

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

**Análise e avaliação do comportamento de parâmetros hidráulicos de uma rede de
distribuição de água do Sul de Minas Gerais**

Luane Tais da Silva Vieira

Itajubá, março de 2019

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

Luane Tais da Silva Vieira

Análise e avaliação do comportamento de parâmetros hidráulicos de uma rede de distribuição de água do Sul de Minas Gerais

Dissertação apresentada 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 - MEMARH

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

Março de 2019

Itajubá - MG

DEDICATÓRIA

A minha filha, aos meus familiares e amigos, pelo incentivo, paciência e carinho que tiveram comigo por todo esse tempo.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela que me proporciona grandes oportunidades de prosperar na vida, me dando saúde e proteção durante todo esse período.

Agradeço aos meus familiares que direta ou indiretamente me ajudaram e me deram força para que chegasse até onde eu cheguei. A minha filha que é meu maior tesouro, pela compreensão em dias que minha atenção não ficava somente para ela.

Aos meus colegas de pesquisa que aturam auxiliando na pesquisa e durante os estudos que nos trouxeram até aqui, em especial ao Alex Takeo e André. Agradeço também ao professor Dr. Luiz Felipe que atuou diretamente no auxílio em cálculos ao longo da pesquisa. E de forma especial agradeço ao professor Dr. Fernando das Graças Braga da Silva, que me transmitiu todo seu conhecimento e paciência durante nosso tempo de trabalho juntos. Obrigada pela atenção dedicada para meu conhecimento intelectual e profissional.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa nº 1736715 cedida durante esse período de estudo. Agradeço ao Projeto Redecope Finep – MCT (Ref. 0983/10)- Ministério da Ciência e Tecnologia intitulado “Desenvolvimento de tecnologias eficientes para a gestão hidro energética em sistemas de abastecimento de água” e Programa Pesquisador Mineiro da Fapemig pelo PPM - 00755-16 além de ser grato ao NUMMARH- Núcleo de Modelagem em Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos da UNIFEI.

Agradeço, em geral, a todos que de alguma forma fizeram parte dessa caminhada. Todos vocês fazem parte desse título.

RESUMO

O atual cenário dos recursos hídricos utilizados no abastecimento da população requer muita atenção para que não venha a se findar definitivamente sem um gerenciamento eficaz. Tornou-se necessário entender o funcionamento de uma rede em toda sua extensão para que sejam tomadas decisões que visem acesso de toda população a água, mais que até chegada as residências não sejam perdidas. As análises estatísticas são uma ferramenta que proporciona a facilidade de entender como seria a programação e as manobras que se adaptam melhor a determinado sistema de abastecimento de água. Para tal pode ser utilizado análise de parâmetros hidráulicos medidos tirando deles valores como média, desvio padrão, mediana, entre outros, dependendo dos dados que possui e o que pretende encontrar como resposta. Uma ferramenta bastante utilizada são os softwares de análise estatística, que conseguem dar como resposta valores diversos e confiáveis. A rede estudada pertence a um setor isolado do sul de Minas Gerais, os dados existentes para que pudesse ser feito as análises estatísticas são de pressão e foram medidos durante 7 dias consecutivos. Como teste foi escolhido o teste t no qual foi gerado uma matriz na planilha do Excel da Microsoft com comparação entre os dias e outras análises foram feitas com auxílio do Softwares estatísticos onde foram traçados gráficos boxplot, correlação de Pearson e cálculo de limites de perdas tendo como resultados de pressão 23,18 mca para 35% de perda e pressão de 79,94 mca para 65% de índice de perdas. Analisando as respostas obteve-se que as pressões maiores foram registradas aos domingos, pois possivelmente é um dia de menos consumo e interferência na rede, e outra conclusão foi que quanto maior o valor de cota altimétrica menor é a pressão e menor o valor de perda, já em cotas mais baixas maior é a pressão e em consequência as perdas também são maiores.

Palavras-chave: Parâmetros hidráulicos, sistema de distribuição de água e análise estatística.

ABSTRACT

The current scenario of water resources needs attention for an efficient management. It's necessary the comprehension of the operation from all extension network so the best decisions are made to give access to water for the entire population without losing water along the way. Statistical analysis is a tool that provides the facility to understand how the programming and maneuvers that best fit in a particular water supply system would be. To do so, it is possible to analyze hydraulic parameters measured by taking values such as mean, standard deviation, median, among others, depending on the data it has and what it wants to find in response. A widely used tool is statistical analysis software, which can respond to diverse and reliable values. The studied network belongs to an isolated sector of the south of Minas Gerais, the existent data so that the statistical analyzes could be done are of pressure and were measured during 7 consecutive days. As test was chosen t test in which a matrix was generated in the Microsoft Excel worksheet with comparison between the days and other analyzes were done with the help of Statistical Softwares where were plotted boxplot, Pearson correlation and calculation of loss limits having as pressure results 23.18 mca for 35% loss and pressure from 79.94 mca to 65% loss index. Analyzing the responses it was obtained that the higher pressures were recorded on Sundays, since it is possibly a day of less consumption and interference in the network, and another conclusion was that the higher the value of altimetric quota the lower the pressure and the lower the value of loss, already in lower shares the higher the pressure and consequently the losses are also greater. Possibly a day of less consumption and interference in the network, and another conclusion was that the higher the value of altimetric quota the lower the pressure and the lower the value of loss, already in lower shares the higher the pressure and consequently the losses are also greater.

Keywords: Hydraulic parameters, water distribution system and statistical analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Abastecimento de água.....	15
Figura 2 - Fluxograma das etapas da pesquisa	32
Figura 3 - Localização da cidade estudada.....	33
Figura 4 - Localização dos bairros do setor estudado	34
Figura 5 - Rede de Estudo	34
Figura 6 - Pontos de monitoramento de 7 dias	36
Figura 7 - Zonas de Pressão.....	37
Figura 8 - Representação esquemática de todo o sistema de abastecimento do município.....	38
Figura 9 - Esquema dos setores estudados	39
Figura 10 - Diâmetro da rede de abastecimento de água.....	40
Figura 11 – Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	42
Figura 12 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	42
Figura 13 - Logger 5 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	43
Figura 14 - Nó 111 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	44
Figura 15 - Nó 109 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	44
Figura 16 - Nó 116 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	45
Figura 17 - Nó 112 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	46
Figura 18 – Nó 103 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	47
Figura 19 - Nó 21 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	47
Figura 20 - Nó 113 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014.....	48

Figura 21 - Nó 62 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014	49
Figura 22 - Nó 85 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014	50
Figura 23 - Nó 115 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014	51
Figura 24 - Nó 114 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014	51
Figura 25 – Vazão x Tempo (Morada da Serra)	61
Figura 26 - Pressão e consumo por setor	64
Figura 27 - Gráfico das médias por Nó	65
Figura 28 - Gráfico de comparação das médias dos nós 114, 115, 85 e 62.....	74
Figura 29 - Boxplot ponto 105	77
Figura 30 - Boxplot ponto 14	78
Figura 31 - Boxplot ponto 51	79
Figura 32 - Boxplot ponto 111	79
Figura 33 - Boxplot ponto 109	80
Figura 34 - Boxplot ponto 116	81
Figura 35 - Boxplot ponto 112	81
Figura 36 - Boxplot ponto 103	82
Figura 37 - Boxplot ponto 117	82
Figura 38 - Boxplot ponto 113	83
Figura 39 - Boxplot ponto 62	83
Figura 40 - Boxplot ponto 85	84
Figura 41 – Boxplot ponto 115.....	84
Figura 42 – Boxplot ponto 114.....	85
Figura 43 - Dispersão que relaciona os pontos 111 e 109	87
Figura 44 - Dispersão que relaciona os pontos 85 e 103	87
Figura 45 - Dispersão que relaciona os pontos 114 e 115	88
Figura 46 - Gráfico das perdas por Nós.....	90

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Nós de cada bairro	35
Tabela 2 - Altitudes dos pontos de monitoramento de pressão	37
Tabela 3 - Dados estatísticos Nó 105 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	53
Tabela 4 - Dados estatísticos Nó 14 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	54
Tabela 5 - Dados estatísticos Nó 51 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	55
Tabela 6 - Dados estatísticos Nó 111 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	55
Tabela 7 - Dados estatísticos Nó 109 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	56
Tabela 8 - Dados estatísticos Nó 116 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	56
Tabela 9 - Dados estatísticos Nó 112 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	57
Tabela 10 - Dados estatísticos Nó 103 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	57
Tabela 11 - Dados estatísticos Nó 117 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	58
Tabela 12 - Dados estatísticos Nó 113 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	58
Tabela 13 - Dados estatísticos Nó 62 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	59
Tabela 14 - Dados estatísticos Nó 85 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	59
Tabela 15 - Dados estatísticos Nó 115 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	60
Tabela 16 - Dados estatísticos Nó 14 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014.....	60
Tabela 17 – Análise dos dados de vazão Solar dos Lagos	62

Tabela 18 - Análises da velocidade Solar dos Lagos	63
Tabela 19 – Dados estatísticos por setor, em mca, calculados durante os 7 dias	65
Tabela 20 - Análise de parâmetros estatísticos Bairro Palmela, em mca	66
Tabela 21 - Análise de parâmetros estatísticos Bairro Vale dos Pinheiros, em mca.....	67
Tabela 22 - Análise de parâmetros estatísticos Bairro Morada da Serra, em mca	67
Tabela 23 - Valores do test t por Nó.....	70
Tabela 24 - Teste t para todos os nós	76
Tabela 25 - Correlação entre as pressões nos pontos de medição	86
Tabela 26 - Coeficientes A e B.....	88
Tabela 27 - Correlação de perdas e pressão	89
Tabela 28 - Médias e perdas por Nós	89

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVO	13
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3.	REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1	Sistema de abastecimento de água.....	14
3.2	Perdas nas redes de distribuição	15
3.2.1	Perdas Aparentes (Não Reais)	17
3.2.2	Perdas Reais	17
3.3	Operação de redes de abastecimento de água	18
3.3.1	Redes de distribuição	19
3.3.2	Bomba e Booster.....	20
3.3.3	Válvulas Redutoras de Pressão	20
3.4	Métodos aplicados para análise de parâmetros hidráulicos	21
3.4.1	Simulação hidráulica.....	21
3.4.2	Calibração de rede	22
3.4.3	Demanda	23
3.4.4	Balanco hidro energético	24
3.5	Métodos de análise estatística de uma rede de água	25
3.5.1	Análise estatística de dados	25
3.5.2	Software de análise de dados	25
3.5.2.1	S-PLUS	26
3.5.2.2	STATISTICA.....	27
3.5.2.3	MINITAB	27
3.5.3	Análise estatística de dados em recursos hídricos	28
3.5.4	Análise estatística de dados de rede de distribuição de água.....	30
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	FLUXOGRAMA DAS FASES DA PESQUISA	32
4.1.1	Seleção da rede de estudo	32
4.1.2	Levantamento e análises dos dados existentes – grupo NUMARH	35
4.1.3	Avaliação de ferramenta para análise estatística	41

4.1.4	Análise geral preliminar dos dados.....	41
4.1.5	Cálculo dos valores de correlação de perdas com pressão	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1	Análise estatística dos dados	53
5.1.1	Varição estatística dos parâmetros de pressão por Nó.....	53
5.1.2	Varição estatística dos parâmetros de pressão por Setor	61
5.2	Teste estatístico.....	68
5.2.1	Resultado do teste t por dia nos Nós.....	68
5.2.2	Resultado do teste t por Nós	75
5.3	Análises estatísticas com apresentações gráficas	77
5.3.1	Gráfico Boxplot	77
5.3.2	Correlação de Pearson	85
5.3.3	Correlações de variações de pressões e perdas de água.....	88
6.	CONCLUSÕES	91
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

1. INTRODUÇÃO

Atualmente tem-se observado problemas relacionados a abastecimento de grandes centros urbanos associados a aumento da população diretamente ligado ao consumo que acabam contribuindo para redução de disponibilidade de água em qualidade e quantidade. Tal assunto tornou-se um tema de preocupação mundial. Nesse contexto as redes de distribuição de água como sistemas hídricos enfrentam problemas de grandes perdas de água.

No Brasil a perda pode chegar a 40% do volume já tratado. Perde-se água e dinheiro com isso. As perdas se dividem em reais que acontecem ao longo da rede distribuição e são mais fáceis de serem detectadas e as perdas aparentes que acontecem em geral nos medidores de água das residências, ligações clandestinas que acabam não gerando renda. Portanto há uma necessidade de combater os desperdícios nos sistemas de abastecimento como um todo. Promover formas de mudar a maneira com que a população enxerga essa perda e como a empresa que de saneamento modifica a distribuição para evitar essa grande perda. Isso será uma ação preventiva que é bem mais eficaz do que a corretiva.

Um agravante é que as redes de água existentes são em geral antigas e ineficientes, com tubulações e conexões que necessitam de manutenção frequente e cara, inviabilizando muitas das atitudes que são feitas para prevenção desses vazamentos. Outro fator que contribui são as altas pressões no sistema de distribuição de água que provocam o rompimento das tubulações e causam grandes vazamentos de água. Equilibrar essa pressão é uma necessidade prioritária nas redes.

Mesmo sabendo que reduzir a perda a um valor zero seja praticamente impossível, é possível melhorar a forma de gerenciamento do sistema de abastecimento, trabalhando com menos erros e conhecendo melhor a rede. Um gerenciamento eficaz diminui as perdas ao longo da tubulação, nos pontos de tratamento de água e nas residências dos consumidores, reduzindo os excessos nas variações de pressão.

Surge então a necessidade de encontrar meios que ajudem a controlar e diminuir essas perdas. Vários pesquisadores criaram métodos de melhoramento das redes de abastecimento de água, proporcionando otimização do sistema. Para que isso seja possível é necessário que o sistema seja conhecido por completo, tanto valores de consumo quanto valores de vazão, pressão e velocidade, resultando na caracterização da rede. É necessário determinar horário de pico de consumo, se existe consumo em períodos noturnos. Assim as ferramentas de análises estatísticas se mostram bem eficientes nesse sentido.

Com dados de redes coletados a análise estatística permite o conhecimento de ocorrência de eventos futuros, prever possíveis falhas no sistema e acarretar melhorias significativas. A análise estatística de forma geral engloba coleta, análise e interpretação das informações de forma clara e objetiva e mais resumida possível. Uma série de dados, por exemplo, pode se resumir em um gráfico muito mais fácil de ser entendido. A partir daí são tomadas decisões mais eficazes.

Neste trabalho serão analisados estatisticamente parâmetros hidráulicos de uma rede de distribuição de água de uma cidade do sul de Minas Gerais, com base em dados coletados pela equipe REDECOPE, com objetivo de caracterizar o sistema como um todo.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver metodologia de análise estatística de parâmetros hidráulicos de uma rede de abastecimento de água.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são os relacionados a seguir:

- Aplicar metodologia de análise estatística em um sistema de distribuição de água real;
- Relacionar valores de pressões com perdas reais;
- Extrair informações para conhecimento do sistema hídrico em questão.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A seguir serão discorridos temas relacionados ao assunto escolhido como tema para ser trabalhado e pesquisado.

3.1 Sistema de abastecimento de água

Um sistema de abastecimento de água tem como função distribuir todas as etapas até que a água chegue às residências. Para o dimensionamento de um sistema de abastecimento fatores são levados em conta como a topografia local, tipo de manancial local e população a ser atendida com a estimativa de crescimento, com esses dados o sistema é projetado de forma a atender à população durante muitos anos (TSUTIYA, 2006).

Um sistema de abastecimento de água é composto pelas etapas relacionadas abaixo e posteriormente mostradas na Figura 1:

- Manancial: fonte de onde se retira a água;
- Captação: conjunto de equipamentos e instalações utilizado para a tomada de água do manancial;
- Adução: transporte da água do manancial para a estação de tratamento de água ou da água tratada para o reservatório;
- Tratamento: melhoria das características qualitativas da água, dos pontos de vista físico, químico, bacteriológico e organoléptico, a fim de que se torne própria para o consumo. É feito nas Estações de Tratamento de Água – ETA;
- Reservatório: armazenamento da água para atender a diversos propósitos, como a variação de consumo e a manutenção da pressão mínima na rede de distribuição;
- Rede de distribuição: condução da água para os edifícios e pontos de consumo, por meio de tubulações instaladas nas vias públicas.

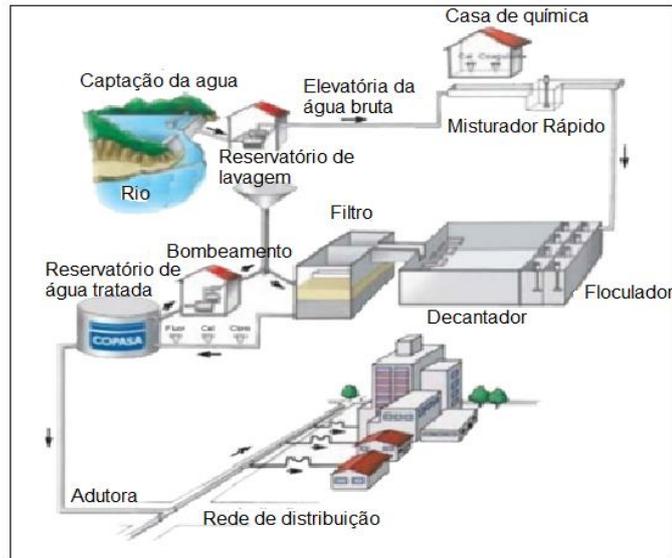


Figura 1 - Sistema de Abastecimento de água

Fonte: COPASA, 2017.

