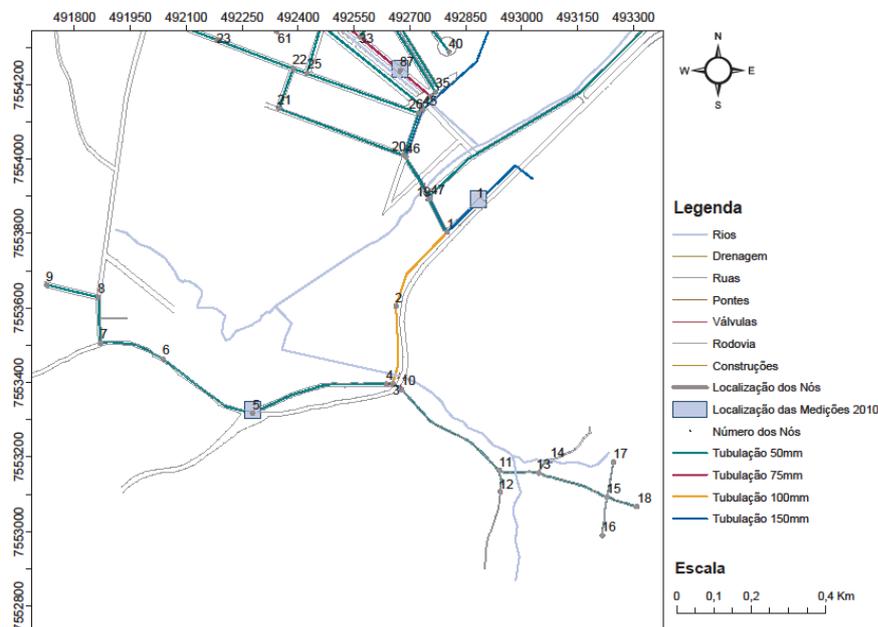


Figura 58 - Localização dos medidores na campanha de 2010 do bairro Palmela.

Nesta campanha foram coletados dados em cinco pontos de medições (Entrada, Nó 87, Nó 82, Nó 5 e Nó 48), nos dias 15 e 16 de setembro de 2010 com início as 14:19 e término as 14:17 horas do segundo dia. Os dados foram coletados

com intervalo de um minuto e apresentados no ANEXO F mas com intervalo de dez minutos.

Para a melhor visualização de comportamento de toda a rede, construiu-se um gráfico da pressão em função da variação horária para cada local medido (Figura 59), ressaltando que houve apenas um dia de medição.

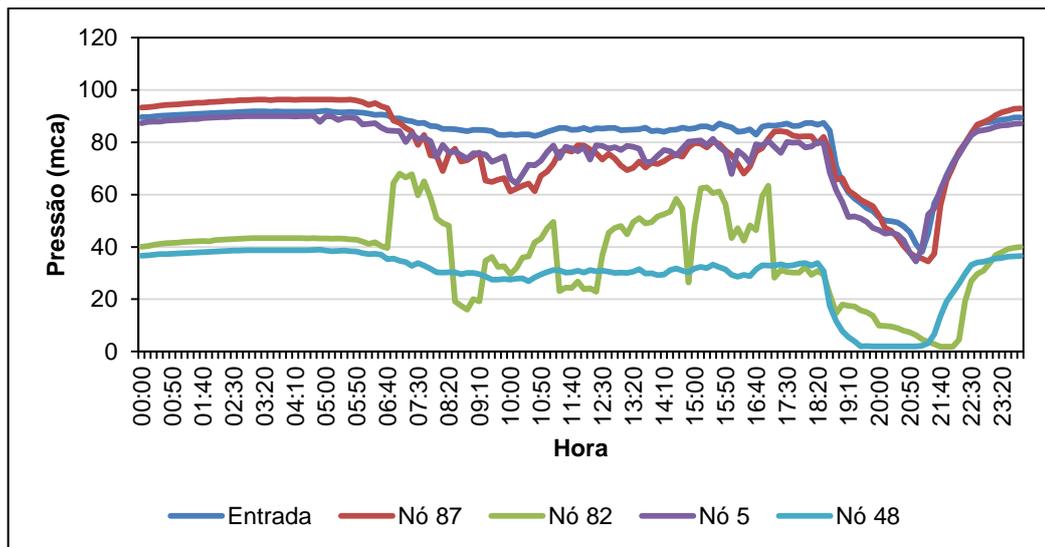


Figura 59 - Gráfico da variação horária de pressão dos medidores em 2010.

4.4.1.2 Campanha em 2012

Na campanha realizada em 2012, as medições foram realizadas em torneiras residenciais. Essas residências foram escolhidas devido à proximidade dos nós, determinados anteriormente, que estão localizados em pontos com características que possam produzir situações extremas. Realizou-se uma visita, anterior a medição, para entrar em contato com os moradores, explicar o estudo e obter autorização destes para a instalação do equipamento e a realização da medição (Figura 60 e Figura 61).

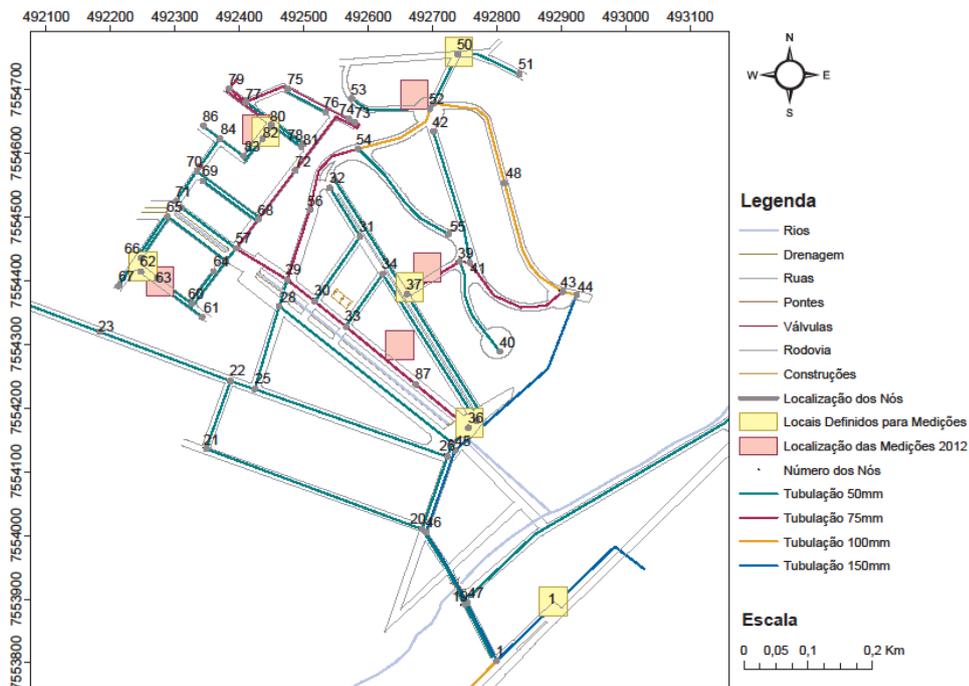


Figura 60 – Localização dos medidores no bairro Moradas da Serra e Vale dos Pinheiros.

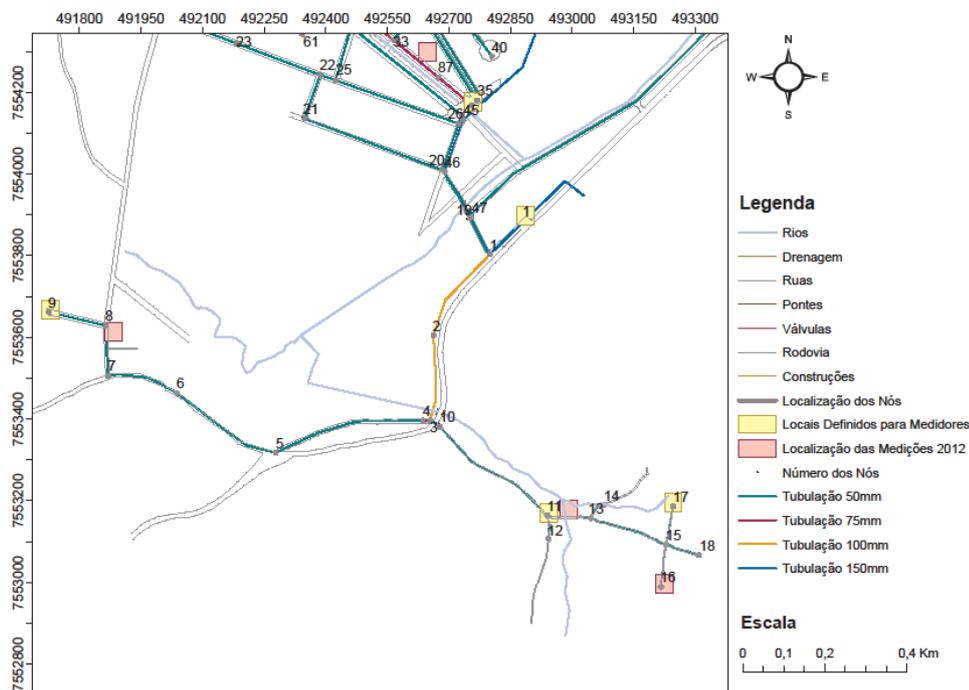


Figura 61 – Localização dos medidores no bairro Palmela.

Os equipamentos foram programados, com auxílio de um *software*, para realizar as medições n1o período de 5 de outubro a 19 de outubro de 2012. E logo após, instalados para obtenção dos dados.

As instalações foram feitas em torneiras que tivessem ligação direta com a rua e que, durante os dias de medição, não poderiam ser utilizadas (Figura 62 a Figura 64). Assim, buscou-se proteger de animais, chuva; evitaram-se lugares que pudessem ser furtados; ou mesmo retirados por curiosidades. Desta forma, foram realizadas, medições de pressão, em oito pontos na rede com data logger e na entrada com o tubo de pitot.



Figura 62 – Fotos dos medidores, data logger, no bairro Vale dos Pinheiros.

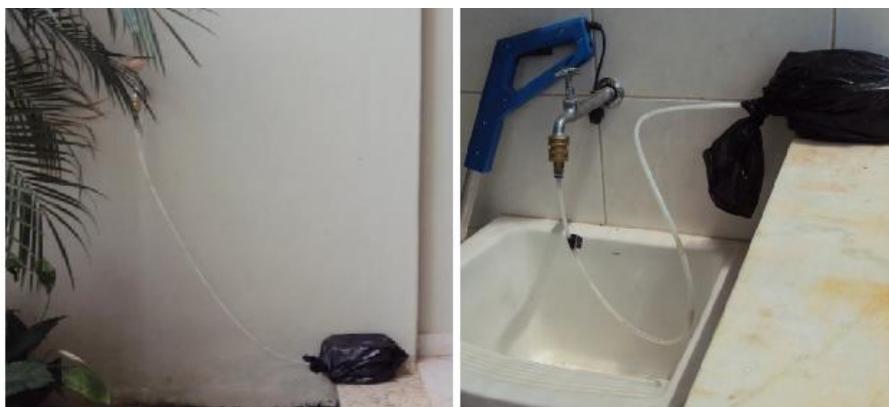


Figura 63 – Foto do medidor, data logger, no bairro Moradas da Serra.

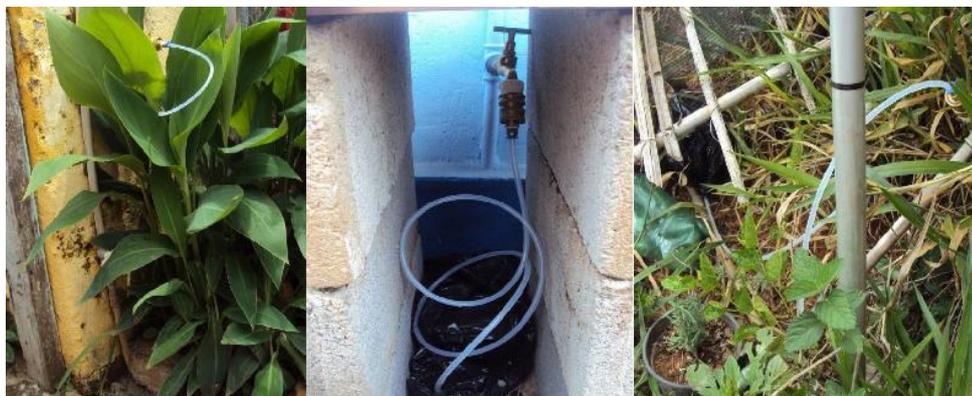


Figura 64 – Foto do medidor, data logger, no bairro Palmela.

Após o fim das medições, em que foram programados, retiraram-se os equipamentos das residências e a coleta de dados foi consistida através do *software* para análise. Obteve-se a variação de pressão, durante os dias medidos, em determinados pontos da rede estudada (ANEXO G). Para a melhor visualização do comportamento de toda a rede, construíram-se gráficos (Figura 65 a Figura 67) baseados na variação horária dos locais medidos. Nos gráficos e estudos serão apresentadas apenas medidas de seis pontos, pois os outros três restantes os equipamentos apresentaram problemas na obtenção das informações.

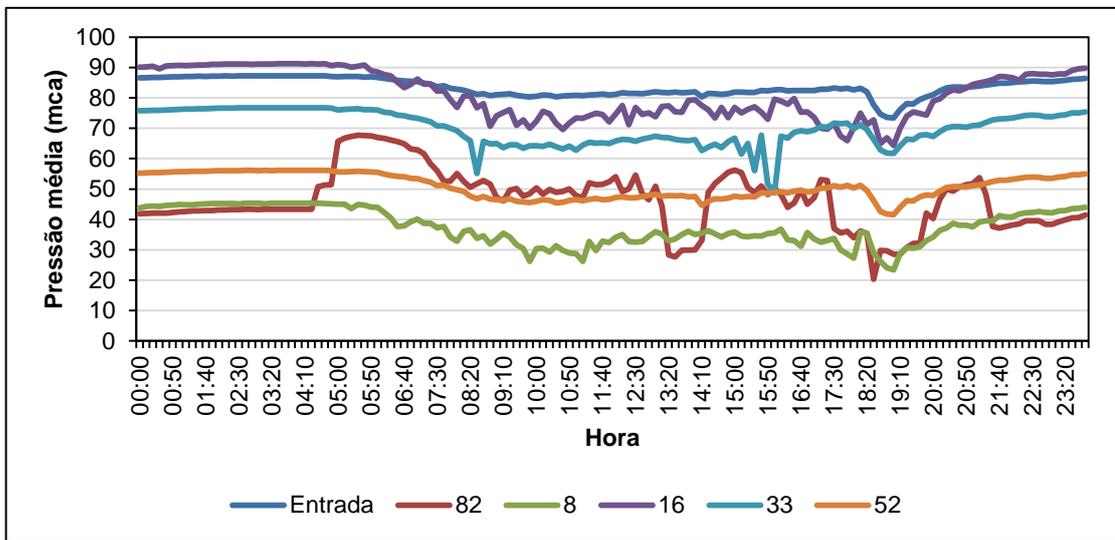


Figura 65 - Gráfico da variação horária de pressão mínima dos medidores em 2012.

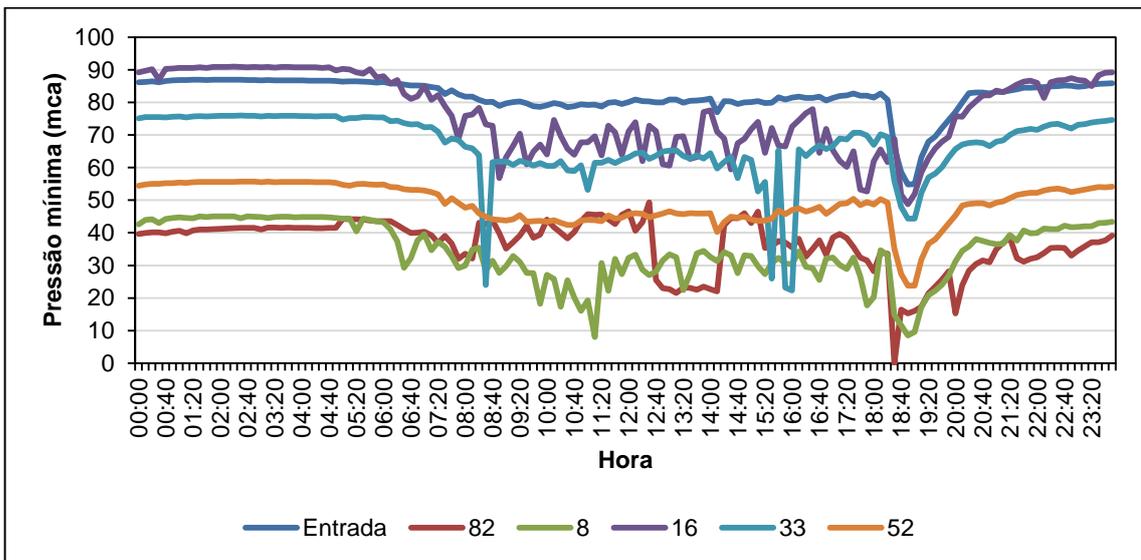


Figura 66 - Gráfico da variação horária de pressão média dos medidores em 2012.

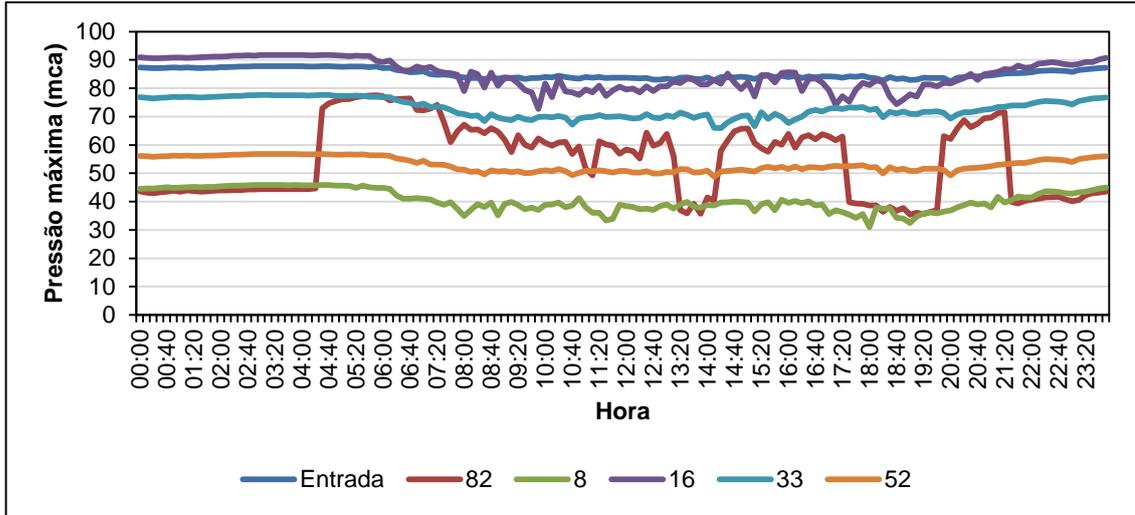


Figura 67 - Gráfico da variação horária de pressão máxima dos medidores em 2012.

4.4.2 Medição de vazão

4.4.2.1 Campanha de 2010

Como houve problemas com o equipamento na medição de vazão na entrada do sistema e foram utilizados os dados da campanha realizada em 2010. Para isso foram verificadas as medições de pressão realizadas. Assim, no ANEXO H estão os dados obtidos na campanha de 2010 com intervalo de medição de 10 minutos.

Os dados foram obtidos nos dias 15 e 16 de setembro de 2010 entre as 15:28 e 16:30 horas do dia seguinte. Com intervalo de 5 segundos. Na Figura 68 pode-se observar a variação da vazão na entrada do sistema.

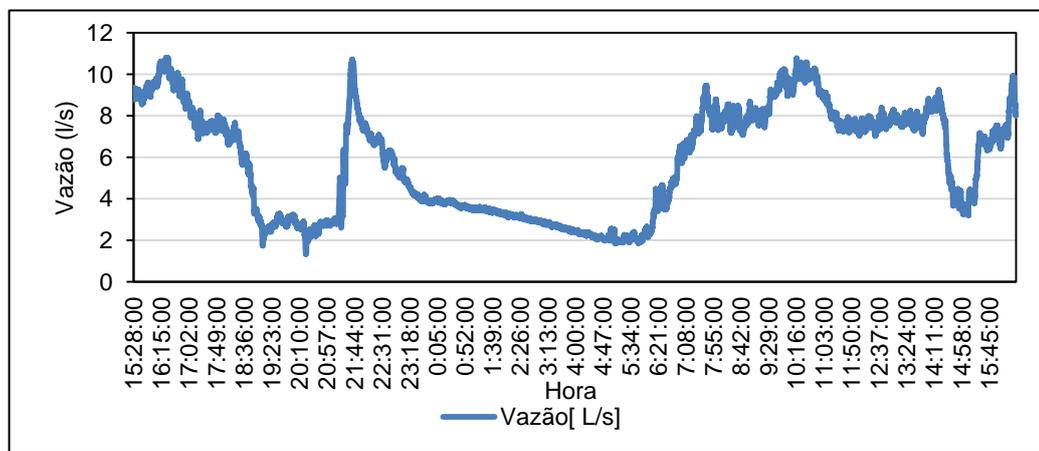


Figura 68 - Variação dos dados de vazão na entrada do sistema.

4.4.2.2 Campanha de 2012

A medição de vazão realizou-se na tubulação de entrada que alimenta os distritos em estudo (Figura 69). Com auxílio de servidores do SAAE de São Lourenço, perfurou-se a tubulação de 150 mm, colocou-se um tap e fez-se a medição do diâmetro com o calibre, obtendo o valor exato de 150 mm (Figura 69). Esta verificação torna-se necessário para a obtenção do valor real do diâmetro interno, considerando que algumas tubulações podem apresentar alterações dos valores nominais devido a incrustações ou desgastes.



Figura 69 – Tubulação de entrada do sistema, adaptação e instalação do calibre.

Posteriormente, instalou-se o tubo de pitot para a medição da pressão na entrada do sistema (Figura 70). Para tal foi feita todas as configurações necessárias (Tabela 17) do equipamento e programada para o período de medição.

Tabela 17 – Configurações necessárias no equipamento do tubo de pitot.

Parâmetros	Dimensões
Diâmetro nominal	150 mm
Diâmetro medido	150 mm
Espessura do tap	0 mm



Figura 70 – Instalação, calibração, sangria (retirada do ar) e funcionamento.

Após o término da medição, na data já especificada, retirou-se o equipamento e com o auxílio do *software* obteve os dados registrados para estudos e análises. Os dados foram obtidos entre os dias 15 a 19 de setembro de 2012, com intervalo de 10 minutos. Mas na análise dos dados observou-se que houve problemas no equipamento (tubo de pitot) e os dados obtidos de vazão não estavam coerentes com a realidade do sistema. Assim, estas medições de vazão não puderam ser utilizadas no estudo.

4.4.3 Detecção de vazamentos na rede de distribuição

Durante a semana de realização da campanha em 2012, utilizou-se o geofone em toda a rede de distribuição em estudo com a finalidade de verificar se há vazamentos de grande porte que possam interferir nas medições realizadas.

Antes da realização de qualquer trabalho, o profissional responsável do SAAE, que utiliza o geofone constantemente e possui curso, nos auxiliou na detecção dos ruídos característicos de vazamento, através da abertura de descarga presente na tubulação da rua (Figura 71).



Figura 71 – Treinamento inicial junto ao profissional do SAAE na descarta da tubulação.

Após a passagem do geofone pode-se afirmar que não houve a detecção de grandes vazamentos (Figura 72 a Figura 74). Deve-se ressaltar ainda que a rede em estudo possui um monitoramento frequente com a varredura do sistema utilizando o geofone. Reduzindo as chances de ter algum vazamento durante as datas de coleta de dados.



Figura 72 – Passagem do geofone na rua Alameda A do bairro Moradas da Serra.



Figura 73 – Passagem do geofone na rua Alameda das Rosas e Alameda das Camélia do bairro Vale dos Pinheiros.



Figura 74 – Passagem do geofone na rua Sebastião Ribeiro da Silva e Jardim Nirvana do bairro Palmela.

4.4.4 Obtenção de cotas topográficas

Com a finalidade de obter valores precisos de cota nos nós definidos e onde foram realizadas as medições, utilizou-se o DGPS para a obtenção destes (Figura 75 a Figura 77). Com estes dados pode-se obter a diferenças de cotas que auxilia o sistema a distribuir água em pressão adequada em todo o sistema.



Figura 75 – Medição com GPS na residência e na rua do bairro Moradas da Serra.



Figura 76 – Medição com GPS na residência e na rua do bairro Moradas da Serra.



Figura 77 – Medição com GPS na residência e na rua do bairro Moradas da Serra.

O GPS de base foi instalado no marco topográfico mais próximo do município e dos pontos de medição. Este se encontra a aproximadamente 7 km, em Carmo de Minas, nas dependências da ETA do município (Figura 78).

Ressalta-se que este marco, foi instalado de acordo com as exigências do IBGE, e obtido no seu site, no qual foram retirados seu relatório e informações (ANEXO E).



Figura 78 – ETA de Carmo de Minas, base cartográfica e instalação DGPS.

Após a medição, na qual necessita o funcionamento de ambos os GPSs, o equipamento foi levado ao Laboratório de Geoprocessamento da Unifei onde foram descarregados os dados. Após isso, realizou-se o processamento dos mesmos baseados nos valores de georreferenciamento do marco topográfico utilizado para a fixação do GPS base.

4.5 PERFIL DE CONSUMO DE ÁGUA DOS BAIRROS

Junto ao SAAE (2013b) obteve-se as listagens de leituras de consumo de água residenciais para os bairros estudados.

4.5.1 Bairro Vale dos Pinheiros

O bairro é predominantemente residencial, apresentando apenas um hotel na rua Alameda das Orquídeas. Na qual apresentou um consumo bem superior em relação às outras economias. Há em torno de 223 economias e uma média de consumo mensal de 4620 m³ (Tabela 18).

Tabela 18 – Tabela com o número de economias e volumes medidos do bairro Vale dos Pinheiros.

Meses	Economias	Volume (m ³)	Meses	Economias	Volume (m ³)
abr/12	220	4494	out/12	223	5461
mai/12	222	4190	nov/12	225	4570
jun/12	222	3579	dez/12	224	3977
jul/12	221	4183	jan/13	225	6044
ago/12	221	4550	fev/13	225	4838
set/12	221	4934	Média	223	4620

Fonte: SAAE (2013b).

4.5.2 Bairro Moradas da Serra

É um condomínio fechado, em que suas instalações são de usufruto apenas de seus moradores. Assim, na rua Alameda E há um clube e por isso apresenta um consumo mensal de água mais elevado que as outras economias. Neste bairro há em torno de 82 economias e uma média de consumo mensal de 2159 m³ (Tabela 19).

Tabela 19 – Tabela com o número de economias e volumes medidos do bairro Moradas da Serra.

Meses	Economias	Volume (m ³)	Meses	Economias	Volume (m ³)
abr/12	81	2187	out/12	82	2420
mai/12	81	2129	nov/12	82	1979
jun/12	81	1973	dez/12	82	2067
jul/12	81	1813	jan/13	82	2253
ago/12	82	2264	fev/13	82	2330
set/12	81	2334	Média	82	2159

Fonte: SAAE (2013b).

4.5.3 Bairro Palmela

Bairro com um perfil de moradia bem diferente dos bairros anteriores. Apresenta desta forma, um volume de água consumido mensalmente menor (Tabela 20). Com, em torno de, 198 economias e uma média de consumo mensal de 3116 (m³).

Tabela 20 – Tabela com o número de economias e volumes medidos do bairro Palmela.

Meses	Economias	Volume (m ³)	Meses	Economias	Volume (m ³)
abr/12	196	2797	out/12	198	2980
mai/12	199	2664	nov/12	199	3173
jun/12	198	2595	dez/12	199	3055
jul/12	197	2368	jan/13	199	3716
ago/12	197	3130	fev/13	200	4326
set/12	199	3469	Média	198	3116

Fonte: SAAE (2013b).

4.6 VOLUMES DE ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

Outra forma de caracterizar a produção de água tratada de um sistema é a análise dos volumes de água do sistema. Junto ao SAAE levantaram-se os volumes de água produzidos/tratados, distribuído, real, faturado/medido e consumido na ETA

(Tabela 21) no período estudado (Abril a Dezembro de 2012; Janeiro e Fevereiro de 2013).

Tabela 21 – Volumes de água em todo o sistema.

VOLUMES (m ³)	MESES					
	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12
Total produzido	296644,6	375149,6	380993,1	386579,9	392038,9	380077,2
Tratado na ETA	296644,6	375149,6	380993,1	386579,9	392038,9	380077,2
Distribuído	292684,6	368812,1	373943,1	379087,4	385731,4	374152,2
Real	270485,0	240136,0	248117,0	222449,0	263256,0	280618,0
Faturado - Medido	377412,0	359318,0	365261,0	351915,0	376132,0	385976,0
Consumido na ETA	3960,0	6337,5	7050,0	7492,5	6307,5	5925,0

VOLUMES (m ³)	MESES				
	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13
Total produzido	424217,8	412832,9	439793,9	429334,8	404142,8
Tratado na ETA	424217,8	412832,9	439793,9	429334,8	404142,8
Distribuído	417032,8	404965,4	432278,9	421527,3	398187,8
Real	267790,0	286769,0	248382,0	300988,0	282156,0
Faturado - Medido	379728,0	393021,0	365545,0	400950,0	390265,0
Consumido na ETA	7185,0	7867,5	7515,0	7807,5	5955,0

Fonte: SAAE (2013).

4.7 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO NODAL

Realizado através do consumo de água por economias, obtido junto ao SAAE, durante os onze meses (Abril a Dezembro de 2012; Janeiro e Fevereiro de 2013) de cada bairro. Após a organização dos dados de consumo de acordo com a rota de leitura das residências, separou-as de acordo com as suas localizações e a dos nós. Assim, foram distribuídos de forma proporcional os consumos que influenciam cada nó (Figura 79).

No ANEXO K estão os valores de consumo adotado para cada nó como a distribuição foi realizada.

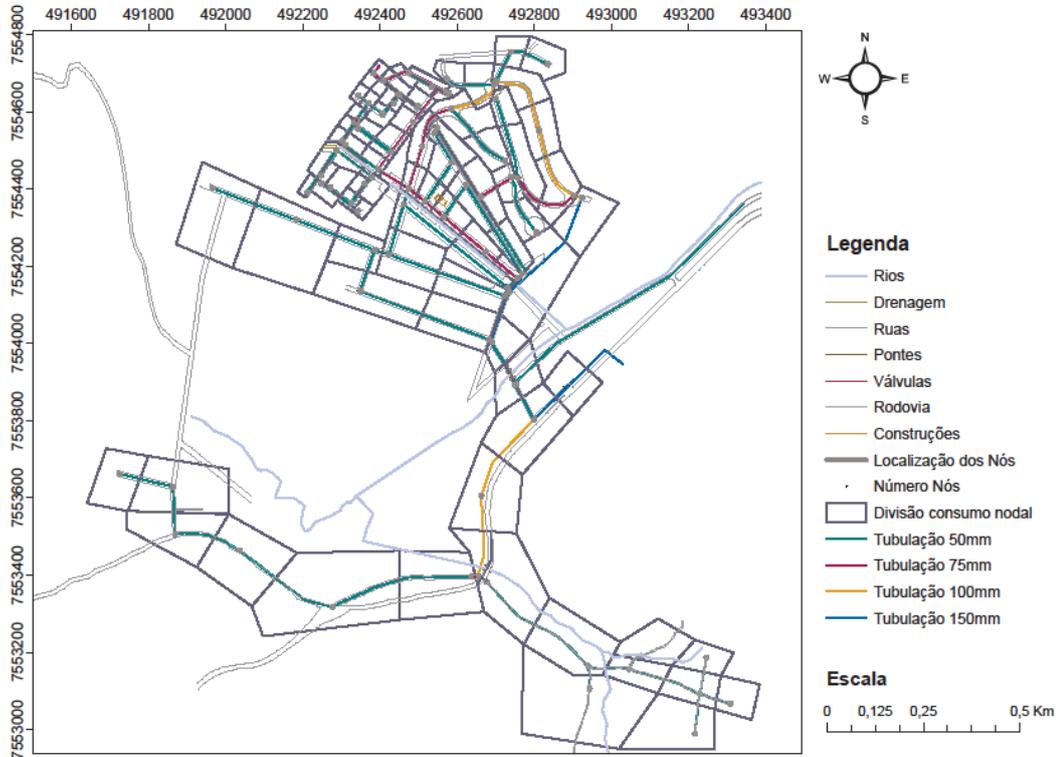


Figura 79 – Área de influência de consumo nos nós.

4.8 DETERMINAÇÃO DE PERDAS

Para a detecção do volume perdido utilizou-se a metodologia, descrita no trabalho de Souza (2011), de vazão mínima noturna e fator FND como na Equação 7 e Equação 8.

$$Q_{Perdas} = (Q_{\min not} - Q_L) \times FND \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

Q_{Perdas} - Média das perdas reais diárias (m³/dia);

$Q_{\min not}$ - Vazão mínima noturna média do período amostrado (m³/h);

Q_L - Vazão de usos legítimos médio no horário da mínima noturna (m³/h);

FND - Fator de correção ou fator noite/dia.

$$FND = \sum \left(\frac{PPMS_i}{PMNS_{3-4}} \right)^{N_1} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

FND - Fator de correção (adimensional);

$PPMS_i$ - Pressão média horária no setor, durante o período de dias de amostragem, da hora "i" do dia (mca).

$PMNS_{3-4}$ - Pressão noturna média no setor, obtida no horário entre 3:00 e 4:00 horas, correspondendo à pressão média de todos os dias no horário da vazão mínima noturna (mca).

N_1 - Expoente que depende das características dos materiais das tubulações (adimensional).

Para a realização dos cálculos utilizou-se os dados de pressão média horária na entrada do sistema tanto para os dados obtidos na campanha de 2010 quanto na do ano de 2012 (Tabela 22 e Tabela 23).