Um sistema de distribuição de água de forma geral é o conjunto de tubulações, acessórios, reservatórios, bombas, etc., que tem a finalidade de atender, dentro de condições sanitárias, de vazão e pressão convenientes, a cada um dos diversos pontos de consumo de uma cidade (PORTO, 2006). O objetivo principal consiste no fornecimento de água potável e segura para uso doméstico, quantidade e pressão suficiente para combate a incêndio, e para água uso industrial. Os mananciais para abastecimento municipal são poços profundos e rasos, lagos, rios e reservatórios formados por barragens (HAMMER, 1979).

A quantidade de água necessária para abastecimento total da população para suprir suas necessidades depende inteiramente de suas indústrias, clima e do poder econômico dos mesmos. Devido à escassez hídrica e o grande crescimento populacional nas grandes cidades a água se tornou um bem cada vez mais importante de ser conservado. Com isso surge a necessidade de racionamento dos gastos de água em tarefas domésticas e industriais, porém não é levado em conta outro problema grave que são as perdas de água em redes de distribuição. Água captada e tratada é perdida ao longo dos caminhos até as residências.

Assim fazem-se necessários estudos de meios de minimização e extinção dessas perdas em sistemas de distribuição de água.

3.2 Perdas nas redes de distribuição

Com aumento da população e diminuição dos recursos naturais, a perda de água em redes de abastecimento se tornou um grande problema nos últimos anos. Por se tratar de obras

enterradas, muitas vezes os sistemas de distribuição de água são esquecidos e vistos somente quando acontecem grandes vazamentos que acabam causando perdas relevantes e desnecessárias (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2013).

De acordo com Fontana, Giugni e Portolano (2012) as perdas nas redes chegam a ultrapassar 30 a 40%, isso devido à falta de gerenciamento eficaz das redes e na maioria das vezes a falta de manutenção de tubulações e conexões que acabam sofrendo desgaste com o tempo. A implantação de um projeto de rede de água deveria balancear o custo de implantação geralmente baixo, com o custo da manutenção que acaba sendo alto e frequente (PINNTO et al., 2017).

O índice de NRW (água não rentável) é considerado um índice de desempenho importante, pois indica o valor de água que está sendo perdida e não gerando receita (KANAKOUDIS et al., 2013). Isso é um problema grande, pois água perdida e não contabilizada acaba exigindo um maior volume de tratamento na tentativa de fechar a conta do que sai e do que é contabilizado pelas concessionárias, gerando um maior custo com o tratamento e distribuição e ainda um maior comprometimento dos recursos já quase escasso.

Um dos maiores vilões do sistema de abastecimento é a pressão nas tubulações, muitas vezes elas não são controladas e acabam causando grandes estragos. Dessa forma, na maioria dos casos a gestão de pressão é uma das estratégias de gestão de fugas. A pressão pode ser reduzida para diminuir as perdas desde que não seja afetado o funcionamento eficiente do sistema para abastecimento da população em horário de maior consumo, em caso de manutenção da rede e para serviço de hidrante em combate a incêndio (FONTANA; GIUGNI; PORTOLANO, 2012).

As pressões com valores altos acabam afetando as tubulações e conexões, por forçarem o sistema os pontos de conexões se rompem causando os vazamentos. “É provável que isso seja agravado pela alta taxa de deterioração da infraestrutura, o que resultará em maior perda de água potável tratada e energizada” (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2013).

Mesmo com todos os benefícios que podem ser trazidos com o controle correto da pressão nas tubulações, essa ferramenta quase nunca é usada na tentativa de diminuição de fugas em países em desenvolvimento, isso ocorre devido a dois fatores. Um é a falta de mecanismos que consigam comprovar os benefícios que justifiquem os gastos com esse tipo de serviço e a outra é a falta de configuração bem elaborada dos sistemas de distribuição que possibilitem a gestão eficiente da pressão (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2013).

Segundo Kanakoudis et al. (2013) as perdas podem ser divididas em dois tipos: as aparentes e as reais.

3.2.1 Perdas Aparentes (Não Reais)

As perdas aparentes são as perdas não físicas, mais difíceis de serem detectadas. Elas representam o uso não autorizado da água, acontecem mais especificamente próximo ao consumidor podendo ser de problemas no medidor ou medição (leitura) errada, uso ilegal ou roubo da água, problemas com erros de monitoramento ou de programação da rede, contabilização errada das leituras e vazamentos após a água ter passado pelo registro nas residências dessa forma já não é mais apontado.

Pode ser definida também como a água que não é computada nas unidades de consumo gerando uma cobrança indevida e causando prejuízos ao consumidor, dessa forma sendo chamada de perda “comercial” (ABES, 2013). As perdas implicam diretamente no bolso do consumidor, pois são acopladas as tarifas cobradas e assim acaba sendo paga uma água não consumida. A forma utilizada para determinar esse volume perdido é analisando a diferença de água introduzida na rede e a quantidade computadas no final, deste modo as concessionárias conseguem ter uma estimativa de volume que foi perdido ao longo do percurso até as residências.

Lamoglia (2013) cita alguns meios de se fazer a detecção de vazamentos para controlar as perdas aparentes, como testes de pressões e vazões em partes determinadas das redes ou o uso de sensores acústicos automáticos, o uso de geofones, loggers e injeção de gás na rede são frequentemente usados para esse fim.

Diminuir as perdas aparentes representa alguns ganhos importantes para o sistema em geral, como o aumento da receita, originado do aumento do consumo medido e faturado. Conseqüentemente a necessidade de abastecimento e a cobrança de água não consumida pela população fica menor. Obras como troca de hidrômetros e medidores com defeito, fiscalização eficiente de ligações fraudulentas e melhorias na parte administrativa dos cadastros das unidades de consumo são necessários para que seja solucionado o problema de perdas aparentes (ABES, 2013).

3.2.2 Perdas Reais

As perdas reais são perdas físicas, em geral acontecem devido a vazamentos nas adutoras, vazamentos nas redes de distribuição, transbordamento de reservatórios, problemas

nas conexões e perdas nas estações de tratamento. Corresponde ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final e acaba sendo inutilizado antes de chegar às unidades de consumo (ABES, 2013).

Sobrinho e Borja (2016) apresentam como sendo as causas das perdas o envelhecimento da tubulação e seus acessórios, qualidade e origem dos materiais utilizados e suas adaptações, operações nos solos vizinhos a rede, alterações nas pressões hidráulicas no sistema, problemas em peças especiais, estruturas trincadas e falta de impermeabilização das estações de tratamento de água e nos reservatórios.

O impacto ambiental causado pelos transtornos relacionados a concepções de novas redes, mudança de local e manutenção que muitas vezes são altos, também podem ser diminuídas se as perdas forem reduzidas. Essa perda está diretamente relacionada à conservação dos recursos naturais, pois quanto maior o índice de perda maior será o volume que deverá ser captado e explorado. Além de problemas causados para saúde pública, pois agentes nocivos acabam entrando pela rede danificada e chegando às residências o que influencia diretamente nos custos com medicamentos e hospitais (LAMOGLIA, 2013).

Por ser facilmente percebido seu controle pode ser feito rapidamente, sendo assim ganhos importantes acontecem com a redução das perdas como a diminuição de investimentos financeiros na rede e logo redução dos custos. Em geral as diminuições dos custos mais significativos acontecem na estação de tratamento. Com a diminuição do volume de água a ser tratado, o custo com produtos químicos e custos com energia na operação da estação de tratamento e na distribuição de água é reduzido significativamente. Essa redução pode ser alcançada com a melhoria das ligações, tubulações e acessórios, qualificação da mão-de-obra e melhoria dos materiais, controle da pressão no sistema e controle mais eficiente do serviço de reparos nos vazamentos (ABES, 2013).

3.3 Operação de redes de abastecimento de água

Segundo Porto (2006) 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.

As redes usam de gravidade para o abastecimento de água quando em pequena extensão e com topografia favorável a isso, mais nem sempre é possível, dessa forma acaba sendo necessário o uso de bombas e válvulas para ajudarem no controle de pressão. As pressões devem ser estudadas para que chegue água às residências de forma a proporcionar o abastecimento de forma adequada.

3.3.1 Redes de distribuição

As redes de distribuição fazem parte do sistema de abastecimento sendo composta pela tubulação, conexões e acessórios, instalados na via pública, em propriedades da concessionária ou em outras excepcionalmente, com a finalidade de levar água até o consumidor final, de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão necessária (GOMES, 2010). É composta por um conjunto de condutos ou tubulações secundárias que possui diâmetros menores que da adutora de água bruta e tratada. Medidas e decisões preventivas devem estar acopladas a concepção das redes, para que a água de abastecimento tenha sua qualidade preservada no caminho até o consumidor e esteja dentro dos padrões de potabilidade conferidos durante o tratamento (RIBEIRO, 2014).

As redes podem ser malhadas e ramificadas. A rede malhada pode-se abastecer qualquer ponto da rede por mais de um caminho, geralmente é a mais utilizada devida sua facilidade de execução e operação. Dentro das redes malhadas elas podem ser divididas em malhada com anéis, em blocos ou mistas. Já a rede ramificada é recomendada somente quando a topografia não permite a instalação da malhada, devido ao número de desvantagens apresentadas nesse tipo de rede. Uma desvantagem desse tipo de rede é o comprometimento de toda sua extensão devido a pequenos pontos de vazamento no sistema de abastecimento de água (TSUTIYA, 2006).

Para facilitar manutenções preventivas e corretivas as redes já são concebidas em setores de abastecimento, assim quando é necessário fechar uma parte da rede as demais não são prejudicadas e continuam funcionando normalmente com o abastecimento de água, podendo ser chamado de setores de manobra. Esses setores podem ser tratados como subsistemas e cada um representa características de tubulação e consumo de água bem parecidos. Essa setorização é estipulada em função da topografia, comprimento das redes e demografia local (RIBEIRO, 2014).

3.3.2 Bomba e Booster

As bombas são introduzidas no sistema quando a topografia é desfavorável e os reservatórios não estão posicionados em local de fácil chegada e distribuição da água, possui função de levar água de forma satisfatória a diversos pontos da rede, isso ocorre através de um acréscimo de energia ao fluido. São instaladas em diversos pontos da rede seja na captação de água, no tratamento ou nas elevatórias para auxiliar o vencimento de cotas mais elevadas.

Apresenta um problema que sempre deve ser estudado que são os altos custos de funcionamento, com manutenção e energia elétrica. Planos de funcionamento são traçados para determinar melhores horários de funcionamento para economia de energia mas desde que não comprometa o abastecimento das residências. Ribeiro (2014) explica que o ponto de inserção das bombas deve levar em conta as características de cada local, como consumo, capacidade financeira e geografia da região, pois através dessas características podem ser estipuladas a vazão de projeto e a característica hidráulica necessária para ser atendida pelo sistema de bombas.

3.3.3 Válvulas Redutoras de Pressão

Destinadas a dissipar a energia contida dentro de um sistema de distribuição de água, as válvulas redutoras de pressão são de grande importância para redução das perdas. Possuem a facilidade de controlar a pressão e manter entre a faixa de máxima e mínima permitidas. Com elas o sistema opera em faixa de pressão ótima ficando dentro dos limites de 100kpa (aproximadamente 10 mca) de mínima e 500kpa (aproximadamente 51 mca) de máxima conforme estabelece a NBR 12218, dessa forma a água consegue alcançar toda rede de forma eficiente e não causando problemas à estrutura da rede como quebra da tubulação.

As válvulas de redutoras de pressão são acionadas hidráulicamente e permitem regular a pressão em área definida. Permitem o maior controle das perdas que são ligadas a alterações na pressão e tornam viável a implantação das válvulas no sistema de distribuição (LAMOGLIA, 2013). Sua implantação necessita da área de funcionamento da válvula bem estabelecida, dividida em setores de alta e baixa vazão para um melhor controle da eficiência da válvula redutora de pressão.

Essas válvulas podem ser controladas eletrônica ou mecanicamente de acordo com o objetivo dos níveis de eficiência pretendido. Desta forma sempre é analisado como o sistema está se comportando, como a topografia está implicando nas respostas de vazão e nos níveis de perdas. Em alguns casos essas válvulas são substituídas por reservatórios intermediários,

que minimizam ou aumentam a pressão da rede. O princípio de funcionamento das válvulas de forma geral é o acionamento do dispositivo de obstrução quando a pressão a jusante for elevada aumentando a perda de carga localizada e equilibrando a pressão até o limite pré-estabelecido. Caso a pressão esteja abaixo do valor limite a válvula é aberta liberando água e a pressão é aumentada até ser restabelecida novamente. Assim a pressão sempre estará adequada para o sistema de distribuição de água.

3.4 Métodos aplicados para análise de parâmetros hidráulicos

As análises de parâmetros hidráulicos são essenciais na avaliação do funcionamento das redes de distribuição de água, sendo também a forma mais eficiente de se prever o comportamento do sistema quando ocorrem alterações das situações normais da rede. Essas análises em geral são feitas em vazão, pressão, rugosidade, perdas de carga nos trechos, entre outros e suas alterações podem ocorrer devido a vazamentos, quebra, envelhecimento de tubos, válvulas e registros com defeito ou fora da vida útil (FORMIGA; CHAUDHRY, 2008).

Vários métodos para análise hidráulica dos sistemas de distribuição foram criados e aperfeiçoados, pois apresentam a solução para diversos tipos de problemas relacionados a rede. Esses métodos englobam formulações matemáticas, programas de computador, métodos de coletas e análise de dados, entre outros.

3.4.1 Simulação hidráulica

Com base em informações que caracterizam um sistema de distribuição de água é possível reproduzir seu funcionamento com auxílio da simulação hidráulica, sem interferir no funcionamento da rede real. Mudando o posicionamento de dispositivos, diâmetros dos tubos, horário de funcionamento de bombas, entre outras características básicas do sistema.

Lamoglia (2013) utilizou em seu trabalho o modelo de simulação hidráulica EPANET para avaliar o sistema de distribuição de água de São Lourenço, MG, observando o comportamento da rede e determinando os valores de perdas de água com base em vazão e pressão e o custo desse volume perdido. Foram coletados dados de vazão mínima noturna, consumo, custo de produção e bombeamento de água e perdas. Basearam-se nos dados de componentes que pertencem à rede fornecidos pela concessionária e em dados coletados diretamente em campo. Outros dados importantes, como a vazão, foram retirados de Oliveira e Silva (2010), por ter trabalhado a mesma região.

Como resultado foi apresentado para os três bairros estudados valores de consumo seguindo os valores expostos pelos medidores que em geral forneceu valores de consumo altos ou baixos levando em consideração o padrão de vida dos moradores locais. Os dados coletados são dos anos de 2010 e 2012, e para determinar qual ano seria utilizado foi feita uma comparação entre pressão nos pontos e como resposta não foi observada alteração significativa, por isso foram utilizados valores de vazão do ano de 2010, pois o sistema continuou semelhante. Dados de vazão e pressão encontrados são coerentes com as cotas dos locais e variações conforme a faixa de consumo predominante.

3.4.2 Calibração de rede

Uma rede para ter valor confiável de simulação é necessário fazer a calibração dos dados fornecidos por coletas de campo com dados simulados em programas e assim validar os resultados para serem aplicados na rede real.

Ribeiro (2014) propôs a calibração da rede de abastecimento de água de São Lourenço em Minas Gerais, dando continuidade ao trabalho realizado por Lamoglia (2013), empregando um modelo proposto por Silva (2003) com o uso do algoritmo genético com o objetivo de determinar a eficiência hídrica e energética do sistema. Foram coletados dados de campo e dados da companhia de saneamento local, a qual forneceu a população abastecida, local de captação da água, localização da ETA, dados do conjunto moto bombas utilizadas no sistema, dimensões dos reservatórios e da elevatória, entre outros.

Através do Differential Global Positioning System (DGPS) foram obtidas as coordenadas dos pontos escolhidos para o trabalho. O Geofonamento detectou os vazamentos na rede, o Loggers de pressão mediu a pressão na rede e o medidor ultrassônico de vazão determinou a velocidade do fluxo de água e o volume em um intervalo de tempo. Uma grande parte dos dados foi obtida através da pesquisa de Lamoglia (2013). Como resultado Ribeiro (2014) encontrou que em média são perdidos 250m³/ dia de água somente no setor estudado e na rede de distribuição toda são perdidos 5239 m³/dia, considerando que alguns fatores característicos da rede e o índice de perda sejam da mesma proporção em toda rede. As pressões em função dos valores de consumo apresentam oscilações e em um determinado horário quando houve ruptura na rede a pressão também variou bastante.

Santos (2016) estudou um modelo de calibração para ajuste de parâmetros de rugosidade, demanda e vazamento visando eficiência hídrica e energética em uma rede de abastecimento de água em São Lourenço – MG. Primeiramente foi determinado o local para

coleta dos dados a serem levantados, a rede escolhida tem o traçado isolado e os dados coletados foram conferidos em reuniões com a equipe de saneamento local.

Em duas fases da pesquisa foram levantados os dados da rede de abastecimento sendo uma o levantamento de dados da companhia como o traçado da rede, histórico vazamentos, consumo último ano, diâmetro, material das tubulações, demais dados físicos, registros e funcionamentos das bombas. Foram escolhidas nas primeiras campanhas quais residências receberiam os loggers de pressão, foram coletados valores em 18 pontos, considerando que pudesse haver falhas. A campanha durou sete dias. A rede foi dividida em três zonas de pressão, as menores pressões e maiores altitudes, as pressões médias e altitude intermediária e a maiores pressões e de menores altitudes.

Santos (2016) observou através das análises dos gráficos gerados com o resultado que ao longo dos sete dias de coletas que a variação de consumo apresentou valores similares em todos os dias e que os valores menores foram medidos no domingo e assim constatou que houve aumento da média de pressão também nesse dia em relação aos demais medidos. Foi levantado que o consumo total do setor estudado é de 3,85 L/s, sendo diferentes nos três bairros estudados devido ao padrão de vida dos moradores do local. Foi determinado pela simulação um valor de rugosidade alto ocorrido por um erro de inserção de dado onde foi colocado valor médio de vazão menor do que o medido em campo. A partir disso foram ajustados os valores de rugosidade até que se aproximasse um valor que fosse considerado confiável para aquele setor.

3.4.3 Demanda

Um fator importante para planejamento das redes de distribuição de água é conhecer as necessidades futuras para cada região, qual a demanda hídrica necessária para atender à população de forma eficiente com base no consumo atual e no comportamento de crescimento desses fatores.

Bobsin (2014) estudou a rede de distribuição de água de um setor de São Lourenço (MG), com o objetivo de examinar as particularidades e o comportamento de demanda, comparando as redes que atendem classes sociais diferentes (baixa, média e alta) de acordo com a média de salário que a população local recebe, com padrões de consumo e uso da água de forma distinta, levantando diversos cenários de densidade e ocupação para infraestrutura existente, analisando o crescimento populacional com base nas leis municipais de crescimento e ordenação de população para cada região.

Como resultado, Bobsin (2014) pôde definir que são bem diferentes as rendas salariais da população dos três bairros estudados, sendo uma com classe mais elevada, outro de classes altas e baixas e o outro de renda mais baixas. Em relação ao consumo para os três anos analisados o consumo de água teve aumento, bem como o número de pessoas no local. E também para dois bairros o consumo aumentou quando associado aos valores de temperatura no verão e pouca chuva no inverno. Em relação à demanda futura de água, foi constatado que o local possui predominância de residências do tipo unifamiliar, porém com muitos terrenos vazios, o que sugere que terão novas construções em breve, podendo ser na maior parte delas residência multifamiliar, que resultaria em maior consumo de água.

3.4.4 Balanço hidro energético

Fortes (2016) analisou as perdas de água e relações energéticas em sistema de distribuição de água utilizando metodologia de balanço de uma rede isolada da cidade de São Lourenço (MG), englobando a água desde o sistema de estação de bombeamento até chegada ao consumidor. A rede estudada é pertencente a dois municípios, porém a companhia de saneamento responsável pela manutenção e cuidados, pertence à cidade de São Lourenço – MG. Foram levantados dados com a companhia de saneamento local e feitas campanhas de campo para coletar os demais dados para realização do trabalho.

Analisando os resultados foram verificados que o consumo no setor estudado apresenta valor constante, com vazão mínima na madrugada, e consumo início de consumo na parte da manhã, com picos de vazão em alguns horários de maior consumo local. Valores apresentados foram de vazão máxima 16,94 l/s, média 10,95 l/s e mínima de 7,45 l/s. Para calcular as perdas foi usado método de mínimo noturno com 65,40% de perdas reais e pelo método balanço hídrico com valor de 55,46%, por fim foram estimados que para esse sistema as perdas totais são de 56% e as perdas reais de 50%.

Assim as perdas reais equivalem a 97,7% das perdas totais e as perdas aparentes a 2,3%, indicando que os vazamentos são os principais causadores do desperdício de água no sistema. No balanço de energia foram encontrados os resultados de 9,44% de energia perdidas por atrito, 36,16% energia entregues ao consumidor e 51,40% de perdas de energia.

3.5 Métodos de análise estatística de uma rede de água

3.5.1 Análise estatística de dados

A análise estatística de dados é uma excelente ferramenta para diagnóstico de uma rede. Por meio dela é possível trabalhar dados coletados e observados, de forma a facilitar a compreensão dos resultados e a validação das informações descritas. Para tal podem ser elaborados, gráficos, tabelas ou até mesmo usar de programas estáticos para análise mais correta e de fácil acesso.

Segundo Vieira (2011), estatística é a ciência de estudo e método de coleta, organização, resumo, análise e conclusão de dados. Permite a tomada de decisão mais precisa para cada tipo de problema, mesmo que o número de dados obtidos para estudo seja pequeno e com incerteza de situações futuras.

Reis (2015), define cinco passos que definem o método estatístico, para que possam ser obtidos resultados válidos na resolução dos problemas:

1. Determinar exatamente qual problema será solucionado e obter respostas para qualquer que seja o problema em análise;
2. Coletar todas as informações necessárias para ser feita análise, em tempo hábil e mais completo possível;
3. Organizar e classificar os dados, de forma a fazer a separação dos que realmente serão utilizados, selecionando mais importantes;
4. Estudo, análise dos dados e conclusões dos resultados, com métodos estatísticos específicos para cada problema a ser solucionado, de forma mais objetiva;
5. Com base nos resultados, decidir a ação a ser tomada para solucionar o que foi proposto inicialmente.

Ao final da análise, as ações escolhidas como solução para o problema dependerão em parte dos dados coletados. A análise estatística é uma excelente ferramenta e fonte para entender como funciona determinado sistema, porém os dados fornecidos para essa análise devem ser muito confiáveis para que sejam validados os resultados, além da necessidade de escolha de um método estatístico adequado para cada cálculo.

3.5.2 Software de análise de dados

A utilização de software de análise dados estatísticos vem com uma proposta de facilitar e melhorar os resultados obtidos pelos programas de diagnósticos e análise dos dados.

Esses softwares possuem eficácia e facilidade de uso, além de diminuir o tempo levado para execução dos cálculos e conclusões dos resultados. Podem ser utilizados em diversas áreas de trabalho. Assim deve ser determinado o melhor software para cada caso e que gerem resultados fáceis de ser compreendidos por todos os tipos de pesquisadores e que de certa forma venha a acrescentar na melhoria do sistema em análise.

Em todas as áreas de estudo existem softwares bons e amplamente utilizados, a área de análise estatística também possui alguns bem utilizados, que podem ser facilmente aprendidos por profissionais de engenharia. Como por exemplo, os softwares S-PLUS, STATISTICA e o MINITAB.

3.5.2.1 S-PLUS

O S-PLUS é uma solução para análise estatística de dados e modelagem estatística, é uma extensão da linguagem de programação estatística S com capacidade de geração de gráficos de qualidade e com programação fundamentada em matriz. Possui uma enorme gama de funções de análise de dados e um sistema de pacotes de implantação de análises, seu conjunto de funcionamento é robusto e moderno. Como código aberta de linguagem de programação estatística S apresenta-se a linguagem R (SPLUS, 2018).

Foi desenvolvida na AT e T Bell Laboratories por John M. Chambers, que recebeu em 1998 um prêmio por esse feito, com linguagem S de alto nível e com espaço para análise de gráficos e dados bem desenvolvidos. Está disponível no mercado nas versões UNIX e Windows, sendo vendida pela Insightful Corporation (SAND R, 2018).

Permite ao usuário à importação de dados, seleção de funções estatísticas e exibição de resultados mais facilmente. Além de possibilitar a modificação de métodos existente quando necessário. Seu espaço de trabalho facilita a implementação de vários dados, permitindo análises complexas, criação de gráficos e o mais importante facilitando a tomada de decisão final. Independente do nível de conhecimento técnico dos usuários é possível atuar de forma crítica ao resultado e expressar mais claramente devido a imagem gráfica e a estatística simples que compõe o S-PLUS (SOLUTION METRICS, 2017).

É mais comum utilizado na área da saúde. Bi et al (2014) utilizou o S-PLUS em sua pesquisa para gerar funções psicométricas derivadas de simulação para o teste “M + N”, demonstrando probabilidades de caso em diferentes situações. Usando os códigos R / S-Plus fornecidos, a medida de diferença sensorial de Thurston, d' , foi calculada prontamente e rapidamente para várias formas do teste “M + N”.

3.5.2.2 STATISTICA

O STATISTICA é um software que integra a base de dados com a análise estatística, com capacidade de cálculos para diversas áreas como engenharias, biológicas, ciências sociais, entre outras. Além de permitir a elaboração de gráficos e análises estatística o programa também possui capacidade de fazer análise fatorial, análise de regressão e diversos outros módulos estatísticos. Funciona com princípios de resumo de informações, onde serão trabalhados somente os que realmente importam para cada cálculo estatístico (OGLIARI; PACHECO, 2011).

Software pertencente à linha de soluções analíticas da StatSoft, possui facilidade em seu uso, pois usuários de aplicativos do Windows como Microsoft Excel, se adaptam facilmente ao seu uso. Sua linguagem de programação é compatível com C++, java, VB.NET. Seu desenvolvimento proporciona uma facilidade em análises estatística sem muitas complicações. Na maioria das vezes nem serão utilizados todas as ferramentas disponíveis.

O STATISTICA permite o acesso de diversos tipos de arquivos de dados, por exemplo, uma planilha de dados do Excel e tabelas lineares ou não. Permitindo também o gerenciamento de dados para não sobrecarregar o programa, compactando e apagando dados quando necessário. O relatório final pode ser exportado em diversos formatos de acordo com a necessidade, como PDF, planilhas de Excel, arquivos de textos, entre outros. E os gráficos em .JPG mais utilizado ou outro formato se desejado. As soluções analíticas estão disponíveis para desktop, para empresa, para computação baseada em servidor analítico habilitado para Web e para monitoramento multivariado remoto (STATSOFT, 2018).

3.5.2.3 MINITAB

O MINITAB é um software utilizado principalmente para controle de qualidade. Foi criado em 1972 e é um software proprietário, muito utilizado em universidades e empresas, pois apresenta uma interface mais fácil de ser utilizada, por ser bem parecido com a planilha do Excel da Microsoft, os usuários acabam se familiarizando facilmente, porém seu resultados são mais complexos por ter uma análise mais criteriosa (DUARTE et al., 2011).

Por trabalhar diretamente com qualidade e aperfeiçoamento de processos, esse programa é utilizado em conjunto com os Seis Sigmas procurando assim a melhoria dos sistemas de gerenciamento de trabalhos de empresas e entidades. Seu sistema calcula dados com tolerância, executa diversas correlações entre variáveis, permite o cálculo com desvio

padrão, emite gráficos com os resultados, permite a utilização de planilha em Excel importando seus dados (MINITAB, 2018).

O software Minitab® é pago, disponível gratuitamente somente por um mês para teste, assim como uma opção utilizada e livre existe o Software R, desenvolvido pela universidade de Auckland da Nova Zelândia, disponibilizado gratuitamente, com boa aceitação no mercado. Possui uma linguagem que permite ao usuário mudança e adaptação para funcionamento no que ele precisa no momento. Tornou-se uma boa opção para empresas de pequeno porte e faculdades, quando não possui disponibilidade maior de verba. Uma desvantagem é que não possui direito à assistência técnica para dúvidas de seu funcionamento (DUARTE et al., 2011).

Valipour (2015) usou em sua pesquisa o software MINITAB para obter os estágios necessários para determinar os parâmetros de p que é a ordem do modelo autorregressivo não sazonal, q que é a ordem do modelo de média móvel não sazonal, P que é a ordem do modelo autoregressivo sazonal, Q que é a ordem do modelo de média móvel sazonal, d que é o número de não Diferenças sazonais, D que é o número de diferenças sazonais e s que é o termo periódico. A ferramenta possui uma maneira simples e eficaz de inserir dados estatísticos, manipular esses dados, identificar tendências e padrões e depois extrapolar as respostas para o problema que deseja ser resolvido.

Shyamala et al. (2017) estudaram a qualidade das águas subterrâneas usadas no abastecimento com objetivo de preservar e manter a ecologia equilibrada utilizando desse recurso hídrico. Na determinação da qualidade da água foi feito o estudo hidroquímico como parâmetro principal, para isso foi usado o MINITAB para que pudessem ser elaborados gráficos com os resultados dos cálculos. As concentrações de íons de cromo presentes na água, onde foram estudados, estavam acima do limite permitido pela OMS – Organização Mundial da Saúde para consumo.

3.5.3 Análise estatística de dados em recursos hídricos

Guidi (2016) analisou a variação de consumo de água utilizando dados obtidos por sistemas remotos no município de Franca (SP). O objetivo do trabalho foi determinar valores de $K1$ (coeficiente de vazão máxima diária) e $K2$ (coeficiente de máxima vazão horária), comparando com valores existentes na literatura. A ferramenta de análise utilizada aplicada aos dados coletados foi método estatístico de regressão linear simples e multivariado. A

regressão linear multivariada apresentou resultados ótimos, onde os valores simulados foram ajustados acima de 90%.

Para previsão de demanda de água para o município de Franca foi utilizado o método de regressão linear. Na representação dos dias da semana no banco de dados foi usada a técnica estatística de dummy, comum para representar algo que não necessariamente possua valor numérico. Foram introduzidas na regressão multivariada variáveis importantes para o sistema como temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar, pois essas interferem no clima e em consequência na demanda de água, além de variáveis de dia da semana e vazões por tempo. Foram encontrados valores de k_1 e k_2 satisfatórios e bem próximos ao que a norma ABNT NBR 9646:1986 sugere. Para uma conclusão mais fundamentada foram elaborados gráficos com variáveis climáticas correlacionando esses dados.

Melo (2014) em seu trabalho aplicou técnica de análise estatística na avaliação de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de água (ETA). Foram utilizados dados coletados de parâmetros de algumas ETAs, de 10 anos consecutivos, de turbidez, cor aparente, concentração de cloro e flúor residuais, coliformes totais e pH e analisados estatisticamente para períodos seco e chuvoso para determinar a influência da sazonalidade na qualidade da água. Foram identificados valores extremos chamados de outliers, para que esses pudessem ser descartados, pois representavam falha na coleta, depois foram avaliados dados de precipitação pluviométrica a partir de dados disponíveis no portal HidroWeb, ferramenta pertencente ao SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos).

Selecionados os dados, foi então calculado valores de média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. Para validação desses dados foram aplicados os testes de normalidade Shapiro Wilk e o teste gráfico “Normal Probability Plot”, executados pelo pacote estatístico Statistica 6.1. A validação de desempenho foi feita por testes de hipóteses não paramétricos, com diversos valores de amostras coletadas e o coeficiente de confiabilidade relacionado com um padrão a ser alcançado, sua verificação foi executada também pelo pacote estatístico Statistica 6.0. Para validação final da confiabilidade os dados obtidos nos testes estatísticos foram comparados aos obtido diretamente nas ETAs.

Cambrinha e Fontana (2015) fizeram em seu estudo uma análise da aplicação de investimentos em perdas no nordeste brasileiro, com o objetivo de avaliar o quanto o investimento no setor de água é refletido na redução das perdas. Utilizaram valores, da “série histórica 2010” do SNIS (1998 a 2010), de investimento no setor de saneamento, valores de perdas de água, entre outros.

Os dados obtidos foram testados no software Statistica 10 que é usado para análise de variância (ANOVA) com um fator, isso acabou invalidando os testes mais aprofundados, pois não apresentava diferenças significativas nas médias calculadas. Assim optaram por utilizar a avaliação mais detalhada de cada estado pelo método de regressão linear, onde avaliaram a variável perda como dependente e variável investimento como independente, os resultados obtidos demonstraram uma fraca correlação entre essas variáveis. Após análises feitas concluíram que os investimentos totais nas redes não envolvem melhorias na redução das perdas de água. Em três estados os investimentos são destinados somente a aumento de coleta de água e extensão da rede, isso aumenta ainda mais o descaso com as perdas.

Guedes et al. (2012) realizaram em seu trabalho a aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba (MG), com o objetivo de identificar os grupos de poluição presentes. Foram coletados amostras de água para análise físico-química, uma parte das amostras em tempo chuvoso e outra em tempo seco. As amostras foram analisadas em laboratório e determinadas concentrações de 18 variáveis (oxigênio dissolvido, pH, temperatura, alcalinidade, entre outros) para análise estatística multivariada (análise fatorial/ análise de componente principal) de qualidade da água. Utilizaram para analisar esses dados o software Statistica 7.0.

O resultado da análise de componentes principais excluiu três variáveis, pois não apresentavam variância total significativa. Para melhor interpretação do valor utilizaram o método de Varimax. E por fim a conclusão obtida com os as análises de qualidade foram que existe poluição ocasionada por nutrientes presentes originados de drenagem de áreas agrícolas e esgoto doméstico, por sólidos vindos da erosão causada pela chuva e também orgânicos pertencentes a esgoto doméstico não tratado e jogado diretamente no curso de água.

3.5.4 Análise estatística de dados de rede de distribuição de água

Rodrigues (2014) avaliou em seu trabalho o impacto da utilização de diferentes equipamentos de medição no índice de perdas em um setor isolado do sistema de abastecimento de água da cidade de Campo Grande (MS). Tinha como finalidade determinar qual seria o melhor tipo de medidor para cada sistema e melhor opção de hidrômetro para cada perfil de consumidor relacionado com o consumo de água.

Foram coletados dados de pressão e vazão em pontos pré-selecionados de acordo com o fluxo da rede. Os dados obtidos foram processados primeiramente usando a ferramenta Excel da Microsoft Office e verificada alguma inconsistência de dados. Para análise estatística

foram utilizados gráficos de probabilidade normal e o teste estatístico *Shapiro*, proposto por Espinosa (2001), com o fim de verificar se os dados obtidos seguem uma distribuição normal. Para verificação das hipóteses foram realizados testes *t* de *student*, para observar a diferença de média de dois grupos.