Tabela 22 – Pressão média horária da campanha de 2010.

Hora	Pressão Média horária (mca)	Hora	Pressão Média horária (mca)
0	69,98	12	60,50
1	70,83	13	62,31
2	71,71	14	63,07
3	72,01	15	66,57
4	71,94	16	62,99
5	71,63	17	62,70
6	70,68	18	56,51
7	69,22	19	37,09
8	58,97	20	28,74
9	56,69	21	33,53
10	56,58	22	59,34
11	59,71	23	68,29

Tabela 23 – Pressão média horária da campanha de 2012.

Hora	Pressão Média horária (mca)	Hora	Pressão Média horária (mca)
0	65,78	12	59,01
1	66,30	13	57,07
2	66,59	14	58,19
3	66,64	15	58,97
4	67,28	16	59,27
5	70,14	17	58,25
6	67,85	18	53,92
7	64,35	19	53,81
8	59,72	20	61,50
9	57,42	21	63,04
10	57,13	22	63,54
11	57,78	23	64,45

4.9 CONSUMO ENERGÉTICO

Para a análise energética necessita-se, primeiramente, a identificação das unidades consumidoras de energia elétrica. Em todo o sistema há diversos consumos de energia, como na captação, na estação de tratamento, nas estações elevatórias, nos sistemas de iluminação, nos boosters e outros consumos para a manutenção dos sistemas (VIANA, 2010a). Neste estudo serão considerados apenas os gastos referentes à captação, a estação de tratamento e a estação elevatória para o sistema como um todo.

Segundo as informações fornecidas pelo SAAE (2013b) e Viana (2010a), o fornecimento de energia é realizado pela CEMIG. Sendo que os códigos de instalação das unidades que mais consomem energia, são de 3009013989 para a Captação/ETA e de 3009020196 para a elevatória Vila Nova. Ambos utilizam a tarifa horo sazonal verde A4, que se refere a servidores públicos. Sendo que no sistema de Captação/ETA a demanda contratada é de 300 (kW) e da estação elevatória de água (EEA) de 190 (kW).

Com a finalidade de se realizar o estudo hidro energético obtiveram-se, junto ao SAAE, dados referentes à onze meses (Abril a Dezembro de 2012; Janeiro e Fevereiro de 2013), da estação de tratamento de água e da estação elevatória

responsável pela distribuição de água a todos os bairro (ANEXO L e ANEXO M). Na Tabela 24 tem-se o gasto total mensal.

Tabela 24 – Gasto mensal da estação de tratamento de água e da estação elevatória Vila Nova.

Meses	Gasto mensal do ano 2012 (R\$)	
	ETA _{TOTAL}	EEA
Abril	53828,21	27300,99
Maio	49649,72	26224,59
Junho	54882,52	28347,05
Julho	49533,15	26026,80
Agosto	57405,57	28257,15
Setembro	59660,39	31344,91
Outubro	52127,27	29024,18
Novembro	64228,58	31181,95
Dezembro	59649,04	28930,09

Meses	Gasto mensal do ano 2013 (R\$)	
	ETA _{TOTAL}	EEA
Janeiro	56887,26	28700,51
Fevereiro	46603,81	24589,20

Fonte: SAAE (2013b).

Na Figura 80 e Figura 81 pode-se observar a variação mensal das tarifas de energias consumidas, dentro e fora de ponta, para ambos os locais analisados.

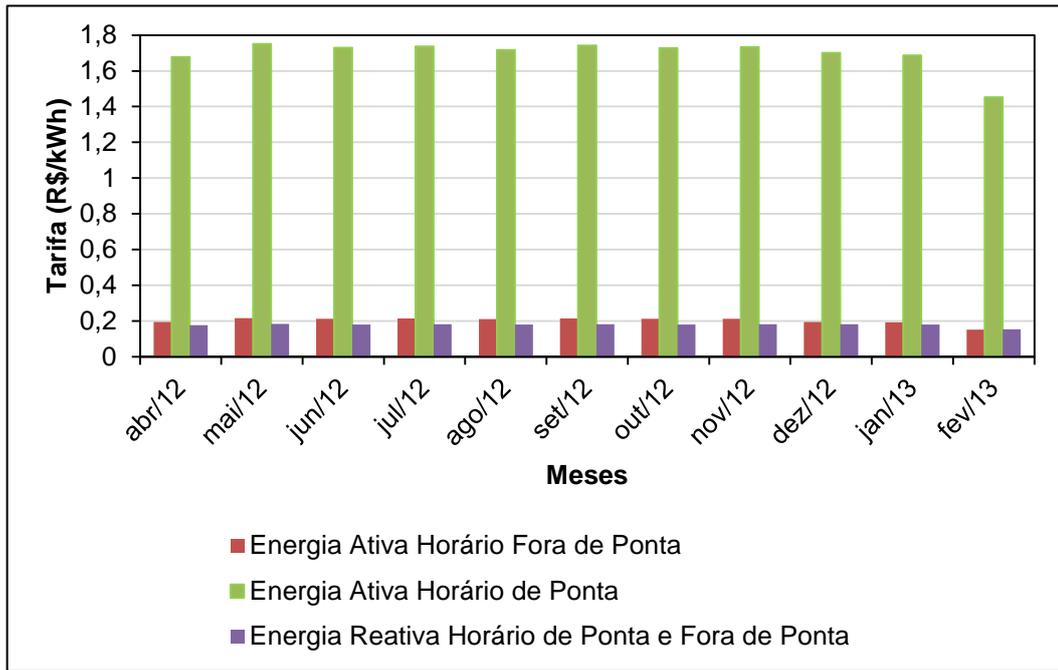


Figura 80 - Variação tarifária das energias consumidas no sistema de captação e ETA.

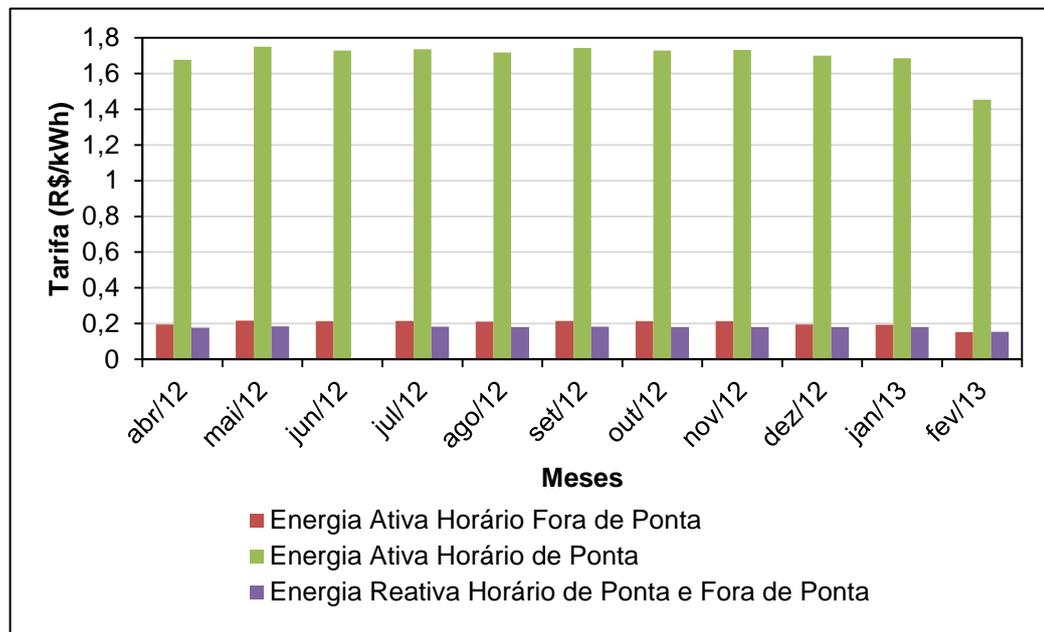


Figura 81 - Variação tarifária das energias consumidas no sistema de EEA.

Nos custos energéticos referentes à captação e à ETA há a ultrapassagem da demanda contratada, como pode ser observado na Figura 82 e Figura 83 juntamente com a variação do valor da tarifa para ambas as situações. Observa-se que a tarifa cobrada na demanda ultrapassada possui valor dobrado em relação à

demanda contratada. Deve-se ressaltar que a ultrapassagem só é considerada e cobrada quando se utiliza 10% acima da demanda contratada.

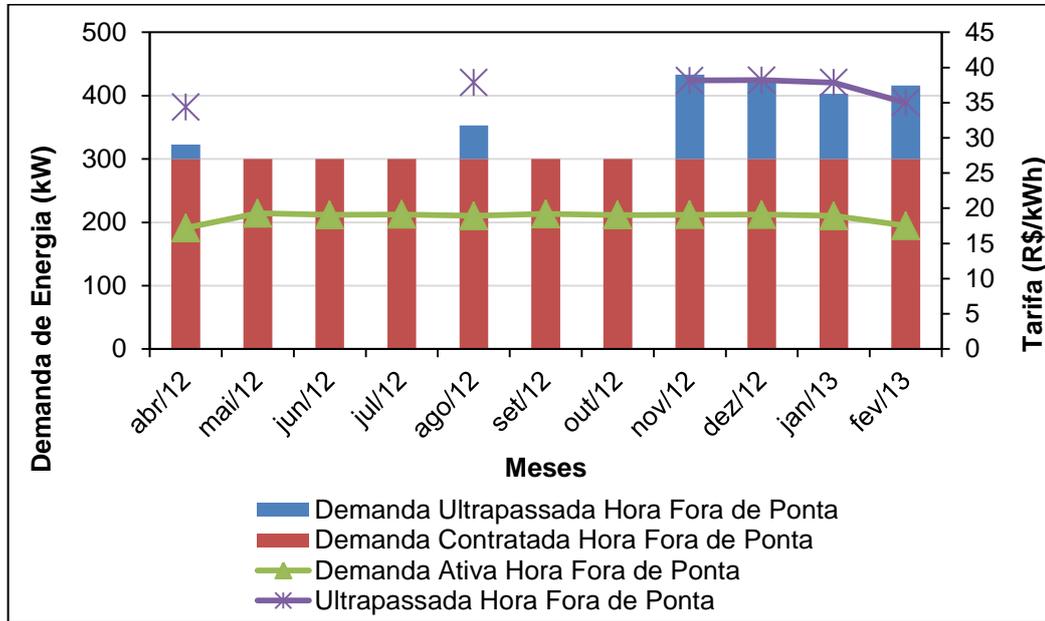


Figura 82 - Demanda contratada e ultrapassada com suas respectivas tarifas do sistema de captação e ETA.

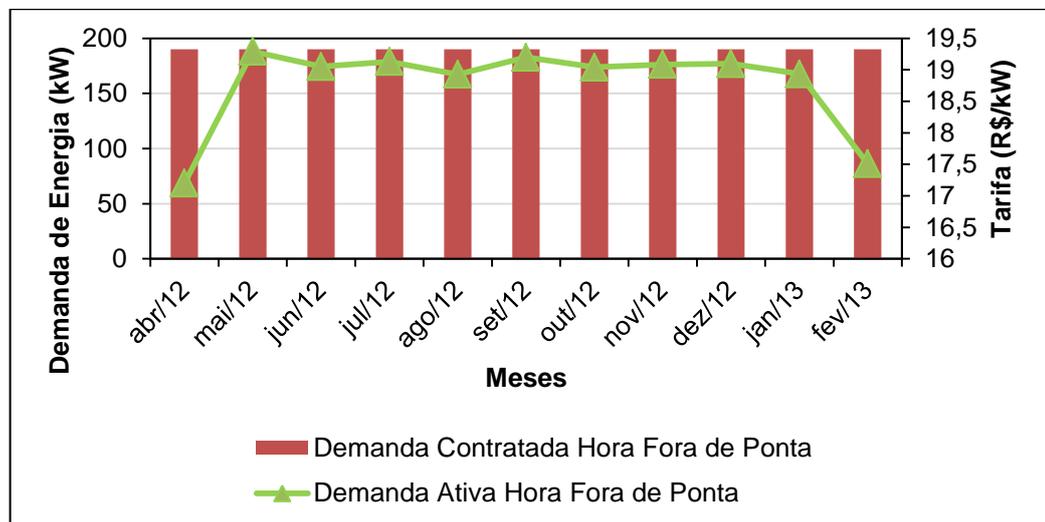


Figura 83 - Demanda contratada e ultrapassada com suas respectivas tarifas da EEA.

Na Figura 84 e Figura 85 observa-se a distribuição dos gastos energéticos de cada unidade. Sendo possível verificar que o consumo no horário fora de ponta, devido à taxa elevada, chega em torno de 50% do custo total.

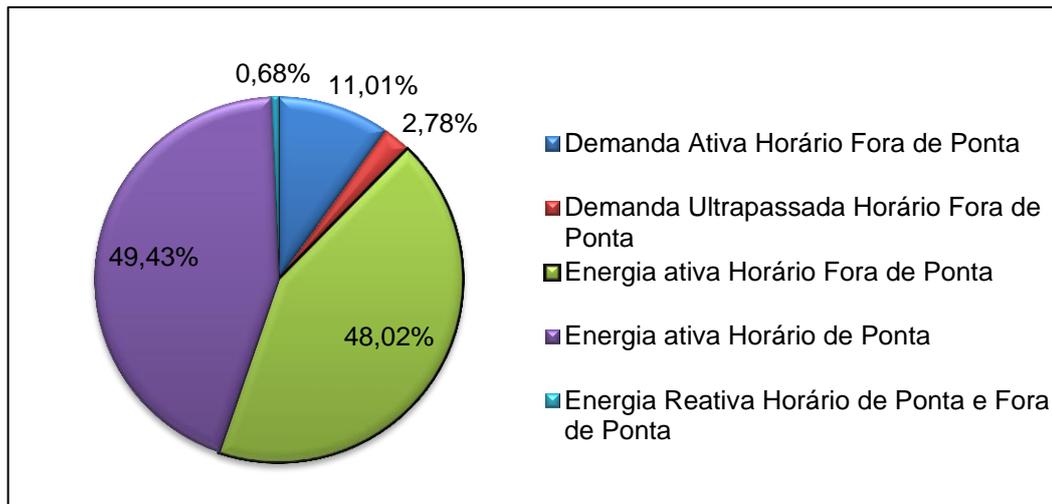


Figura 84 - Composição do custo total do sistema de captação e ETA.

Fonte: Lamoglia, H. A. (2013).

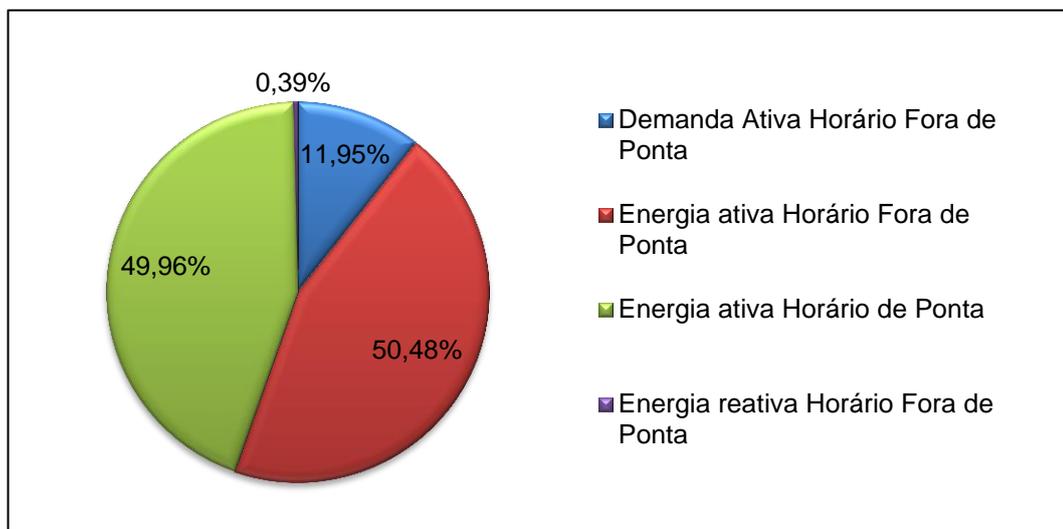


Figura 85 - Composição do custo total da EEA.

Fonte: Lamoglia, H. A. (2013).

4.10 DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS COM BASE NOS VOLUMES CONSUMIDOS

Com a finalidade de se determinar e correlacionar o volume de água captado, tratado e distribuído para os bairros em estudo e seu custo, realizou-se junto aos dados de custos energéticos e volumes de água consumidos cálculos de proporções para a sua determinação. Para a realização da proporção será seguida a seguinte metodologia.

- Determinação do custo parcial mensal dos bairros estudados na captação e ETA:

$$C_{ETA_MB} = \frac{C_{ETA_MT} \times V_{CMB}}{V_{Cap}} \quad \text{Equação 18}$$

Onde:

- C_{ETA_MB} – Custo mensal dos bairros estudados proporcional ao custo total da captação e ETA (R\$);
- C_{ETA_MT} – Custo mensal total na captação e ETA (R\$);
- V_{CMB} – Volume de água consumido pelos bairros (m³);
- V_{Cap} – Volume de água mensal captado e tratado na ETA (m³).

- Determinação do custo parcial mensal dos bairros estudados na EEA Vila Nova:

$$C_{EEA_MB} = \frac{C_{EEA_MT} \times V_{CMB}}{V_{Dist}} \quad \text{Equação 19}$$

Onde:

- C_{EEA_MB} – Custo mensal dos bairros estudados proporcional ao custo total da EEA Vila Nova (R\$);
- C_{EEA_MT} – Custo mensal total na EEA Vila Nova (R\$);
- V_{CMB} – Volume de água mensal consumido pelos bairros (m³);
- V_{Dist} – Volume de água mensal total distribuído (m³).

- Determinação do custo total para cada bairro:

$$C_{TMB} = C_{ETA_MB} + C_{EEA_MB} \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

- C_{TMB} – Custo total mensal dos bairros estudados (R\$);
- C_{ETA_MB} – Custo mensal dos bairros estudados proporcional ao custo total da ETA (R\$);
- C_{EEA_MB} – Custo energético mensal dos bairros estudados proporcional ao custo total da EEA Vila Nova (R\$);

- Determinação do custo total unitário referente aos bairros estudados:

$$C_{UVC} = \frac{C_{TMB}}{V_{CMB}} \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

- C_{UVC} – Custo unitário dos bairros estudados em função dos volumes de água consumida pelos bairros (R\$/m³);
- C_{TMB} – Custo mensal total dos bairros estudados (R\$);
- V_{CMB} – Volume de água mensal total consumido (m³).

Todas as informações referentes ao contrato energético, gasto e medições de energia foram obtidas junto aos responsáveis do SAAE de São Lourenço (SAAE, 2013b).

4.11 DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DO VOLUME PERDIDO

Para a determinação dos volumes perdidos nos bairros em estudo, utilizou-se um valor médio de vazão diária na entrada do sistema e com base nos dias dos meses, calculou-se o volume mensal abastecido no sistema.

$$V_{EMB} = N^{\circ}_{DM} * Q_{Méd\ Diária} \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

- V_{EMB} – Volume entrada mensal nos bairros estudados (m³);
- N°_{DM} – Número de dias dos meses;
- $Q_{Méd\ Diária}$ – Vazão média diária de entrada nos bairros estudados (m³/h).

Com base na mesma proporção utilizada no item 4.10, obteve-se os seguintes custos parciais:

- Determinação do custo parcial mensal dos bairros estudados na captação e ETA:

$$C_{ETA_MB} = \frac{C_{ETA_MT} \times V_{EMB}}{V_{Cap}} \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

- C_{ETA_MB} – Custo mensal dos bairros estudados proporcional ao custo total da captação e ETA (R\$);
- C_{ETA_MT} – Custo mensal total na captação e ETA (R\$);
- V_{EMB} – Volume de água mensal abastecido na entrada a partir da vazão medida (m^3);
- V_{Cap} – Volume de água mensal captado e tratado na ETA (m^3).

- Determinação do custo parcial mensal dos bairros estudados na EEA Vila Nova:

$$C_{EEA_MB} = \frac{C_{EEA_MT} \times V_{EMB}}{V_{Dist}} \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

- C_{EEA_MB} – Custo mensal dos bairros estudados proporcional ao custo total da EEA Vila Nova (R\$);
- C_{EEA_MT} – Custo mensal total na EEA Vila Nova (R\$);
- V_{EMB} – Volume de água mensal abastecido na entrada a partir da vazão medida (m^3);
- V_{Dist} – Volume de água mensal total distribuído (m^3).

- Determinação do custo total unitário referente aos bairros estudados:

$$C_{UME} = \frac{C_{ETA_MB}}{V_{Cons}} + \frac{C_{EEA_MB}}{V_{Dist}} \quad \text{Equação 25}$$

Onde:

- C_{UME} – Custo unitário dos bairros estudados do volume de entrada (R\$/ m^3);
- C_{ETA_MB} – Custo mensal dos bairros estudados proporcional ao custo total da captação e ETA (R\$);
- V_{Cons} – Volume de água mensal total consumido (m^3).
- C_{EEA_MB} – Custo mensal dos bairros estudados proporcional ao custo total da EEA Vila

Nova (R\$);
 V_{Dist} – Volume de água mensal total distribuído (m³).

- Determinação do volume de água perdido dos bairros estudados:

$$V_{PMB} = P_P * V_{EMB} \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

V_{PMB} – Volume de água perdida mensal nos bairros estudados (m³);
 P_P – Porcentagem de perdas (%);
 V_{EMB} – Volume médio mensal de entrada nos bairros estudados (m³).

- Determinação do custo do volume perdido dos bairros estudados:

$$C_{VPMB} = C_{UME} * V_{PMB} \quad \text{Equação 27}$$

Onde:

C_{VPMB} – Custo do volume de água perdida mensal nos bairros estudados (R\$);
 C_{UME} – Custo unitário mensal (R\$/m³);
 V_{PMB} – Volume mensal perdido nos bairros estudados (m³).

4.12 REPRESENTAÇÃO DO MODELO DE REDE E SIMULAÇÃO

Após a obtenção de todas as informações que caracterizam a rede do sistema inicia-se a modelagem e simulação da rede em estudo. Etapa composta do desenho da rede, edição de propriedades dos objetos (configuração como comprimento, rugosidade, diâmetro das tubulações; nós e suas cotas topográficas) e opções de simulação. Estas configurações podem ser feitas através das ferramentas do *software* (Figura 86).



Figura 86 - Janela de definição das configurações pré-definidas.

Fonte: Tutorial do Epanet.

O próximo passo definiu-se as unidades de grandezas e as fórmulas de perdas de carga utilizadas durante a simulação. Sendo escolhida neste trabalho a utilização da fórmula de Hazen-Willians (Tabela 25). Esta fórmula é uma das mais utilizadas para o cálculo da perda de carga, e possui a restrição de ser utilizada em apenas escoamento para a água e ter sido desenvolvida para escoamentos turbulentos.

Tabela 25 - Fórmulas para o calculo da perda de carga contínua em escoamento em pressão.

Fórmula	Termo de perda de carga (A)	Expoente do Caudal (B)
Hazen-Willians	$10,7 C^{1,852} d^{-4,87} L$	1,852
Darcy-Weisbach	$0,083 f(\epsilon, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$10,3 n^2 d^{-5,33} L$	2

Fonte: Tutorial do Epanet.

Onde:

ϵ – Rugosidade absoluta (mm);

Q – Vazão (m³/s);

C – Coeficiente de rugosidade, que vai depender da natureza e estado das paredes do tubo;

d – Diâmetro da tubulação (mm);

f – Fator de Darcy-Weisbach;

- n – Coeficiente de rugosidade de Manning;
- L – Comprimento da tubulação (m);

Após serem feitas as configurações iniciais, principia-se a construção da rede e seus componentes, seguindo a sequencia sugerida pelo programa, no qual o reservatório a princípio tem uma referência de nível fixo (RNF). Em seguida, é feita a distribuição dos nós, a inclusão dos reservatórios de nível variado (RNV) e finalmente a inserção das tubulações. Essa etapa é feita com o auxílio da barra de ferramentas, mostrada na Figura 87.



Figura 87 - Barra de ferramentas do EPANET.

Fonte: Tutorial do Epanet.

Após a confecção do layout da rede de distribuição de água dos distritos em estudo (Figura 88), inicia-se a etapa de edição das propriedades dos objetos. Configuram-se os trechos de tubulação e nós com as seguintes características: cota topográfica, consumo nos nós, diâmetro, rugosidade e comprimento das tubulações (ANEXO C e ANEXO D). As configurações podem ser feitas na janela do software conforme apresentada na Figura 89.

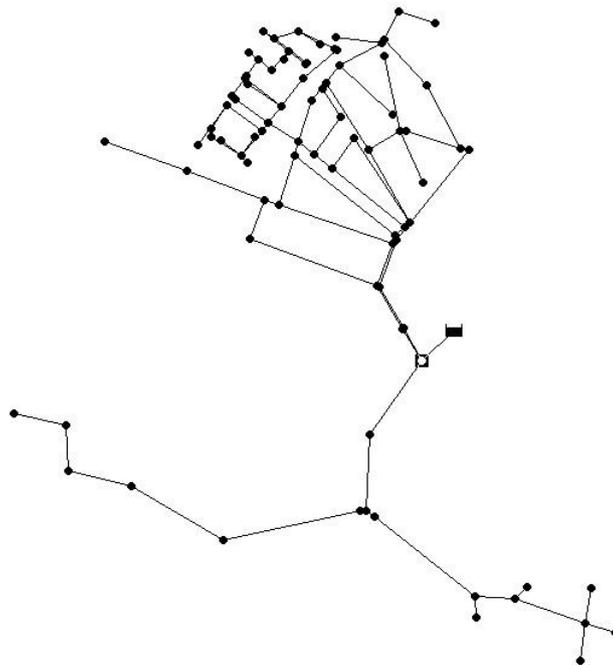
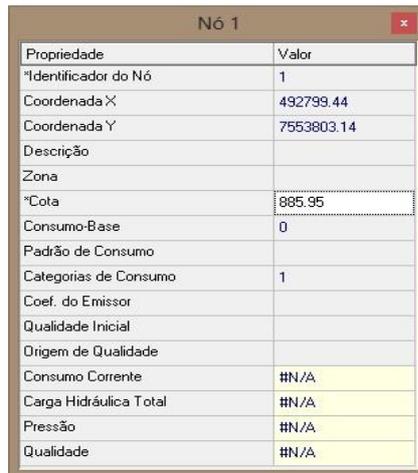


Figura 88 - Imagem da rede desenhada no *software* Epanet.

Fonte: Epanet.



Propriedade	Valor
*Identificador do Nó	1
Coordenada X	492799.44
Coordenada Y	7553803.14
Descrição	
Zona	
*Cota	885.95
Consumo-Base	0
Padrão de Consumo	
Categorias de Consumo	1
Coef. do Emissor	
Qualidade Inicial	
Origem de Qualidade	
Consumo Corrente	#N/A
Carga Hidráulica Total	#N/A
Pressão	#N/A
Qualidade	#N/A

Figura 89 - Janela responsável para a caracterização dos objetos da rede.

Fonte: Epanet.

Com a edição dos dados já concluída no *software* Epanet, realizou-se a simulação inicial, com as configurações (Tabela 26 e Figura 90) abaixo.

Tabela 26 - Opções hidráulicas principais utilizadas nas configurações da rede no *software* Epanet.

Unidades de vazão	Litros por segundo
Fórmula de perdas de carga	Hazen-Williams
Densidade	1
Viscosidade relativa	1
Número máximo de iterações	40
Erro máximo de convergência	0,001
Se não convergir	Continue

Propriedade	Valor
Unidades de Vazão	LPS
Fórmula de Perda de Carga	H-W
Densidade	1
Viscosidade Relativa	1
No. Máximo de Iterações	40
Erro Máximo de Convergência	0.001
Se Não Convergir	Continue
Padrão	1
Fator de Consumo	1.0
Expoente p/ Fórmula do Emissor	0.5
Relatório de Estado	No
CHECKFREQ	2
MAXCHECK	10
DAMPLIMIT	0

Figura 90 - Opções de configurações hidráulicas na simulação inicial.

Na Figura 91 pode-se observar a distribuição espacial na rede os valores de diâmetro na tubulação e cota nos nós.

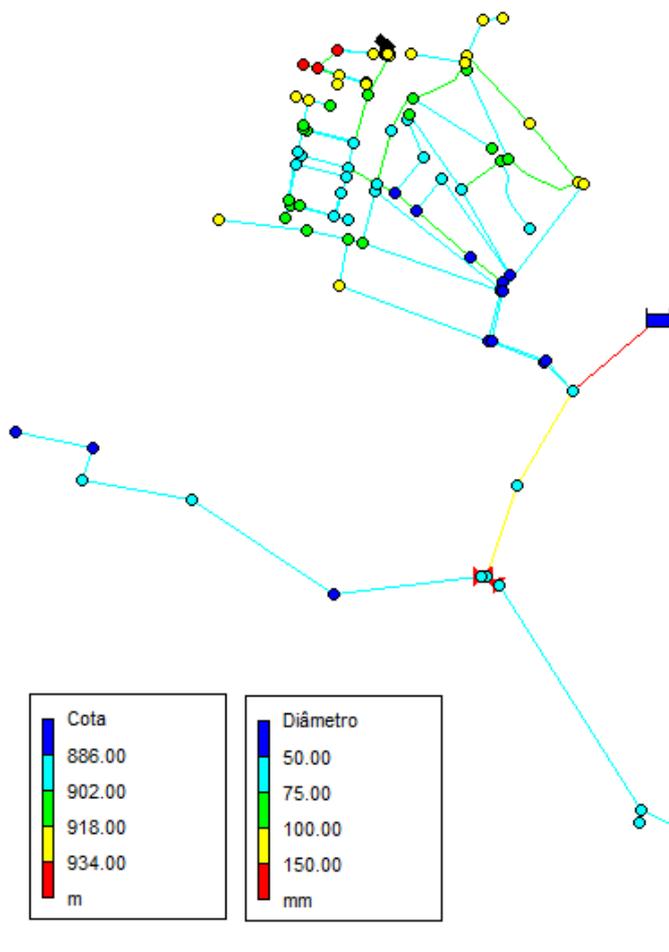


Figura 91 - Resultado gráfico da rede de distribuição com análise de cotas e diâmetros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PERFIL DE CONSUMO DOS BAIRROS

5.1.1 Bairro Vale dos Pinheiros

Bairro que apresentou o maior consumo de água, principalmente entre as faixas de consumo entre 6 - 61 m³ (Figura 93). Mas há um consumo excepcional no mês de janeiro/2013 extremamente elevados que pode ter sido causado por algum erro de medição ou vazamento neste período.

Na Figura 92 esta representada o consumo mensal do bairro, sendo possível observar o valor extrapolado no mês de janeiro como citado anteriormente. Pode-se afirmar ainda que em todos os meses o consumo é bem elevado não havendo grandes variações.

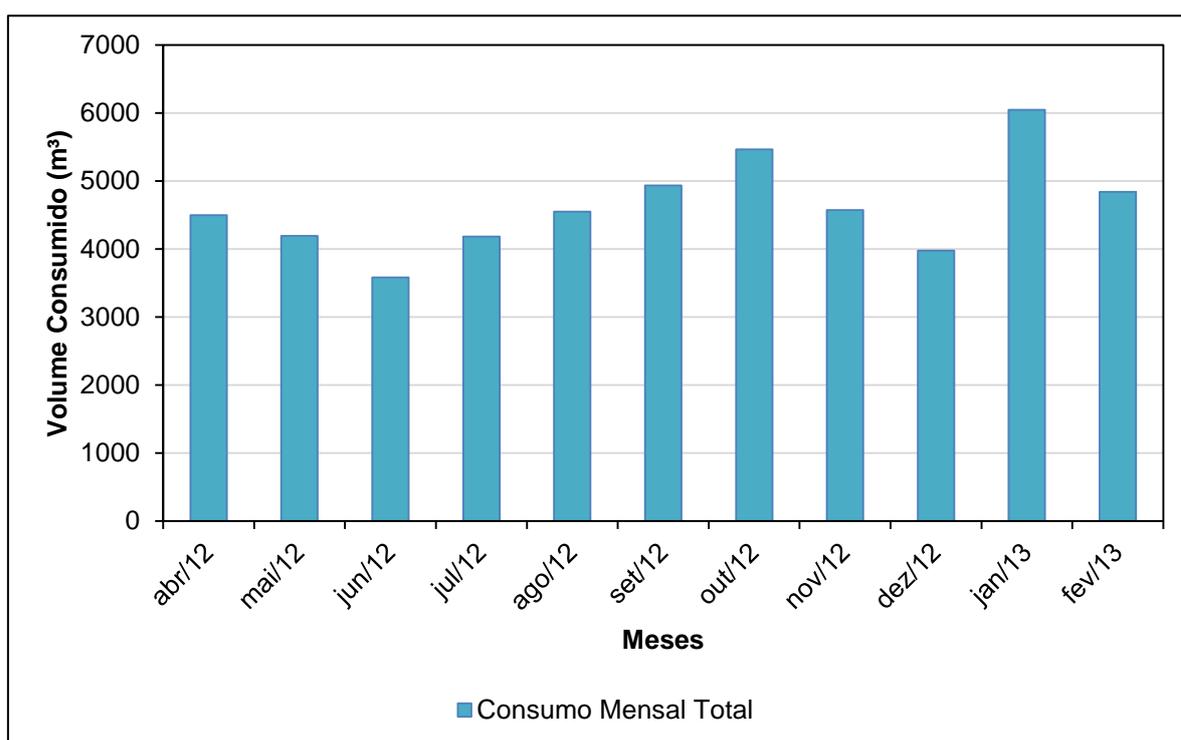


Figura 92 – Volume consumido mensal no bairro Vale dos Pinheiros.

Tal valor é referente ao mês de janeiro/2013 na rua Alameda das Camélias, como pode ser observado na onde está representado os volumes consumidos de água mensal.