Para os dados não distribuídos normalmente foi aplicado o teste *Wilcoxon-Mann-Whitney*, utilizado em amostras independentes, um exemplo desses dados encontrados foram os de pressão na rede. Com objetivo de tirar conclusões dos dados coletados, foram feitas análises com o teste *Shapiro-Wilk*. Foram calculadas médias e desvio padrão dos dados de cada medidor em cada condomínio estudado. O resultado final das análises estatísticas implicou na diminuição do índice de perdas de água na rede local em função da escolha de equipamentos mais adequados para cada caso.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia a ser utilizada neste trabalho consiste em análise estatística de parâmetros hidráulicos de uma rede de abastecimento de água.

4.1 FLUXOGRAMA DAS FASES DA PESQUISA

A pesquisa se inicia pela seleção da rede de estudo com base em dados obtidos em pesquisas feitas anteriormente, posteriormente será feito a análise de dados e informações, onde serão identificados quais são válidas para serem trabalhadas na pesquisa atual. Tendo em mãos os dados a serem estudados, será feito a escolha do Software de análise estatística a ser usado. Em seguida será realizada a análise estatística dos parâmetros hidráulicos dos dados existentes, gerando gráficos com o resultado e posteriormente a análise desses resultados obtidos. Como pode ser observado na Figura 2.

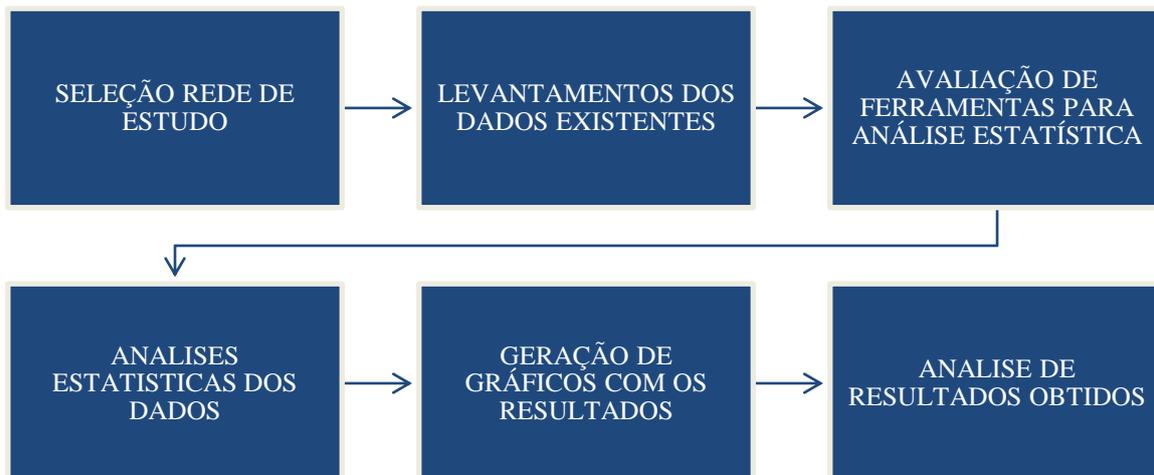


Figura 2 - Fluxograma das etapas da pesquisa

Fonte: Autor

4.1.1 Seleção da rede de estudo

Nesta etapa foi definida qual cidade do sul de Minas Gerais que teve a rede estudada, levando em consideração os trabalhos já realizados pelo grupo anteriormente. Assim a cidade escolhida para dar continuidade as pesquisas realizadas foi São Lourenço que fica localizada em Minas Gerais.

Segundo informações disponíveis no IBGE a população levantada no ultimo censo em 2010 era de 41657 pessoas, sendo população estimada para 2018 45.488 habitantes e

densidade demográfica de 717,99 hab/m². A área da cidade é de 58,019 km² e pertence ao circuito das águas, sendo, portanto uma cidade turística. A companhia responsável pelo abastecimento de água e esgoto da cidade é SAAE (serviço autônomo de água e esgoto). Na Figura 3 pode-se observar a localização da cidade estudada.

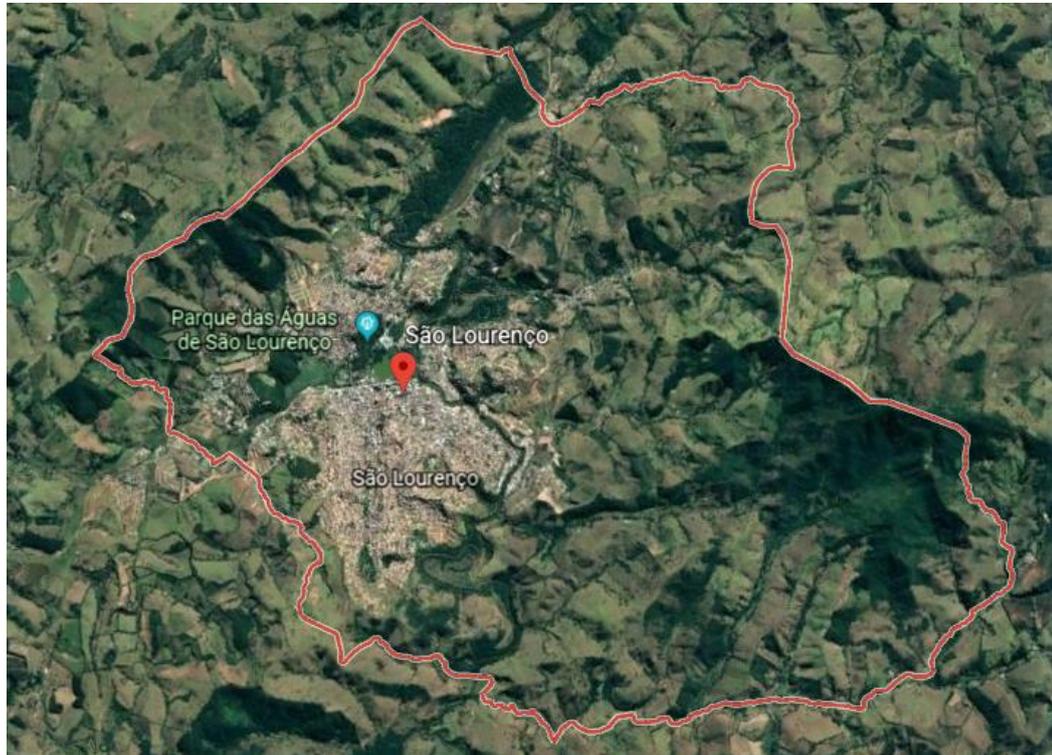


Figura 3 - Localização da cidade estudada

Fonte: GOOGLE EARTH, 2018

A rede monitorada engloba três bairros: Palmela, Moradas da Serra e Vale dos Pinheiros. Os três bairros são de classes sociais diferentes, sendo o bairro Moradas da Serra composta por pessoas de classe social alta pertencentes a um condomínio fechado. Já a população do bairro Vale dos Pinheiros são de classe social média, o local possui algumas pousadas e um hotel, por isso possui uma população variável em finais de semana e feriados. E por fim o bairro Palmela que possui população com classe na maioria baixa, assim as residências são mais simples sem piscina.

Na Figura 4 pode-se observar a localização dos bairros pertencentes ao setor estudado.



Figura 4 - Localização dos bairros do setor estudado

Fonte: Google Earth (2012) adaptado de Santos (2016)

Na Figura 5, é demonstrada a rede elaborada no EPANET (programa de simulação de rede), onde pode ser visto a configuração da rede. A rede é composta por três bairros e pertence a um setor isolado, com 117 nós, 121 trechos e seis registros (SANTOS, 2016).

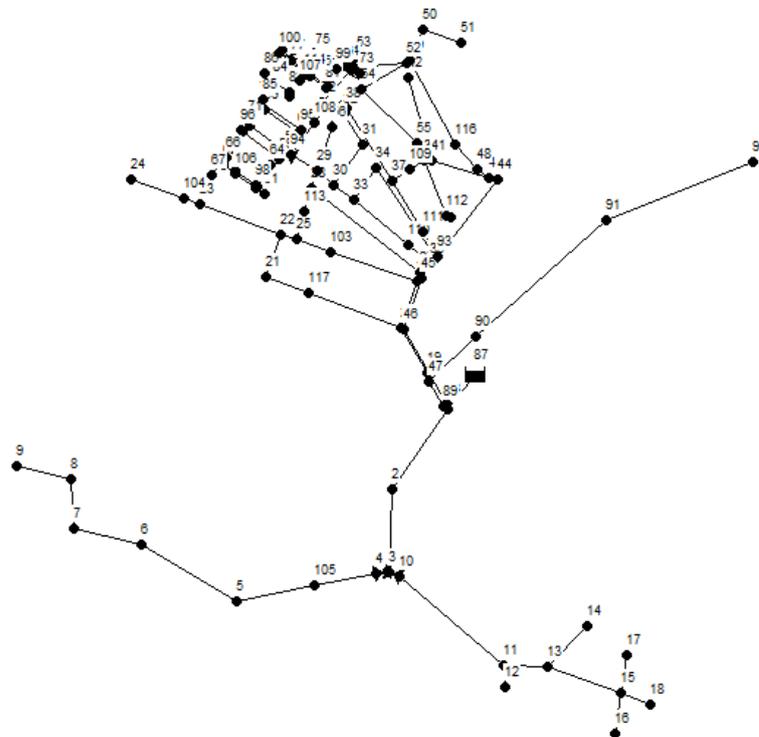


Figura 5 - Rede de Estudo

Fonte: Santos (2016)

A Tabela 1 trás informação de quais nós da rede que possuem dados coletados e válidos pertencem a cada bairro. E também quantas residências os bairros possuem.

Tabela 1 – Nós de cada bairro

BAIRRO	Nº RESIDÊNCIA	NÓS PERTENCENTES
		62
		85
Morada da Serra	73	108
		114
		115
		51
		103
		111
Vale dos Pinheiros	218	112
		113
		109
		116
		117
Palmela	201	14
		105

Fonte: Autor

4.1.2 Levantamento e análises dos dados existentes – grupo NUMARH

Definida a cidade para estudo, a etapa seguinte foi a seleção dos dados existentes da rede, verificando os dados de vazão, pressão e velocidade gerados em campanhas anteriores, as cotas de níveis, configuração da rede bem como mapas e informação da companhia local. Devendo ser identificado quais desses dados serão úteis para pesquisa e descartar os que não servirão.

Os dados coletados do ano de 2014, entre os dias 20 e 28 de setembro, pois esse ano foi o último de coleta de dados. Durante esses sete dias de 15 em 15min foram marcados os valores de pressão registrados na rede e posteriormente elaborado um banco de dados. A rede possui dados de 19 loggers de pressão, deles 18 foram monitorados e 15 Nós foram considerados válidos, 3 foram descartados por apresentar erros de medição.

Os pontos monitorados são demonstrado na Figura 6:

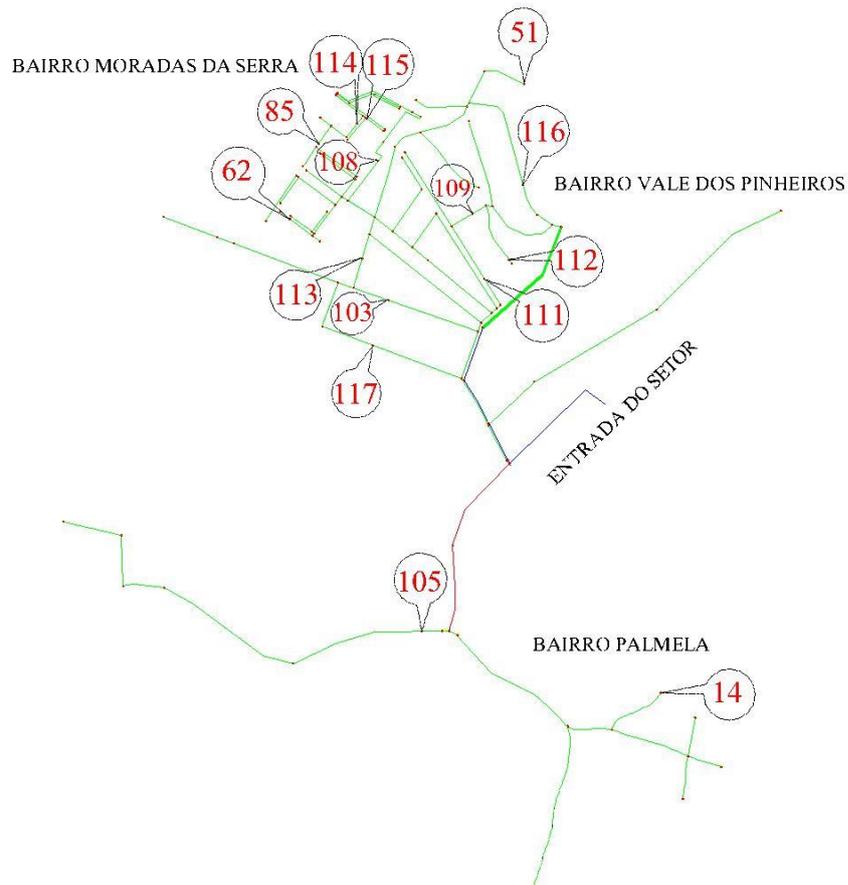


Figura 6 - Pontos de monitoramento de 7 dias

Fonte: Santos (2016)

Santos (2016) dividiu a rede em três zonas de pressão com base nas altitudes dos nós, a tubulação da rede toda foi instalada em PVC. As três zonas são demonstradas na Figura 7 e expressam:

- Zona de pressão 1 (área vermelha) – referente à região com maiores altitudes e menores pressões;
- Zona de pressão 2 (área amarela) – região com altitudes intermediárias e pressões médias; e
- Zona de pressão 3 (área azul) – região com altitudes menores e maiores valores de pressão.

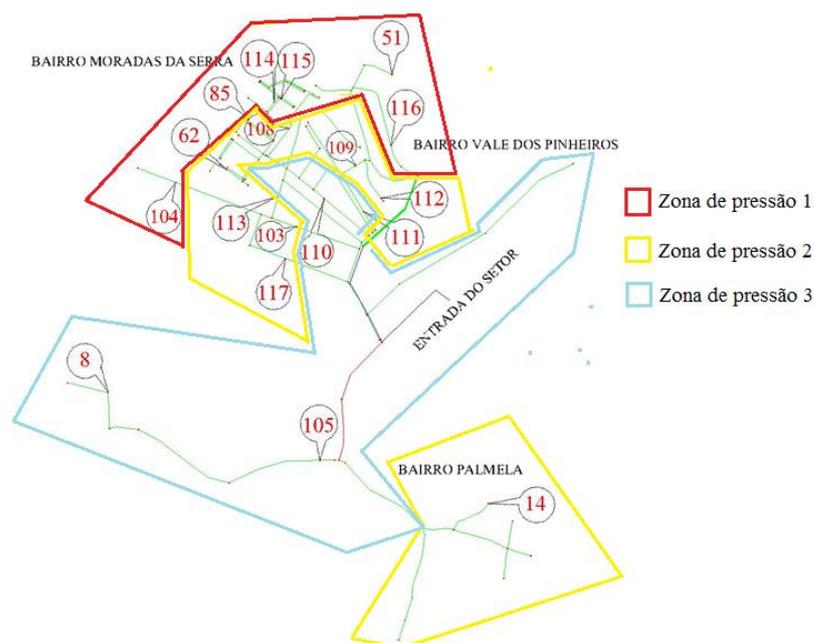


Figura 7 - Zonas de Pressão

Fonte: Santos (2016)

Com base nos dados gerados no trabalho de Santos (2016), há as cotas altimétricas de cada ponto de coleta de dados, que ajudarão na interpretação dos dados de pressão. Tais valores podem ser vistos na Tabela 02, associando o nó à altitude pertencente.

Tabela 2 - Altitudes dos pontos de monitoramento de pressão

Nó de monitoramento	Cota altimétrica (m)	Nó de monitoramento	Cota altimétrica (m)
116	921,72	112	897,89
51	921,63	111	870,87
115	917,44	113	876,72
114	921,36	103	886,99
85	896,7	117	908,43
62	894,01	105	877,00
109	885,24	14	880,25

Fonte: Adaptada de Silva (2016)

A Figura 8 traz a representação do esquemático do sistema de abastecimento do município como um todo. Pode-se observar os reservatórios que compõem toda a rede juntamente com os bairros abastecidos. A região do sistema, na qual está sendo estudado, está circundada com linha tracejada, por eles podem ser observados a entrada do setor que está na região do Solar dos Lagos e a partir dele estão distribuídos os três bairros estudados (Vale dos Pinheiros, Palmela e Moradas da Serra).

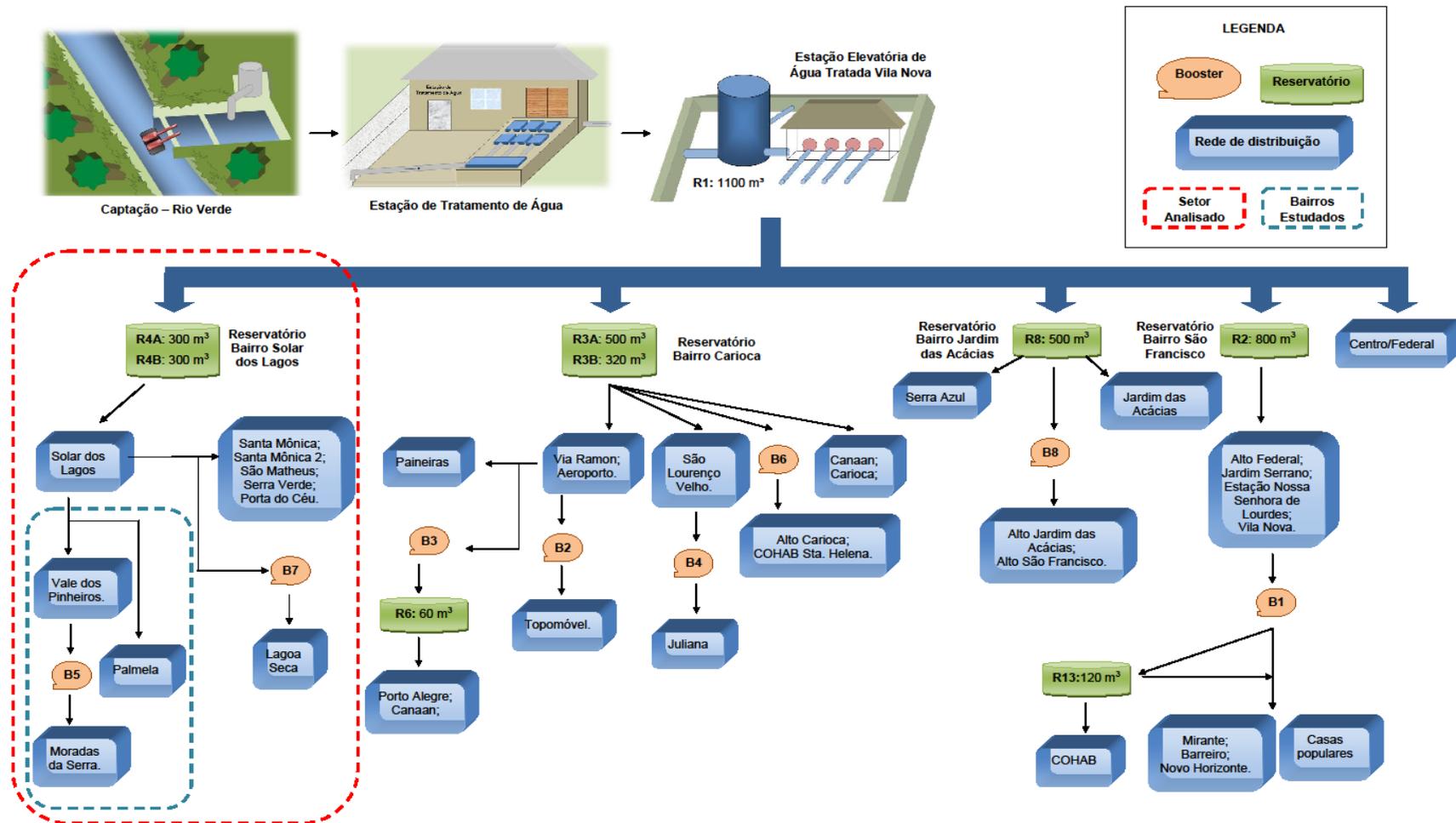


Figura 8 - Representação esquemática de todo o sistema de abastecimento do município
Fonte: Lamoglia (2013)

Complementando, a Figura 9 traz a região de estudo mais destacada da rede toda. Então podemos observar que são dois reservatórios que abastecem esses bairros com capacidade de 300m³ cada. Os setores estudados possuem uma estação elevatória, 11,3 Km de tubulação em PVC e um booster. Na Figura 9 observa-se que para a água chegar ao bairro Morada da Serra é instalado o booster após a rede do bairro Vale dos Pinheiros, isso porque somente a força da gravidade não é suficiente para levar a água até as residências com pressão adequada ao consumo, este abastece 8 ruas e 12 trechos de tubulação com potencia de funcionamento de 1,5 (cv).

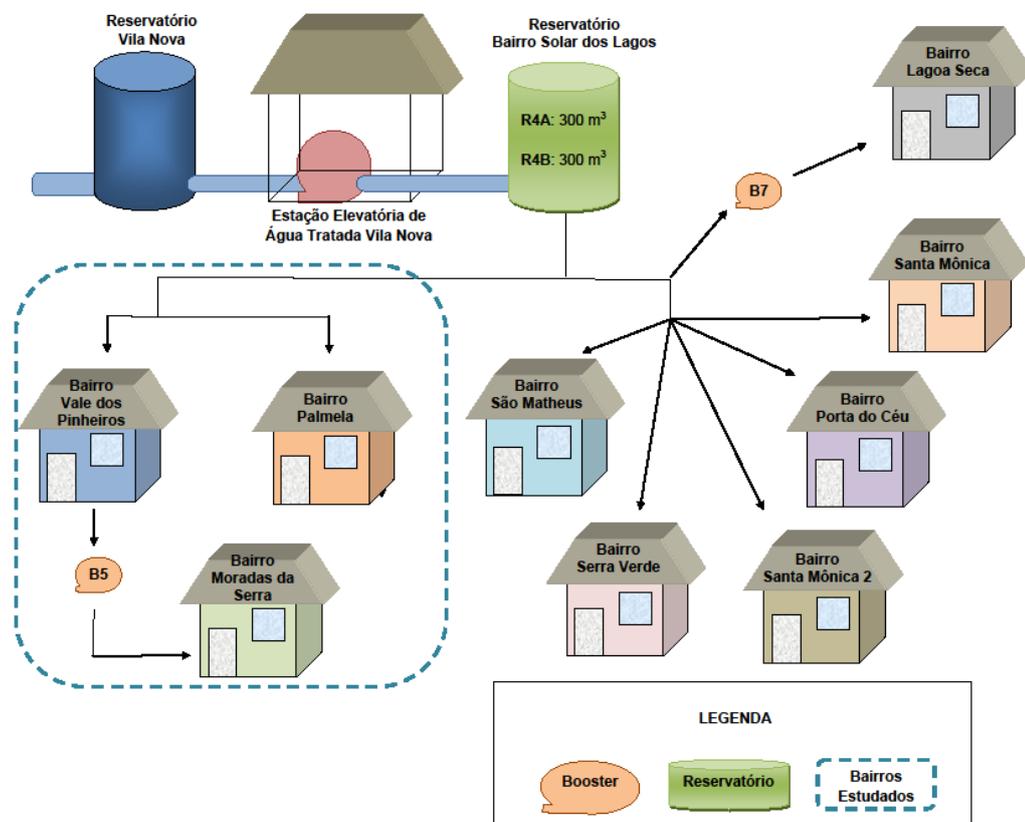


Figura 9 - Esquema dos setores estudados
Fonte: Lamoglia (2013)

Conforme informado no trabalho de Lamoglia (2013) a rede de distribuição estudada é toda em PVC, com diâmetros variando entre 50 mm e 150 mm. A tubulação no bairro Palmela está instalada no terço da rua, já nos bairros Moradas da Serra e Vale dos Pinheiros está instalada nos passeios. Os diâmetros da rede se encontram na Figura 10.

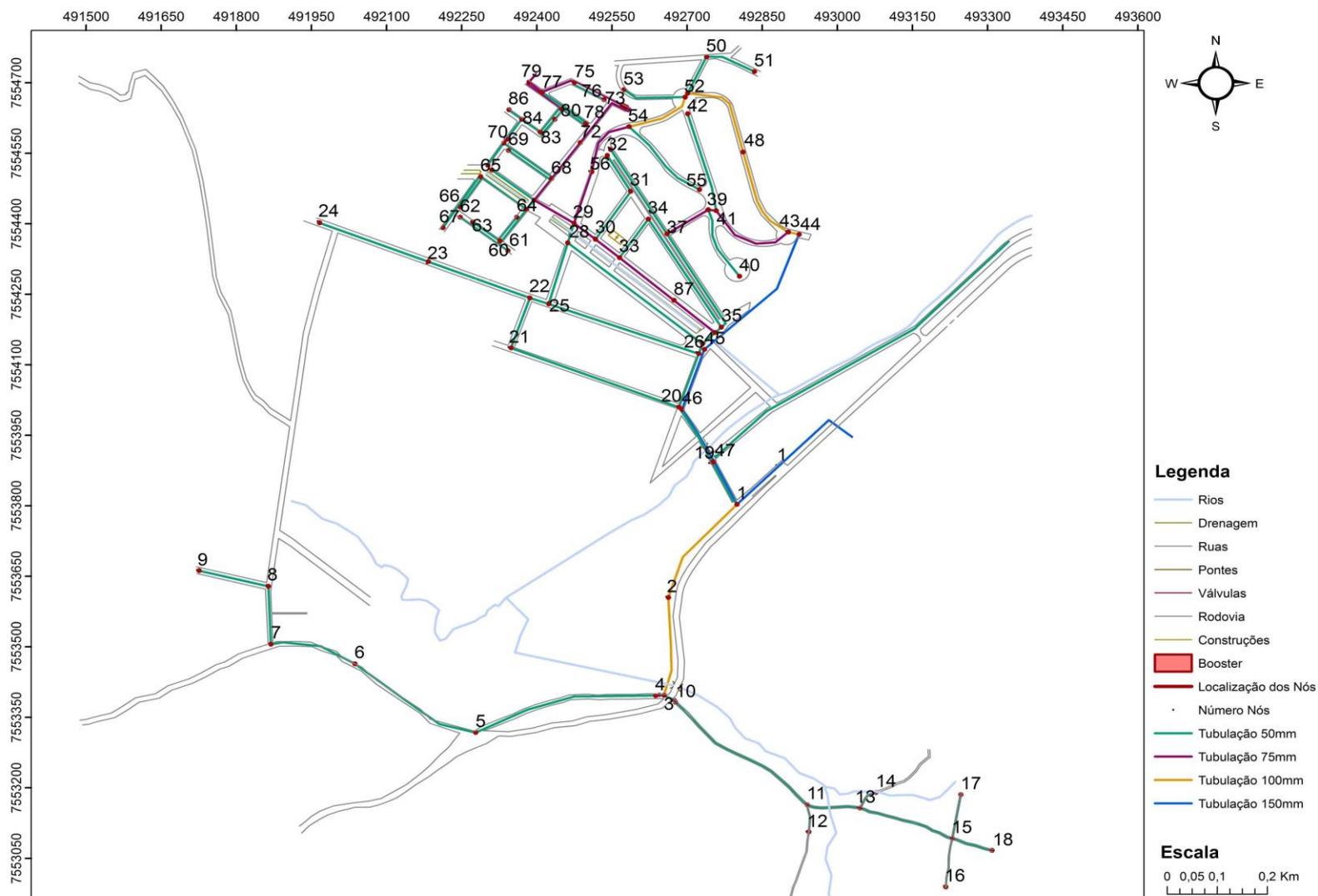


Figura 10 - Diâmetro da rede de abastecimento de água
 Fonte: Lamoglia, 2013

4.1.3 Avaliação de ferramenta para análise estatística

Para analisar os dados foi escolhido o programa Excel da Microsoft, pois possui uma interface simples de ser usada e atende as primeiras necessidades. Ao escolher essa ferramenta foram determinados quais seriam os dados que se desejava coletar, inicialmente foi visto que precisavam ser estudados os parâmetros estatísticos de média, desvio padrão, variância, pressão máxima e mínima e os percentis. E posteriormente que fosse então realizado algum teste nesses valores obtidos.

Escolheu-se o teste t por ser facilmente realizado no Excel, portanto todos os cálculos subsequentes foram realizados com essa ferramenta. Avaliou-se também a possibilidade de utilizar outros programas, e por fim optou-se pela utilização de ferramenta de estatística, para geração de novos gráficos e cálculos que ainda não haviam sido feitos.

4.1.4 Análise geral preliminar dos dados

Com os dados já selecionados, começou a fase de trabalhá-los. Primeiramente foram elaborados gráficos com valores de vazão x tempo e pressão x tempo para fins de determinar horários de picos de consumo e pressão. Determinar os valores mínimos e máximos de cada dia e o principal dessa forma identificar como a rede se comporta durante os sete dias de coleta.

Existe uma série de dados coletados pela equipe da REDECOPE no ano de 2014, na rede de distribuição de uma cidade do Sul de Minas Gerais. Esses dados foram trabalhados para um conhecimento mais profundo do sistema. Com base nos dados dos nós, foram traçados gráficos para facilitar a interpretação das informações disponíveis.

O nó 105 possui comportamento semelhante em todos os dias de medição, apresentando pressão contínua nas primeiras horas do dia em torno de 85 mca significando que não existe consumo significativo nesse horário. Pode ser observada na Figura 10 alteração a partir das 07h, quando a pressão no sistema diminui e com isso pode-se identificar que começa o consumo maior de água. O pico maior de consumo no dia acontece em torno das 10h30 min. às 12h. Posteriormente a pressão volta a aumentar apontando diminuição de consumo até que em torno das 22h30 min. a pressão volta ao valor inicial do dia.

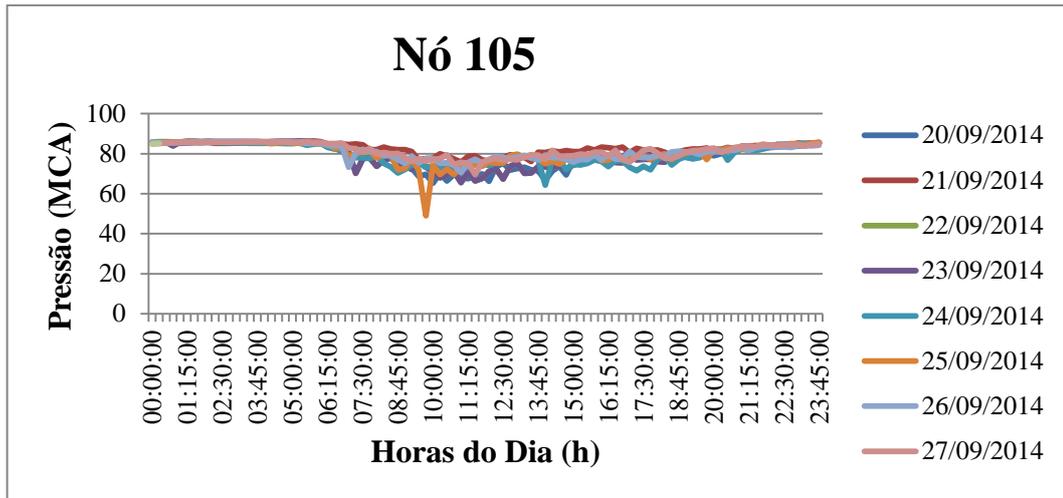


Figura 11 – Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

A Figura 11 ilustra que o nó 14 possui comportamento semelhante em todos os dias de medição, apresentando pressão contínua nas primeiras horas do dia em torno de 83mca significando que não existe consumo significativo de água nesse horário. Apresentando no dia 23/09/2014 às 6h30min. um comportamento diferente dos outros dias, tendo uma queda de pressão de 5 mca indicando uma alteração no consumo de água. No dia 24/09/2014 um aumento de pressão de quase 10mca as 08h, indicando diminuição no consumo. Os menores valores medidos de pressão ficaram em torno das 08h30min. e a partir desse horário a pressão aumenta e continua oscilando pouco de hora em hora.

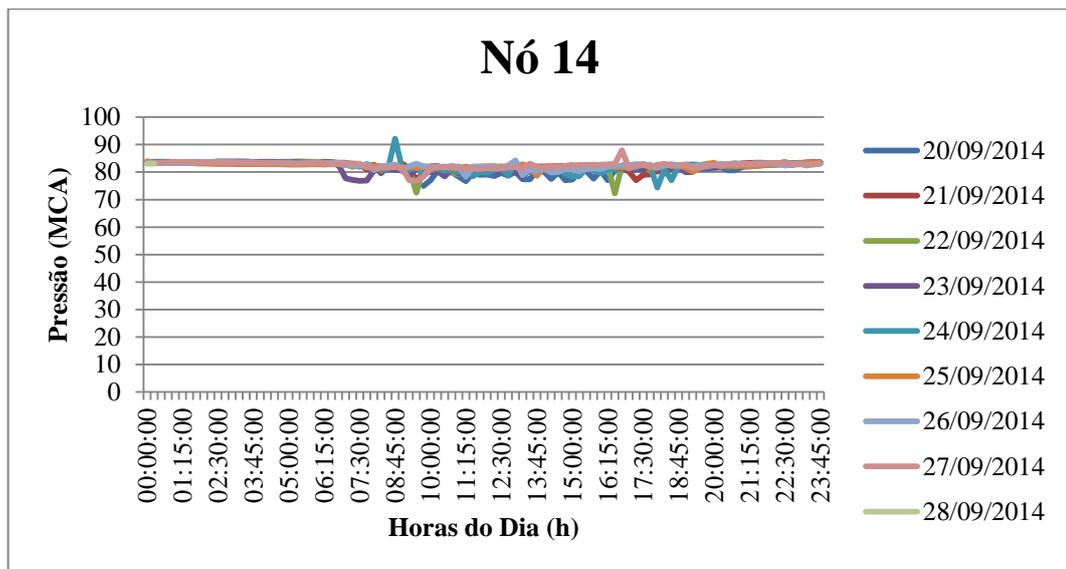


Figura 12 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

De acordo com a Figura 12, no nó 51, a pressão esteve praticamente estável em torno dos 47mca das 00h as 07h, tendo seu valor diminuído a partir deste horário, em função disso sabe-se que o período de maior consumo fica em torno das 10h30min. às 12h. Destaca-se nesse nó o dia 25/09/2014 que a partir das 13h às 19h30min. do dia 26/09/2014 sua pressão esteve menor que a metade dos outros dias, apresentando valor de em torno dos 21 mca, mostrando uma alteração no sistema, podendo ser algum vazamento na rede, ou desligamento do aparelho de medição.