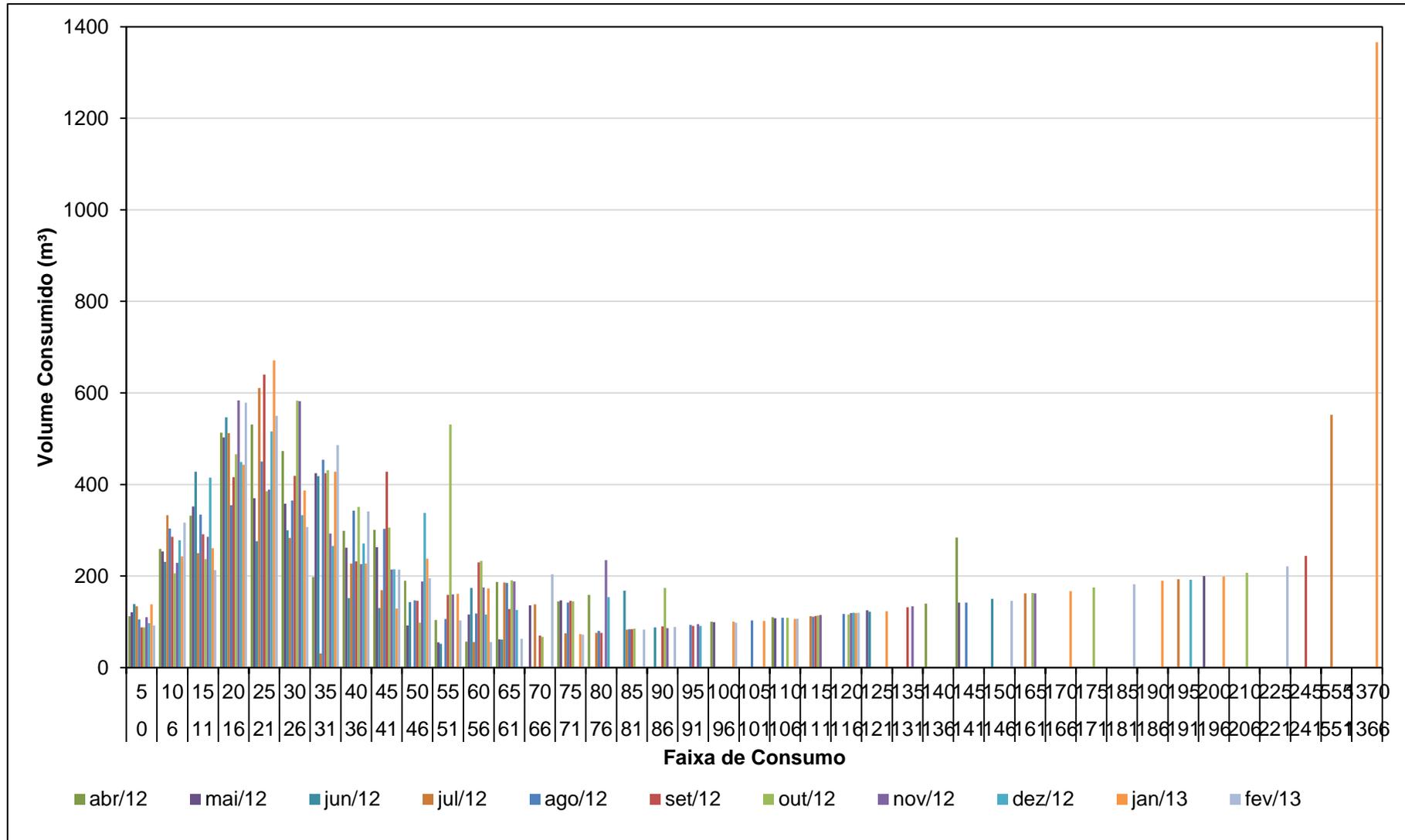


Figura 93 – Perfil de consumo de água mensal do bairro Vale dos Pinheiros.

5.1.2 Bairro Moradas da Serra

O consumo deste bairro também se concentra entre as faixas de 6 - 66 m³ (Figura 95 e Figura 94) e possui valores de consumo menores que o bairro Vale dos Pinheiros. É um bairro residencial em que não há, como no bairro anterior, grandes variações de consumo mensal.

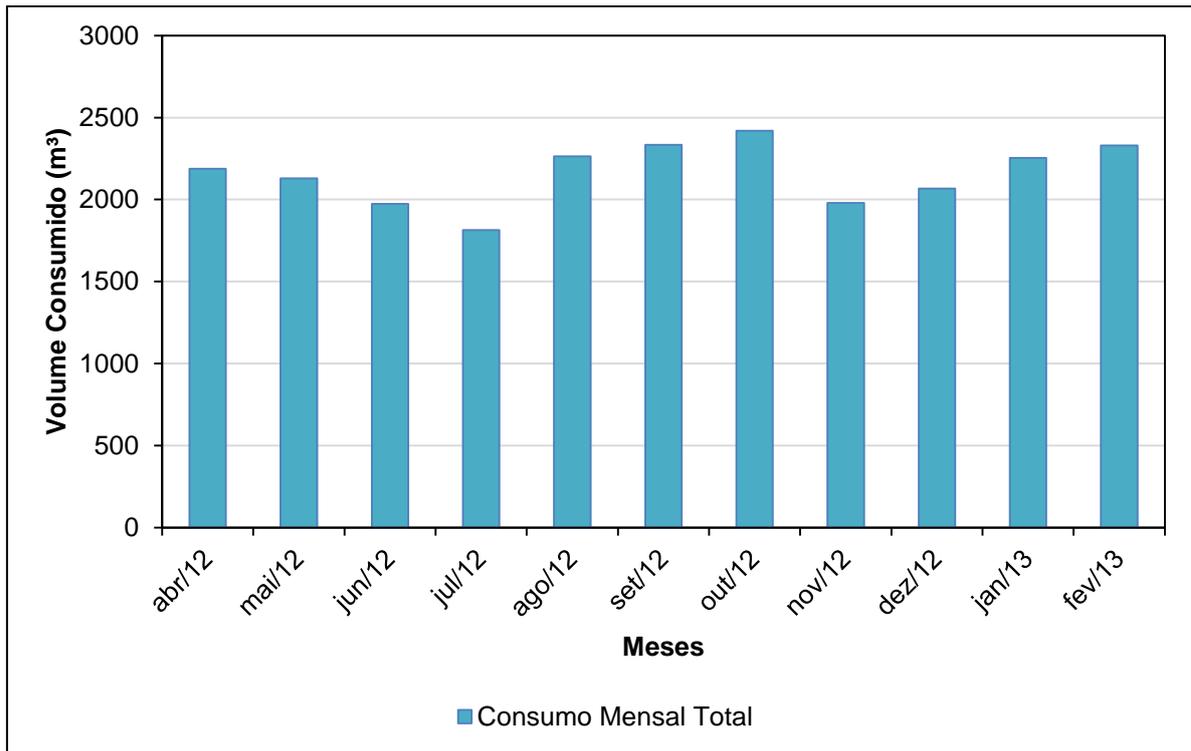


Figura 94 – Volume consumido mensal no bairro Moradas da Serra.

Na rua Alameda E há um clube de usufruto dos moradores e por isso apresenta um consumo mensal de água mais elevado que as outras economias.

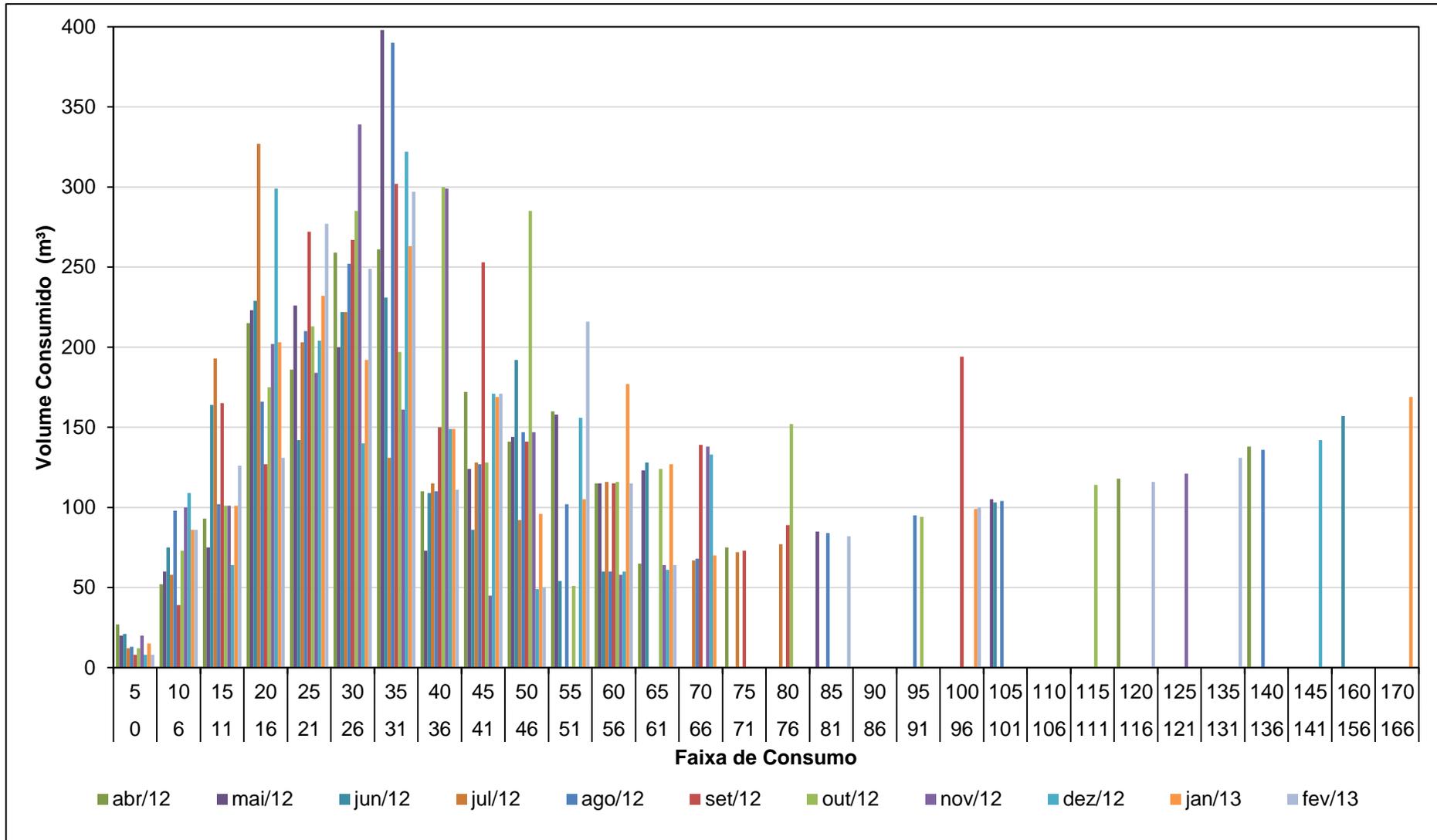


Figura 95 – Perfil de consumo de água mensal do bairro Moradas da Serra.

5.1.3 Bairro Palmela

Bairro que possui o consumo de água mais concentrado na faixa de 6 a 35 m³ (Figura 97) além de um perfil de moradores bem diferente dos bairros anteriores. Percebe-se pela Figura 96 que o volume consumido é bem inferior e também há pouca variabilidade mensal.

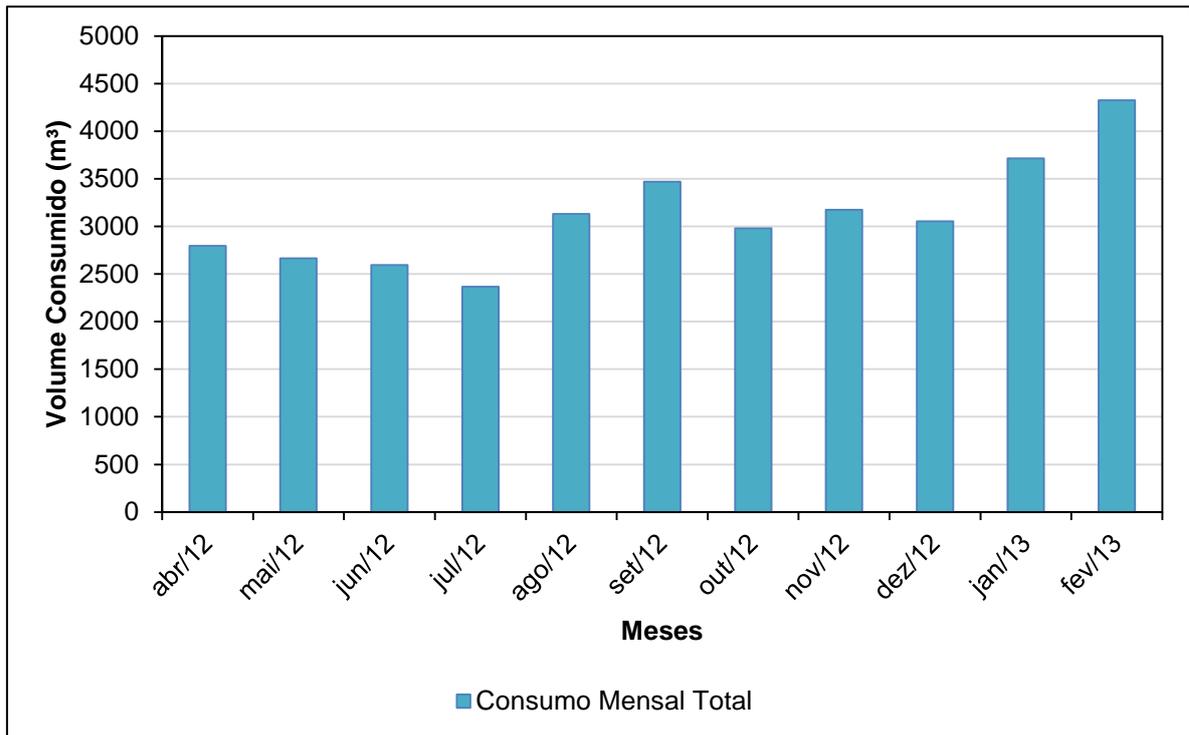


Figura 96 – Volume consumido mensal no bairro Palmela.

Observam-se nos dados um crescimento no mês de janeiro e fevereiro de 2013 (Figura 96). Mas ao observar os dados, pode-se afirmar que este aumento deve ter sido ocasionado por algum vazamento ou erro de leitura. Já que em dois locais, no mês de janeiro na rodovia BR 460 e em fevereiro na rua Jardim Nirvana houveram dois valores extremos de consumo (Figura 97).

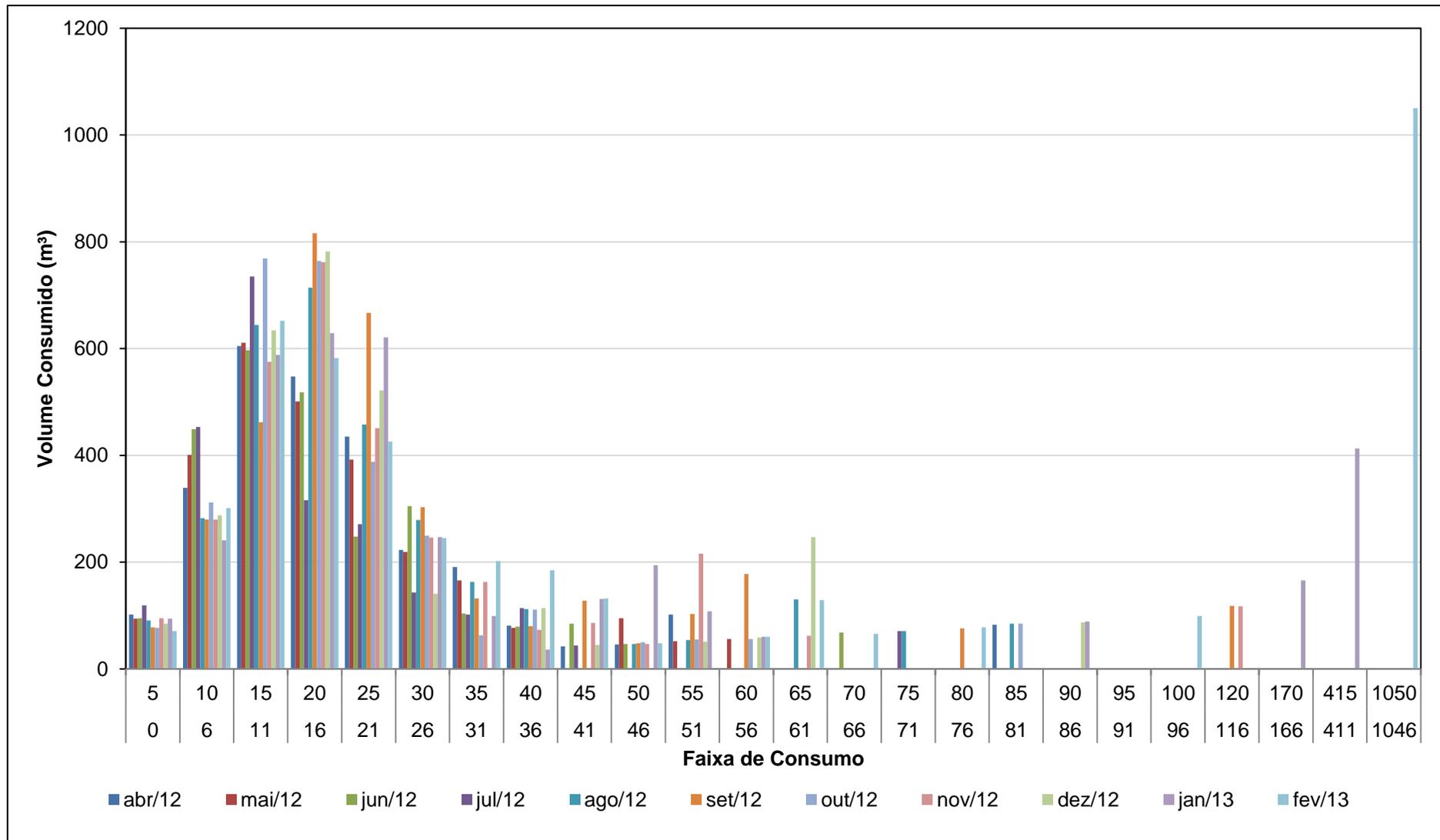


Figura 97 – Perfil de consumo de água mensal do bairro Palmela.

5.2 COMPARAÇÃO DOS DADOS DE PRESSÃO

5.2.1 Dados de pressão obtidos na campanha de 2010

Na Tabela 27 pode-se verificar as informações de pressão média em cada ponto de medição e suas respectivas cotas. E na Figura 98 a variação dos dados da mesma medição por cota.

Tabela 27 - Dados de pressão dos medidores na campanha em 2010.

	Entrada	Nó 87	Nó 82	Nó 5	Nó 48
Pressão máxima (mca)	91,98	96,41	69,04	91,50	38,96
Pressão média (mca)	82,78	78,41	36,66	77,21	29,51
Pressão mínima (mca)	38,10	34,15	1,84	34,40	1,20
Cota (m)	884,0	884,0	924,0	885,0	925,0

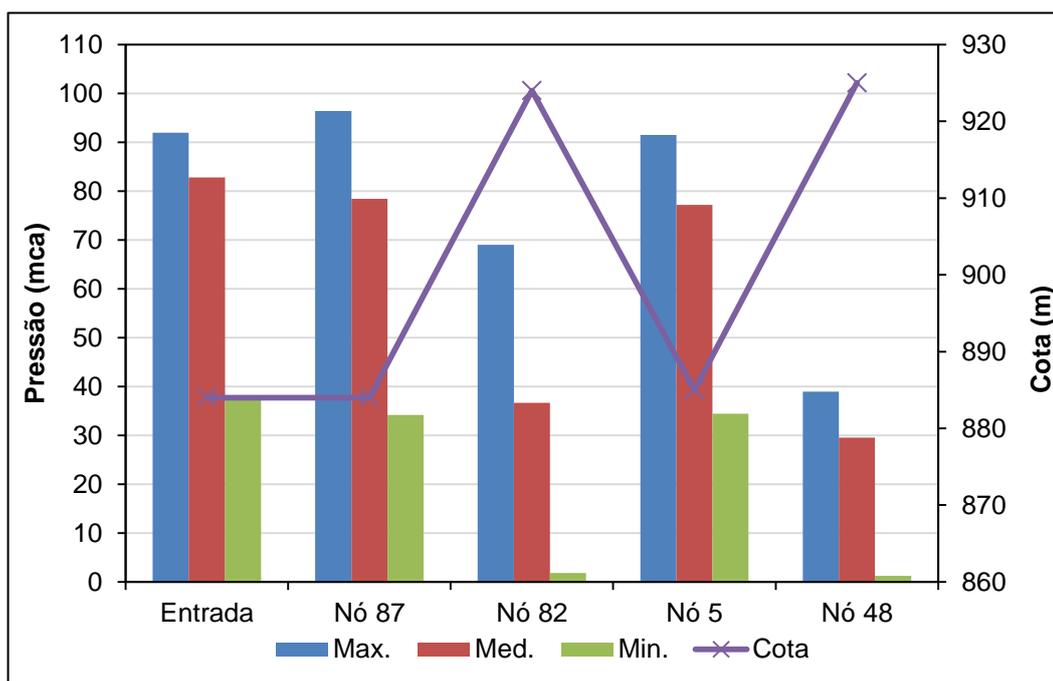


Figura 98 - Gráfico dos dados de pressão mínima, média e máxima de cada ponto de medição e a cota dos medidores em 2010.

Observando os pontos de coleta de dados, a Entrada, o nó 87 e o nó 48 que apresentam cotas semelhantes, apresentam consequentemente uma variação na pressão bem semelhante. Já os nós 82 e 48 que possuem uma cota bem elevada,

apresentam valores de pressão bem mais baixos que os outros pontos de medição. Mostrando assim coerência nos dados obtidos.

5.2.2 Dados de pressão obtidos na campanha de 2012

Na Tabela 28 podem-se verificar as informações de pressão média obtida em cada ponto nesta campanha e sua respectiva cota. Já na Figura 99 pode-se observar a variação da pressão e as cotas.

Tabela 28 - Dados de pressão dos medidores na campanha em 2010.

	Entrada	82	8	16	52	33
Pressão máxima (mca)	87,85	77,51	45,91	91,79	77,69	56,84
Pressão média (mca)	83,63	46,97	37,78	81,51	70,17	50,95
Pressão mínima (mca)	54,79	15,23	8,04	48,73	22,31	23,76
Cota (m)	884,0	924,0	880,0	924,0	918,0	885,0

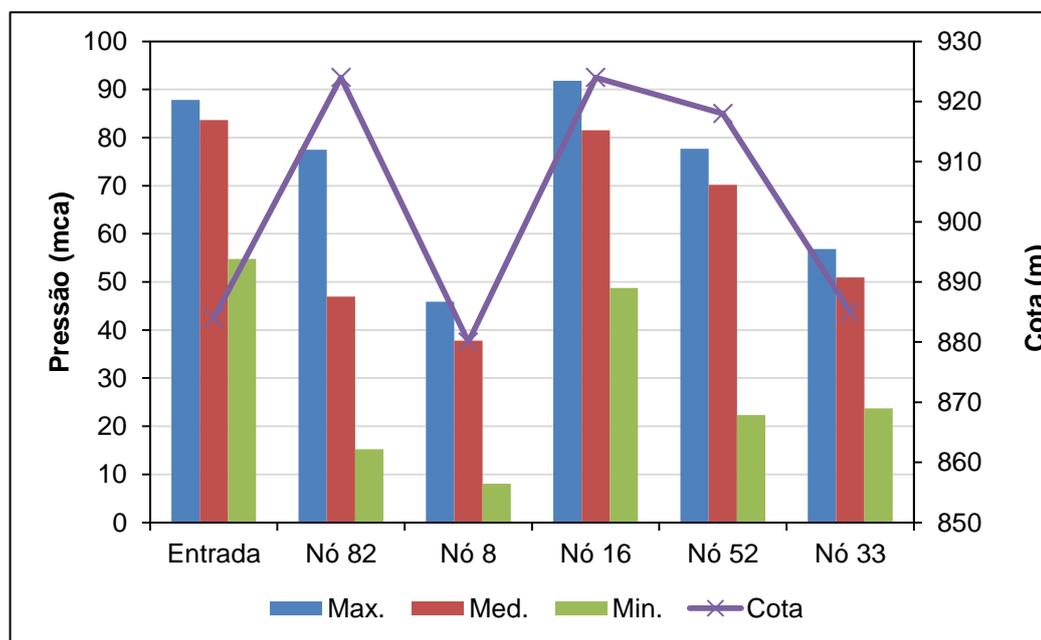


Figura 99 - Gráfico dos dados de pressão mínima, média e máxima de cada ponto de medição e sua cota dos medidores em 2012.

Nesta campanha, ao observar os dados, percebe-se que a Entrada, o nó 8 e o nó 33 apresentam cotas próximas, mas ainda há uma diferença entre elas. Enquanto na entrada a pressão apresenta-se bem elevada, nos outros (nó 8 e 33) apresentam pressões mais baixas, isso deve-se ao fato de estarem bem distante da entrada do sistema e conseqüentemente uma perda de carga maior.

Já os outros nós (86, 52 e 16) apresentam valores próximos e altos de cota, portanto pressões um pouco mais baixas que os outros pontos de medição.

5.2.3 Comparação dos dados de pressão obtidos nas campanhas

Com a localização dos pontos medidos, em ambas as campanhas, e suas respectivas cotas, relacionaram-se pares de medições para análise e verificação do comportamento da rede (Tabela 29). Verificando assim, se houve grandes mudanças no comportamento da rede em relação às campanhas e a possível utilização dos dados de vazão do ano de 2010.

Tabela 29 - Dados de cota dos locais medidos e comparados.

Dados de pressão 2010		Dados de pressão 2012	
Nó	Cota	Nó	Cota
Entrada	884	Entrada	884
87	884	33	885
82	924	82	924
5	885	8	880
48	925	52	918

Na Figura 100 a Figura 104 ilustra-se a comparação dos dados de medições realizadas em 2010 e 2012.

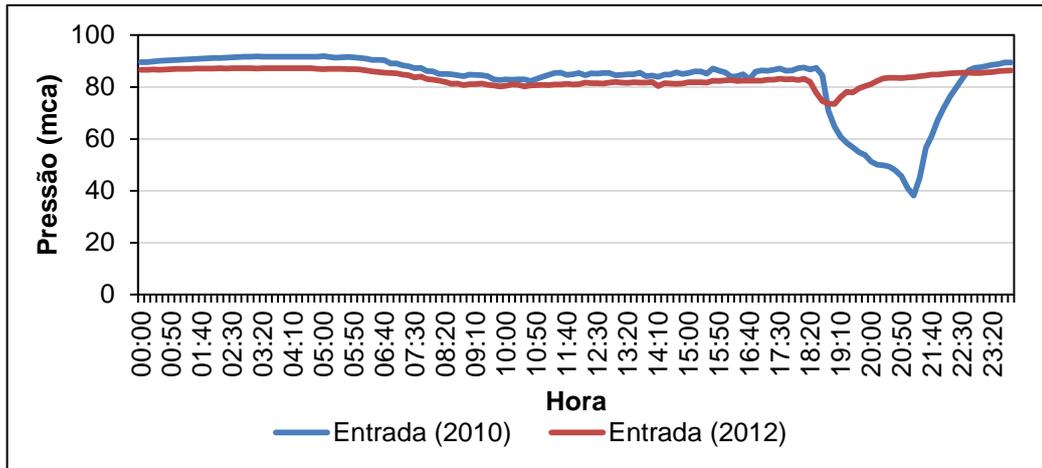


Figura 100 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição na entrada do sistema.

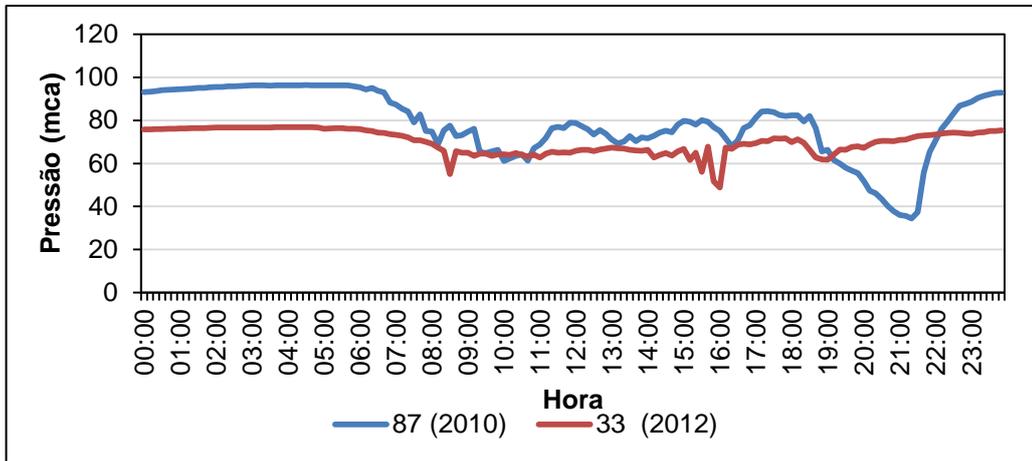


Figura 101 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição nos nós 87 e 33.

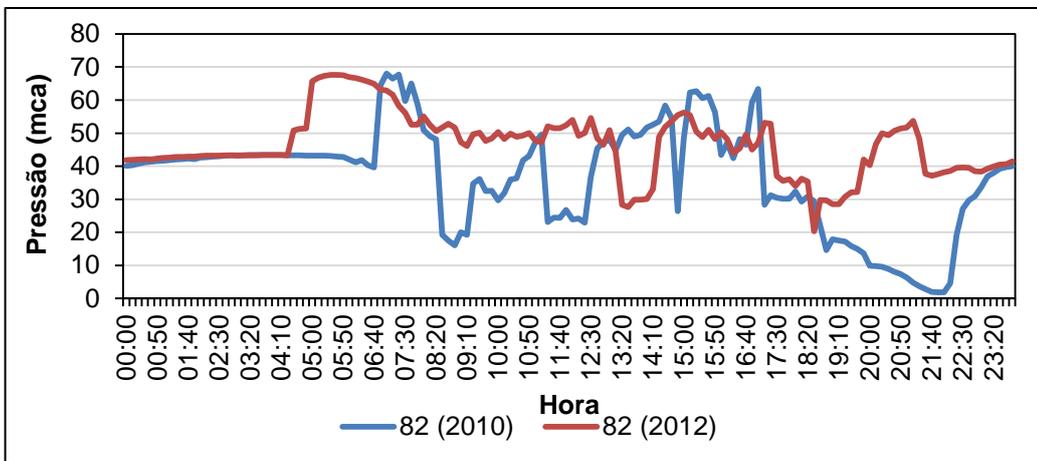


Figura 102 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição no nó 82.

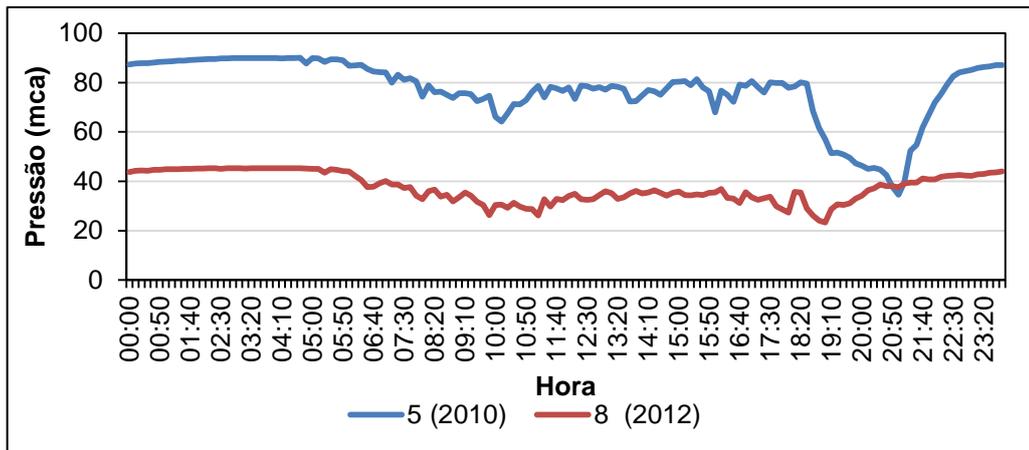


Figura 103 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição nos nós 5 e 8.

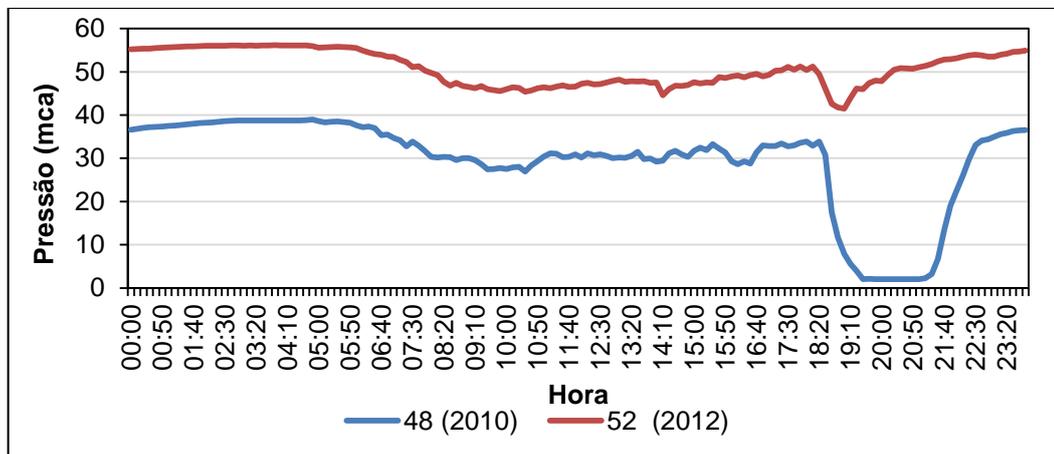


Figura 104 - Comparação dados 2010 e 2012 da medição nos nós 48 e 52.

Após a comparação nos gráficos, pode-se observar que o comportamento é muito semelhante, não havendo grandes alterações entre os anos das campanhas. Entre os nós 5 e 8 e os nós 48 e 52, percebe-se diferenças na magnitude dos dados, mas o comportamento continuou semelhante. Trazendo, desta forma, uma maior confiabilidade na utilização dos dados de 2010 para análise desejada do sistema.

5.3 DADOS DE VAZÃO

Com os dados obtidos na campanha de 2010 pode-se analisar a variação horária da vazão, como na Figura 105. Observa-se que nos horários de uso há uma boa variação da vazão (entre 5:00 – 22:00 hs). Mas nos picos a variação entre a máxima e a mínima da vazão são bem distante, como às 14:00 e 21:00 hs. E na

madrugada, considerado o horário de menor consumo quase não havendo diferença entre máxima e mínima (dados entre 0 - 5hs e a partir das 23hs).

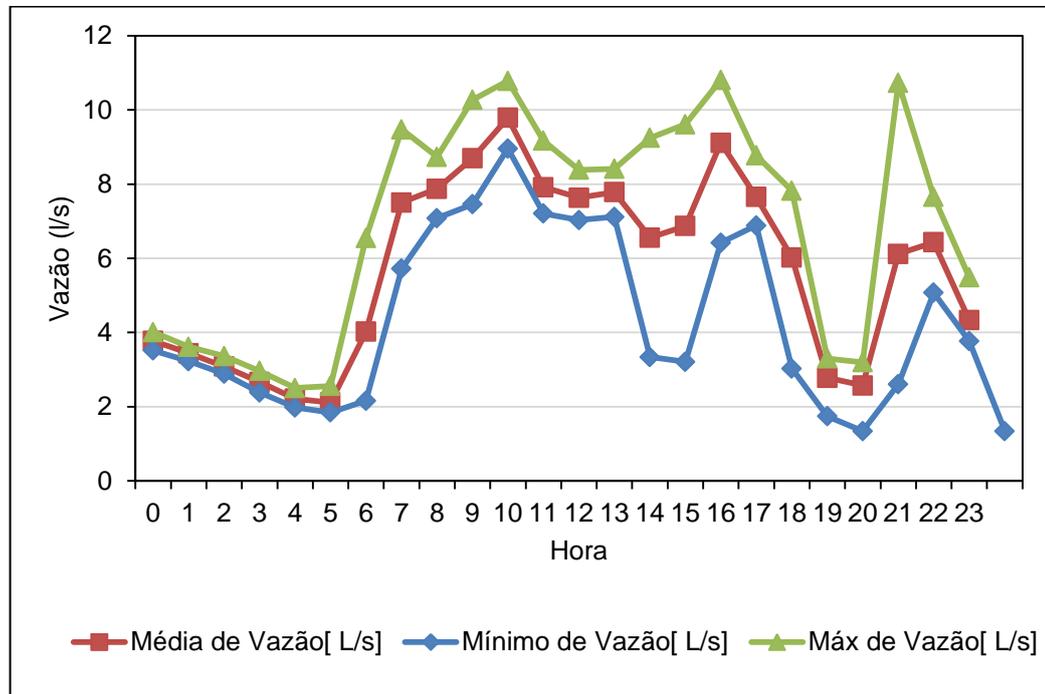


Figura 105 - Variação dos dados de vazão mínima, média e máxima horária na entrada do sistema.

5.4 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Na Figura 106 e Figura 107 pode-se observar o comportamento da rede de distribuição e a variação espacial da pressão e consumo nos nós através de isolinhas de toda a rede de distribuição de água dos bairros.

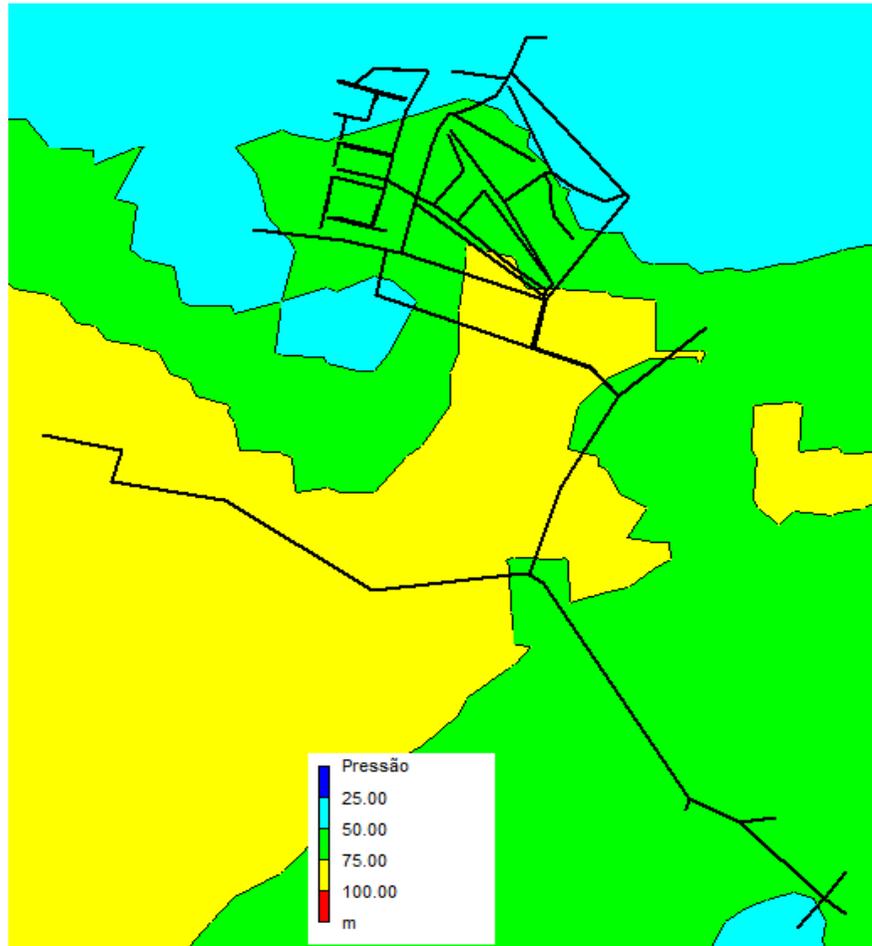


Figura 106 - Variação da pressão nodal representada através de isolinhas.

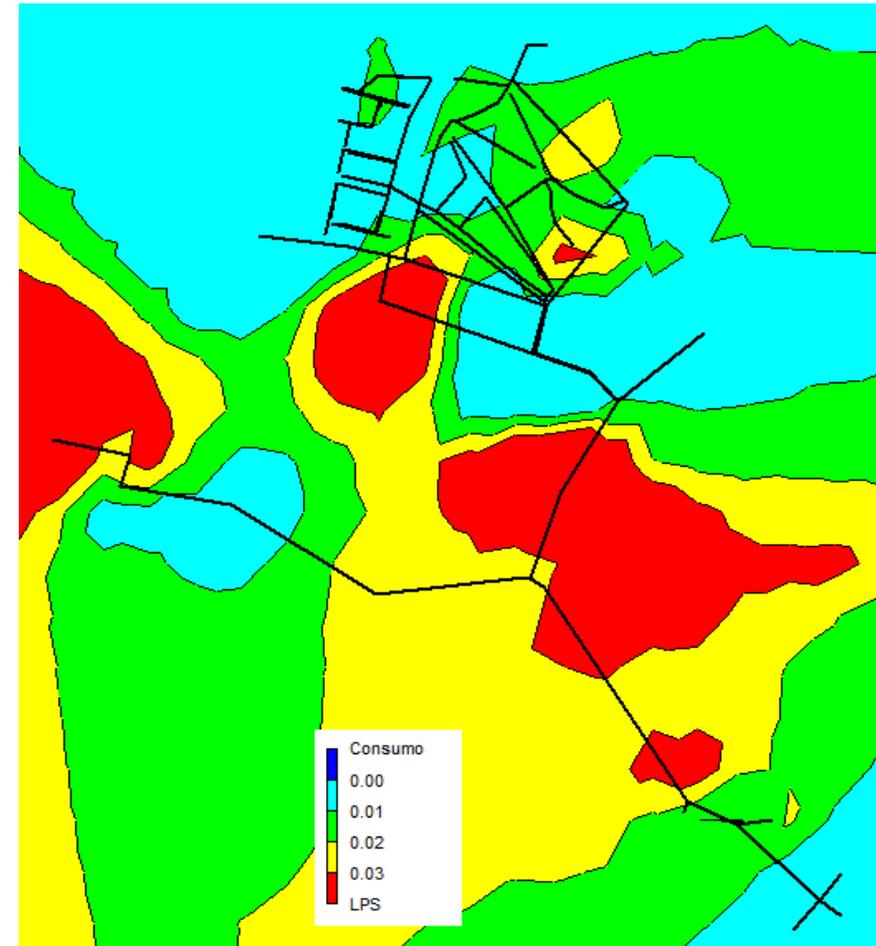


Figura 107 - Variação do consumo nodal representado através de isolinhas.

5.5 PERDAS

Com o intuito de se analisar as perdas que ocorrem no sistema estudado, foram calculados indicadores, que mostram o comportamento do sistema em relação às perdas, e depois com base na vazão mínima noturna.

5.5.1 Índice de perdas

Baseado nos volumes de água citados no item 4.4.7, do sistema de abastecimento, foi possível através destes o cálculo do índice percentual de perdas pela Equação 1.

$$IPD = \frac{V_{Dist} - V_{Util}}{V_{Dist}}$$

Assim, segundo os dados da Tabela 21, foi possível obter os seguintes índices de perdas mensais e médios como na Tabela 30.

Tabela 30 - Índice de perdas mensais calculados.

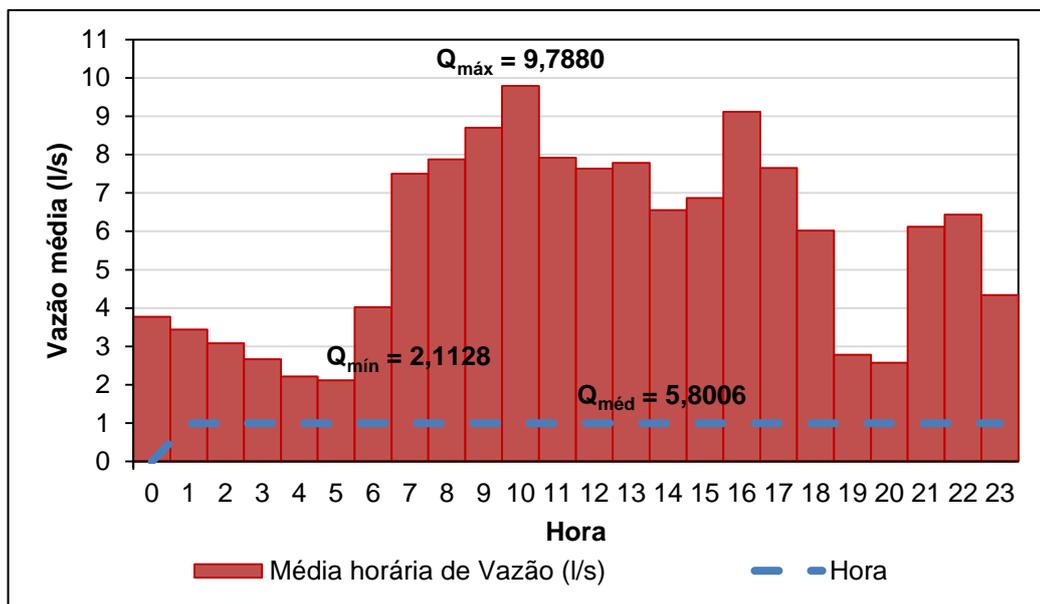
Meses	IPD	Meses	IPD
abr/12	7,58%	out/12	35,79%
mai/12	34,89%	nov/12	29,19%
jun/12	33,65%	dez/12	42,54%
jul/12	41,32%	jan/13	28,60%
ago/12	31,75%	fev/13	29,14%
set/12	25,00%	Média	30,86%

5.5.2 Fator de pesquisa

Neste trabalho a vazão mínima noturna encontra-se nos horários de 4 e 5 horas da manhã. Assim, com base nos dados da Tabela 31 e Figura 108, encontrou-se o valor do fator de pesquisa para o sistema em estudo.

Tabela 31 - Dados de vazão para a determinação do fator de pesquisa.

Vazão	Valores (l/s)
Mínima diária	1,3430
Média diária	5,8006
Máxima diária	10,8055
Mínima às 4hs	1,9807
Mínima às 5hs	1,8452

**Figura 108** - Gráfico na determinação de valores para o cálculo do fator de pesquisa.

Segundo a Equação 6 tem-se que:

$$FP_{4hs} = \frac{1,9807}{5,8006} = 0,3415$$

$$FP_{5hs} = \frac{1,8452}{5,8006} = 0,3181$$

5.5.3 Vazão de perdas

Com os dados de pressão média horária (Tabela 22 e Tabela 23) juntamente com as informações de pressão e vazão, referentes às campanhas apresentadas na Tabela 32 pode-se calcular a vazão de perdas diária. Deve-se ressaltar ainda que para a realização dos cálculos considerou-se a vazão legítima noturna como nula, ou seja, não há consumos nos horários de mínimo consumo. Reforçando que o valor mínimo noturno apresentado considera-se praticamente como perdas.

Tabela 32 – Dados de pressão e vazão das campanhas de 2010 e 2012.

Dados	Dados P 2010 e Q 2010	Dados P 2012 e Q 2010
p ₄₋₅ (mca)	71,78	68,71
N ₁	1,50	1,50
FND (horas/dia)	19,03	20,41
Q _L (l/s)	0,00	0,00
Q _{min not} (l/s)	1,85	1,85
Q _{min not} (m ³ /h)	6,64	6,64
Q _{perdas} (m ³ /dia)	126,44	135,55
Q _{perdas} (l/dia)	126437,91	135548,30

No ANEXO I e J estão os dados calculados com base na metodologia escolhida para ambas às campanhas. Relembrando que foram realizadas duas correlações de informações devidas às duas campanhas utilizadas complementarmente para o estudo. Sendo a primeira que correlacionou dados de pressão e vazão da campanha de 2010 e a segunda com dados de vazão da campanha de 2010 e pressão de 2012. Nestes pode-se ainda verificar a compatibilidade de informações, obtendo resultados bem próximos e coerentes.

Na Figura 109 e Figura 110 pode-se verificar a variação do FND (fator) com o volume perdido horário e a linha de tendência.

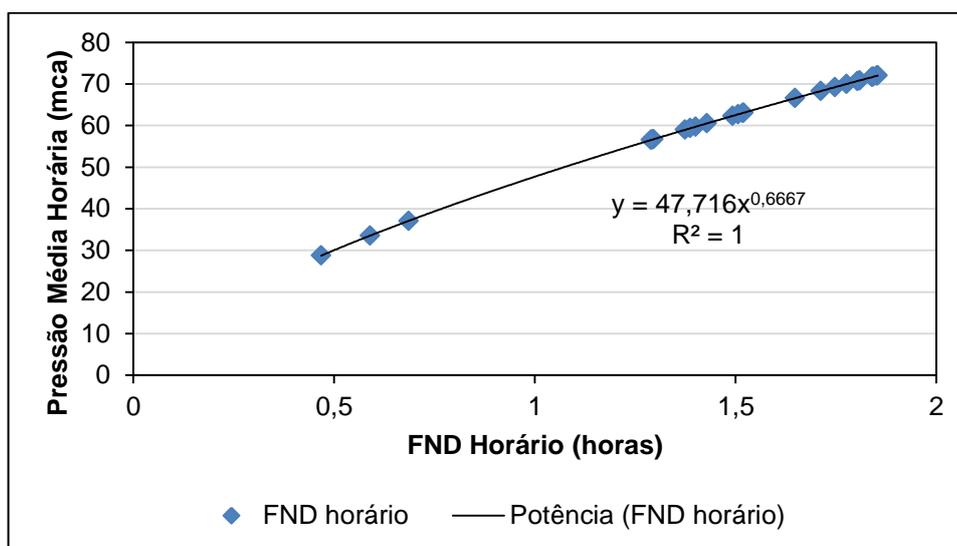


Figura 109 – Relação entre pressão média horária e o fator FND com dados de pressão e vazão de 2010.

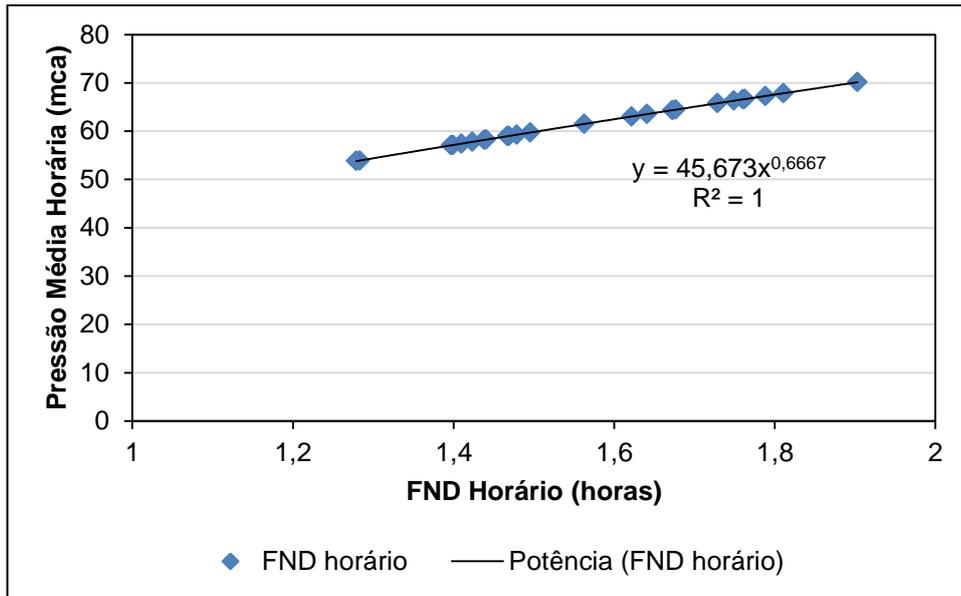


Figura 110 – Relação entre pressão média horária e o fator FND com dados de pressão de 2012 e vazão de 2010.

Na Figura 111 e Figura 112 observa-se a variação do volume de perda horária em relação à variação da pressão média horária. No qual se observa que quanto maior a pressão no sistema de distribuição de água maior a vazão de vazamento, ou seja, a perda de água no sistema.

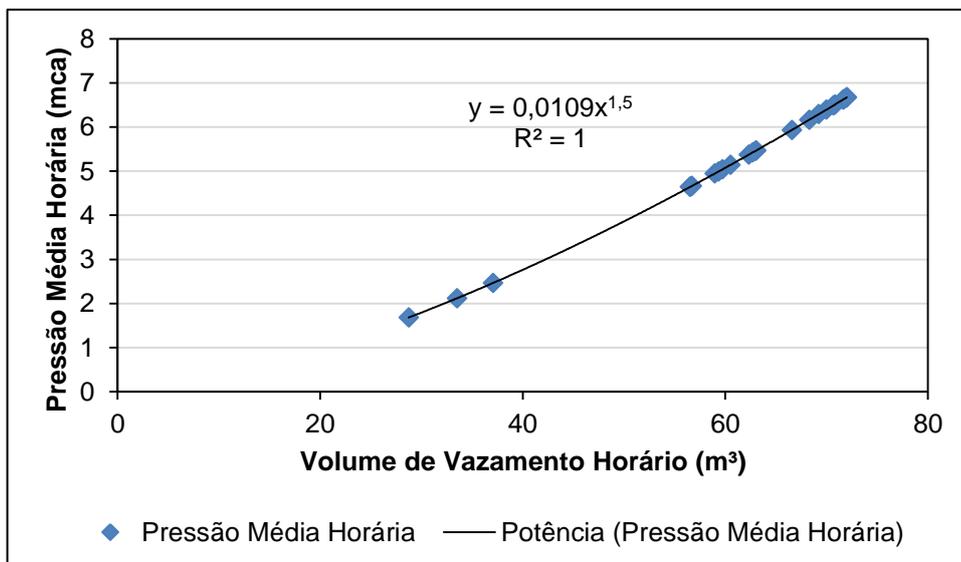


Figura 111 – Relação entre pressão média horária e o volume de vazamento com dados de pressão e vazão de 2010.

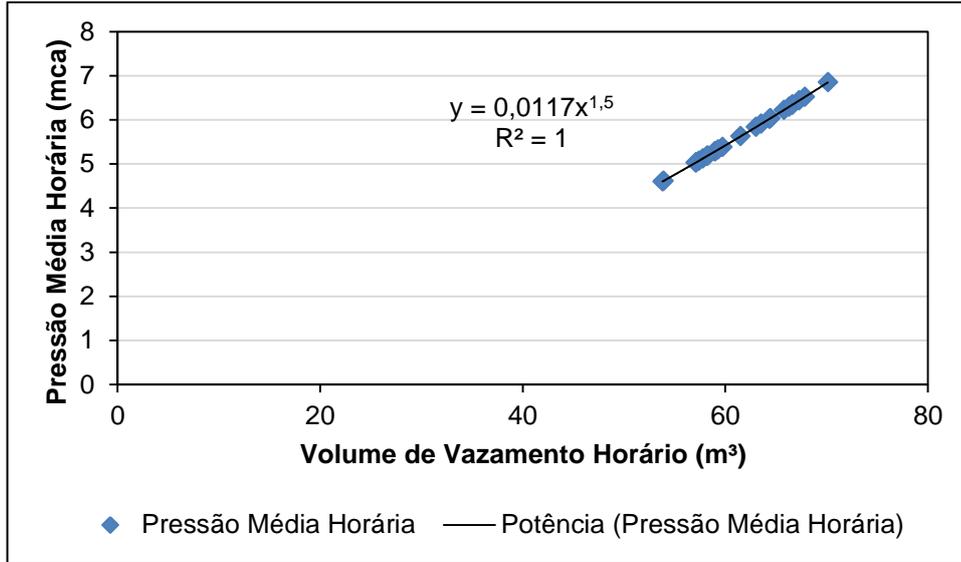


Figura 112 – Relação entre pressão média horária e o volume de vazamento com dados de pressão de 2012 e vazão de 2010.

O comportamento da variação da pressão média e do volume perdido com o horário pode ser verificado na Figura 113 e Figura 114. Observa-se a compatibilidade de informações, coerência e que os maiores valores de perdas encontram-se entre 4:00 e 5:00 hs da manhã.

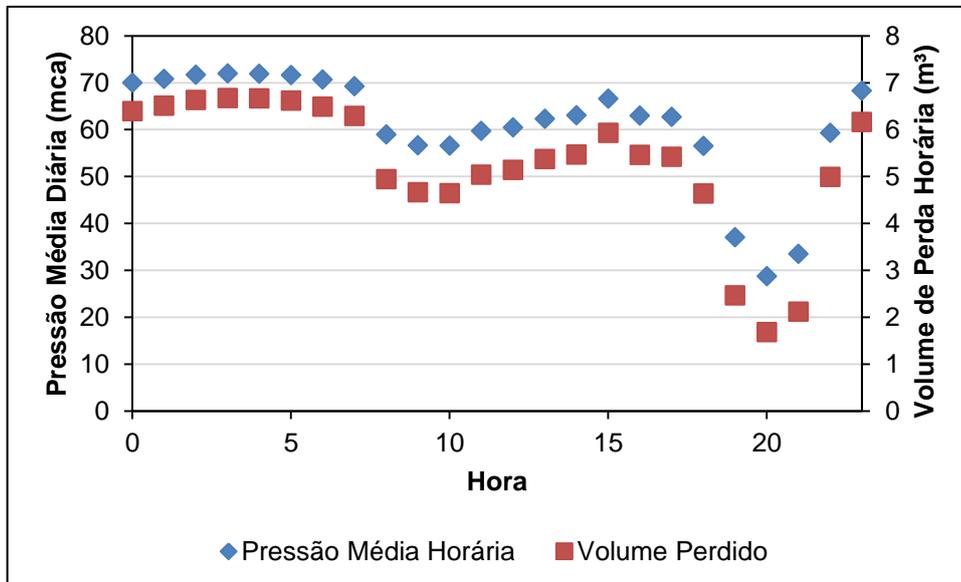


Figura 113 – Relação entre pressão média, volume perdido e hora com dados de pressão e vazão de 2010.

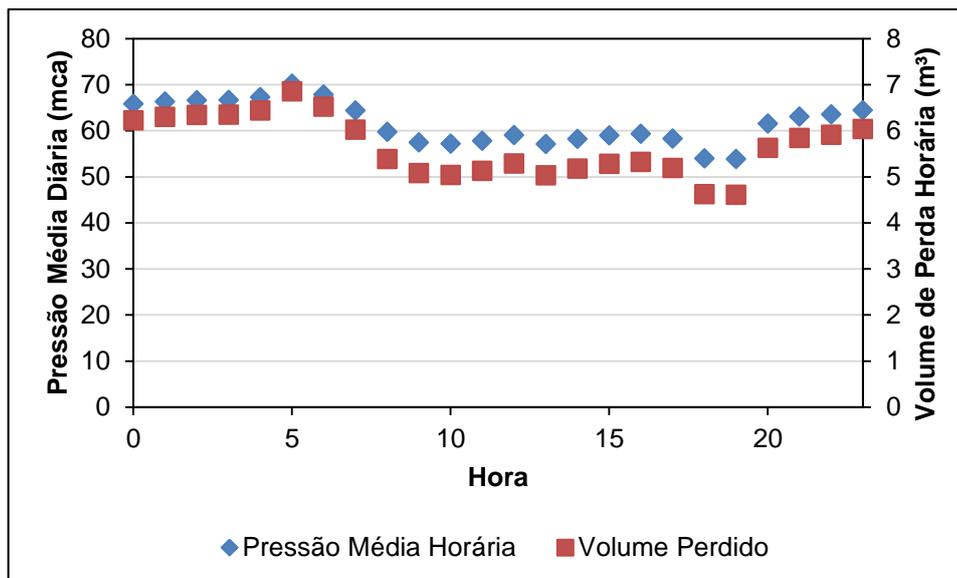


Figura 114 – Relação entre pressão média, volume perdido e hora com dados de pressão de 2012 e vazão de 2010.

Obteve-se um volume de perda diário em torno de 126,44 m³/dia e 135,55 m³/dia nos três bairros estudados, obtendo respectivamente a porcentagem de perda em torno de 25,64% e 27,49%.

5.6 CUSTOS ENERGÉTICOS DO VOLUME CONSUMIDO

Através da metodologia apresentada, no item 4.10, com os dados referentes a custos para o abastecimento e distribuição de água de cada bairro, obteve-se os custos proporcionais ao consumo de água de cada bairro. Sendo os custos parciais mensais, calculados pela Equação 18, referentes à captação e ao bombeamento apresentado no ANEXO N; em relação à estação elevatória de água calculada pela Equação 19 no ANEXO O; e gastos totais, calculados pela Equação 20, no ANEXO P.

A divisão proporcional, dos custos referentes à captação e ao tratamento da água foi realizada com base apenas nos bairro abastecidos pela estação elevatória Solar dos Lagos (Figura 115). Deve-se lembrar de ainda que os dados de custos na estação de tratamento de água referem-se apenas ao gasto energético para a realização do tratamento e não o gasto com produtos químicos e outros.

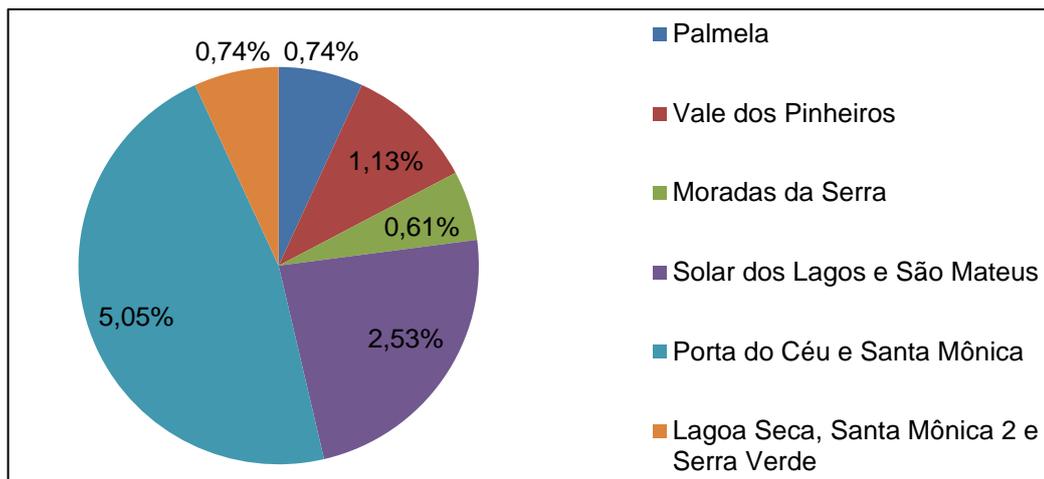


Figura 115 - Gráfico da porcentagem referente aos bairros do custo de captação e tratamento de água.

Fonte: Lamoglia, H. A. (2013).

Já a divisão em relação aos custos referente apenas à estação elevatória Solar dos Lagos esta apresentada na Figura 116.

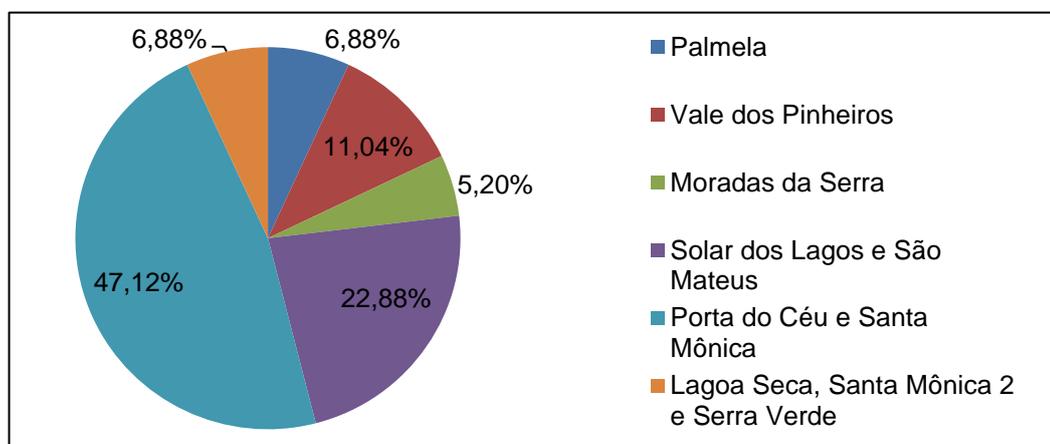


Figura 116 - Gráfico da porcentagem referente aos bairros do custo da estação elevatória Solar dos Lagos.

Fonte: Lamoglia, H. A. (2013).

Tanto em relação ao custo referente à captação e tratamento (Figura 117) quanto ao custo referente à estação elevatória Vila Nova (Figura 118) a porcentagem dos três bairros estudados estão em torno de 2,48% a 2,52% do custo total do sistema.

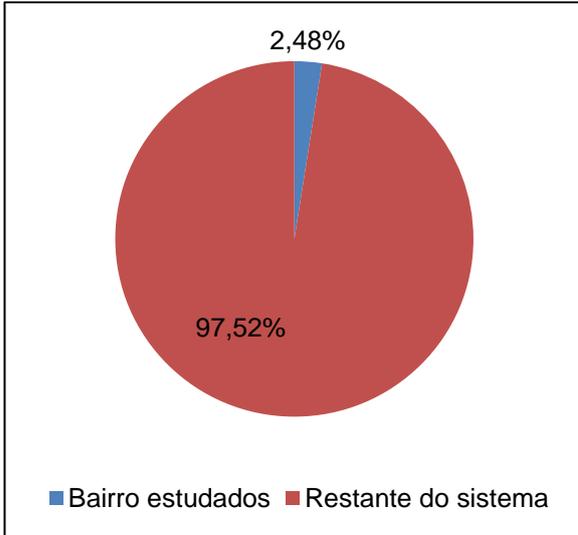


Figura 117 - Gráfico da porcentagem de custo energético em relação ao custo total na captação e ETA.

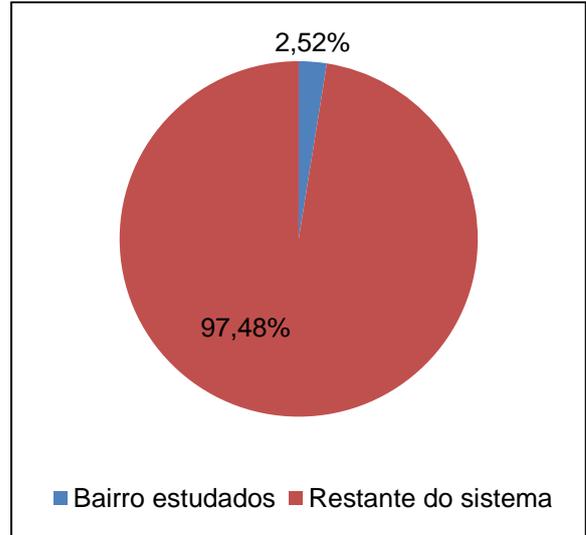


Figura 118 - Gráfico da porcentagem de custo energético em relação ao custo total na EEA.

Dados de custos totais e suas variações mensais referentes (captação, tratamento da água e estação elevatória) ao volume consumido, obtidos com base na proporção de consumo de água dos bairros estudados, estão apresentados na Figura 119 e seus dados no ANEXO P.