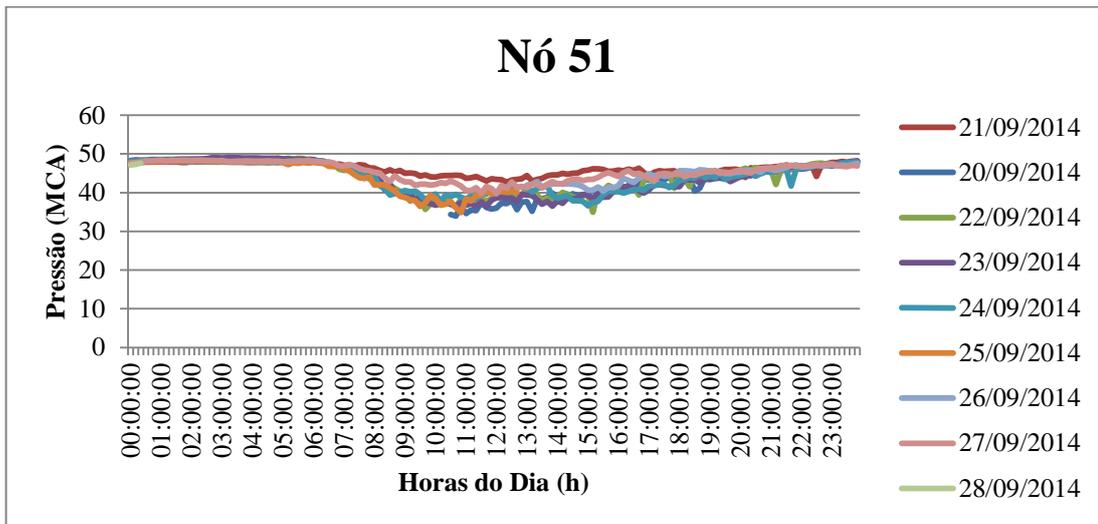


Figura 13 - Logger 5 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

No nó 111 apresentado na Figura 13, os dados obtidos mostraram a rede se comportando uniformemente ao longo dos dias. Sendo que das 00h às 6h o valor ficou praticamente estabilizado em torno dos 90 mca, e a partir desse intervalo de tempo a pressão começa a diminuir indicando que começou um valor maior de consumo. Esse cenário acontece até em torno das 21h que é quando o sistema volta ao seu estágio inicial de 90 mca.

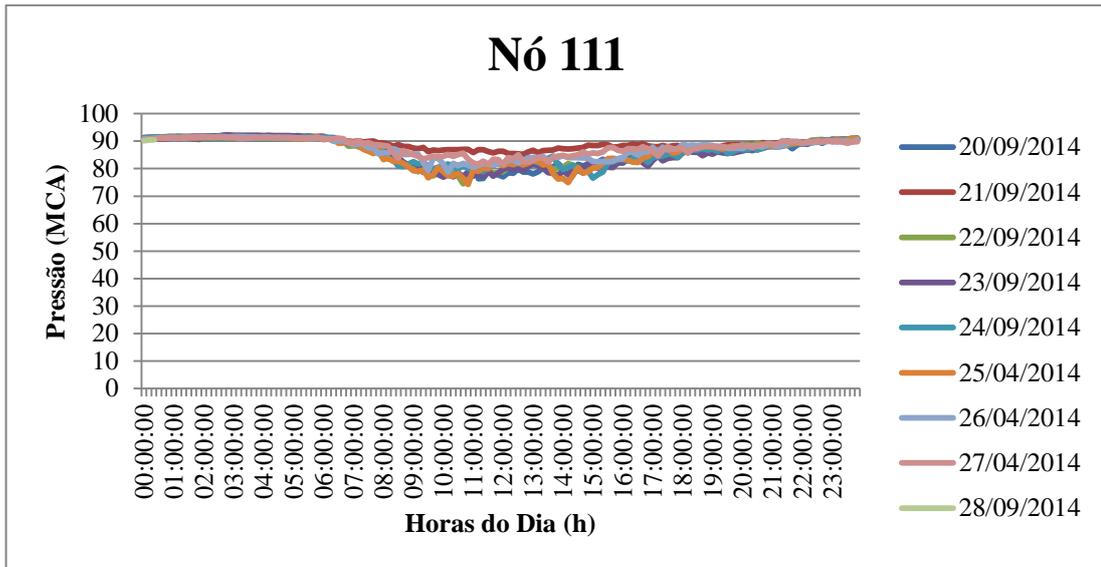


Figura 14 - Nó 111 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

A Figura 14 ilustra o nó 109 e indica que os valores obtidos de pressão mantiveram estáveis em torno de 79mca em todos os dias no intervalo de 00h às 07h. Apresentando oscilações diferentes em dias diversos. Tendo picos de pressão mais baixas em horários alternados dependendo dia. Como no dia 23/08/2014 às 10h valor de pressão de 42,90mca, sendo que nos demais dias esse valor para o mesmo horário ficava em torno de 70mca.

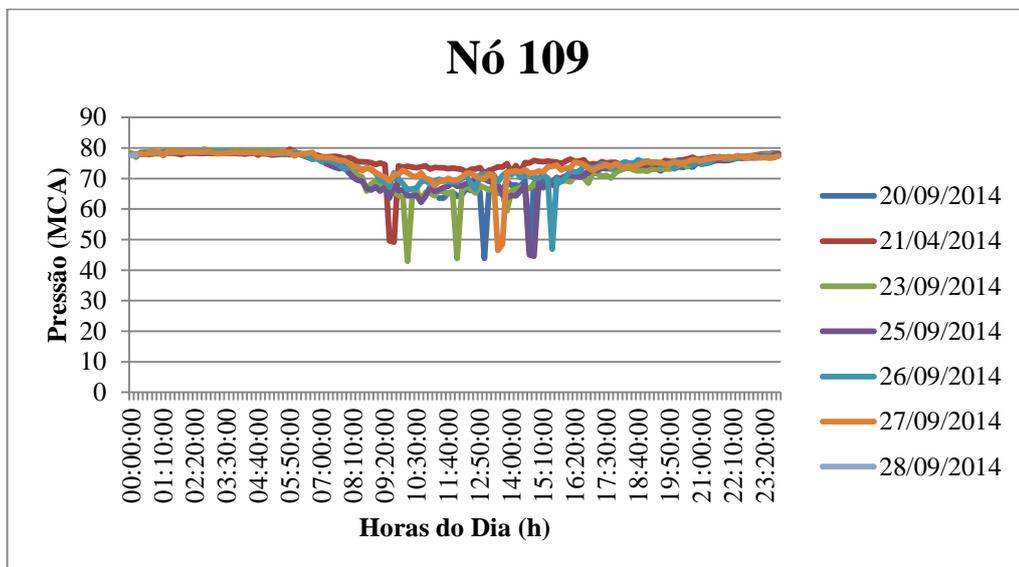


Figura 15 - Nó 109 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

No nó 116 (Figura 15), os valores obtidos oscilaram bastante. Um destaque desse Nó é o dia 29/09/2014 onde a pressão na começa variando em relação aos demais dias apresentando valor de 38,08 mca, sendo que os demais dias a rede começava com valores em torno dos 42mca nas primeiras horas do dia. Além disso, neste dia as 07h o nó apresentou uma queda brusca de pressão atingindo 1,95 mca às 07h 30min, isso pode ter ocorrido devido a alguma interferência na rede.

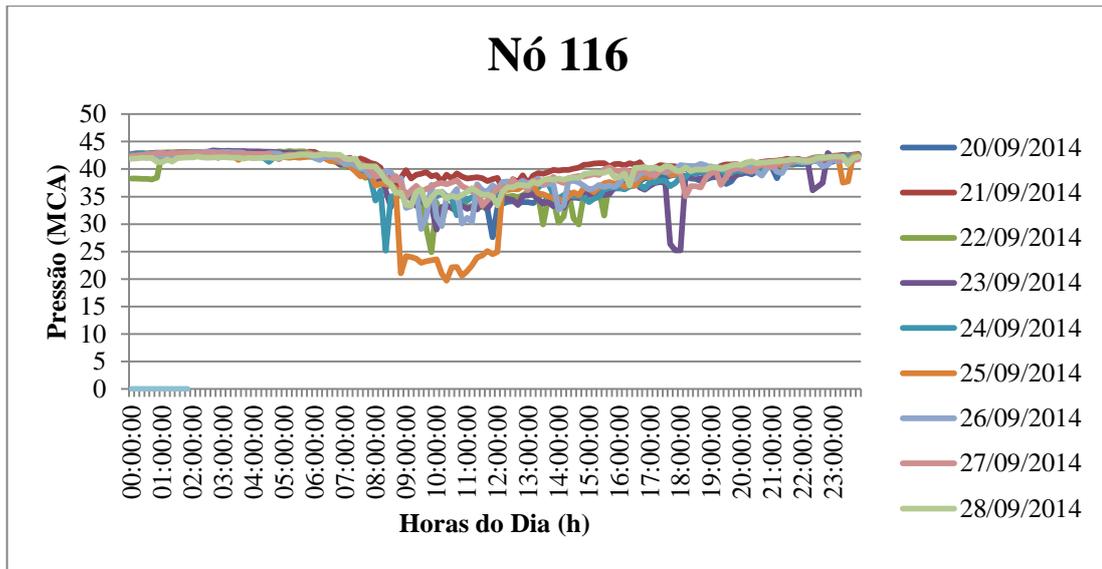


Figura 16 - Nó 116 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2014 a 28/09/2014

No nó 112 os dados mostraram que nas primeiras horas do dia compreendendo o intervalo das 00h as 06h 30min o valor de pressão se manteve consideravelmente constante, em torno dos 64,0mca. Sendo que a partir das 07h o valor de pressão começa a diminuir, apontando assim o início do consumo mais explícito. Atingindo em dois dias diferentes valores discrepantes em determinado horário, como no dia 25/09/2014 às 07h 30min., a pressão acusada foi de 27,0 mca e no dia 22/09/2014 em torno das 08h.

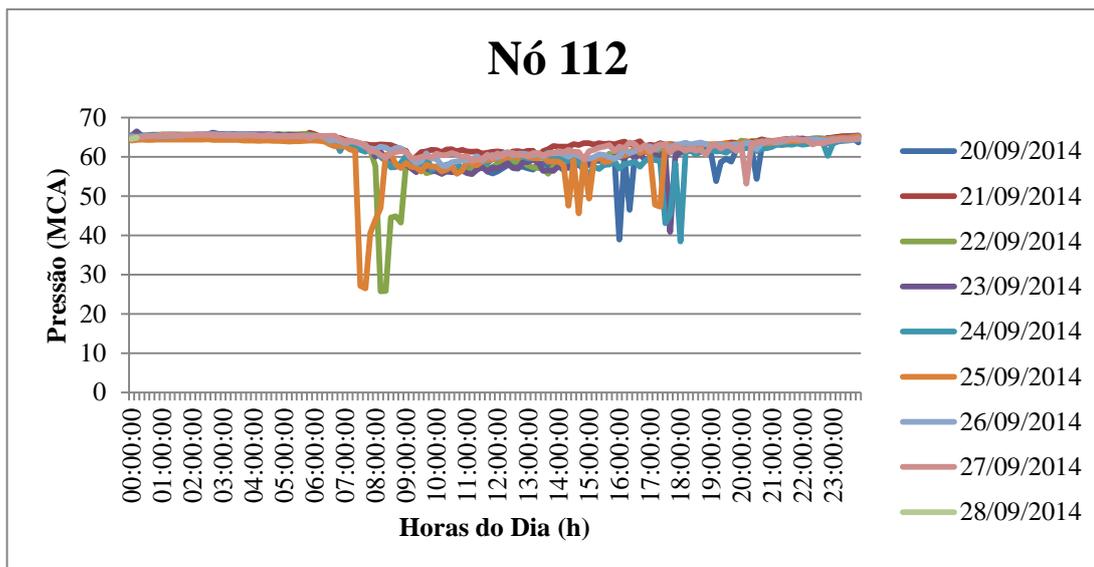


Figura 17 - Nó 112 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

O nó 103 apresenta valores bem semelhantes em todos os dias da semana. Sendo que nas primeiras horas dos dias, entre 00h e 07h, são verificados maiores valores de pressão, ficando em aproximadamente 70,0mca. À partir das 07h 30min. a pressão começa a diminuir, mostrando o início de maiores valores de consumo de água, ficando próximo do valor de 53,0mca.

Alguns dias apresentaram comportamentos um pouco diferentes dos demais, como o dia 21/09/2014, quando os valores de pressão entre o início e final do dia não sofreram grandes alterações, sendo o menor valor de pressão em torno de 60,0mca, e os demais dias em torno de 50,0mca, por ser em um domingo possivelmente o consumo foi menor, pois a maior parte da população não estava trabalhando. Já no dia 22/09/2014 em torno das 15h, o valor de pressão verificado foi de 35,2mca, mostrando um possível pico de consumo de água. Assim como nos demais nós a partir das 17h os valores de pressão voltam a ficarem mais altos, chegando ao valor de 70,0mca em torno das 22h30min.

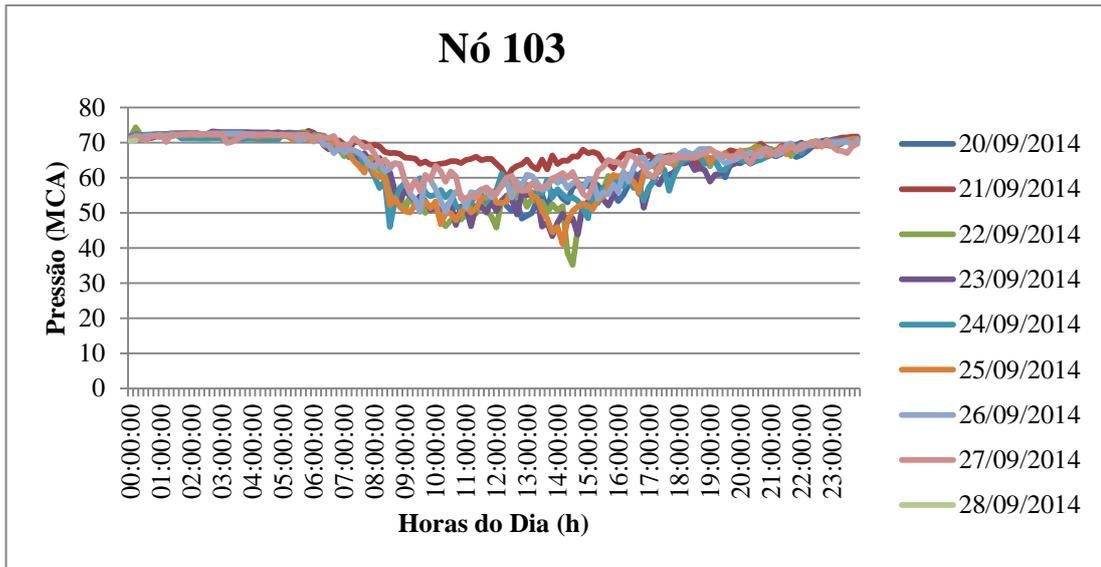


Figura 18 – Nó 103 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

O nó 21 não possui uma continuidade dos dados apresentados. Pode-se observar que das 00h as 06h a pressão fica em torno dos 55,00 mca, somente no dia 27/09/2014 as 03h mostrou uma queda de pressão para 40mca mais logo voltou ao valor normal. O dia 21/09/2014 houve uma oscilação importante de seus valores de pressões a partir das 6h, bem como os demais dias que a partir desse horário ficaram oscilando até o final do dia, às 22h30min. Essa oscilação possivelmente ocorreu devido a alterações na medição. Como a medição foi feita nas torneiras de algumas residências, pode ter tido interferência humana no ponto de coleta dos dados.

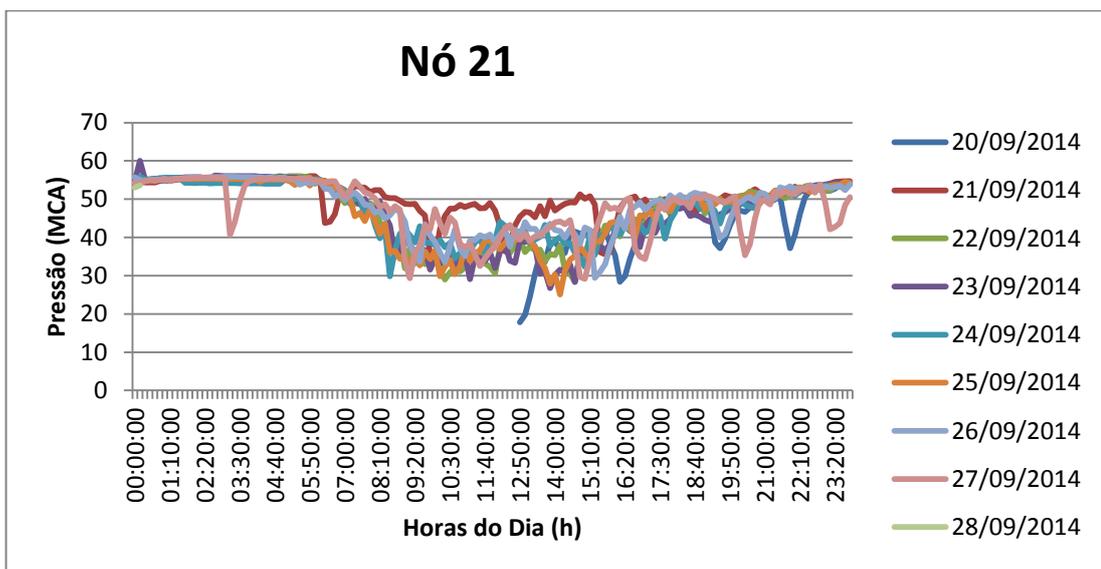


Figura 19 - Nó 21 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

O nó 113 no início de todos os dias do horário das 0h às 6h30min teve valor de pressão alto em torno dos 85mca, que são horários onde não possui grande valor de consumo de água ao longo da rede. A partir das 7h a pressão começa a cair demonstrando o início do consumo frequente da água pela população local. O dia 23/09 e 24/09/2014 tiveram problemas na medição, das 9h do dia 23/09 às 13h o aparelho registrou valor de pressão inferior a 25,0mca o que significa que o aparelho não estava funcionando normalmente, pois nos demais dias nesses horários o valor de pressão ficava em torno de 70,0mca.