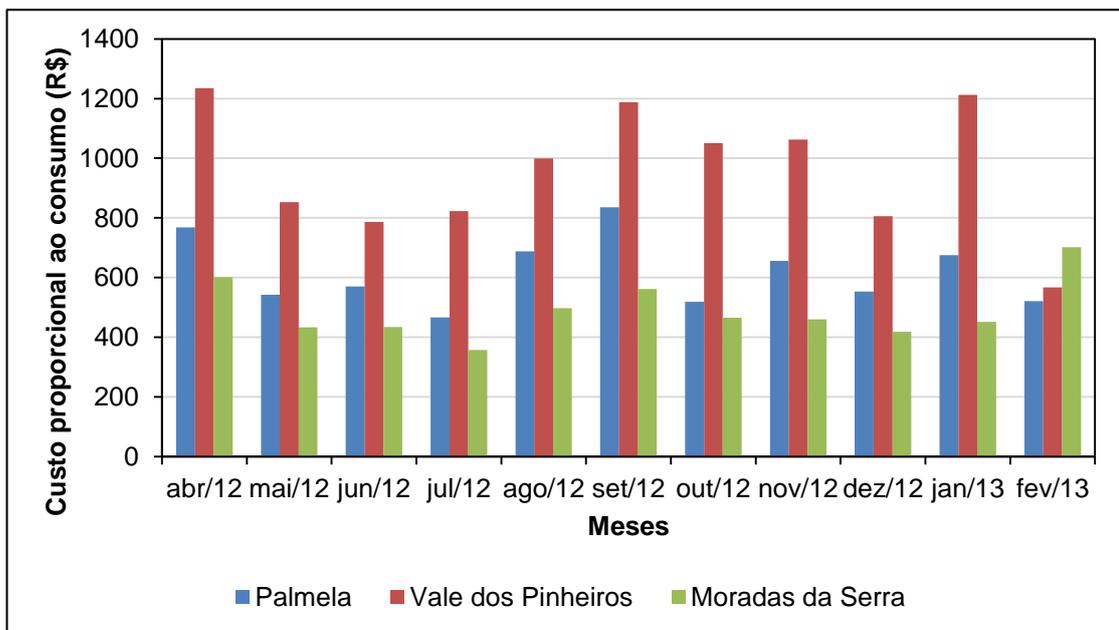


Figura 119 - Gráfico da variação mensal dos custos totais para o consumo dos bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.

Com os dados de volume total captado e distribuído pela empresa, juntamente com os custos totais (captação, tratamento e estação elevatória dos bairros estudados) calculou-se o valor do custo unitário apresentado na Tabela 33 e sua variação na Figura 120.

Tabela 33 - Custo total mensal e médio por m³ consumido.

Meses	Custo (R\$/m ³)	Meses	Custo (R\$/m ³)
abr/12	0,27	out/12	0,19
mai/12	0,20	nov/12	0,23
jun/12	0,22	dez/12	0,20
jul/12	0,20	jan/13	0,20
ago/12	0,22	fev/13	0,18
set/12	0,24	Média	0,21

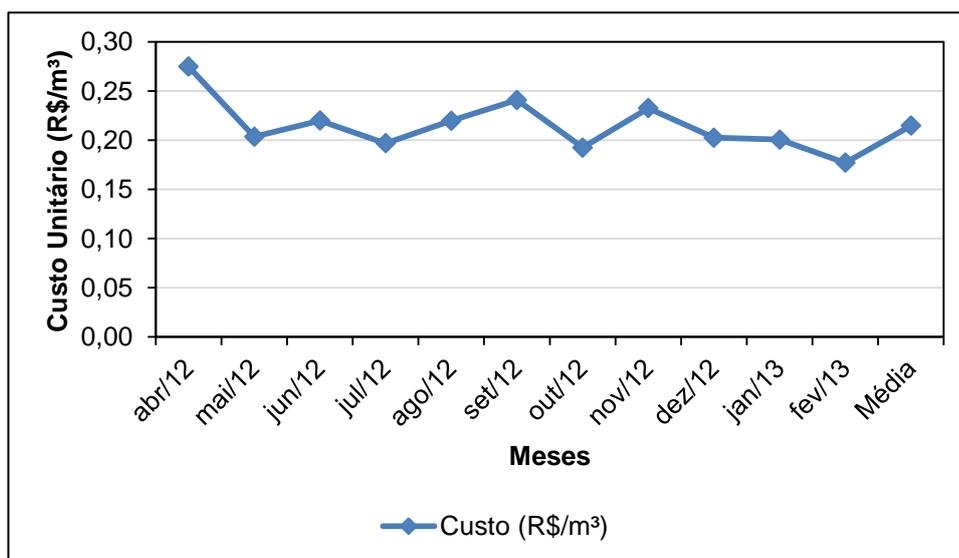


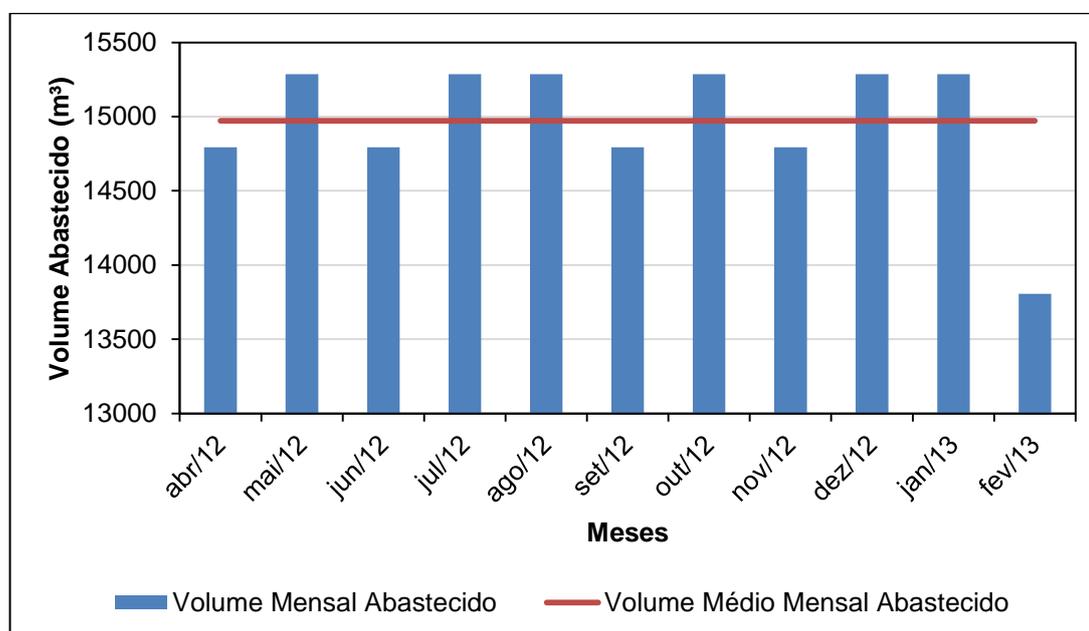
Figura 120 - Gráfico da variação mensal dos custos unitários para o consumo dos bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.

5.7 CUSTOS ENERGÉTICOS DOS VOLUMES PERDIDOS

Para a determinação do volume afluente nos três bairros estudados utilizou-se os dados de vazão obtidos na campanha de 2010. Como a vazão de abastecimento é de 5,71 (l/s), obtém-se um volume diário de 493,10 (m³). Com estes dados estimou-se os volumes mensais, na Tabela 34 e Figura 121.

Tabela 34 - Volume mensal afluyente dos bairros (m³).

Mês	Dias	Volume (m ³)	Mês	Dias	Volume (m ³)
abr/12	30	14793,02	out/12	31	15286,12
mai/12	31	15286,12	nov/12	30	14793,02
jun/12	30	14793,02	dez/12	31	15286,12
jul/12	31	15286,12	jan/13	31	15286,12
ago/12	31	15286,12	fev/13	28	13806,82
set/12	30	14793,02	Média		14972,32

**Figura 121** - Gráfico da variação mensal do volume abastecido para os bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.

Na obtenção do custo proporcional ao volume consumido pelos bairros estudados utilizou-se a Equação 23 e Equação 24 e obteve-se o custo total. Seus resultados estão apresentados no ANEXO Q e Figura 122.

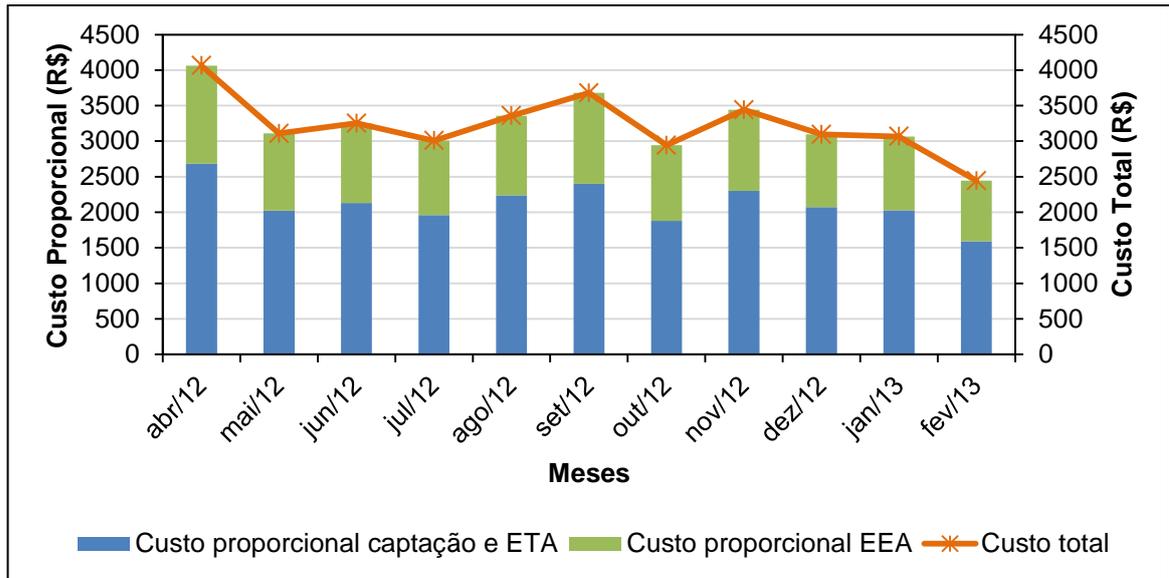


Figura 122 - Gráfico dos custos proporcionais e totais com base no volume abastecido para os bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.

Para a determinação dos custos unitários utilizou-se a Equação 25 para o cálculo. E seu resultado está apresentada na Tabela 35 e Figura 123.

Tabela 35 - Custo unitário para os bairros estudados.

Mês	Custo (R\$/m ³)	Mês	Custo (R\$/m ³)
abr/12	0,27	out/12	0,19
mai/12	0,20	nov/12	0,23
jun/12	0,22	dez/12	0,20
jul/12	0,20	jan/13	0,20
ago/12	0,22	fev/13	0,18
set/12	0,24	Média	0,21

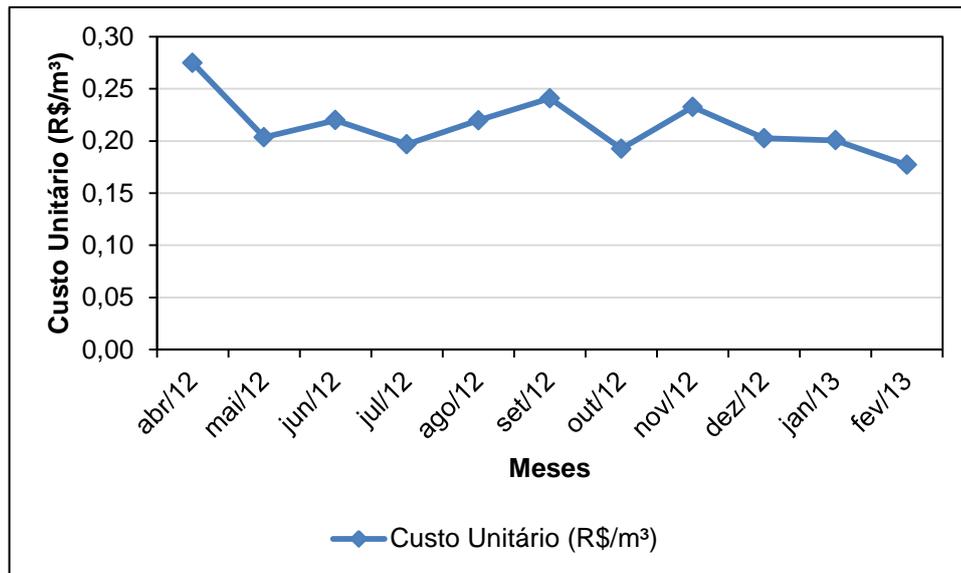


Figura 123 - Gráfico da variação mensal dos custos unitários para o volume abastecido nos bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra.

Para o cálculo do custo do volume perdido (Equação 26) multiplicou-se a porcentagem de perda obtida através da relação do volume perdido e volume abastecido. Sendo o valor de 25,64% para a relação usando os dados de pressão e vazão de 2010 e 27,49% para os dados de pressão de 2012 e vazão 2010. Os resultados podem ser observados na Figura 124 e Figura 125 (Tabela 36).

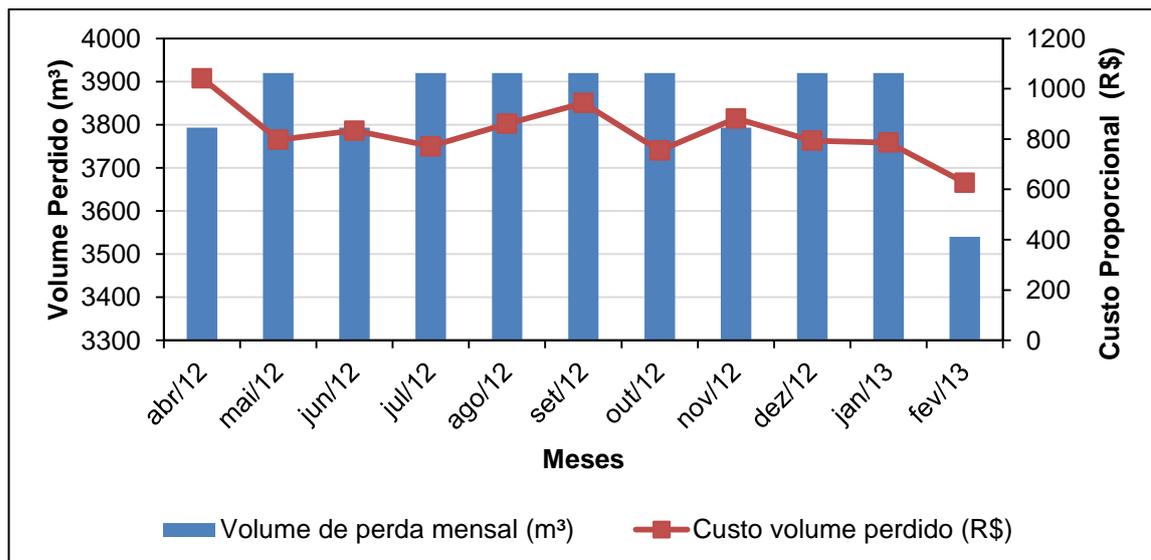


Figura 124 - Gráfico da variação mensal do volume perdido e seu respectivo custo com dados de pressão e vazão de 2010.

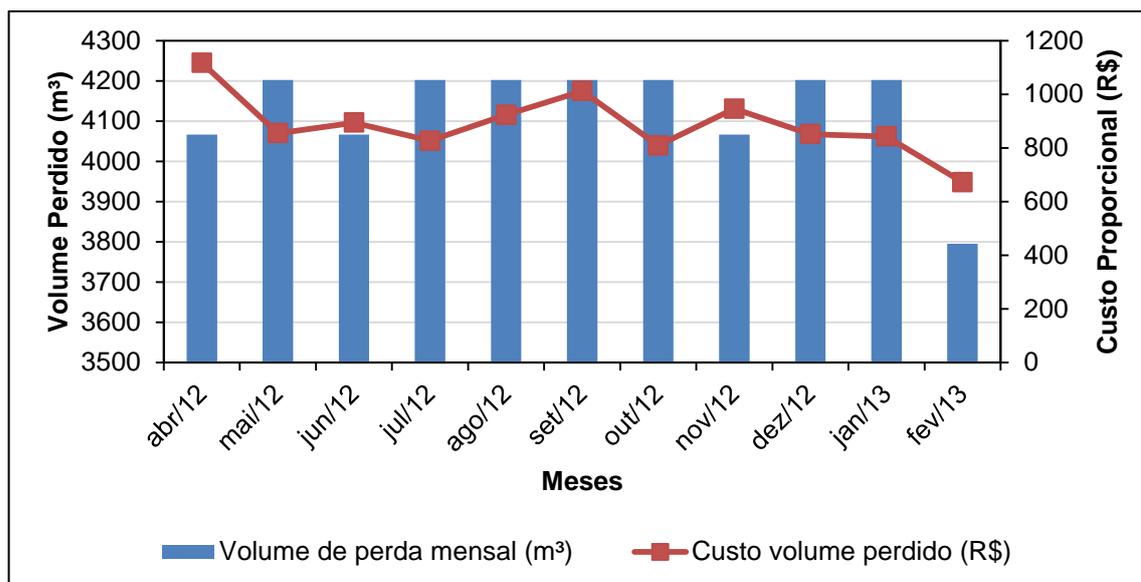


Figura 125 - Gráfico da variação mensal do volume perdido e seu respectivo custo com dados de pressão 2012 e vazão de 2010.

Tabela 36 - Volume perdido e seu custo mensal dos bairros estudados.

Mês	Pressão 2010 e Vazão 2010		Pressão 2012 e Vazão 2010	
	Volume de perda mensal (m³)	Custo volume perdido (R\$)	Volume de perda mensal (m³)	Custo volume perdido (R\$)
abr/12	3793,14	1042,11	4066,50	1117,21
mai/12	3919,57	797,45	4202,05	854,92
jun/12	3793,14	833,95	4066,50	894,05
jul/12	3919,57	771,33	4202,05	826,91
ago/12	3919,57	861,07	4202,05	923,12
set/12	3919,57	943,62	4202,05	1011,62
out/12	3919,57	754,42	4202,05	808,79
nov/12	3793,14	882,20	4066,50	945,78
dez/12	3919,57	793,93	4202,05	851,14
jan/13	3919,57	786,22	4202,05	842,88
fev/13	3540,26	626,87	3795,40	672,04

Com os dados de custo e volume de água perdido pode-se obter uma relação que mostra o crescimento exponencial que se tem. Em que, quanto maior for a perda de volume de água também será maior o custo perdido, mesmo que haja pequenas variações nos valores. Como se observa na Figura 126 e Figura 127.

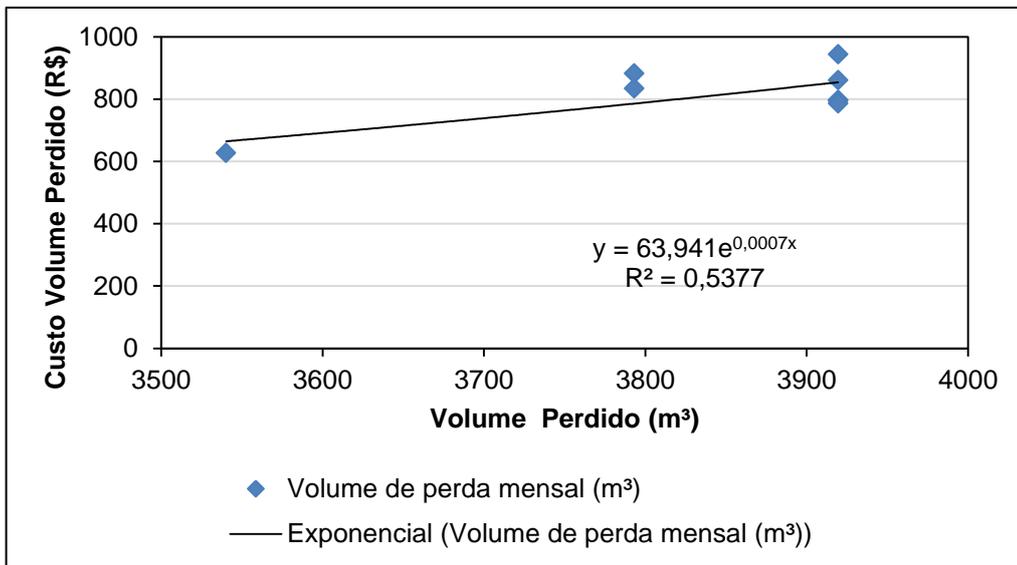


Figura 126 – Correlação do volume perdido e custo com dados de pressão e vazão de 2010.

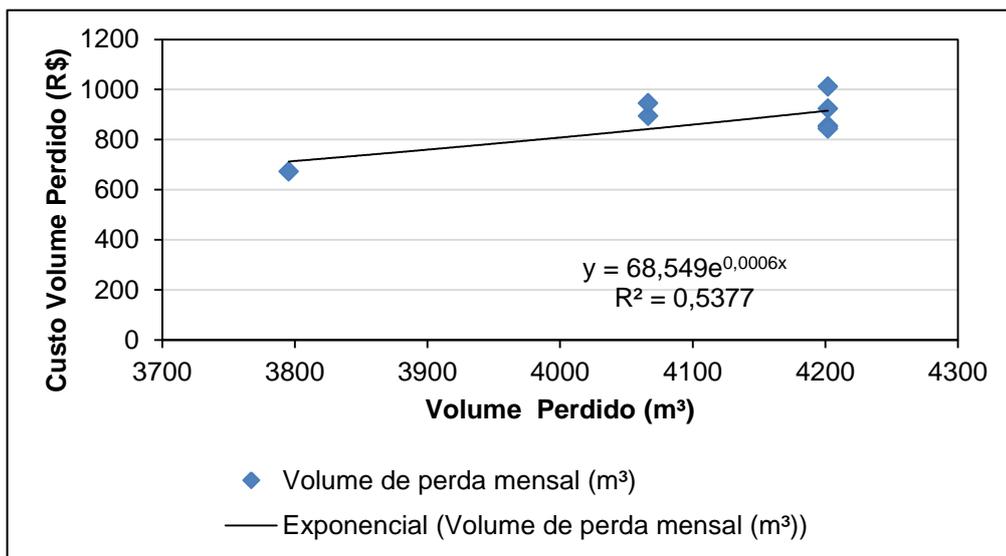


Figura 127 – Correlação do volume perdido e custo com dados de pressão 2012 e vazão de 2010.

Assim, com a finalidade de se destacar a importância da perda do recurso hídrico e de recursos financeiros, estimou-se os dados apresentados na Tabela 37, Figura 128 e Figura 129. Ressaltando que o custo unitário médio considerado para a estimativa é de 0,215 (R\$/m³).

Tabela 37 - Volume perdido e seu custo mensal dos bairros estudados.

Dados	Pressão 2010 e Vazão 2010	Pressão 2012 e Vazão 2010
	Volume Perdido (m ³)	
Diário	126,44	135,55
Mensal	3850,61	4128,11
Anual	46207,30	49537,36
	Custo Perdido (R\$)	
Diário	27,18	29,14
Mensal	827,88	887,54
Anual	9934,57	10650,53

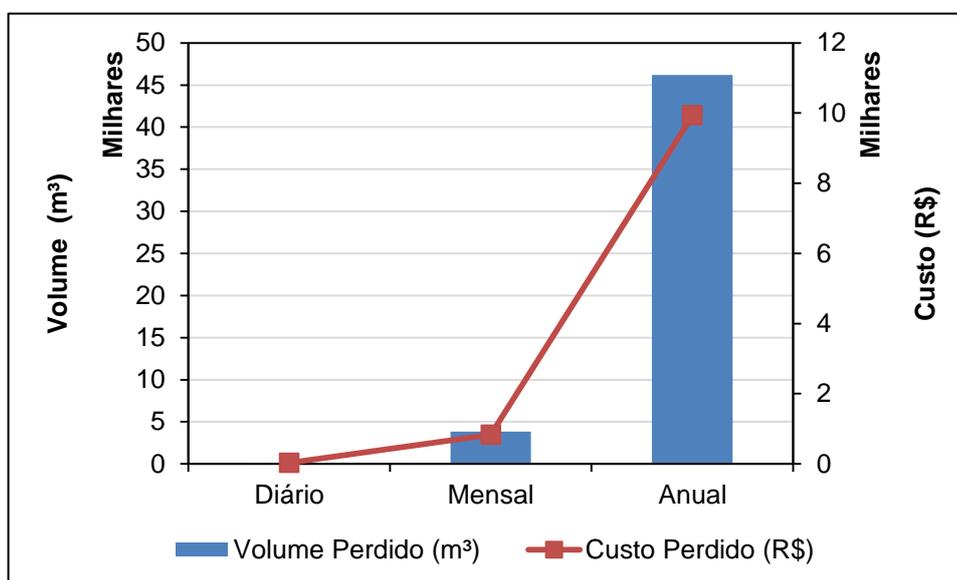


Figura 128 – Estimativa do volume perdido e custo com dados de pressão e vazão de 2010.

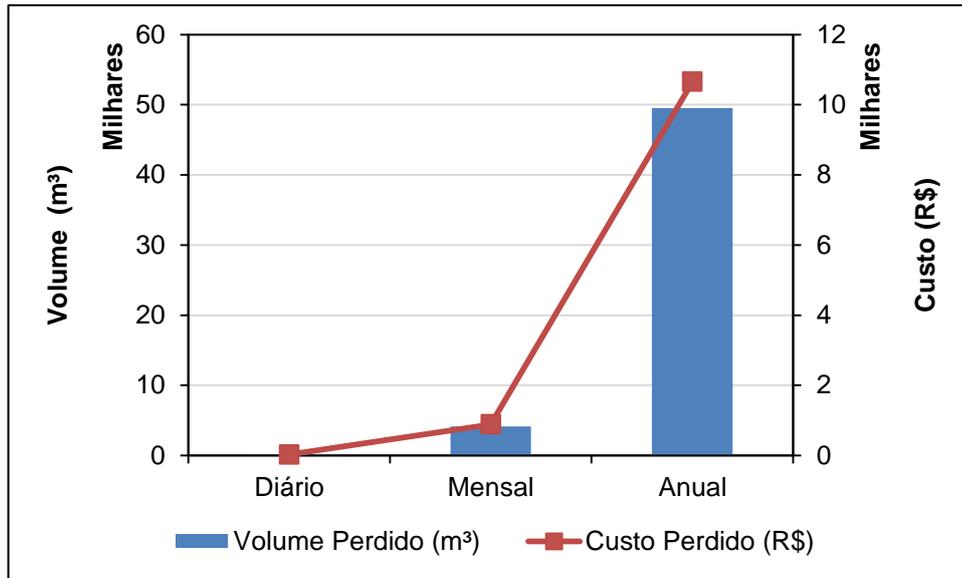


Figura 129 – Estimativa do volume perdido e custo com dados de pressão de 2012 e vazão de 2010.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo apresentou resultados esperados, como a obtenção da relação entre perda de água num determinado sistema de abastecimento (ou subsistema), com custos energéticos. Mostrando a importância de pesquisas e estudos sobre perdas e sobre a busca da sua redução, objetivando sempre a otimização do uso.

Para a realização do estudo, as campanhas de campo foram fundamentais para o conhecimento da rede, do funcionamento e das características das áreas trabalhadas. Além da possibilidade de medição de dados. As medições de pressão realizadas na campanha de 2012 ao serem comparadas com os valores medidos no ano de 2010 apresentaram compatibilidade e coerência. Trazendo uma maior veracidade nos dados trabalhados e a possibilidade de utiliza-los com o intuito de complementar os estudos, já que não foi possível obter dados de vazão na campanha de 2012.

Ambas as campanhas apresentaram dados de pressão e vazão coerentes com as cotas dos locais de medição e suas variações de acordo com os horários de pico de uso. Ou seja, em locais de cotas elevadas as pressões obtidas encontram-se mais baixa, justificando a utilização do booster na parte mais elevada do sistema, com a finalidade de elevá-la e garantir o abastecimento. Durante os períodos de maior consumo, como os horários das 11:00 as 13:00hs e das 18:00 as 22:00hs, a pressão encontra-se baixa e a vazão elevada. Sendo que o oposto ocorre nos períodos em que o consumo é considerado praticamente zero, neste caso, entre 2:00 – 5:00hs.

Apesar da empresa, que abastece o município de São Lourenço, ter uma política de preservação e constantes estudos em seu sistema, ainda ocorre perdas devido à grande extensão da tubulação, utilização de acessórios, vazamentos não previstos, entre outros. A equipe de Manutenção Preventiva de Redes e Ramais de Água realizam constantes visitas ao sistema e investigações de perdas evitando tempos longos de reparo e aumento nos vazamentos, evitando conseqüentemente uma grande perda de água tratada.

Além disso, estudos têm sido realizados com a finalidade de se obter um sistema mais econômico e eficiente. Como exemplo, pode-se relatar o estudo realizado por Viana (2010), que buscou medir, detectar e estudar todo o sistema de abastecimento do município de São Lourenço com ênfase na análise de

funcionamento dos equipamentos elétricos, estado de conservação, custos de manutenção e gastos com energia elétrica.

Após a realização da maior parte do estudo, compararam-se as tarifas com o intuito de verificar o enquadramento correto e conseqüentemente a obtenção da melhor economia para o sistema. Verificou-se que a tarifa atual utilizada pelo sistema, horo sazonal verde A4, é a mais adequada para uma maior economia de custos com a energia. Para a melhor conservação ou obtenção da melhor eficiência hidroenergética, buscou-se estudar outros meios para a redução do gasto de energia elétrica (VIANA, 2010).

Entretanto, complementarmente ao trabalho anterior, na análise das tarifas nas unidades de captação, tratamento de água e da estação elevatória, pode-se perceber que o remanejamento de funcionamento do sistema ou ainda a operação mais otimizada de reservatórios, evitaria a utilização da energia na hora de ponta. Podendo haver o funcionamento maior durante o horário fora de ponta, evitando-se o horário de ponta que apresenta uma tarifa em torno de 10 vezes mais cara. Ainda na mesma análise, ao se verificar os gráficos de divisão de custos, pode-se perceber que mesmo sendo utilizado menos tempo na hora de ponta, devido ao alto valor da tarifa, já corresponde em cerca de 50% do custo total da energia.

Outro custo bem elevado perceptível é a ultrapassagem na demanda contratada, na qual foi observado nas unidades de captação e estação de tratamento de água. Deve-se verificar a necessidade de aumentar a eficiência das bombas de captação; ou eficiência nos equipamentos elétricos da ETA; ou ainda o manejo adequado citado anteriormente através de reservatórios e estações elevatórias. Evitando assim a ultrapassagem na demanda que apresenta uma tarifa no valor dobrado em relação à tarifa da demanda contratada.

Com a finalidade de estudar as perdas, obtiveram-se indicadores que demonstraram que apesar de baixos valores, há perdas no sistema. Através do índice de perda calculado, na média de 30,86%, pode-se concluir que, segundo Gonçalves e Alvim (2007), há vazamentos economicamente detectáveis no sistema. Já em relação ao fator de perda, obtiveram-se valores de 0,3415 e 0,3181 indicando o mesmo que o índice anterior, enfatizando a presença de perdas no sistema mesmo com toda a política seguida pela empresa.

Nos gráficos que relacionam a pressão média horária do sistema com o valor do fator FND calculado e com o volume de perda pode-se observar coerência

nos dados calculados e boa correlação. Em que, quanto maior for a pressão presente no sistema, maior serão fator FND (perda) e conseqüentemente maior o volume perdido. O mesmo comportamento foi possível verificar no gráfico de pressão, hora e volume perdido. Neste observa-se que entre as 4:00 – 5:00hs há maior valor de pressão no sistema e conseqüentemente, maior volume de perda. Nestes cálculos obteve-se dados de volume perdido diário de 126,44 m³ e 135,55 m³.

Já em relação à porcentagem de perda encontrada, obtida através da relação do volume de água perdido e do volume de água fornecido para os três bairros estudados, em torno de 25,64% e 27,49%. Valores coerentes com os estudos e análise de todo o sistema que apresentam um valor de perda em média de 30,86%, com variação entre 7,58% à 42,54%.

Em relação aos custos, pode-se verificar que o custo referente à captação e ao tratamento tomando como base apenas os bairros estudados representa-se em torno de 2,48% do custo baseado para todo o sistema de abastecimento do município. Sendo que na mesma parte do sistema, os bairros estudados representam o custo em torno de 0,74% no bairro Palmela (R\$ 406,03), 1,13% no bairro do Vale dos Pinheiros (R\$ 649,31) e 0,61% do bairro Moradas da Serra (R\$ 304,17). Já os custos referentes à estação elevatória de água os bairros possuem a porcentagem de 2,52%, sendo 0,75% no bairro Palmela (R\$ 211,65), 1,20% no bairro do Vale dos Pinheiros (R\$ 339,15) e 0,56% do bairro Moradas da Serra (R\$ 158,84).

Em relação ao custo médio unitário, tanto tomando como base tanto o volume consumido pelos bairros quanto o volume perdido calculado, é de 0,21 (R\$/m³). Pode-se então afirmar que os sistemas de distribuição de água dos três bairros estudados apresentam um volume perdido mensal e seu respectivo custo entre 3850,61 m³ (R\$ 827,88) e 4128,11 m³ (R\$ 887,54) e anual entre 46207,30 m³ (R\$ 9934,57) e 49537,36 m³ (R\$ 10650,53).

Assim, recomenda-se sempre a realização de estudos e análises nos sistemas de abastecimento e principalmente distribuição de água, com a finalidade de se buscar sempre a eficiência evitando perdas tanto de recursos financeiros quanto de recurso natural. Essa economia poderá ser obtida através de otimização que é a busca do funcionamento ótimo do sistema considerando todas as

características, necessidades e restrições para o melhor atendimento e fornecimento de água. Este poderá permitir um maior investimento em equipamentos, estruturas e treinamento de funcionários, o que acarretará no melhor funcionamento e controle de todo o sistema.

Á futuros trabalhos recomenda-se estudos mais detalhados na rede com o intuito de buscar a otimização no sistema de distribuição. Otimização possível através de ferramentas computacionais e modelos matemáticos. Trabalhando não apenas com dados da rede de distribuição, mas também com a forma de utilização de dispositivos, considerando tanto a sua localização quanto horas de funcionamento.

Assim, com toda a base de dados desta dissertação, pode-se calibrar a rede de distribuição de água através de modelos computacionais, possibilitando trabalhar com dados mais confiáveis e representativos nas simulações. Com esta representação pode-se partir para a otimização e busca da eficiência hidroenergética.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADANI, L. C. e GARCIA, M. A. Controle de perdas através da micromedição otimizada. In: PLANEJAMENTO, PROJETO, OPERAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O ESTADO DA ARTE E QUESTÕES AVANÇADAS, 2002, João Pessoa. **Anais...** Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2002. p. 18. 1 CD-ROM.

ALBUQUERQUE, E. B.; TAVARES, R. G.; PAZ, D. H. F.; SILVA, R. C. P.; ARAÚJO, G. V. R. Análise do sistema de abastecimento de água no município Abreu e Lima na região metropolitana do Recife. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XIX., 2011, Maceió. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Alagoas, 2011. p. 13. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, S. Q. Técnicas de automação aplicadas ao saneamento básico (Estudo de caso). In: SEMINÁRIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL - SILUBESA, XV., 2012, Belo Horizonte. **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) – Belo Horizonte, 2012. p. 7. 1 CD-ROM.

ARANHA, D. F. R. e SILVA, O. L. C. Investigação do índice de perdas de água no sistema de abastecimento da cidade Boa Vista – RR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVIII., 2009, Campo Grande. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Mato Grosso do Sul, 2009. p. 15. 1 CD-ROM.

ARAÚJO, F. A. S. e MONTENEGRO, S. M. G. L. Avaliação de perdas em setor de abastecimento de água em Cruz de Rebouças, município de Igarassu, estado de Pernambuco. In: PLANEJAMENTO, PROJETO, OPERAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O ESTADO DA ARTE E QUESTÕES AVANÇADAS, 2002, João Pessoa. **Anais...** Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2002. p. 16. 1 CD-ROM.

BARBALHO, F. D. e FORMIGA, K. T. M. Aplicação de algoritmos genéticos na otimização da operação de sistemas de reservatórios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVIII., 2009, Campo Grande. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Mato Grosso do Sul, 2009. p. 20. 1 CD-ROM.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

CARRIJO, I. B. e REIS, L. F. R. Obtenção de estratégias operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água utilizando algoritmos evolucionários, aprendizado de máquina e ordem de preferência. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVI., 2005, João Pessoa. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Paraíba, 2005. p. 20. 1CD-ROM.

CARVALHO, P. S. O.; GOMES, H. P.; ROCHA, N. B. S.; TORRES, T. G.; SOUZA, A. S.; CARNEIRO, G. B.; CARDOSO, P. H.; ALMEIDA, T. S. Análise hidráulica e energética na aplicação de boosters e válvulas redutoras de pressão para otimizar sistemas de abastecimento de água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XIX., 2011, Maceió. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Alagoas, 2011. p. 18. 1 CD-ROM.

COELHO, A. C. Metodologia para estudo de perdas em setor de abastecimento de água. In: PLANEJAMENTO, PROJETO, OPERAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O ESTADO DA ARTE E QUESTÕES AVANÇADAS, 2002, João Pessoa. **Anais...** Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2002. p. 8. 1 CD-ROM.

COLOMBO, F. **Calibração de modelos hidráulicos de redes de abastecimento de água de sistemas reais admitindo vazamentos**. 2007. 200 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007. p. 01-92. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-05042007-103413/pt-br.php>>. Acesso em: 04 out. 2011.

CONDURÚ, M. T. e PEREIRA, J. A. R. Análise das informações de volume perdido de água no planejamento de sistemas de abastecimento de água em áreas urbanas no Brasil. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E DRENAGEM - SEREA, XI., 2012, Coimbra. **ANAIS...** Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra – Coimbra, 2012a. p. 11. 1 CD-ROM.

CONDURÚ, M. T. e PEREIRA, J. A. R. Desafios para a sistematização das informações hidroenergéticas do setor de abastecimento de água no Brasil. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E DRENAGEM - SEREA, XI., 2012, Coimbra. **ANAIS...** Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra – Coimbra, 2012b. p. 8. 1 CD-ROM.

COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H. e RAMOS, H. **Utilização de um algoritmo genético híbrido para operação ótima de sistemas de abastecimento de água**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, RJ, v. 15, n. 2, p. 187-196, abr./jun. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n2/a11v15n2.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2012.

CUNHA, A. A. R. **Otimização energética em tempo real da operação de sistemas de abastecimento de água**. 2009. 191 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2009. p. 01-39. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-23072009-100529/pt-br.php>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

FUMES, N. R.; WADA, C. T.; SCHARDONG, A. Sistema de suporte a decisões da SABESP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XIX., 2011, Maceió. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Alagoas, 2011. p. 13. 1 CD-ROM.

GAMEN, L. O.; MARTINEZ, C. B.; VIANA, E. M. F. e NASCIMENTO, J. F. Calibração de um modelo de sistema de abastecimento de água usando Epanet. . In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E DRENAGEM - SEREA, XI., 2012, Coimbra. **ANAIS...** Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra – Coimbra, 2012. p. 10. 1 CD-ROM.

GIROL, G. V. Análise de perdas reais em um setor do sistema de abastecimento de água no município de Capinzal - SC. 2008. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008. 79 p. Disponível em: <<http://www.resan.ufsc.br/~funasa/data/downloads/TCC%20Guilherme%20Girol.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2013.

GOMES, H. P. **Eficiência hidráulica e energia em saneamento: Análise econômica de projetos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2005. 114 p.

GOMES, H. P. e SALVINO, M. M. **Manual do usuário: Epanet 2.0 Brasil**. Paraíba: Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, 2009. 201 p. Disponível em <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/?page_id=34>. Acesso em: 05 mar. 2012.

GONÇALVES, E. e ALVIM, P. R. A. Guias práticos: técnicas de operação e sistemas de abastecimento de água. In: SAMPAIO, A. (Org.). **Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis**. Brasília: SNSA, 2007. v. 3. p. 89.

GOOGLE EARTH, Programa Google Earth 7, 2013.

GUEDES, J. C. S. **Manual de tarifação da energia elétrica**. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, Eletrobrás. 2011. p. 58. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/elb/main.asp?TeamID={60F8B9E9-77F5-4C5B-9E94-B1CC0CEF1EAB}>>>. Acesso em: 08 abr. 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php#tabela_dados>. Acesso em: 08 out. 2012.

LIMA, G. M.; VIANA, A. N. C.; FILHO, A. Q. S. e JÚNIOR, R. S. C. D. Análise da eficiência de estações elevatórias: estudo de caso no SAAE São Lourenço. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - SILUBESA, XV., 2012, Belo Horizonte. **ANAIS...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) – Belo Horizonte, 2012. p. 12. 1 CD-ROM.

MACHADO, E. C. M. N.; SANTANA, C. W. S.; BRASILEIRO, E. V.; GALVÃO, C. O.; BRASILEIRO, F. V. Otimização da operação das redes de adução de água utilizando algoritmos genéticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVI., 2005, João Pessoa. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Paraíba, 2005. p. 19. 1 CD-ROM.

MAKINO, D. L.; RIBEIRO, L. C. L. J.; LUVIZOTTO JÚNIOR, E.; HIDALGO, I. G. e ANDRADE, J. G. P. Eficiência energética em sistemas de abastecimento de água usando bombas de rotação variável. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E DRENAGEM - SEREA, XI., 2012,

Coimbra. **ANAIS...** Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra (ABES) – Coimbra, 2012. p. 16. 1 CD-ROM.

MEDINA, M. M. G. e REIS, L. F. R. Detecção de vazamentos em redes de distribuição de água para abastecimento: Estado da arte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XIX., 2011, Maceió. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Alagoas, 2011. p. 20. 1 CD-ROM.

MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo.** 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 2010. p. 01-65. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082010-092608/pt-br.php>>. Acesso em: 30 abr. 2013.

MOTTA, R. G. **Importância da setorização adequada para combate as perdas reais de água de abastecimento público.** 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010. p. 01-78. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-18082010-171334/publico/Dissertacao_Renato_Goncalves_Motta.pdf>. Acesso em: 04 out. 2011.

NAZARÉ, A. V. B. e SOUZA, V. C. B. Modelagem e simulação do sistema adutor principal da bacia leiteira utilizando EPANET. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XIX., 2011, Maceió. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Alagoas, 2011. p. 18. 1 CD-ROM

NEVES, C. L.; KOIDE, S.; NETO, J. G. V.; MARTINEZ, D. S. A. Análise de interferência dos parâmetros de entrada na calibração de uma rede de distribuição de água usando problema inverso e algoritmo genético. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVII., 2007, São Paulo. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – São Paulo, 2007. p. 20. 1 CD-ROM.

OBRADOVIC, D. Modelling of demand and losses in real life water distribution systems. **Urban Water**, Belgrade, Yugoslavia, n. 2, p. 131-139, set. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462075800000510>>. Acesso em: 14 mai. 2012.

OLIVEIRA, R. M. e FORMIGA, K. T. Uso de sistemas de informação geográficas na operação de sistemas de distribuição de água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVIII., 2009, Campo Grande. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Mato Grosso do Sul, 2009. p. 20. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, M. W. C. e SILVA, F. G. B. Relatório técnico relativo à projeto Eletrobrás. 2010.

PADILHA, P. S. e NIIDA, O. I. Formação, treinamento, qualificação e certificação de pessoal em estanqueidade - detecção de vazamentos não visíveis

em redes pressurizadas. In: PAN AMERICAN CONFERENCE ON NON DESTRUCTIVE TESTING, VIII., 2003, Rio de Janeiro. p. 10. Disponível em: <<http://www.aaende.org.ar/sitio/biblioteca/material/T-091.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

PEDROSA FILHO, L. A. **Um modelo de operação de sistemas adutores de abastecimento de água com vistas a minimização dos custos energéticos**. 2006. 174 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2006 p. 1-61.

PIOLTINE, V.; MAUAD, F. F.; ALBERTIN, L. L.; MATOS, A. S. Estado da arte sobre aplicação de sistemas de suporte de decisão e modelagem em recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVIII., 2009, Campo Grande. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Mato Grosso do Sul, 2009. p. 20. 1 CD-ROM.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. São Carlos: EESC – USP, 2006. p. 169-184.

PORTO, R. L. L. e AZEVEDO, L. G. T. Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos. In: PORTO, R. L. L. et al (Org.). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1997. Cap. 2. p. 43-95.

RIBEIRO, L.; MURANHO, J.; SOUZA, J.; e SÁ MARQUES, J. A. Aplicação computacional para localização de fugas em redes de distribuição de água. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E DRENAGEM - SEREA, XI., 2012, Coimbra. **ANAIS...** Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra (ABES) – Coimbra, 2012. p. 11. 1 CD-ROM.

RIGHETTO, A. M. Calibração de modelo hidráulico de rede de distribuição de água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Natal, RN, v. 6, n. 3, p. 33-44, jul./set. 2001. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=179&t=Calibra%E7%E3o+de+modelo+hidr%E1ulico+de+rede+de+distribui%E7%E3o+de+%E1gua>>. Acesso em: 03 out. 2011.

RIGHETTO, A. M. Operação ótima do sistema urbano de distribuição de água. In: PLANEJAMENTO, PROJETO, OPERAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O ESTADO DA ARTE E QUESTÕES AVANÇADAS, 2002, João Pessoa. **Anais...** Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2002. p. 15.1 CD-ROM.

ROCHA, V. A. G. M.; CASTRO, M. A. H.; ARAÚJO, J. K. Calibração de rugosidade em redes de abastecimento a partir de gradientes hidráulicos através do método iterativo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVIII., 2009, Campo Grande. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Mato Grosso do Sul, 2009. p. 17. 1 CD-ROM.

ROCHA, V. A. G. M.; CASTRO, M. A. H.; ARAÚJO, J. K. Análise comparativa entre dois métodos de calibração aplicados à rugosidades de redes de distribuição: MIGHA e RNA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS

HÍDRICOS - SBRH, XIX., 2011, Maceió. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Alagoas, 2011. p. 13. 1 CD-ROM.

ROSSMAN. **Epanet 2.0**. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development – U.S. Environmental Protection Agency. 2000.

SÁ, A. M. B. e PINA, S. C. T. Controlo de perdas em sistemas de abastecimento de água – A importancia dos caudais mínimos noturnos – Caso prático em ZMC. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E DRENAGEM - SEREA, XI., 2012, Coimbra. **ANAIS...** Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra (ABES) – Coimbra, 2012. p. 12. 1 CD-ROM.

SAAE de São Lourenço. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. 2012. Comunicação pessoal.

SAAE de São Lourenço. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. 2013. Comunicação pessoal.

SÃO LOURENÇO – MG (Prefeitura). 2013a. Disponível em: <www.saolourenco.mg.gov.br>. Acesso em: 06 nov. 2013.

SALVINO, M. M.; GOMES, H. P.; ROCHA, N. B. S.; TORRES, T. G.; MELO, W. I. G.; SOUZA, R.; SOUZA, A. S.; CARNEIRO, G. B. Modelo iterativo de calibração de redes de abastecimento de água com vistas à reabilitação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XIX., 2011, Maceió. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – Alagoas, 2011. p. 17. 1 CD-ROM.

SILVA, A. C. A.; ARAÚJO, J. K.; CASTRO, M. A. H. Calibração das rugosidades de tubulações em redes de distribuição de água utilizando algoritmos genéticos – análise da eficiência de operadores de recombinação – crossover. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVII., 2007, São Paulo. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – São Paulo, 2007. p. 20. 1 CD-ROM.

SILVA, F. G. B. **Estudos de calibração de redes de distribuição de água através de algoritmos genéticos**. 2003. 234 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2002. p. 37-46.

SILVA, F. G. B.; ALVES, L. H. F.; SANTOS, A. H. M.; OTTONI, A. B. Avaliação hidráulica em setores de rede de distribuição de água de Itajubá-MG considerando vazamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVII., 2007, São Paulo. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – São Paulo, 2007. p. 20. 1 CD-ROM.

SILVA, F. G. B.; REIS, L. F. R.; SOARES, A. K. Calibração de rede de distribuição de água considerando as perdas por vazamentos explicitamente no modelo com o uso de algoritmo genético. In: PLANEJAMENTO, PROJETO, OPERAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O ESTADO DA ARTE E QUESTÕES AVANÇADAS, 2002, João Pessoa. **Anais...** Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2002. p. 15. 1 CD-ROM.

SOARES, A. K.; REIS, L. F. R.; SILVA, F. G. B. Modelos de simulação hidráulica dirigidos pela pressão com o suporte do EPANET. In: PLANEJAMENTO, PROJETO, OPERAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O ESTADO DA ARTE E QUESTÕES AVANÇADAS, 2002, João Pessoa. **Anais...** Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2002. p. 15. 1 CD-ROM.

SOUZA, E. C. **Estudos para determinação do nível econômico de vazamento na rede de distribuição de água na zona baixa de Maceió**. 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2011. p. 01-97. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs/sites/default/files/dissertacaoeliana_cristinasousa.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2013.

SOUZA, A. C.; AGUIAR, D. L. e ARAUJO, J. V. G. Avaliação da redução da incidência de vazamentos em redes de distribuição de água com instalação de válvulas redutoras de pressão (VRPs). In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - SILUBESA, XV., 2012, Belo Horizonte. **ANAIIS...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) – Belo Horizonte, 2012. p. 7. 1 CD-ROM.

SOUZA, M. E.; FERNANDES, C. V. S.; ROSSIGNEUX, N. V. Q.; SANTOS, D. C.. Reflexões sobre a hidráulica de rede de distribuição de água – vazamentos como mecanismo hidráulico de proteção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XVII., 2007, São Paulo. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – São Paulo, 2007. p. 20. 1CD-ROM.

TSUTIYA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 185 p.

VENTURINI, M. A. A. G. e BARBOSA, P. S. F. Subsídios à escolha de técnicas de reabilitação de redes de distribuição de água. In: PLANEJAMENTO, PROJETO, OPERAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O ESTADO DA ARTE E QUESTÕES AVANÇADAS, 2002, João Pessoa. **Anais...** Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2002. p. 14. 1 CD-ROM.

VIANA, A. N. C. Pré-diagnóstico hidroenergético. 2010a. p. 87.

VIANA, A. N. C. Diagnóstico hidroenergético. 2010b. p. 118.

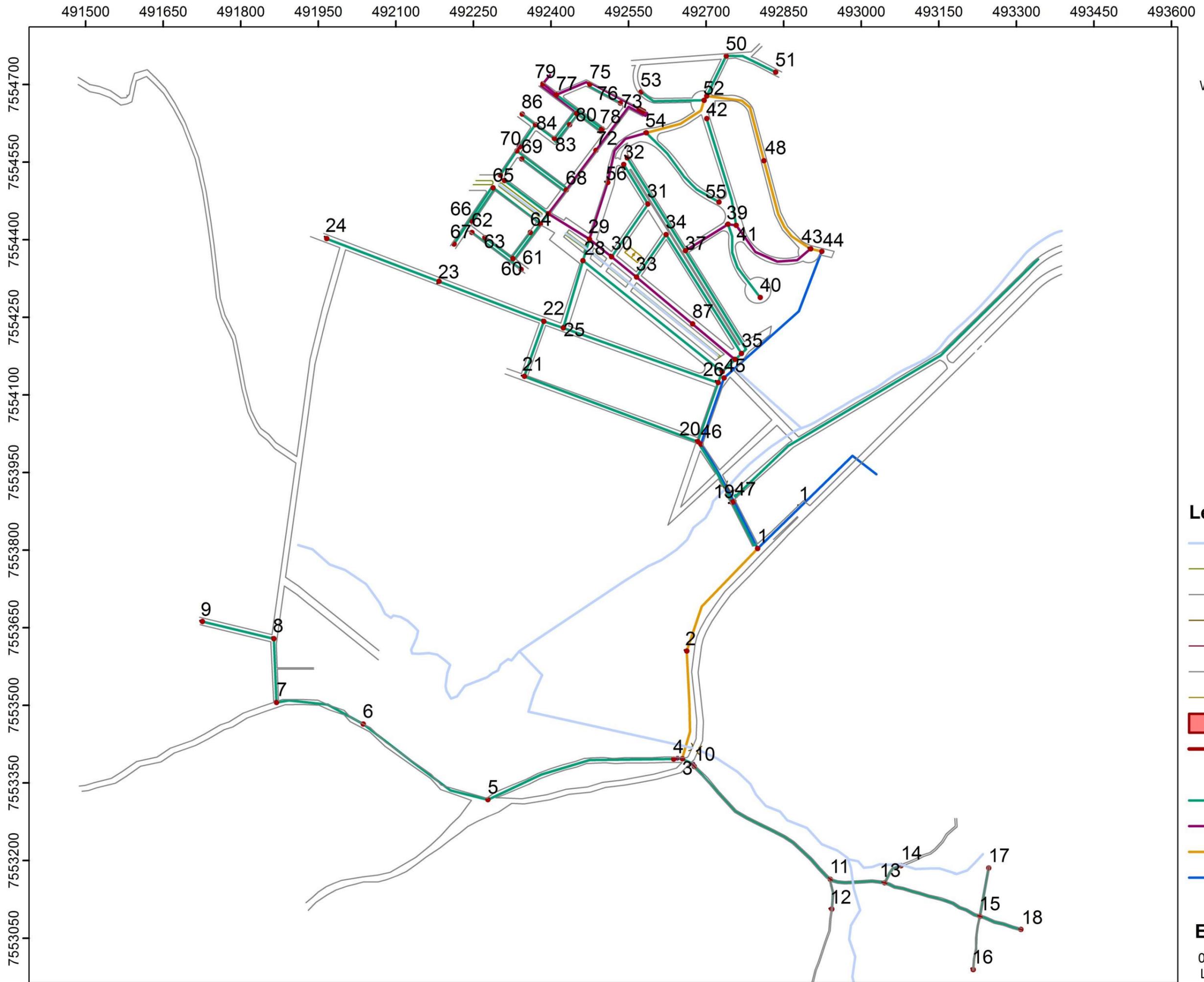
ZANTA, V. M.; JUCÁ, J. F. T.; GOMES, H. P. e CASTRO, M. A. H. Gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento. In: NURENE - Núcleo Regional Nordeste. (Org.). **Abastecimento de água**. Salvador: Ed. ReCESA, 2008. (Guia profissional em treinamento; nível 2). p. 01-139.

ZAQUE, R. A. M.; SOARES, A. K. e LIMA, G. A. R. Influência do número de cenários na calibração de modelos de rede de distribuição de água. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - SILUBESA, XV., 2012, Belo Horizonte. **ABES...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) – Belo Horizonte, 2012. p. 17. 1 CD-ROM.

ANEXOS

ANEXO A

Rede de distribuição de água dos distritos de Moradas da Serra, Vale dos Pinheiros e Palmela.

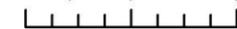


Legenda

-  Rios
-  Drenagem
-  Ruas
-  Pontes
-  Válvulas
-  Rodovia
-  Construções
-  Booster
-  Localização dos Nós
-  Número Nós
-  Tubulação 50mm
-  Tubulação 75mm
-  Tubulação 100mm
-  Tubulação 150mm

Escala

0 0,05 0,1 0,2 Km

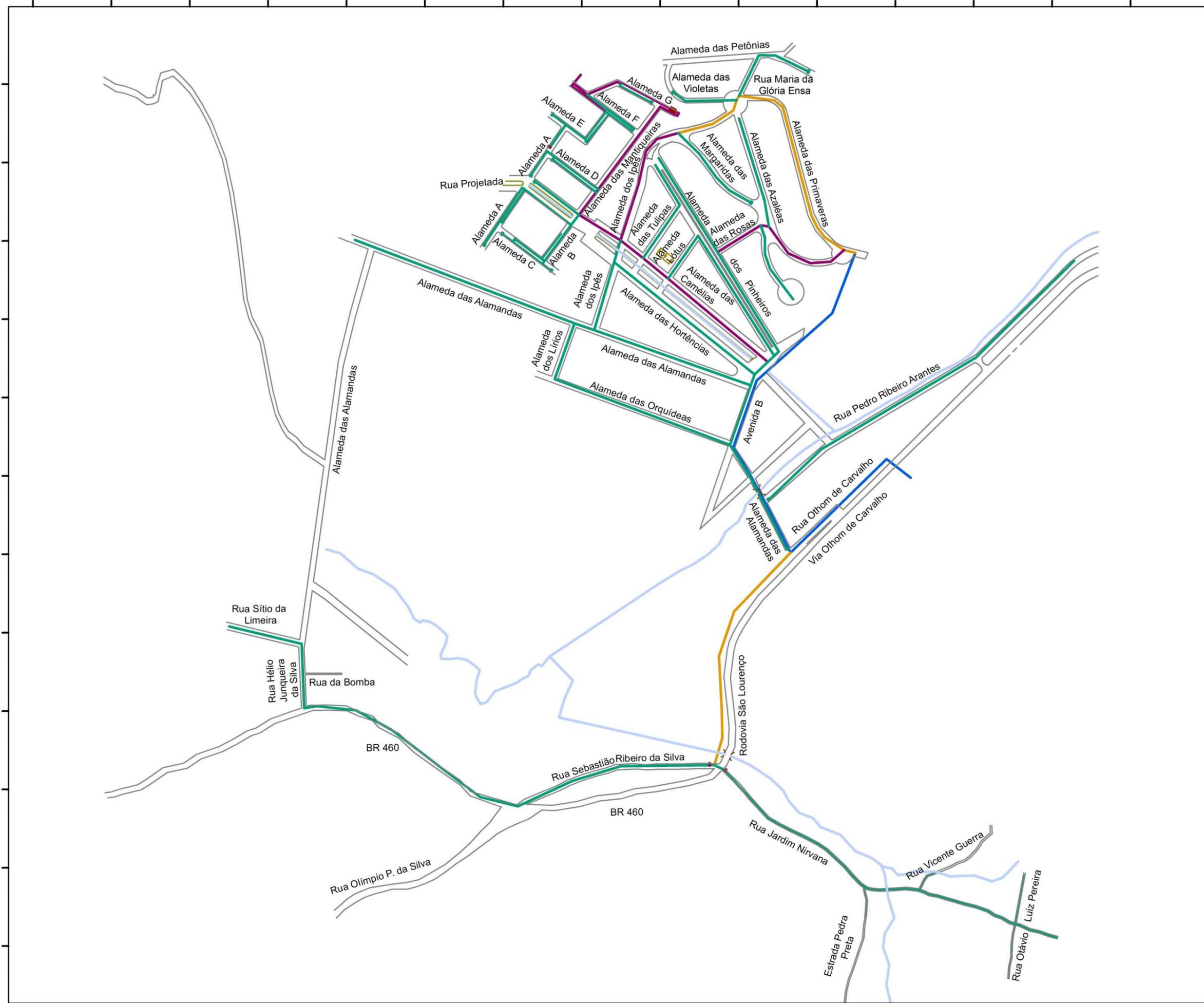
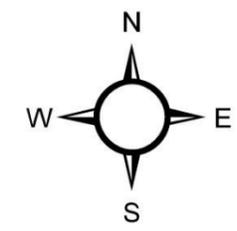


ANEXO B

Localização dos nós na rede de distribuição de água dos distritos de Moradas da Serra, Vale dos Pinheiros e Palmela.

491350 491500 491650 491800 491950 492100 492250 492400 492550 492700 492850 493000 493150 493300 493450 493600

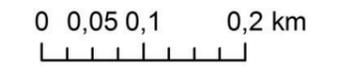
7554700
7554550
7554400
7554250
7554100
7553950
7553800
7553650
7553500
7553350
7553200
7553050



Legenda

- Rios
- Drenagem
- Ruas
- Pontes
- Válvulas
- Rodovia
- Construções
- Booster
- Tubulação 50mm
- Tubulação 75mm
- Tubulação 100mm
- Tubulação 150mm

Escala



ANEXO C - Informações da rede em estudo fornecidas pelo SAAE da cidade de São Lourenço - MG.

Nó Inicial	Nó final	Material	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)
Entrada	1	PVC	150	117,39
1	47	PVC	150	101,85
1	19	PVC	50	96,54
19	20	PVC	50	134,94
47	46	PVC	150	127,63
46	45	PVC	150	135,88
45	44	PVC	150	317,67
44	43	PVC	100	22,37
43	48	PVC	100	107,27
48	49	PVC	100	192,22
49	50	PVC	50	86,28
50	51	PVC	50	102,84
49	52	PVC	100	9,47
52	53	PVC	50	128,10
52	54	PVC	100	136,23
54	55	PVC	50	196,39
54	56	PVC	75	135,86
56	29	PVC	75	115,21
29	28	PVC	50	43,42
28	25	PVC	50	135,57
25	22	PVC	50	39,66
22	23	PVC	50	216,90
23	24	PVC	50	232,52
22	21	PVC	50	113,08
21	20	PVC	50	358,27
20	26	PVC	50	120,67
26	25	PVC	50	317,73
26	27	PVC	50	22,28
27	28	PVC	50	344,12

Nó Inicial	Nó final	Material	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)
27	36	PVC	50	34,70
36	87	PVC	75	141,39
87	33	PVC	75	107,30
33	30	PVC	75	61,93
30	29	PVC	75	54,86
29	57	PVC	75	93,57
33	34	PVC	50	100,25
30	31	PVC	50	123,71
36	35	PVC	50	17,07
35	37	PVC	50	235,56
37	38	PVC	50	211,99
37	39	PVC	75	97,07
39	41	PVC	75	16,01
43	41	PVC	75	182,31
39	40	PVC	50	159,59
39	42	PVC	50	214,73
35	34	PVC	50	272,29
31	32	PVC	50	89,92
1	2	PVC	100	246,56
2	3	PVC	100	210,77
3	4	PVC	50	16,33
4	5	PVC	50	374,43
5	6	PVC	50	286,34
6	7	PVC	50	178,05
7	8	PVC	50	123,40
8	9	PVC	50	142,42
3	10	PVC	50	28,07
10	11	PVC	50	345,94
11	12	PVC	50	58,68
11	13	PVC	50	108,59
13	14	PVC	50	48,56
13	15	PVC	50	196,48

Nó Inicial	Nó final	Material	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)
15	16	PVC	50	104,32
15	17	PVC	50	95,17
15	18	PVC	50	83,62
57	59	PVC	50	24,86
59	60	PVC	50	89,30
60	63	PVC	50	67,50
60	64	PVC	50	63,91
60	61	PVC	50	32,84
60	62	PVC	50	107,67
59	65	PVC	50	115,14
65	66	PVC	50	80,34
65	67	PVC	50	134,99
57	58	PVC	50	106,61
57	68	PVC	75	57,51
68	69	PVC	75/50	3,47/105,28
68	70	PVC	75/50	3,49/121,92
70	71	PVC	50	56,95
68	72	PVC	75	95,77
72	73	PVC	75	155,42
73	74	PVC	75	11,11
74	75	PVC	75	108,61
76	75	PVC	50	73,43
75	77	PVC	75	70,73
77	79	PVC	75	33,49
77	78	PVC	50	110,90
79	80	PVC	75/50	88,02/3,95
80	82	PVC	50	29,83
80	81	PVC	50	57,85
80	83	PVC	50	69,07
83	84	PVC	50	45,60
84	86	PVC	50	33,09
84	85	PVC	50	52,75

ANEXO D - Informações de coordenadas geográficas e cotas dos nós na rede de estudo.

Nó	Latitude (m)	Longitude (m)	Cota (m)	Nó	Latitude (m)	Longitude (m)	Cota (m)
Entrada	492935,75	7553934,24	884	44	492772,80	7554237,09	931
1	492750,00	7553777,00	893	45	492595,73	7553998,34	882
2	492627,80	7553565,62	886	46	492570,13	7553886,90	882
3	492558,59	7553361,93	887	47	492689,30	7553842,85	881
4	492548,17	7553363,49	887	48	492656,34	7554371,72	925
5	492222,12	7553323,03	885	49	492517,20	7554523,88	920
6	491905,17	7553534,74	886	50	492550,84	7554603,06	924
7	491665,05	7553577,12	886	51	492594,70	7554609,09	924
8	491687,01	7553648,80	880	52	492512,44	7554509,76	918
9	491516,33	7553686,47	880	53	492393,52	7554527,06	922
10	492586,31	7553343,23	887	54	492570,31	7554428,03	907
11	492899,83	7552840,59	893	55	492570,31	7554317,99	909
12	492895,22	7552815,90	893	56	492348,98	7554355,52	897
13	493010,47	7552788,23	890	57	492252,46	7554274,78	893
14	493085,21	7552799,85	893	58	492148,36	7554302,66	900
15	493187,86	7552611,48	905	59	492248,79	7554254,89	892
16	493131,02	7552541,46	924	60	492221,91	7554167,88	900
17	493236,34	7552671,62	898	61	492253,64	7554158,85	898
18	493235,39	7552574,43	907	62	492126,36	7554190,42	903
19	492687,30	7553840,33	881	63	492144,75	7554189,43	903
20	492563,29	7553887,44	883	64	492235,19	7554217,35	894
21	492231,20	7554009,90	919	65	492136,52	7554283,32	900

Nó	Latitude (m)	Longitude (m)	Cota (m)	Nó	Latitude (m)	Longitude (m)	Cota (m)
22	492253,18	7554115,15	904	66	492123,26	7554200,84	902
23	492162,31	7554134,43	908	67	492112,86	7554163,17	907
24	491968,28	7554159,33	920	68	492265,99	7554331,16	897
25	492284,29	7554106,48	902	69	492161,52	7554357,42	908
26	402590,85	7553997,38	883	70	492152,45	7554362,83	909
27	492592,04	7554004,69	882	71	492139,84	7554310,33	901
28	492313,29	7554221,53	888	72	492296,54	7554437,70	915
29	492317,32	7554238,38	887	73	492343,56	7554525,16	924
30	492354,85	7554217,88	885	74	492340,24	7554529,15	924
31	492418,96	7554299,13	892	75	492227,39	7554537,50	936
32	492383,92	7554381,00	900	76	492309,78	7554527,67	926
33	492402,75	7554178,66	885	77	492184,89	7554496,92	935
34	492461,09	7554249,64	890	78	492294,48	7554463,82	919
35	492610,23	7554036,64	885	79	492151,52	7554506,07	940
36	492596,27	7554019,57	884	80	492231,14	7554479,14	927
37	492504,17	7554224,39	890	81	492293,13	7554459,86	918
38	492389,82	7554392,30	902	82	492228,94	7554458,87	924
39	492590,32	7554289,49	909	83	492213,79	7554414,27	916
40	492653,58	7554137,70	900	84	492166,97	7554424,66	921
41	492606,22	7554295,09	911	85	492153,24	7554369,61	911
42	492516,33	7554493,95	917	86	492138,73	7554432,59	926
43	492763,43	7554243,48	930	87	492523,82	7554076,11	884

ANEXO E – Relatório da estação geodésica utilizado como base.



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	99522	Nome da Estação :	99522	Tipo :	Estação Planimétrica GPS
Município :	CARMO DE MINAS			UF :	MG
Última Visita:	19/6/2010	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	22 ° 07 ' 28,4341 " S	Altitude Ortométrica(m)	982,71	Gravidade(mGal)	
Longitude	45 ° 07 ' 43,9473 "W	Altitude Geométrica(m)	989,10	Sigma Gravidade(mGal)	
Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão	
Origem	Ajustada	Data Medição	19/6/2010	Datum	
S Datum	SAD-69	Data Cálculo	9/8/2010	Data Medição	
A Data Medição	19/6/2010	Sigma Altitude Geométrica(m)		Data Cálculo	
D Data Cálculo	9/8/2010	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica	
6 Sigma Latitude(m)	0,025			Anomalia Bouguer	
9 Sigma Longitude(m)	0,025			Anomalia Ar-Livre	
UTM(N)	7.553.371,253			Densidade	
UTM(E)	486.709,084				
MC	-45				
Latitude	22 ° 07 ' 30,1867 " S	Altitude Ortométrica(m)	982,64	Gravidade(mGal)	
S Longitude	45 ° 07 ' 45,5172 "W	Altitude Geométrica(m)	979,86	Sigma Gravidade(mGal)	
I Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão	
R Origem	Ajustada	Data Medição	19/6/2010	Datum	
G Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	9/8/2010	Data Medição	
A Data Medição	19/6/2010	Sigma Altitude Geométrica(m)	0,005	Data Cálculo	
S Data Cálculo	9/8/2010	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica	
2 Sigma Latitude(m)	0,001			Anomalia Bouguer	
0 Sigma Longitude(m)	0,001			Anomalia Ar-Livre	
0 UTM(N)	7.553.325,781			Densidade	
0 UTM(E)	486.664,204				
MC	-45				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sirgas2000.pdf
- Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sad69.pdf
- Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Localização

Nas dependências da ETA - Estação de Tratamento de Água, distando 437 m da Prefeitura de Carmo de Minas.