No dia 25/09/2014 no horário das 10h40min a pressão caiu de 68,0 mca para 44,0mca o que demonstra uma alteração significativa na rede, no consumo, isso pode ter ocorrido devido a um vazamento grande de água ou erro na medição do aparelho. Após as 18h30min o valor de pressão começa a aumentar novamente em todos os dias voltando ao normal do Nó que é o valor de 85,0 mca.

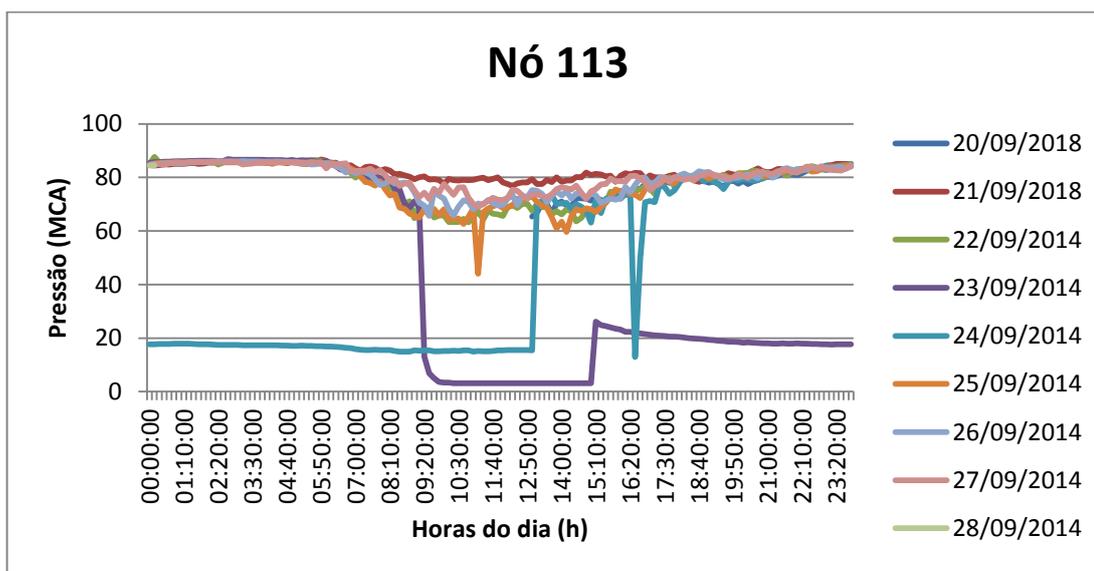


Figura 20 - Nó 113 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

O nó 62, assim como os analisados anteriormente, possui valores de pressão constantes no início do dia, ficando com valor em torno de 65 mca até as 7h. A partir desse horário começa a aumentar o volume de consumo de água e em consequência a pressão começa a diminuir também. No dia 24/09 possui um horário em destaque onde, há uma queda de pressão significativa atingindo valor de 19 mca, o que pode significar manobras na rede nesse horário. E no dia 25/09 também foi possível observar uma queda de pressão chegando a 28

mca. E a partir das 17h a pressão volta a aumentar, pois diminui os valores de consumo. Esse nó diferente dos demais possui algumas quedas de pressão após as 18h em todos os dias da semana o que pode representar alguma intervenção na rede nesses horários ou aumento repentinos de consumo devido a algum fator não identificado.

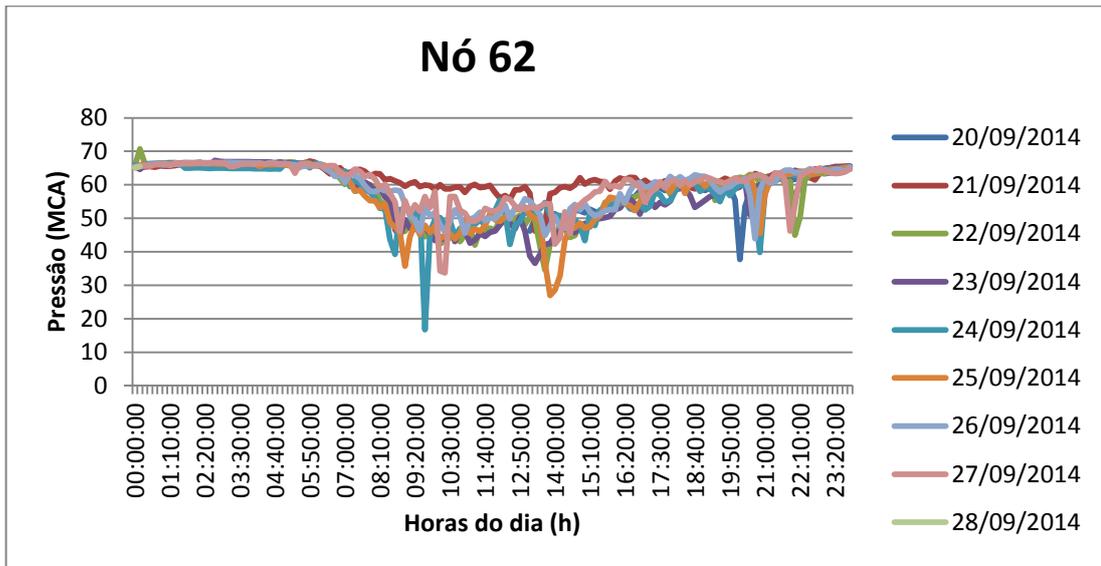


Figura 21 - Nó 62 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2014 a 28/09/2014

O nó 85 apresenta valores parecidos ao longo dos dias da semana. Sendo que nas primeiras horas dos dias, entre 00h e 06h30min, são verificados maiores valores de pressão, ficando em aproximadamente 70,0mca, indicando um consumo menor que dos outros horários e praticamente valor constante. A partir das 07h a pressão começa a diminuir, mostrando o início de maiores valores de consumo de água, ficando próximo do valor de 59,0mca de menor pressão encontrada.

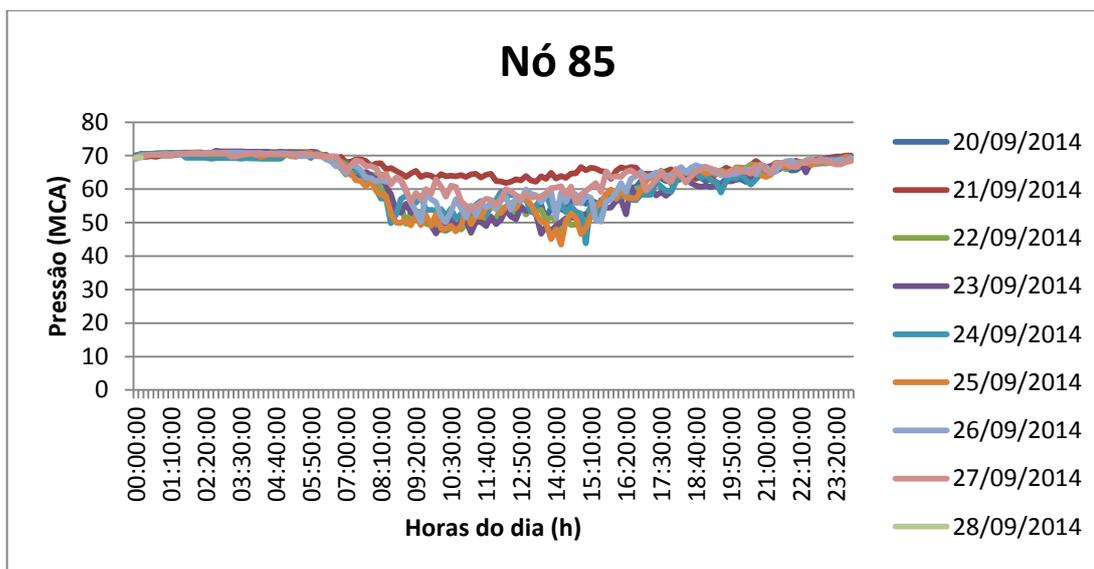


Figura 22 - Nó 85 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2014 a 28/09/2014

No dia 21/09/2014 os valores de pressão foram relativamente constante se comparado com os dias, isso se dá possivelmente em função de ser um domingo, quando a população está de folga e o consumo é bem menor. Assim como nos demais loggers a partir das 16h30min os valores de pressão voltam a ficar mais altos, chegando no valor de 70,0mca em torno das 22h30min.

O nó 115 (Figura 22) em geral apresenta comportamento parecido ao longo da semana, começando com valor de pressão em torno dos 65,0mca as 00h e tendo uma queda logo as 01h passando a ficar constante em torno dos 45,0mca até às 07h, uma hipótese para esse acontecimento é a presença de uma bomba de água próxima a esse ponto da rede, onde ela permanece desligada durante esse período devido aos valores de menor consumo e a partir daí é ligada para ajudar no abastecimento. A partir desse horário apresenta um aumento de pressão voltando então ao valor de 65,00mca. Depois desse pico de pressão a rede se comporta de forma semelhante tendo sua pressão diminuída até as 08h, entre 09h e 17h os valores oscilam discretamente durante o dia, mais ao longo da semana cada dia é verificado um valor de pressão para o mesmo horário. Assim como nos demais nós a partir das 17h os valores de pressão voltam a ficarem mais altos, chegando ao valor de 65,0mca em torno das 22h30min.

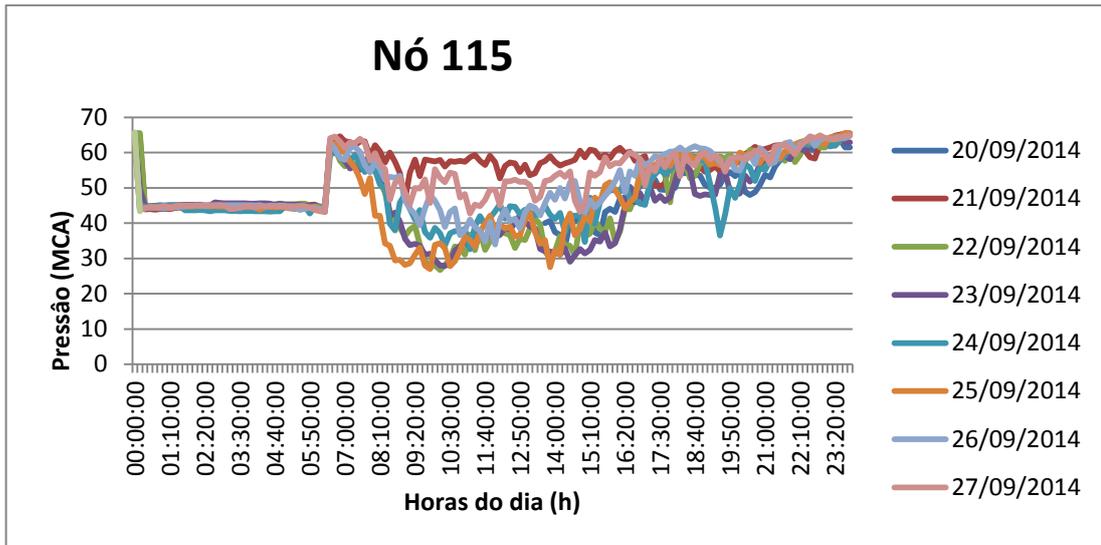


Figura 23 - Nó 115 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

O nó 114 demonstrado na Figura 23 apresenta um início de valores de pressão idênticos em todos os dias da semana da 0h a 0h 30min a pressão cai de 60 mca para 40 mca e à partir desse horário se estabiliza em torno dos 40mca. Após as 6h o valor de pressão volta a aumentar e chega as 7h ao valor de 60 mca novamente e ao longo do dia oscila entre altas e baixas até o horário das 17h que é quando volta a ficar similar em todos os dias de coleta. No gráfico podemos verificar que no domingo, dia 21/09 apresentou valores de pressão mais alto, durante o dia todo, tendo apenas no horário de 17h30min uma queda brusca de pressão passando ao valor de 20mca. Em contrapartida verifica-se que no dia 25/09 os valores de pressão foram em sua maioria mais baixos ficando em torno de 25mca.

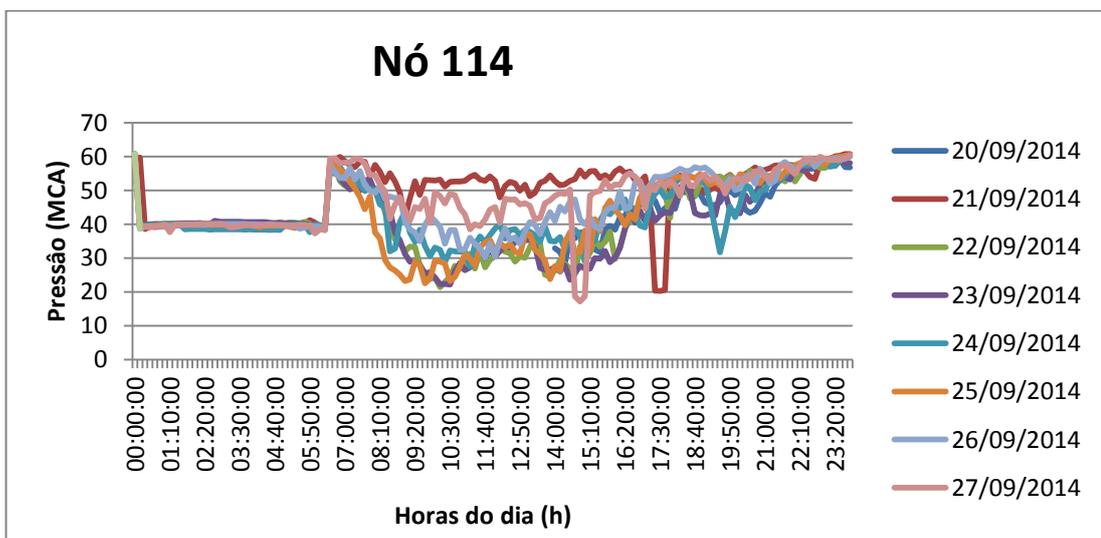


Figura 24 - Nó 114 - Variação da pressão, em mca, no período compreendido entre 20/09/2017 a 28/09/2014

4.1.5 Cálculo dos valores de correlação de perdas com pressão

As perdas em um sistema de distribuição de água implicam diretamente na eficiência da distribuição e comercialização do volume tratado. Diagnosticar os volumes de perdas em determinado setor de distribuição de água proporciona uma melhora no planejamento, investimentos, manobras e manutenção na rede. Garantindo a maior confiabilidade no sistema existente, sem causar maiores prejuízos.

Nesse âmbito um estudo aprofundado de modelos de previsão de vazamentos ou até mesmo identificação de sua ocorrência em volume acaba sendo um forte parâmetro de qualidade e eficiência do sistema de distribuição. Como para rede estudada temos valores de pressão, decidiu-se calcular a porcentagem de perdas relativa ao valor de pressão obtido. Nessa área temos trabalho como do Abdulshaheed, Mustapha e Ghavamian (2016) monitoraram as perdas em uma rede através de um método baseado em pressões desenvolvido por eles e Soldevila et al. (2017) faz a correlação de perdas e pressão na rede com a utilização dos cálculos Bayesianos, além de outras pesquisas mais antigas e não menos importantes como a de Tucciarelli, Criminisi e Termini (1999), Germanopoulos e Jowitt (1989) e Jowitt e Xu (1990) que também abordaram a relação direta das perdas de água numa rede com as pressões obtidas na tubulação.

Dessa forma, o presente trabalho utilizou uma fórmula para cálculo das perdas na rede de estudo baseado nos trabalhos de Tucciarelli, Criminisi e Termini (1999) e na de Silva (2003), sendo dada pela Equação 1:

$$\sum_{i=1}^{nós} Perdas = P_{media}^A \times B \quad (1)$$

Onde: Perdas = representadas em percentual;

Pressão média (P_{media}) em mca = média aritmética das pressões nos nós da rede;

A = coeficiente determinado em pesquisas anteriores;

B = coeficiente adquirido após testes de compatibilidade com informações já obtidas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise estatística dos dados

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente com o intuito de tirar o maior número possível e satisfatório de informação da rede.

5.1.1 Variação estatística dos parâmetros de pressão por Nó

Para melhor compreensão do sistema, foi empreendida uma análise descritiva dos valores, apresentando parâmetros estatísticos como; média, mediana, desvio padrão, variância, percentil 90 e percentil 10. A Tabela 3 contém os valores calculados para o Nó 105, com dados de pressão em mca levantados de 20/09/2014 a 28/09/2014, em uma rede existente.