Descrição

Tronco de pirâmide de concreto medindo 0,34 m x 0,34 m na base e 0,25 m x 0,25 m no topo, aflorando 0,35 m de uma base quadrangular que mede 0,60 m x 0,60 m. Possui uma plataforma adicional de 1,00 m x 1,00 m e uma chapa de metal no topo estampada: M 556.

Observação

Contato: Prefeitura de Carmo de Minas - Tel.: (35) 3334-1200 - Rua Luiz Gomes 150 - Centro - e-mail: administracao@carmodeminas.mg.gov.br. Local escolhido por apresentar condições para rastreamento de satélite, facilidade de acesso e segurança. Marco homologado a pedido do IGA - Instituto de Geociências Aplicadas - Governo do Estado de Minas Gerais.

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG. Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões. Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo: Fale conosco: 0800 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

ANEXO F - Dados de pressão obtidos pelos medidores na campanha de 2010.

Hora	Pressão (mca)				
	Entrada	Nó 87	Nó 82	Nó 5	Nó 48
00:00	89,55	93,2	40,07	87,32	36,64
00:10	89,64	93,34	40,31	87,77	36,83
00:20	89,83	93,62	40,75	87,88	37,04
00:30	90,04	94,02	41,19	87,91	37,2
00:40	90,18	94,21	41,39	88,19	37,27
00:50	90,29	94,33	41,51	88,36	37,36
01:00	90,42	94,5	41,69	88,54	37,51
01:10	90,57	94,69	41,84	88,59	37,59
01:20	90,66	94,81	41,99	88,87	37,73
01:30	90,77	95,05	42,16	88,91	37,88
01:40	90,91	95,11	42,28	89,17	38,01
01:50	91,04	95,37	42,09	89,34	38,13
02:00	91,15	95,48	42,66	89,43	38,22
02:10	91,24	95,55	42,69	89,53	38,34
02:20	91,35	95,77	42,9	89,62	38,47
02:30	91,46	95,86	43,03	89,81	38,58
02:40	91,57	96,02	43,15	89,82	38,66
02:50	91,65	96,11	43,25	89,91	38,76
03:00	91,74	96,22	43,32	90	38,78
03:10	91,76	96,24	43,33	89,96	38,78
03:20	91,75	96,26	43,37	89,95	38,75
03:30	91,72	96,11	43,36	89,97	38,78
03:40	91,74	96,29	43,37	89,99	38,75
03:50	91,71	96,26	43,34	89,98	38,75
04:00	91,71	96,3	43,36	89,94	38,77
04:10	91,7	96,19	43,36	89,87	38,72
04:20	91,67	96,33	43,33	89,99	38,75
04:30	91,7	96,34	43,29	89,94	38,73
04:40	91,69	96,31	43,32	90,03	38,81

Hora	Pressão (mca)				
	Entrada	Nó 87	Nó 82	Nó 5	Nó 48
04:50	91,73	96,31	43,23	87,79	38,96
05:00	91,98	96,3	43,23	89,93	38,64
05:10	91,61	96,26	43,17	89,81	38,31
05:20	91,36	96,2	43,21	88,43	38,45
05:30	91,4	96,19	43,08	89,37	38,55
05:40	91,51	96,24	42,91	89,44	38,35
05:50	91,45	95,87	42,78	89,07	38,25
06:00	91,25	95,37	42,07	86,78	37,62
06:10	90,91	94,26	41,13	86,99	37,23
06:20	90,41	95,01	41,8	87,29	37,33
06:30	90,52	93,79	40,31	85,6	37,01
06:40	90,29	93,03	39,6	84,48	35,36
06:50	89,08	88,25	64,4	84,29	35,5
07:00	89,09	87,42	67,98	84,16	34,68
07:10	88,32	85,44	66,5	80,02	34,16
07:20	87,96	84,04	67,71	83,23	32,76
07:30	87,26	79	59,73	81,2	33,86
07:40	87,4	82,73	65,07	81,74	32,88
07:50	86,16	74,99	58,86	80,49	31,65
08:00	86,08	74,75	50,88	74,29	30,32
08:10	85,1	68,93	49,05	79	30,17
08:20	85,03	75,4	48,11	76,16	30,31
08:30	84,94	77,52	19,25	76,38	30,29
08:40	84,53	72,67	17,48	75,06	29,61
08:50	84,17	73,06	16,07	73,79	30,06
09:00	84,76	74,74	20,03	75,77	30,01
09:10	84,7	76,09	19,25	75,67	29,6
09:20	84,56	65,28	34,69	75,29	28,66
09:30	84,16	64,77	36,19	72,49	27,45
09:40	82,92	65,63	32,43	73,43	27,51
09:50	82,7	66,35	32,59	74,64	27,71

Hora	Pressão (mca)				
	Entrada	Nó 87	Nó 82	Nó 5	Nó 48
10:00	82,98	61,15	29,63	66,08	27,54
10:10	82,81	62,25	31,9	64,21	27,9
10:20	83,01	63,42	35,93	67,62	28,04
10:30	83,01	64,24	36,36	71,37	26,91
10:40	82,33	61,23	41,78	71,16	28,37
10:50	83,04	67,1	43,14	72,89	29,4
11:00	83,94	68,85	47,13	76,26	30,43
11:10	84,72	71,8	49,61	78,68	31,16
11:20	85,42	76,33	23,08	74	31,06
11:30	85,49	77,03	24,48	78,3	30,23
11:40	84,66	76,42	24,34	77,59	30,35
11:50	84,88	78,84	26,8	76,56	30,94
12:00	85,38	78,77	23,84	78,09	30,15
12:10	84,6	77,32	24,16	73,41	31,12
12:20	85,35	75,84	22,87	78,87	30,73
12:30	85,21	73,42	36,83	78,6	30,95
12:40	85,45	75,55	45,45	77,48	30,56
12:50	85,38	73,74	47,26	78,17	30,01
13:00	84,56	71,03	48,05	77,08	30,17
13:10	84,68	69,31	44,85	78,67	30,11
13:20	84,89	70,18	49,51	78,25	30,53
13:30	84,96	72,65	51,09	77,47	31,53
13:40	85,57	70,37	48,96	72,36	29,8
13:50	84,17	72,09	49,51	72,48	29,95
14:00	84,45	71,67	51,68	74,87	29,19
14:10	83,92	72,76	52,55	77,07	29,46
14:20	84,76	74,34	53,5	76,51	31,13
14:30	84,79	75,14	58,36	75,01	31,77
14:40	85,61	74,42	54,57	77,6	30,95
14:50	85,02	77,95	26,4	80,22	30,36
15:00	85,36	79,76	48,46	80,41	31,71

Hora	Pressão (mca)				
	Entrada	Nó 87	Nó 82	Nó 5	Nó 48
15:10	86,04	79,43	62,35	80,68	32,44
15:20	86,03	77,96	62,7	78,93	31,87
15:30	85,14	80,14	60,58	81,35	33,25
15:40	87,17	79,33	61,22	78,07	32,23
15:50	86,27	76,89	56,29	76,46	31,4
16:00	85,7	75,1	43,35	67,9	29,29
16:10	83,93	71,67	47,09	76,77	28,64
16:20	84,24	67,94	42,39	75,01	29,33
16:30	84,91	70,69	48,26	72,18	28,79
16:40	82,9	76,43	46,45	79,24	31,37
16:50	85,87	77,7	59,28	78,65	32,96
17:00	86,46	81,28	63,4	80,59	32,87
17:10	86,27	84,13	28,28	78,23	32,86
17:20	86,63	84,23	31,21	75,92	33,4
17:30	87,15	83,82	30,47	80,08	32,78
17:40	86,23	82,54	30,18	79,84	32,97
17:50	86,34	82,09	30,18	79,91	33,58
18:00	87,23	82,3	32,34	77,96	33,9
18:10	87,45	82,26	29,33	78,38	32,92
18:20	86,72	79,47	30,79	80,07	33,85
18:30	87,41	81,98	29,43	79,63	30,81
18:40	84,52	76,32	21,94	68,47	17,47
18:50	70,75	65,64	14,65	61,67	11,69
19:00	64,72	66,32	17,93	57,13	7,87
19:10	60,77	61,56	17,53	51,43	5,59
19:20	58,43	59,89	17,25	51,64	3,93
19:30	56,8	57,97	15,85	50,92	2,03
19:40	54,84	56,72	15,01	49,56	2,11
19:50	53,78	55,53	13,67	47,27	0,45
20:00	51,34	51,98	9,92	46,4	-1,7
20:10	50,1	47,3	9,77	45,05	-0,72

Hora	Pressão (mca)				
	Entrada	Nó 87	Nó 82	Nó 5	Nó 48
20:20	49,84	46,11	9,57	45,42	0,27
20:30	49,34	43,55	8,94	44,73	0,81
20:40	47,88	40,25	7,99	42,52	1,69
20:50	45,64	37,78	7,38	37,74	1,79
21:00	41,17	36,11	6,31	34,5	1,65
21:10	38,12	35,6	4,75	39,58	2,28
21:20	45,16	34,42	3,7	52,37	3,22
21:30	56,66	37,42	2,87	54,75	6,67
21:40	61,12	55,73	1,93	61,92	13,45
21:50	67,32	65,32	1,86	66,89	19,06
22:00	72,14	70,74	1,85	71,9	22,66
22:10	76,3	76,24	4,6	75,33	26,05
22:20	79,7	79,46	19,28	79,24	29,8
22:30	83,19	83,39	27,04	82,6	33,06
22:40	86,44	86,76	29,72	84,16	34,1
22:50	87,42	87,59	30,95	84,6	34,36
23:00	87,69	88,74	33,72	85,13	34,96
23:10	88,17	90,37	36,91	85,97	35,55
23:20	88,66	91,42	38,02	86,38	35,85
23:30	88,9	92,05	39,22	86,52	36,3
23:40	89,45	92,72	39,68	87,08	36,44
23:50	89,47	92,9	39,97	87,14	36,55

ANEXO G - Dados de pressão obtidos pelos medidores na campanha de 2012.

Horário	Pressão (mca)_15/10/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
20:00	82,44	15,23	35,33	81,66	66,37	48,16
20:10	82,78	23,86	35,33	81,64	67,09	48,36
20:20	82,88	28,42	36,62	82,28	67,59	48,9
20:30	83,05	30,41	38,08	82,08	67,76	49,06
20:40	83,05	31,55	37,51	82,12	67,52	49,01
20:50	82,76	30,96	36,96	82,11	66,62	48,33
21:00	83,19	34,96	37,71	83,63	67,94	49,24
21:10	83,24	41,06	36,62	83,13	68,38	49,62
21:20	83,91	44,57	39,48	84,2	69,98	50,61
21:30	84,26	32,24	40,51	85,86	71,15	51,59
21:40	84,72	31,09	41,3	86,69	71,44	52,02
21:50	84,8	31,97	40,7	86,94	71,89	52,32
22:00	84,88	32,47	40,69	86,74	71,58	52,25
22:10	85,17	33,77	41,38	87,55	72,6	52,93
22:20	85,41	35,32	41,7	88,02	73,24	53,36
22:30	85,66	35,48	42,53	88,36	73,41	53,54
22:40	85,21	35,32	42,16	86,86	72,76	53,15
22:50	85,23	32,96	42,49	87,69	72	52,45
23:00	85,52	34,54	42,8	88,22	73,12	53,42
23:10	85,61	35,82	43,09	88,38	73,36	53,58
23:20	85,87	37,09	43,22	88,56	73,95	54,04
23:30	86,15	37,09	43,61	89,28	74,13	54,23
23:40	86,33	37,68	43,79	89,61	74,46	54,57
23:50	86,58	39,14	43,73	90	75,06	54,95

Horário	Pressão (mca)_16/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
00:00	86,78	39,65	44,20	90,35	75,32	55,18
00:10	86,82	39,91	44,46	90,46	75,45	55,32

Horário	Pressão (mca)_16/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
00:20	86,90	40,18	44,53	90,57	75,48	55,40
00:30	86,92	40,17	44,82	90,52	75,45	55,41
00:40	86,87	39,83	44,65	90,53	75,38	55,34
00:50	86,93	40,31	44,82	90,69	75,58	55,47
01:00	86,92	40,59	44,89	90,74	75,65	55,52
01:10	86,87	39,89	44,86	90,58	75,39	55,36
01:20	86,92	40,73	44,92	90,61	75,65	55,51
01:30	86,95	40,98	45,01	90,78	75,82	55,66
01:40	86,89	41,05	44,89	90,60	75,73	55,57
01:50	86,93	41,13	45,00	90,82	75,82	55,61
02:00	86,92	41,26	45,04	90,91	75,88	55,66
02:10	86,96	41,35	45,03	90,89	75,85	55,64
02:20	86,90	41,42	45,01	90,94	75,89	55,70
02:30	86,90	41,48	45,03	90,94	75,94	55,68
02:40	86,89	41,48	45,00	90,75	75,91	55,68
02:50	86,87	41,48	44,98	90,83	75,89	55,70
03:00	86,78	41,00	44,89	90,78	75,68	55,49
03:10	86,82	41,57	44,98	90,88	75,92	55,67
03:20	86,75	41,58	44,82	90,64	75,79	55,52
03:30	86,76	41,55	44,97	90,86	75,88	55,64
03:40	86,76	41,57	44,96	90,85	75,89	55,61
03:50	86,72	41,52	44,76	90,80	75,85	55,61
04:00	86,70	41,51	44,83	90,85	75,81	55,59
04:10	86,69	41,50	44,89	90,78	75,81	55,59
04:20	86,62	41,39	44,83	90,72	75,73	55,52
04:30	86,64	41,39	44,81	90,61	75,75	55,53
04:40	86,69	41,51	44,83	90,80	75,83	55,60
04:50	86,64	41,51	44,82	90,75	75,81	55,60
05:00	86,46	68,09	44,54	90,43	74,74	54,88
05:10	86,61	70,53	44,63	90,10	75,15	55,21
05:20	86,61	71,83	44,52	89,42	75,20	54,94

Horário	Pressão (mca)_16/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
05:30	86,76	73,01	44,67	90,50	75,50	55,42
05:40	86,82	73,61	44,70	90,77	75,66	55,59
05:50	86,79	74,15	44,53	88,81	75,66	55,56
06:00	86,61	73,67	44,82	89,25	75,38	55,37
06:10	86,04	73,19	41,08	86,74	74,20	54,47
06:20	85,95	73,38	40,55	86,86	74,54	54,43
06:30	85,55	72,14	29,24	85,84	73,65	53,86
06:40	85,63	72,21	32,25	86,34	74,03	54,12
06:50	85,64	68,01	37,65	87,70	73,29	53,70
07:00	85,14	68,36	39,52	85,02	72,34	52,97
07:10	84,68	69,24	34,61	80,80	72,57	52,85
07:20	84,43	66,86	38,85	84,45	70,99	51,78
07:30	82,52	59,73	35,71	78,80	67,62	48,90
07:40	83,71	60,97	39,80	85,31	68,96	50,61
07:50	82,44	60,45	34,43	80,14	68,41	49,19
08:00	82,36	64,66	31,37	76,19	68,90	49,35
08:10	81,72	61,04	34,87	76,25	67,16	48,24
08:20	80,80	46,56	35,55	79,89	63,80	45,88
08:30	80,11	48,40	28,51	73,27	23,98	45,10
08:40	80,14	46,93	31,45	76,84	61,71	44,18
08:50	78,94	45,57	27,67	66,15	62,14	43,93
09:00	79,70	40,20	29,81	74,25	61,85	43,79
09:10	80,22	41,65	34,13	72,39	60,83	44,17
09:20	80,26	45,57	32,08	70,38	63,26	45,40
09:30	80,42	46,22	28,29	60,95	63,79	45,53
09:40	79,85	46,71	27,59	69,44	62,84	44,60
09:50	79,36	44,95	26,60	67,57	61,38	43,80
10:00	79,68	46,62	27,83	69,82	62,02	44,63
10:10	79,80	44,04	26,24	75,78	60,50	43,90
10:20	79,92	48,12	17,35	72,53	62,24	44,97
10:30	78,55	45,35	25,43	65,79	59,10	42,39

Horário	Pressão (mca)_16/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
10:40	78,85	47,42	29,22	63,96	58,91	42,35
10:50	79,74	44,79	27,63	67,79	60,66	43,75
11:00	79,19	46,98	25,98	67,72	53,14	43,95
11:10	79,34	49,31	31,39	75,25	61,49	43,82
11:20	78,74	48,86	30,79	63,76	61,52	43,55
11:30	79,92	51,17	31,13	72,80	63,49	45,32
11:40	80,42	53,38	33,94	75,31	64,91	45,85
11:50	80,63	53,15	33,95	74,08	63,57	45,59
12:00	80,58	54,21	32,48	76,45	64,85	46,34
12:10	81,07	53,27	35,08	79,89	64,56	46,14
12:20	80,86	53,43	30,60	61,99	65,11	45,99
12:30	80,97	52,88	27,05	76,41	66,06	46,66
12:40	81,40	59,79	28,14	74,50	67,65	47,91
12:50	82,13	60,61	34,38	80,50	67,71	48,71
13:00	82,21	59,71	36,39	80,69	68,44	48,70
13:10	81,64	53,20	35,78	80,48	67,07	46,91
13:20	81,41	28,68	35,75	80,52	67,07	47,49
13:30	81,15	27,74	27,38	78,55	66,67	47,53
13:40	81,61	24,76	33,69	76,88	66,37	47,37
13:50	81,38	25,33	34,50	77,06	65,01	46,62
14:00	81,23	26,92	32,59	77,55	64,96	46,83
14:10	76,92	22,04	31,34	75,64	59,71	40,23
14:20	80,74	50,22	35,08	74,53	63,85	44,87
14:30	80,60	52,53	34,69	73,63	64,51	46,38
14:40	81,14	55,85	34,87	79,66	65,27	46,39
14:50	80,95	56,61	33,06	69,03	64,82	46,43
15:00	81,87	56,91	35,62	71,74	66,72	47,63
15:10	81,95	56,06	36,33	77,13	66,41	47,48
15:20	81,52	53,69	34,72	64,51	66,79	47,40
15:30	81,41	51,97	32,00	76,41	65,71	46,75
15:40	81,53	54,47	32,34	77,13	66,95	47,72

Horário	Pressão (mca)_16/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
15:50	80,83	47,40	30,53	66,99	61,62	45,76
16:00	81,43	51,42	30,38	72,60	22,31	47,04
16:10	82,16	47,08	34,31	74,52	65,64	47,46
16:20	81,35	32,66	30,58	77,97	63,52	46,47
16:30	81,37	35,07	29,90	77,94	65,40	47,14
16:40	81,72	49,18	25,52	77,66	66,86	48,01
16:50	80,60	33,25	32,10	72,19	65,67	45,84
17:00	81,37	39,76	32,38	76,23	66,62	47,27
17:10	82,48	58,15	36,99	73,80	69,53	49,32
17:20	82,18	57,08	36,26	77,22	68,63	49,09
17:30	82,73	35,59	33,50	75,31	70,65	50,41
17:40	82,78	34,93	26,62	69,49	70,69	50,49
17:50	82,99	37,48	32,40	63,16	71,80	51,40
18:00	82,76	35,04	30,46	67,40	70,25	50,43
18:10	82,71	33,84	34,61	65,60	70,23	50,35
18:20	82,47	33,60	33,20	69,64	69,80	49,92
18:30	83,94	38,07	37,65	77,14	71,73	52,18
18:40	83,24	36,72	32,62	74,42	71,14	51,18
18:50	83,51	37,74	34,10	75,78	71,83	51,64
19:00	82,91	35,40	28,04	63,27	70,99	50,81
19:10	83,07	32,20	34,27	74,06	70,89	50,79
19:20	83,74	35,65	35,53	81,34	71,71	51,65
19:30	83,63	36,31	36,17	81,42	71,71	51,63
19:40	83,65	36,93	35,82	80,72	71,91	51,68
19:50	83,67	34,90	35,62	81,98	71,30	51,22
20:00	82,32	54,18	33,14	80,94	67,59	48,63
20:10	83,71	63,14	37,93	82,73	70,78	51,02
20:20	83,99	66,26	37,24	81,87	71,61	51,63
20:30	84,26	66,26	39,69	85,08	71,58	51,82
20:40	84,23	66,83	38,15	82,11	71,99	51,98
20:50	84,42	69,40	39,22	84,95	72,06	52,24

Horário	Pressão (mca)_16/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
21:00	84,55	69,71	37,86	85,31	72,68	52,48
21:10	84,86	71,21	39,00	85,80	73,34	52,98
21:20	85,15	71,56	39,48	86,75	73,45	53,21
21:30	85,29	39,91	39,99	86,59	73,95	53,42
21:40	85,32	39,11	41,81	87,99	73,91	53,67
21:50	85,38	39,63	41,49	87,22	73,91	53,69
22:00	85,67	40,74	41,46	85,94	74,61	54,14
22:10	86,12	41,00	42,78	88,74	75,19	54,66
22:20	86,26	41,50	43,58	88,97	75,50	54,96
22:30	86,30	41,57	43,66	89,22	75,36	54,90
22:40	86,18	41,74	43,44	88,91	75,32	54,80
22:50	86,06	40,76	42,99	88,47	75,00	54,56
23:00	85,81	38,80	42,03	87,91	74,21	54,03
23:10	86,41	40,64	43,29	88,61	75,46	55,04
23:20	86,64	42,33	43,47	89,30	75,99	55,34
23:30	86,90	42,92	44,09	89,27	76,38	55,72
23:40	87,07	43,17	44,64	90,11	76,55	55,87
23:50	87,24	43,50	44,96	90,77	76,78	56,01

Horário	Pressão (mca) _17/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
00:00	87,30	43,59	44,56	90,91	76,85	56,14
00:10	87,19	43,18	44,67	90,68	76,64	55,99
00:20	87,12	42,94	44,65	90,63	76,44	55,82
00:30	87,15	43,27	44,89	90,64	76,60	55,97
00:40	87,21	43,47	45,04	90,77	76,80	56,05
00:50	87,31	43,82	44,78	90,86	76,94	56,21
01:00	87,21	43,52	45,00	90,89	76,81	56,10
01:10	87,30	43,95	45,12	90,72	77,01	56,25
01:20	87,24	43,76	45,15	90,82	76,91	56,16

Horário	Pressão (mca) _17/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
01:30	87,16	43,31	45,05	90,77	76,61	55,99
01:40	87,19	43,40	45,16	90,94	76,75	56,08
01:50	87,25	43,83	45,26	91,03	76,94	56,22
02:00	87,24	43,91	45,25	91,08	76,97	56,24
02:10	87,24	43,83	45,26	91,14	76,96	56,21
02:20	87,27	43,96	45,27	91,18	77,04	56,25
02:30	87,22	43,95	45,27	91,24	77,08	56,24
02:40	87,21	43,98	45,26	91,16	77,03	56,22
02:50	87,18	43,96	45,16	90,97	77,00	56,20
03:00	87,18	44,01	45,23	91,11	77,01	56,21
03:10	87,08	43,92	44,59	90,82	76,93	56,10
03:20	87,22	44,02	45,29	91,22	77,06	56,24
03:30	87,31	44,09	45,37	91,29	77,11	56,32
03:40	87,39	44,20	45,47	91,38	77,20	56,40
03:50	87,50	44,34	45,59	91,49	77,31	56,54
04:00	87,56	44,40	45,64	91,54	77,43	56,59
04:10	87,65	44,47	45,74	91,50	77,47	56,66
04:20	87,73	44,59	45,74	91,66	77,56	56,73
04:30	87,81	44,66	45,89	91,75	77,69	56,79
04:40	87,77	44,57	45,88	91,74	77,63	56,75
04:50	87,65	44,44	45,67	91,57	77,37	56,63
05:00	87,38	74,11	45,40	91,35	76,70	56,16
05:10	87,44	76,03	45,34	91,02	76,93	56,31
05:20	87,64	76,81	44,89	91,50	77,19	56,50
05:30	87,44	77,25	44,90	91,05	76,94	56,28
05:40	87,04	77,45	45,07	91,43	76,38	56,06
05:50	87,04	77,51	43,53	89,47	76,61	55,99
06:00	86,85	77,17	43,51	88,25	76,35	55,67
06:10	86,62	75,78	41,06	88,61	75,59	55,00
06:20	86,18	76,16	42,18	87,35	75,46	54,45
06:30	85,81	76,33	40,87	86,25	74,94	54,52

Horário	Pressão (mca) _17/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
06:40	85,63	76,41	40,66	83,81	74,84	54,49
06:50	85,15	72,37	37,79	81,81	74,03	53,65
07:00	85,11	72,22	40,14	86,09	72,98	53,27
07:10	84,86	72,82	39,98	84,63	73,42	53,04
07:20	84,63	74,18	37,18	85,20	73,55	53,04
07:30	83,45	68,04	36,78	81,23	70,81	51,02
07:40	83,85	57,26	39,69	84,11	70,29	50,89
07:50	84,09	64,85	35,93	84,03	71,25	51,42
08:00	83,85	67,23	34,83	78,97	70,87	51,25
08:10	83,65	65,40	35,71	85,83	70,22	50,50
08:20	83,68	65,50	39,10	85,03	70,43	50,73
08:30	83,31	64,09	38,06	79,92	68,42	49,63
08:40	83,73	65,93	39,74	85,58	70,91	51,08
08:50	83,45	64,69	35,15	80,95	69,63	50,62
09:00	83,83	61,87	39,22	83,61	69,06	50,87
09:10	83,63	57,47	39,95	83,61	68,75	50,41
09:20	83,88	63,43	38,82	81,73	69,98	50,77
09:30	83,33	60,03	37,33	79,34	69,11	50,08
09:40	83,57	59,11	37,88	78,25	68,77	50,11
09:50	83,63	62,32	37,05	72,61	69,92	50,70
10:00	83,97	60,73	38,94	81,67	69,99	51,06
10:10	83,82	59,70	38,97	76,88	69,77	50,76
10:20	84,43	60,90	39,73	83,58	70,22	51,48
10:30	83,94	61,14	38,01	78,86	69,70	50,70
10:40	83,60	56,84	38,72	78,56	67,18	49,33
10:50	83,44	59,47	41,31	77,69	69,34	50,20
11:00	83,94	45,74	38,05	79,52	69,82	50,80
11:10	83,74	45,51	36,10	78,56	69,87	50,77
11:20	84,00	61,29	36,04	80,87	70,55	51,11
11:30	83,62	60,21	32,59	76,58	69,93	50,68
11:40	83,73	59,70	32,01	79,27	70,02	50,30

Horário	Pressão (mca) _17/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
11:50	83,77	56,91	38,89	80,58	70,15	50,88
12:00	83,79	58,38	38,50	79,56	69,75	50,87
12:10	83,65	40,59	38,08	78,47	69,33	50,23
12:20	83,56	43,31	37,36	74,75	69,57	50,30
12:30	83,65	64,38	37,51	77,34	70,92	50,73
12:40	83,01	52,57	37,13	78,98	69,70	49,96
12:50	83,08	46,52	38,39	80,72	69,43	49,99
13:00	83,42	63,95	39,03	78,81	70,45	50,54
13:10	83,07	46,55	37,54	82,34	69,90	50,23
13:20	83,79	36,96	39,04	81,80	71,43	51,57
13:30	83,86	35,84	39,96	83,52	70,65	51,36
13:40	83,37	32,91	38,20	82,97	69,56	50,31
13:50	83,22	34,74	37,88	80,19	70,33	50,37
14:00	83,90	29,04	38,79	79,70	70,79	50,98
14:10	82,85	40,31	38,64	82,95	66,01	48,78
14:20	83,91	57,91	39,70	81,56	65,93	50,58
14:30	83,82	61,49	39,77	85,24	67,98	50,85
14:40	83,82	64,79	40,02	82,09	69,23	51,11
14:50	84,06	65,70	39,96	79,70	70,18	51,27
15:00	83,80	65,84	39,65	82,17	70,45	51,00
15:10	83,30	60,68	29,80	74,70	60,31	50,64
15:20	84,22	35,37	39,11	84,61	71,61	51,90
15:30	84,55	35,95	39,82	84,63	69,23	52,33
15:40	83,97	37,50	36,95	82,08	70,99	51,76
15:50	84,42	37,05	40,75	85,45	69,92	52,25
16:00	83,93	35,56	39,58	85,61	56,40	51,50
16:10	84,42	38,20	40,25	85,59	68,98	52,39
16:20	83,63	36,66	39,51	78,95	70,00	51,44
16:30	84,14	37,67	40,09	83,31	71,77	52,24
16:40	83,85	37,67	38,67	83,47	72,36	52,11
16:50	84,16	38,07	38,96	82,05	71,84	51,86

Horário	Pressão (mca) _17/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
17:00	84,14	38,56	35,64	79,37	72,80	52,33
17:10	84,11	39,62	30,47	74,19	73,09	52,59
17:20	83,79	38,38	28,88	71,80	72,68	52,36
17:30	84,17	39,76	32,36	74,30	73,26	52,51
17:40	84,05	39,34	34,30	79,62	73,11	52,64
17:50	84,39	39,26	35,63	81,89	73,42	52,89
18:00	83,73	38,68	31,02	81,17	72,37	52,13
18:10	83,48	38,68	34,78	82,83	72,86	52,18
18:20	80,78	36,47	37,49	82,14	69,72	49,21
18:30	66,20	23,03	14,82	68,86	55,91	35,17
18:40	58,67	16,47	11,69	51,73	47,99	27,44
18:50	54,79	15,25	8,51	48,73	44,38	23,79
19:00	54,96	16,02	9,55	51,88	44,37	23,76
19:10	63,12	17,34	17,32	58,55	52,28	31,80
19:20	67,91	21,48	20,87	62,87	57,01	36,57
19:30	69,49	23,53	22,21	65,88	58,13	37,98
19:40	72,17	25,61	24,12	67,97	60,16	40,47
19:50	74,59	28,17	26,80	69,41	63,18	42,88
20:00	77,07	29,70	31,28	75,83	65,71	45,34
20:10	79,99	33,77	34,49	75,59	68,64	48,37
20:20	83,11	36,31	35,85	78,44	71,34	51,14
20:30	83,45	34,44	38,75	80,36	71,38	51,41
20:40	83,63	36,99	38,99	82,19	72,04	51,84
20:50	83,86	36,56	39,32	83,56	72,49	52,17
21:00	83,68	36,73	38,05	84,92	71,89	51,82
21:10	83,88	36,88	39,22	85,55	71,94	52,06
21:20	84,05	38,45	39,71	85,69	73,11	52,51
21:30	84,36	39,04	39,65	85,95	73,29	52,78
21:40	84,52	38,88	41,04	86,34	73,51	53,00
21:50	84,65	38,55	39,88	86,61	73,52	53,10
22:00	84,57	39,33	39,92	86,28	73,51	53,10

Horário	Pressão (mca) _17/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
22:10	84,74	39,72	41,32	85,64	73,69	53,27
22:20	84,91	40,11	41,15	86,16	73,87	53,48
22:30	85,03	40,48	41,08	86,74	74,23	53,72
22:40	85,14	40,50	42,31	87,63	74,30	53,78
22:50	85,12	40,05	41,70	87,67	74,08	53,69
23:00	85,29	40,08	42,22	87,36	74,27	53,86
23:10	85,43	40,20	42,85	87,91	74,38	53,96
23:20	85,35	39,52	43,04	88,55	73,87	53,73
23:30	85,81	41,03	43,42	89,17	75,12	54,56
23:40	85,80	40,50	43,15	89,30	74,79	54,38
23:50	85,95	41,47	43,40	89,27	75,27	54,73

Horário	Pressão (mca) _18/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
00:00	86,20	42,14	42,58	89,77	75,73	55,07
00:10	86,26	42,09	43,97	89,91	75,76	55,11
00:20	86,43	42,40	44,16	90,13	75,95	55,25
00:30	86,13	42,20	43,00	86,99	75,82	55,04
00:40	86,58	42,32	44,27	90,24	76,02	55,41
00:50	86,73	42,58	44,59	90,41	76,24	55,63
01:00	86,82	43,16	44,76	90,61	76,48	55,72
01:10	86,95	43,26	44,87	90,75	76,55	55,87
01:20	86,96	43,21	44,85	90,69	76,41	55,83
01:30	87,12	43,50	45,08	90,88	76,80	56,09
01:40	87,21	43,62	45,22	91,05	76,90	56,21
01:50	87,28	43,70	45,26	91,13	76,93	56,22
02:00	87,41	43,88	45,41	91,19	77,11	56,41
02:10	87,48	43,98	45,49	91,32	77,21	56,50
02:20	87,56	44,09	45,62	91,46	77,29	56,58

Horário	Pressão (mca)_18/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
02:30	87,64	44,08	45,70	91,52	77,33	56,60
02:40	87,73	44,25	45,80	91,63	77,49	56,71
02:50	87,79	44,34	45,85	91,47	77,53	56,77
03:00	87,84	44,40	45,91	91,77	77,62	56,82
03:10	87,85	44,43	45,89	91,79	77,62	56,84
03:20	87,82	44,41	45,88	91,79	77,59	56,82
03:30	87,81	44,40	45,88	91,79	77,57	56,81
03:40	87,76	44,44	45,82	91,75	77,52	56,79
03:50	87,76	44,40	45,85	91,79	77,54	56,82
04:00	87,74	44,38	45,82	91,74	77,54	56,75
04:10	87,70	44,34	45,75	91,68	77,46	56,73
04:20	87,70	44,37	45,78	91,66	77,53	56,74
04:30	87,65	44,28	45,75	91,61	77,42	56,74
04:40	87,61	44,28	45,60	91,57	77,42	56,66
04:50	87,39	44,11	45,49	89,75	77,24	56,48
05:00	87,53	44,28	45,60	91,55	77,37	56,60
05:10	87,65	44,18	45,56	91,27	77,33	56,65
05:20	87,53	44,18	40,46	89,24	77,43	56,62
05:30	87,73	44,07	45,60	91,35	77,34	56,71
05:40	87,42	43,73	44,86	90,72	76,94	56,37
05:50	87,65	43,60	44,90	89,72	77,00	56,37
06:00	87,13	43,56	44,47	88,75	76,91	56,39
06:10	87,21	43,56	44,57	89,80	76,87	56,16
06:20	86,39	42,39	37,38	87,10	75,82	55,21
06:30	86,18	41,16	39,63	86,13	75,20	54,84
06:40	85,69	39,96	37,33	82,16	74,46	54,18
06:50	85,74	40,01	40,09	83,45	73,64	53,48
07:00	85,98	40,34	39,59	87,06	74,56	54,46
07:10	85,03	39,29	39,56	85,05	72,47	52,90
07:20	84,80	36,93	39,69	86,11	71,86	52,22
07:30	84,82	39,10	38,93	85,52	73,21	52,96

Horário	Pressão (mca)_18/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
07:40	84,59	36,76	38,32	84,09	72,32	52,45
07:50	83,48	32,00	37,44	84,75	70,42	50,85
08:00	83,19	33,56	29,99	76,36	70,54	50,84
08:10	82,48	32,16	37,13	81,17	65,85	49,43
08:20	81,44	47,34	35,46	79,47	64,84	46,84
08:30	80,22	51,71	32,80	73,41	63,21	44,90
08:40	80,48	54,63	32,92	72,89	66,03	47,37
08:50	80,14	56,49	29,62	56,83	66,00	46,79
09:00	80,60	51,75	31,56	63,16	65,51	46,54
09:10	80,06	48,02	32,93	66,71	62,83	45,34
09:20	80,31	50,41	31,08	71,94	62,04	45,44
09:30	79,73	52,23	27,68	66,66	63,76	44,97
09:40	78,81	46,46	27,75	64,93	61,49	43,61
09:50	78,64	47,00	23,04	67,02	62,63	43,65
10:00	79,08	49,97	27,13	64,02	64,26	44,89
10:10	80,20	47,52	25,83	75,27	65,22	46,16
10:20	79,51	50,44	31,64	73,08	64,59	45,50
10:30	79,60	50,77	32,05	72,64	64,05	45,25
10:40	79,82	52,52	20,19	66,43	64,86	45,89
10:50	79,45	52,50	16,07	70,24	64,69	45,50
11:00	79,80	51,59	19,27	72,81	65,15	45,97
11:10	79,91	48,25	8,04	69,58	64,42	45,55
11:20	80,25	52,46	32,21	75,92	65,14	46,01
11:30	80,22	50,33	22,19	72,94	64,30	45,40
11:40	80,05	50,12	32,14	72,80	64,26	45,36
11:50	79,53	53,89	29,55	69,97	63,72	44,62
12:00	80,11	56,85	33,17	71,13	65,64	46,09
12:10	81,21	57,79	33,25	73,88	67,12	47,38
12:20	80,34	55,23	28,70	69,60	65,70	46,24
12:30	80,25	51,66	31,15	72,80	62,67	44,78
12:40	80,00	55,61	32,05	71,22	64,65	45,34

Horário	Pressão (mca)_18/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
12:50	79,99	55,62	31,53	60,98	65,41	45,90
13:00	80,88	57,18	33,39	60,57	65,28	46,57
13:10	80,84	56,10	32,51	69,46	65,27	45,95
13:20	79,88	24,44	22,38	69,58	65,44	45,74
13:30	80,51	23,88	31,34	62,67	65,29	46,07
13:40	80,54	22,49	33,72	63,23	64,36	45,90
13:50	81,58	23,50	36,70	81,36	65,58	46,85
14:00	81,12	22,71	34,24	78,73	64,81	46,03
14:10	80,22	29,69	33,97	71,03	62,65	44,52
14:20	80,35	42,29	34,09	68,91	64,02	45,21
14:30	80,28	48,86	33,11	59,47	63,40	44,93
14:40	80,28	49,28	27,64	67,43	63,30	44,79
14:50	80,52	53,67	33,70	68,86	64,03	45,28
15:00	81,75	59,08	35,15	79,47	67,46	47,64
15:10	81,81	58,46	36,56	74,28	66,62	47,37
15:20	81,75	58,86	36,18	76,77	65,83	47,15
15:30	81,17	57,63	36,07	74,94	63,29	46,33
15:40	81,72	61,09	34,10	66,74	65,32	46,87
15:50	81,64	60,13	34,85	66,52	23,20	47,75
16:00	82,38	63,89	36,63	80,47	67,75	48,24
16:10	81,72	59,08	35,93	76,89	67,48	47,57
16:20	81,98	62,62	29,57	76,64	66,76	48,25
16:30	81,90	63,44	29,21	78,08	68,67	48,45
16:40	81,81	62,00	29,25	64,55	68,27	48,55
16:50	82,48	63,76	35,92	71,88	68,98	49,20
17:00	81,78	62,97	32,51	65,33	68,73	48,45
17:10	81,99	61,69	30,16	62,03	68,96	48,90
17:20	82,56	63,00	34,10	60,23	69,70	49,65
17:30	82,81	35,66	35,42	65,05	71,21	50,49
17:40	82,02	32,39	28,96	53,29	70,81	48,48
17:50	82,01	31,49	17,73	52,68	69,77	49,40

Horário	Pressão (mca)_18/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
18:00	81,50	28,20	20,30	62,01	66,93	48,62
18:10	83,39	36,17	37,84	76,55	70,51	51,14
18:20	82,68	35,95	35,78	61,73	69,39	49,33
18:30	83,07	-0,10	34,49	72,36	71,45	51,03
18:40	81,93	36,00	34,25	68,82	69,34	49,25
18:50	82,39	36,14	29,57	75,97	69,39	49,95
19:00	82,39	34,23	32,51	77,87	69,85	49,97
19:10	82,22	36,10	34,71	77,14	69,30	49,24
19:20	82,70	35,10	35,82	77,81	70,51	50,18
19:30	80,74	36,47	33,03	78,70	69,00	48,47
19:40	82,56	34,12	33,09	75,89	70,99	50,09
19:50	82,70	63,15	36,55	71,74	69,30	49,97
20:00	82,41	62,06	36,83	77,44	69,29	49,29
20:10	82,68	65,84	37,94	78,81	68,96	49,40
20:20	83,25	68,80	38,81	83,64	69,82	50,19
20:30	83,60	66,21	38,30	82,81	71,27	51,06
20:40	83,25	67,46	37,55	82,95	70,48	50,50
20:50	82,87	68,77	36,94	82,33	70,21	50,13
21:00	83,25	65,47	36,48	83,59	70,98	50,76
21:10	83,47	65,70	41,76	85,14	70,78	50,76
21:20	83,65	38,62	39,40	84,73	71,15	51,03
21:30	83,99	39,59	37,55	85,50	72,50	52,03
21:40	84,57	39,30	40,68	87,19	73,36	52,74
21:50	84,52	40,28	41,21	86,85	73,16	52,55
22:00	84,89	40,24	41,17	87,47	73,85	53,19
22:10	84,95	39,63	41,63	81,34	73,88	53,24
22:20	85,05	41,13	42,26	88,05	74,11	53,44
22:30	85,29	40,85	41,94	87,78	74,43	53,76
22:40	85,43	40,63	42,53	87,72	74,33	53,67
22:50	85,20	39,98	41,90	87,41	74,13	53,47
23:00	84,83	39,98	41,79	86,83	73,49	52,85

Horário	Pressão (mca)_18/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
23:10	85,00	40,28	42,00	86,64	73,81	53,23
23:20	85,40	40,70	41,96	84,94	74,11	53,63
23:30	85,72	40,83	42,95	88,30	74,61	54,05
23:40	85,74	40,90	43,11	89,08	74,30	53,96
23:50	85,87	41,55	43,72	89,19	74,60	54,10

Horário	Pressão (mca)_19/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
00:00	86,12	42,10	43,68	89,17	75,09	54,45
00:10	86,35	42,53	44,02	89,72	75,55	54,85
00:20	86,50	42,55	44,38	90,24	75,82	55,04
00:30	86,56	42,75	44,46	90,21	75,86	55,10
00:40	86,66	42,49	44,60	90,32	75,98	55,21
00:50	86,72	42,46	44,56	90,43	75,89	55,18
01:00	86,90	42,82	44,89	90,66	76,14	55,44
01:10	86,95	43,27	44,56	90,55	76,19	55,49
01:20	87,08	43,49	44,49	90,78	76,44	55,71
01:30	87,15	43,39	45,03	91,00	76,54	55,78
01:40	87,04	43,47	45,05	90,91	76,24	55,59
01:50	87,13	43,04	45,18	90,96	76,58	55,84
02:00	87,10	43,33	45,15	91,00	76,55	55,79
02:10	87,13	43,44	45,20	91,10	76,52	55,74
02:20	87,05	43,47	45,14	90,99	76,35	55,64
02:30	87,05	43,44	44,41	90,88	76,50	55,75
02:40	87,07	43,43	45,20	91,07	76,61	55,80
02:50	87,07	43,44	45,20	90,88	76,60	55,82
03:00	87,04	43,43	45,16	91,03	76,54	55,78
03:10	87,05	43,34	45,14	91,02	76,54	55,78
03:20	87,02	43,31	45,14	90,96	76,51	55,72
03:30	86,99	43,18	45,11	90,99	76,48	55,74

Horário	Pressão (mca)_19/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
03:40	86,96	43,21	45,08	90,94	76,45	55,70
03:50	86,93	43,21	45,05	90,89	76,44	55,68
04:00	86,89	43,11	44,97	90,78	76,32	55,59
04:10	86,87	43,07	44,96	90,78	76,37	55,60
04:20	86,82	42,87	44,92	90,77	76,31	55,57
04:30	86,81	72,92	44,92	90,78	76,28	55,53
04:40	86,78	74,73	44,78	90,72	76,22	55,53
04:50	86,55	75,55	44,54	90,55	76,06	55,29
05:00	86,38	76,22	44,38	90,30	75,30	54,77
05:10	86,44	76,15	44,39	90,35	75,53	54,41
05:20	86,41	76,42	44,35	90,36	75,62	54,90
05:30	86,36	76,36	44,34	88,77	75,73	55,00
05:40	86,24	75,61	43,99	90,22	75,53	54,84
05:50	86,09	74,93	43,51	87,64	75,39	54,73
06:00	86,29	73,53	43,24	87,99	75,40	54,79
06:10	85,78	74,00	42,27	85,74	74,64	54,04
06:20	85,81	72,77	41,89	87,55	74,37	53,99
06:30	85,46	72,60	41,02	82,55	73,61	53,39
06:40	85,23	71,02	41,09	81,11	73,28	53,21
06:50	85,29	72,33	41,26	84,89	73,31	53,17
07:00	85,11	70,65	41,01	86,83	73,09	53,05
07:10	84,83	65,16	40,86	87,58	72,70	52,43
07:20	84,39	54,89	39,23	82,27	72,14	51,92
07:30	84,00	57,50	37,64	83,41	71,50	51,53
07:40	84,02	55,35	32,81	75,84	71,48	51,36
07:50	82,55	52,80	29,15	68,80	69,87	49,77
08:00	81,78	54,81	34,90	75,86	66,34	47,64
08:10	82,06	51,36	36,41	79,12	66,08	48,75
08:20	81,76	43,03	36,22	78,37	64,45	47,26
08:30	81,18	42,56	35,77	80,19	64,78	47,52
08:40	81,20	43,78	34,39	77,28	64,29	47,40

Horário	Pressão (mca)_19/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
08:50	80,29	39,88	34,86	78,67	61,88	45,53
09:00	80,26	35,11	33,26	75,61	63,31	44,78
09:10	80,66	37,12	34,63	77,95	61,84	45,08
09:20	80,92	39,19	34,58	80,22	62,97	45,43
09:30	79,77	42,17	33,55	76,95	61,51	43,42
09:40	80,00	38,45	28,37	78,53	60,59	44,67
09:50	79,43	39,47	18,23	72,70	63,07	43,91
10:00	79,27	44,08	27,92	73,75	60,49	43,40
10:10	80,00	41,68	31,09	74,56	60,46	44,98
10:20	79,42	40,01	28,45	69,75	61,98	43,09
10:30	79,04	38,30	29,77	68,97	62,85	43,38
10:40	80,38	40,25	31,05	69,55	61,85	45,13
10:50	80,46	43,53	30,64	70,92	61,86	45,47
11:00	80,57	47,07	31,64	73,36	63,01	45,06
11:10	79,97	45,58	29,13	69,58	62,17	44,64
11:20	80,75	45,65	31,71	76,08	64,25	45,61
11:30	80,35	44,11	33,33	77,34	62,40	46,18
11:40	80,88	42,72	33,35	70,81	61,43	44,39
11:50	79,91	45,57	27,30	63,93	62,42	45,32
12:00	80,11	46,58	32,27	71,33	63,14	45,67
12:10	80,86	44,89	33,59	77,59	64,30	46,01
12:20	81,14	48,11	34,17	78,52	64,58	45,85
12:30	81,11	49,34	34,39	80,75	63,27	46,49
12:40	81,06	25,58	33,66	73,55	63,60	47,07
12:50	81,70	23,01	33,25	78,06	64,96	47,12
13:00	81,60	22,71	35,29	75,08	65,19	47,06
13:10	81,47	21,57	34,83	76,38	65,85	47,64
13:20	81,47	23,18	34,38	77,45	63,54	46,43
13:30	81,98	23,08	35,67	76,64	62,77	46,00
13:40	81,14	39,26	34,50	78,09	63,70	47,64
13:50	80,78	35,75	35,34	77,89	62,80	45,92

Horário	Pressão (mca)_19/09/2012					
	Entrada	Nó 82	Nó 8	Nó 16	Nó 33	Nó 52
14:00	81,84	41,48	34,69	81,39	64,43	46,43
14:10	81,30	40,35	37,99	80,23	62,42	44,89
14:20	81,07	45,28	36,37	79,52	61,68	43,32
14:30	80,69	44,53	33,58	75,19	63,30	45,12
14:40	79,53	44,41	34,25	78,19	56,83	44,68
14:50	80,02	46,03	34,49	76,52	63,29	44,96
15:00	80,06	42,98	32,91	73,86	62,38	44,09
15:10	80,42	46,51	35,13	74,03	52,70	43,68
15:20	79,83	54,00	27,35	79,11	55,61	43,75
15:30	79,89	49,77	30,73	72,13	25,93	44,39

ANEXO H - Dados de vazão obtidos pelos pela campanha no ano de 2010.

Hora	Vazão (l/s)	Hora	Vazão (l/s)	Hora	Vazão (l/s)
15:30	8,94	00:00	3,90	08:30	8,40
15:40	8,96	00:10	3,87	08:40	7,90
15:50	9,42	00:20	3,81	08:50	7,50
16:00	9,30	00:30	3,82	09:00	8,04
16:10	9,90	00:40	3,71	09:10	7,97
16:20	10,14	00:50	3,61	09:20	7,86
16:30	10,25	01:00	3,53	09:30	8,14
16:40	9,59	01:10	3,52	09:40	9,07
16:50	9,72	01:20	3,47	09:50	9,72
17:00	8,75	01:30	3,42	10:00	9,41
17:10	8,16	01:40	3,46	10:10	9,20
17:20	7,61	01:50	3,33	10:20	9,93
17:30	7,45	02:00	3,25	10:30	9,87
17:40	7,45	02:10	3,23	10:40	10,04
17:50	7,40	02:20	3,13	10:50	9,80
18:00	7,46	02:30	3,08	11:00	9,12
18:10	6,72	02:40	3,05	11:10	8,65
18:20	7,63	02:50	2,91	11:20	7,95
18:30	6,33	03:00	2,96	11:30	7,71
18:40	6,11	03:10	2,79	11:40	7,46
18:50	4,35	03:20	2,71	11:50	7,50
19:00	3,03	03:30	2,72	12:00	7,35
19:10	2,22	03:40	2,58	12:10	7,70
19:20	2,43	03:50	2,51	12:20	7,68
19:30	2,72	04:00	2,42	12:30	7,51
19:40	2,95	04:10	2,29	12:40	7,83
19:50	2,76	04:20	2,34	12:50	7,51
20:00	3,18	04:30	2,19	13:00	8,15
20:10	2,62	04:40	2,17	13:10	7,71
20:20	1,99	04:50	2,03	13:20	7,72

Hora	Vazão (l/s)	Hora	Vazão (l/s)	Hora	Vazão (l/s)
20:30	2,33	05:00	2,42	13:30	8,25
20:40	2,44	05:10	1,88	13:40	7,76
20:50	2,80	05:20	1,93	13:50	7,35
21:00	2,85	05:30	2,00	14:00	8,43
21:10	2,99	05:40	2,34	14:10	8,48
21:20	4,45	05:50	2,04	14:20	8,92
21:30	7,49	06:00	2,50	14:30	7,74
21:40	10,68	06:10	2,50	14:40	4,58
21:50	8,31	06:20	3,41	14:50	4,34
22:00	7,50	06:30	4,24	15:00	3,41
22:10	6,82	06:40	4,09	15:10	4,14
22:20	6,77	06:50	4,92	15:20	3,97
22:30	6,79	07:00	6,18	15:30	7,01
22:40	6,12	07:10	6,74	15:40	6,57
22:50	5,91	07:20	6,69	15:50	7,18
23:00	5,10	07:30	7,34	16:00	7,29
23:10	4,90	07:40	8,93	16:10	7,22
23:20	4,47	07:50	8,27	16:20	8,79
23:30	4,09	08:00	8,74	16:30	8,06
23:40	3,91	08:10	7,76		
23:50	3,85	08:20	8,32		

ANEXO I - Dados para o cálculo da vazão de perdas com dados de pressão e vazão da campanha de 2010.

Hora	Pressão Média horária	FND horário	V_{perdido} (m³/dia)
0	69,98	1,78	6,39
1	70,83	1,81	6,51
2	71,71	1,84	6,63
3	72,01	1,85	6,67
4	71,94	1,85	6,66
5	71,63	1,84	6,62
6	70,68	1,80	6,49
7	69,22	1,75	6,29
8	58,97	1,37	4,95
9	56,69	1,30	4,66
10	56,58	1,29	4,65
11	59,71	1,40	5,04
12	60,50	1,43	5,14
13	62,31	1,49	5,37
14	63,07	1,52	5,47
15	66,57	1,65	5,93
16	62,99	1,52	5,46
17	62,70	1,51	5,42
18	56,51	1,29	4,64
19	37,09	0,69	2,47
20	28,74	0,47	1,68
21	33,53	0,59	2,12
22	59,34	1,39	4,99
23	68,29	1,71	6,16

ANEXO J - Dados para o cálculo da vazão de perdas com dados de pressão da campanha de 2012 e vazão de 2010.

Hora	Pressão Média horária	FND horário	V_{perdido} (m³/dia)
0	65,78	1,73	6,22
1	66,30	1,75	6,30
2	66,59	1,76	6,34
3	66,64	1,76	6,35
4	67,28	1,79	6,44
5	70,14	1,90	6,85
6	67,85	1,81	6,52
7	64,35	1,67	6,02
8	59,72	1,50	5,38
9	57,42	1,41	5,07
10	57,13	1,40	5,04
11	57,78	1,42	5,12
12	59,01	1,47	5,29
13	57,07	1,40	5,03
14	58,19	1,44	5,18
15	58,97	1,47	5,28
16	59,27	1,48	5,32
17	58,25	1,44	5,18
18	53,92	1,28	4,62
19	53,81	1,28	4,60
20	61,50	1,56	5,63
21	63,04	1,62	5,84
22	63,54	1,64	5,91
23	64,45	1,68	6,03

Nós	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13	Média Nodal
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
20	28	27	27	22	24	12	28	14	12	24	18	21,5
21	448	571	483	452	561	779	738	498	499	703	523	568,6
22	201	134	113	198	178	198	287	207	204	272	300	208,4
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
25	331	324	295	309	405	435	545	350	296	295	471	368,7
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
27	33	65	24	19	24	37	47	19	21	16	24	29,9
28	65	72	62	67	102	89	103	155	82	101	98	90,5
29	64	54	58	57	72	55	77	37	40	60	46	56,4
30	124	140	110	108	163	118	129	109	102	112	122	121,5
31	24	22	19	17	25	32	32	25	23	25	25	24,5
32	22	6	6	4	5	5	63	22	23	36	83	25,0
33	140	121	104	103	153	135	128	108	98	1453	112	241,4
34	28	20	19	15	20	24	27	24	32	23	23	23,2
35	83	185	115	117	151	138	122	131	112	97	72	120,3
36	111	82	100	111	146	146	138	149	128	90	110	119,2
37	123	95	83	86	109	162	193	110	155	128	170	128,5
38	50	48	39	41	54	54	76	60	52	55	59	53,5

Nós	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13	Média Nodal
39	180	133	119	98	141	152	141	203	107	142	120	139,6
40	490	224	251	809	337	352	397	436	314	353	321	389,5
41	162	153	161	133	189	212	144	189	148	117	257	169,5
42	162	149	123	112	146	158	164	145	144	189	197	153,5
43	160	151	108	98	141	157	185	145	114	166	153	143,5
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
46	1	2	1	1	2	0	2	0	1	1	1	1,1
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
48	256	235	193	351	279	331	324	303	246	316	293	284,3
49	198	196	167	133	192	192	263	186	158	233	204	192,9
50	17	15	18	17	29	71	85	25	14	26	16	30,3
51	16	21	18	13	23	22	8	13	16	2	19	15,5
52	82	83	87	64	88	78	84	69	63	85	80	78,5
53	51	34	38	41	65	54	114	66	55	73	64	59,5
54	306	298	260	246	336	320	376	343	319	344	291	312,6
55	255	294	177	105	133	130	148	126	89	187	308	177,5
56	78	63	77	83	103	128	152	123	122	151	122	109,3
57	79	91	79	67	73	71	70	57	55	57	61	69,1
58	0	1	1	2	6	44	30	21	25	9	9	13,5

Nós	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13	Média Nodal
59	208	186	153	157	217	174	208	180	179	189	187	185,3
60	158	163	89	139	119	211	159	122	135	180	238	155,7
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
62	25	26	24	31	48	35	32	32	76	46	30	36,8
63	98	89	86	118	111	103	106	88	93	123	101	101,5
64	72	88	70	64	51	61	59	54	80	108	115	74,7
65	152	164	166	145	241	164	153	129	150	148	124	157,8
66	5	3	9	12	29	19	18	15	10	10	13	13,0
67	3	0	0	1	8	12	11	14	6	7	11	6,6
68	81	96	73	70	87	68	99	107	109	83	80	86,6
69	15	11	15	9	7	12	10	8	10	19	12	11,6
70	95	103	77	73	109	97	103	91	82	117	134	98,3
71	12	25	166	22	53	29	26	13	15	16	20	36,1
72	43	47	41	43	47	49	51	32	31	31	27	40,2
73	118	19	18	20	37	26	25	18	19	21	9	30,0
74	92	88	96	88	110	106	130	78	108	128	106	102,7
75	127	102	110	99	153	151	155	110	90	89	118	118,5
76	44	32	28	21	40	49	48	49	40	27	48	38,7
77	162	168	141	108	159	186	214	171	141	183	177	164,5
78	18	22	19	24	20	23	15	18	20	26	26	21,0

Nós	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13	Média Nodal
79	31	32	22	22	30	69	33	30	34	25	22	31,8
80	137	133	141	128	139	157	171	145	135	148	173	146,1
81	103	110	149	113	88	89	103	88	84	101	98	102,4
82	25	61	16	32	22	36	41	38	32	48	24	34,1
83	17	19	14	12	12	17	16	14	14	13	9	14,3
84	207	186	107	137	181	210	265	206	222	235	285	203,7
85	30	30	27	26	36	33	36	30	30	31	32	31,0
86	30	34	36	30	31	33	33	21	42	35	41	33,3
87	43	34	25	36	42	30	48	27	36	42	44	37,0

ANEXO L - Dados de custos energéticos da captação e ETA.

Dados	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13
Quantidade da Demanda Ativa HFP (kW)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Preço da Demanda Ativa HFP (R\$/kW)	17,199	19,291	19,052	19,129	18,926	19,197	19,042	19,084	19,097	18,933	17,506
Valor da Demanda Ativa HFP (R\$)	5555,390	5787,360	5715,580	5738,800	6680,840	6047,160	5712,590	8263,510	8058,850	7630,100	7282,860
Quantidade da Demanda Ativa HFP Ultrapassada (kW)	23,0	-	-	-	53,0	-	-	133,0	122,0	103,0	116,0
Preço da Demanda Ativa HFP Ultrapassada (R\$/kW)	34,399	-	-	-	37,852	-	-	38,167	38,194	37,867	35,014
Valor da Demanda Ativa HFP Ultrapassada (R\$)	791,140	-	-	-	2006,130	-	-	5076,420	4659,620	3900,250	4061,590
Quantidade da Energia Ativa HFP (kWh)	142800,0	120750,0	131460,0	120960,0	138180,0	144900,0	138390,0	145320,0	141750,0	148680,0	142590,0
Preço da Energia Ativa HFP (R\$/kWh)	0,194	0,215	0,213	0,214	0,211	0,214	0,213	0,213	0,194	0,193	0,151
Valor da Energia Ativa HFP (R\$)	27724,91	26008,41	27963,98	25835,01	29199,01	31058,16	29422,75	30964,82	27531,77	28630,42	21523,55

Dados	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13
Quantidade da Energia Ativa HP (kWh)	17640,0	15750,0	17640,0	16380,0	17430,0	19950,0	14910,0	17640,0	17430,0	15330,0	16800,0
Preço da Energia Ativa HP (R\$/kWh)	1,678	1,751	1,729	1,737	1,718	1,743	1,729	1,732	1,701	1,686	1,454
Valor da Energia Ativa HP (R\$)	29593,69	27581,74	30508,34	28444,31	29945,71	34766,79	25773,34	30560,20	29645,80	25850,69	24419,47
Quantidade da Energia Reativa HFP (kWh)	2100,0	1890,0	2100,0	1890,0	2520,0	2310,0	2100,0	2310,0	2100,0	1260,0	1260,0
Preço da Energia Reativa HFP (R\$/kWh)	0,176	0,183	0,181	0,182	0,180	0,182	0,181	0,181	0,181	0,180	0,153
Valor da Energia Reativa HFP (R\$)	369,89	346,06	379,74	343,17	452,69	420,92	379,55	418,45	380,63	226,42	193,07
Quantidade da Energia Reativa HP (kWh)	210,0	210,0	-	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	-	-
Preço da Energia Reativa HP (R\$/kWh)	0,176	0,183	-	0,182	0,180	0,182	0,181	0,181	0,181	-	-
Valor da Energia Reativa HP (R\$)	36,97	38,44	-	38,11	37,71	38,24	37,94	38,02	38,06	-	-
Valor Total da Conta (R\$)	53828,21	49649,72	54882,52	49533,15	57405,57	59660,39	52127,27	64228,58	59649,04	56887,26	46603,81

ANEXO M - Dados de custos energéticos da EEA Solar dos Lagos.

Dados	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13
Quantidade da Demanda											
Ativa HFP (kW)	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Preço da Demanda											
Ativa HFP (R\$/kW)	17,199	19,291	19,052	19,129	18,926	19,197	19,042	19,084	19,097	18,933	17,507
Valor da Demanda											
Ativa HFP (R\$)	3267,86	3665,33	3619,86	3634,57	3595,91	3647,49	3617,97	3626,01	3628,39	3597,31	3326,30
Quantidade da Energia											
Ativa HFP (kWh)	75153,0	62115,0	68757,0	63837,0	72078,0	77367,0	75645,0	78966,0	77121,0	81426,0	78720,0
Preço da Energia											
Ativa HFP (R\$/kWh)	0,194	0,215	0,213	0,214	0,211	0,214	0,213	0,213	0,194	0,193	0,151
Valor da Energia											
Ativa HFP (R\$)	14591,11	13378,98	14625,89	13634,50	15230,89	16582,83	16082,69	16826,09	14979,02	15679,72	11882,58
Quantidade da Energia											
Ativa HP (kWh)	8487,0	7872,0	8733,0	8241,0	984,0	10086,0	8241,0	9471,0	8979,0	8487,0	9348,0
Preço da Energia											
Ativa HP (R\$/kWh)	1,678	1,751	1,729	1,737	1,718	1,743	1,729	1,732	1,701	1,686	1,454
Valor da Energia											
Ativa HP (R\$)	14238,18	13785,61	15103,69	14310,70	14792,45	17576,83	14245,34	16407,91	15271,91	14311,47	12587,69
Quantidade da Energia											
Reativa HFP (kWh)	123,0	123,0	-	738,0	123,0	984,0	984,0	738,0	861,0	861,0	738,0

Dados	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13
Preço da Energia											
Reativa HFP (R\$/kWh)	0,176	0,183	-	0,182	0,180	0,182	0,181	0,181	0,181	0,180	0,153
Valor da Energia											
Reativa HFP (R\$)	21,64	22,50	-	133,98	176,75	179,28	177,84	133,67	156,05	154,71	113,07
Quantidade da Energia											
Reativa HP (kWh)	-	-	-	123,0	123,0	123,0	123,0	123,0	-	123,0	123,0
Preço da Energia											
Reativa HP (R\$/kWh)	-	-	-	0,182	0,180	0,182	0,181	0,181	-	0,180	0,153
Valor da Energia											
Reativa HP (R\$)	-	-	-	22,31	22,08	22,39	22,21	22,26	-	22,08	18,83
Valor Total da											
Conta (R\$)	27300,99	26224,59	28347,05	26026,80	28257,15	31344,91	29024,18	31181,95	28930,09	28700,51	24589,20

ANEXO N - Dados de custos proporcionais aos bairros da captação e tratamento de água (R\$).

Bairros	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12
Palmela	507,53	352,57	373,81	303,42	458,32	544,53
Vale dos Pinheiros	815,47	554,53	515,56	535,98	666,25	774,49
Moradas da Serra	396,85	281,77	284,21	232,30	331,51	366,37
Solar dos Lagos São Mateus	1995,84	111,04	1428,70	1062,34	1560,63	1806,40
Porta do Céu Santa Mônica	3609,00	2383,69	2604,59	2121,86	2915,68	3331,67
Lagoa Seca Santa Mônica 2 Serra Verde	500,82	316,97	375,54	307,00	416,59	554,57
Bairros	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13	Média
Palmela	331,40	439,05	370,13	446,00	339,60	406,03
Vale dos Pinheiros	671,04	711,00	539,40	800,84	557,89	649,31
Moradas da Serra	297,37	307,89	280,35	298,52	268,68	304,17
Solar dos Lagos São Mateus	1447,63	1791,50	1266,51	1562,45	1383,32	1401,49
Porta do Céu Santa Mônica	2439,51	3311,06	2405,80	2967,36	2467,51	2777,97
Lagoa Seca Santa Mônica 2 Serra Verde	363,84	520,42	332,16	430,63	372,35	408,26

ANEXO O - Dados de custos proporcionais aos bairros da estação elevatória de água do Vale dos Pinheiros (R\$).

Bairros	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12
Palmela	260,90	189,43	196,72	162,58	229,29	290,62
Vale dos Pinheiros	419,19	297,93	271,31	287,19	333,31	413,35
Moradas da Serra	204,00	151,38	149,56	124,47	165,85	195,53
Solar dos Lagos						
São Mateus	1025,96	59,66	751,84	569,23	780,76	964,09
Porta do Céu						
Santa Mônica	1855,20	1280,68	1370,64	1136,95	1458,67	1778,14
Lagoa Seca						
Santa Mônica 2						
Serra Verde	257,45	170,30	197,63	164,50	208,41	295,98
Bairros	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13	Média
Palmela	187,70	217,29	182,64	229,18	181,86	211,65
Vale dos Pinheiros	380,07	351,89	266,16	411,52	298,76	339,15
Moradas da Serra	168,42	152,38	138,33	153,40	143,88	158,84
Solar dos Lagos						
São Mateus	819,92	886,64	624,94	802,88	740,79	729,70
Porta do Céu						
Santa Mônica	1381,71	1638,69	1187,11	1524,81	1321,39	1448,55
Lagoa Seca						
Santa Mônica 2						
Serra Verde	206,08	257,56	163,90	221,28	199,40	212,95

ANEXO P - Dados de custos total proporcionais aos bairros (R\$).

Bairros	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12
Palmela	768,43	542,00	570,53	465,99	687,61	835,14
Vale dos Pinheiros	1234,66	852,46	786,87	823,16	999,56	1187,84
Moradas da Serra	600,84	433,15	433,78	356,78	497,37	561,90
Solar dos Lagos						
São Mateus	3021,81	170,70	2180,54	1631,57	2341,39	2770,49
Porta do Céu						
Santa Mônica	5464,20	3664,37	3975,23	3258,81	4374,35	5109,81
Lagoa Seca						
Santa Mônica 2						
Serra Verde	758,27	487,27	573,17	471,50	625,00	850,55
Bairros	out/12	nov/12	dez/12	jan/13	fev/13	Média
Palmela	519,11	656,34	552,77	675,18	521,47	617,69
Vale dos Pinheiros	1051,11	1062,89	805,56	1212,35	567,44	962,17
Moradas da Serra	465,79	460,27	418,68	451,92	701,78	489,30
Solar dos Lagos						
São Mateus	2267,55	2678,15	1891,45	2365,33	2124,11	2131,19
Porta do Céu						
Santa Mônica	3821,21	4949,75	3592,91	4492,17	3788,90	4226,52
Lagoa Seca						
Santa Mônica 2						
Serra Verde	569,92	777,98	496,06	651,91	571,75	621,22

ANEXO Q – Custos proporcionais e totais para os bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Moradas da Serra (R\$).

Mês	Custo proporcional captação e ETA (R\$)	Custo proporcional EEA (R\$)	Custo total (RS)
abr/12	2684,296	1379,86	4064,16
mai/12	2023,064	1086,93	3109,99
jun/12	2130,952	1121,40	3252,35
jul/12	1958,637	1049,49	3008,13
ago/12	2238,32	1119,80	3358,12
set/12	2399,449	1280,61	3680,06
out/12	1878,336	1063,87	2942,20
nov/12	2301,499	1139,05	3440,55
dez/12	2073,249	1023,02	3096,27
jan/13	2025,425	1040,79	3066,21
fev/13	1592,136	852,61	2444,75
Média	2118,669	1105,22	3223,89