Tabela 3 - Dados estatísticos Nó 105 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

NÓ 105								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	76,4	5,7	32,1	77,95	68,6	83,3	85,3	65,3
21/09/2014	82,6	2,8	8,0	82,88	78,0	85,6	86,3	75,8
22/09/2014	79,3	6,0	36,3	79,90	70,8	86,0	86,4	65,5
23/09/2014	79,8	5,5	30,3	79,91	72,2	86,4	86,7	68,1
24/09/2014	79,4	5,1	26,2	78,43	73,2	85,5	86,0	64,3
25/09/2014	80,3	5,5	30,6	80,80	74,1	85,8	85,9	49,0
26/09/2014	81,0	3,8	14,8	81,00	76,4	85,9	86,2	70,5
27/09/2014	81,6	3,7	13,6	81,67	76,8	85,8	86,0	69,6

A média das pressões obtidas para o Nó 105 em todos os dias da semana não obteve muita variação, ficando o valor entre 80 a 90mca dos dias 21/09/2014 a 28/09/2014. Somente no dia 20/09/2014 o valor foi menor devido ao início tardio da coleta de dados.

O desvio padrão pode ser entendido como média dos desvios de valores, ou seja, o quanto ficaram dispersos um valor do outro na sequência de dados. No dia 21/09/2014 o valor fica mais alto em relação aos demais dias por possuir uma diferença na quantidade de dados obtidos. Do dia 21/09/2014 a 28/09/2014 o desvio padrão ficou entre 0 e 5 mca dos valores de pressão, mostrando uma variância bem pequena dos dados obtidos.

Variância na estatística indica a soma dos quadrados dividida pelo número de dados contido no conjunto. A variância dos dados de pressão no Nó 105 foi praticamente 0 mca.

Mediana na estatística é um valor que dividi um grupo de valores ordenados em partes iguais. A mediana das pressões para o ponto 105 ficou em torno do valor de 80mca para todos os dias da semana.

O nó 14 como pode ser observado na Tabela 4, teve seus valores médios de pressão entre 80 e 83 mca, não tendo uma variância significativa entre os dias. Seus valores de desvio padrão são bem parecidos, tendo apresentado valor mais baixo de 0,8 mca no dia 25/09. Obteve-se como maior valor de pressão o Pmax = 92,2 mca no dia 24/09/2014 esse valor é tido como alto e em relação aos demais dias é quase 10mca de diferença. Já o valor de pressão mínima foi de Pmin=72,2mca no dia 22/09/2014.

Tabela 4 - Dados estatísticos Nó 14 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

NÓ 14								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	80,2	1,9	3,7	80,49	77,1	82,8	83,4	75,0
21/09/2014	82,3	1,3	1,8	82,67	80,6	83,4	83,8	77,0
22/09/2014	82,3	1,8	3,1	82,61	81,1	83,6	83,9	72,2
23/09/2014	81,7	1,8	3,2	81,77	79,7	83,7	83,9	76,7
24/09/2014	82,1	1,9	3,8	82,68	79,9	83,5	92,2	74,4
25/09/2014	82,4	0,8	0,6	82,46	81,6	83,2	84,0	78,6
26/09/2014	82,5	1,1	1,2	82,71	81,0	83,5	84,2	78,3
27/09/2014	82,5	1,3	1,7	82,80	81,4	83,5	87,9	76,8

O nó 51 pertence a uma região de maior altitude e menores pressões. Como pode ser observado na Tabela 5, os valores de médias das pressões nos dias ficam entre 30 e 47mca, não passando nenhum valor de 50mca que é o limite máximo de pressão na rede. Sendo dois valores que chamam atenção por estarem abaixo de 35mca de média e tendo desvio padrão de 12mca, foram medidos no dia 25 e 26/09/2014, a queda da pressão na rede pode ser justificada considerando uma alta no consumo de água, por se tratar de quinta e sexta o consumo aumenta. A média mais alta foi de 46,2 mca, observada no domingo dia 21/09/2014. Essa alta de pressão em relação aos demais dias pode ser justificada devido a ser um dia em que as pessoas se encontram em casa e por consequência o consumo de água na rede é menor, por não ter funcionamento dos locais de trabalho. No dia 27/0, um sábado, já pode ser percebido um aumento grande da pressão em relação ao dia anterior, o que reforça o acontecido no final de semana anterior.

Tabela 5 - Dados estatísticos Nó 51 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 51								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	41,8	3,9	15,1	40,44	36,0	46,9	47,7	34,0
21/09/2014	46,2	1,6	2,6	47,09	44,0	48,0	48,6	42,7
22/09/2014	44,1	4,1	16,8	46,23	38,3	48,6	48,9	34,9
23/09/2014	43,7	4,4	18,9	41,52	37,6	48,8	49,1	36,4
24/09/2014	43,9	3,7	13,4	47,29	39,1	48,1	48,4	36,6
25/09/2014	33,1	12,4	154,7	44,32	18,8	48,0	48,2	17,2
26/09/2014	32,1	11,5	133,2	41,43	20,8	46,5	47,6	19,9
27/09/2014	45,4	2,5	6,0	46,92	41,9	48,2	48,4	39,8

O nó 111 tem seu comportamento apresentado na Tabela 6 e possui pressão média dos dias variando entre 84,5 e 88,9 mca, sendo as maiores médias ocorridas aos domingos. Seus resultados de desvio padrão estão entre 1,8 e 5,1 mca, o menor desvio aconteceu no domingo e o maior na terça-feira, mostrando que as pressões variaram mais durante a semana e quando a media de pressão foi maior tivemos o valores de desvio padrão menor. O maior valor de pressão registrado foi de 92,2 mca no dia 23/09 e o menor foi de 74,3 no dia 25/09.

Tabela 6 - Dados estatísticos Nó 111 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 111								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	84,5	4,0	16,1	83,39	78,7	89,6	90,5	76,4
21/09/2014	88,9	1,8	3,2	90,06	86,5	91,1	91,8	85,2
22/09/2014	86,5	4,8	23,3	88,94	79,0	91,6	92,0	74,5
23/09/2014	86,0	5,1	26,3	84,19	78,6	91,9	92,2	76,9
24/09/2014	86,4	4,3	18,2	90,12	80,5	91,2	91,6	76,6
25/09/2014	86,2	4,9	23,8	86,86	78,9	91,2	91,4	74,3
26/09/2014	87,4	3,5	12,2	83,88	82,2	91,4	91,7	78,8
27/09/2014	87,9	2,9	8,5	89,82	83,9	91,3	91,5	81,5

Na Tabela 7, observa-se os dados do Nó 109 que assim como a maioria dos nós apresenta valores de média de pressão acima de 70 mca, com destaque para maior valor que foi de 75,7 mca no dia 21/09 em um domingo e o menor valor que foi de 71,1 mca no sábado dia 20/09, esse dado no sábado é influenciado por se tratar do primeiro dia de coleta o que pode representar alguma diferença das medidas dos outros dias. O dia com menor desvio padrão foi também o dia 21/09 e o maior desvio padrão aconteceu no dia 23/09, o valor de

média de pressão nesse dia foi um dos menores da semana. O maior valor de pressão foi de 83,3mca na segunda-feira dia 22/09 e o menor foi de 43,8 mca no dia 20/09 esse foi o primeiro dia de coleta.

Tabela 7 - Dados estatísticos Nó 109 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 109								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	71,1	5,8	33,5	70,60	65,6	76,7	77,6	43,8
21/09/2014	75,7	3,7	13,4	77,20	73,4	78,3	79,6	49,2
22/09/2014	73,4	5,3	28,5	76,15	65,9	78,9	81,3	52,5
23/09/2014	72,7	6,3	39,5	71,45	65,6	79,0	79,6	42,9
24/09/2014	73,1	5,5	30,0	77,05	67,6	78,4	78,8	44,6
25/09/2014	73,0	5,8	34,1	74,05	66,0	78,4	78,5	44,6
26/09/2014	74,2	4,2	18,0	70,35	69,0	78,6	78,8	46,9
27/09/2014	74,7	4,4	19,2	77,05	70,5	78,5	78,7	46,4

Na Tabela 8 estão os dados do Nó 116, este fica localizado no ponto mais alto da rede, o que acaba justificando os valores mais baixos de pressão, ficando até mesmo abaixo do valor limite de 50mca. O menor valor de média de pressão foi de 37,6 mca no dia 20/09 e 25/09 isso implica em dizer que esses dias foram os com maiores índices de consumo e o local desse nó apresenta valores bem similares de pressão não varia muito ao longo dos dias como pode ser observado que o maior valor de média de pressão foi de 40,8 mca, menos de 3mca de diferença do maior para o menor. O desvio padrão variou de 1,7 a 6,4 mca, assim como a pressão o maior valor aconteceu no dia 25/09. A maior pressão registrada foi 43,4 mca no dia 23/09 e a menor foi no dia 25/09 de 19,7mca.

Tabela 8 - Dados estatísticos Nó 116 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 116								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	37,6	3,0	8,8	36,93	33,9	41,4	42,3	27,6
21/09/2014	40,8	1,7	2,8	41,99	38,4	42,6	43,2	36,3
22/09/2014	38,8	3,9	15,5	40,99	33,4	43,0	43,3	24,9
23/09/2014	38,5	4,2	17,3	37,51	33,3	43,1	43,4	25,2
24/09/2014	39,0	3,3	10,7	42,02	35,0	42,6	42,9	25,2
25/09/2014	37,6	6,4	40,7	39,19	24,1	42,6	42,7	19,7
26/09/2014	39,5	3,2	10,3	37,02	36,2	42,8	43,1	29,1
27/09/2014	40,0	2,4	5,9	41,64	36,7	42,8	43,0	33,3

Os dados do nó 112 são expressos na Tabela 9. Esse ponto também possui cota mais alta e como pode ser observado os valores de médias de pressão estão acima de 50mca, mas abaixo da maioria dos pontos, o maior valor de média calculado foi de 63,9 mca e o menor 60,0 mca, domingo e sábado respectivamente. Como pode ser observado a diferença entre os dias é de menos de 4 mca, mostrando que esse nó possui comportamento parecido em todos os dias da semana. O desvio padrão variou de 1,5 a 6,0 mca, sendo o maior valor encontrado na quinta-feira dia 25/09. O valor maior de pressão encontrado para esse nó foi de 66,5 mca no dia 23/09 e o menor foi de 26,5 mca no dia 25/09.

Tabela 9 - Dados estatísticos Nó 112 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 112								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	60,0	4,0	16,1	59,10	56,9	63,9	65,0	39,0
21/09/2014	63,6	1,5	2,3	64,30	61,4	65,2	66,2	59,1
22/09/2014	61,3	5,9	34,5	64,00	57,1	65,6	65,9	25,8
23/09/2014	61,7	3,8	14,6	60,25	56,6	65,7	66,5	40,9
24/09/2014	61,4	4,0	16,2	64,45	57,6	65,4	65,6	38,5
25/09/2014	60,7	6,0	36,3	62,70	56,9	64,4	65,3	26,5
26/09/2014	62,9	2,2	5,0	59,90	59,6	65,6	65,8	57,7
27/09/2014	62,9	2,2	4,7	63,40	60,2	65,5	65,6	53,2

O nó 103 tem os dados representado na Tabela 10, seus valores de média de pressão estão entre 61,9 mca e 68,1 mca, com maior valor obtido no dia 21/09 assim como os demais nós. Os valores de desvio padrão variaram entre 3,2 e 9,0 mca, o maior valor ocorreu no dia 22/09, em uma segunda-feira, dia que possivelmente acontece valores variados de pressão. O maior valor de pressão calculado foi de 74,4 mca e o menor de 35,2 mca, ambos no dia 22/09 que justifica o maior valor de desvio padrão e variância.

Tabela 10 - Dados estatísticos Nó 103 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 103								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	61,9	6,1	37,2	62,50	53,0	69,1	70,8	48,4
21/09/2014	68,1	3,2	10,2	70,30	64,0	72,2	73,4	59,7
22/09/2014	63,3	9,0	81,1	67,80	50,6	72,6	74,4	35,2
23/09/2014	63,0	8,8	78,3	60,65	51,2	72,7	73,2	43,4
24/09/2014	63,8	7,1	50,1	69,75	54,5	72,1	72,5	46,0
25/09/2014	63,3	8,5	72,3	65,10	50,7	72,2	72,3	41,1
26/09/2014	65,2	6,3	40,1	58,95	55,8	72,4	72,6	50,3
27/09/2014	65,9	5,6	31,0	69,85	57,0	72,3	72,5	54,1

Na Tabela 11 são demonstrados os valores para o nó 117. Nela pode-se observar que os valores médios de pressão ficam próximo de 50,0 mca, o maior valor obtido foi de 50,3 mca no domingo dia 21/09 e o menor valor foi de 43,3 mca no sábado dia 20/09. Já o desvio padrão maior foi no dia 23/09 sendo valor de 8,8 mca e o menor de 4,7 mca no dia 21/09. A pressão máxima encontrada foi de 60,0 mca e a menor de 17,8 mca no sábado.

Tabela 11 - Dados estatísticos Nó 117 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 117								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	43,3	8,1	65,3	43,10	34,0	52,2	53,9	17,8
21/09/2014	50,3	4,7	22,0	53,65	45,4	55,3	56,0	34,9
22/09/2014	46,6	8,6	73,2	51,00	33,2	55,7	56,0	28,4
23/09/2014	46,2	8,8	78,0	43,15	33,8	55,8	60,0	26,7
24/09/2014	47,1	6,9	47,5	52,70	38,3	55,2	55,9	29,8
25/09/2014	46,5	8,4	69,9	48,35	34,1	55,2	55,4	25,1
26/09/2014	48,1	6,8	46,0	42,60	38,8	55,7	55,9	29,4
27/09/2014	47,6	7,0	49,3	53,05	37,4	55,4	55,7	29,2

Na Tabela 12 pode ser observado os valores calculados para o nó 113, e podemos observar dois valores de médias bem diferentes dos outros dias. No dia 23/09 e 24/09 com valores de 40,7 e 43,1, respectivamente, quase metade do valor dos demais dias, isso pode ter acontecido devido a algum problema de coleta de informações nesses dias ou ocorrência de alguma manobra na rede. O valor média maior encontrado foi de 82,1 mca no dia domingo dia 21/09, assim como nos outros Nós. O desvio padrão variou entre 2,7 e 35,1, sendo menor valor do dia 21/09 e maior valor dia 23/09. O menor valor de pressão obtido aconteceu no dia 23/09 que foi de 3,1 mca e o maior valor foi de 87,7 no dia 22/09.

Tabela 12 - Dados estatísticos Nó 113 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 113								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VAR	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	77,0	4,8	23,3	78,00	70,3	82,9	84,2	65,4
21/09/2014	82,1	2,7	7,2	84,20	78,8	85,6	86,7	76,8
22/09/2014	77,9	7,7	59,2	81,75	66,2	86,1	87,7	63,2
23/09/2014	40,7	35,1	1232,1	74,75	3,2	86,3	86,9	3,1
24/09/2014	43,1	30,3	915,9	83,60	15,2	81,9	84,8	12,9
25/09/2014	77,5	8,0	64,4	17,85	66,1	85,7	85,8	44,1
26/09/2014	79,4	5,7	32,5	17,10	70,9	85,9	86,1	65,8
27/09/2014	80,2	4,7	22,1	83,45	73,0	85,7	85,9	69,0

O nó 62, apresentado na Tabela 13, possui suas médias diárias de pressão entre 57,1 mca no dia 23/09 e 62,0 mca no dia 21/09. As pressões registradas ficam pouco acima do estabelecido pela norma que é de pressão em torno de 50 mca. Nota-se que as maiores médias foram obtidas aos finais de semana, retratando similaridade com o restante dos nós do setor. O desvio padrão calculado ficou entre 3,6 e 8,8 mca e maior variância foi de 78,1 mca no dia 25/09. A maior pressão medida foi no dia 22/09 com valor de 70,7 mca e a menor foi no dia 24/09 com valor de 16,7 mca quase $\frac{1}{4}$ da pressão máxima.

Tabela 13 - Dados estatísticos Nó 62 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 62								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	57,2	5,4	28,7	58,30	50,8	63,5	64,8	37,7
21/09/2014	62,0	3,6	13,2	64,75	58,5	66,1	67,1	46,2
22/09/2014	57,7	8,3	68,4	61,75	45,1	66,5	70,7	34,6
23/09/2014	57,1	8,6	74,1	54,75	45,3	66,6	67,3	36,6
24/09/2014	57,6	7,9	61,8	63,35	48,2	66,0	66,6	16,7
25/09/2014	57,5	8,8	78,1	58,90	45,6	66,2	66,3	26,9
26/09/2014	59,4	6,5	42,1	53,60	50,0	66,5	66,7	43,9
27/09/2014	59,9	6,5	42,1	64,05	52,2	66,3	66,6	33,7

O Nó 85 possui pressões médias variando entre 61,8 e 66,9 mca, terça-feira e domingo, respectivamente. Observa-se assim que neste ponto o comportamento da pressão não se mostrou muito diferente ao longo da semana. Os valores de pressão máxima durante a semana oscilaram entre 69 e 71,5 mca, permanecendo por diversos dias com dados iguais. Já o valor de pressão mínima foi de 43,4 mca em uma quarta-feira. Os valores de desvio padrão foram entre 2,8 e 8,2 mca. E a mediana mais baixa ficou com valor de 58,3 mca no dia 26/09, sexta-feira.

Tabela 14 - Dados estatísticos Nó 85 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 85								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	62,1	4,6	21,0	62,90	55,5	67,9	69,0	50,7
21/09/2014	66,9	2,8	7,7	69,10	63,4	70,5	71,2	61,8
22/09/2014	62,4	7,9	62,3	66,60	50,4	70,9	71,2	47,5
23/09/2014	61,8	8,2	66,8	58,60	50,4	71,0	71,5	46,7
24/09/2014	62,7	6,5	42,3	68,20	53,7	70,4	70,9	43,8
25/09/2014	62,1	8,0	63,3	63,40	49,9	70,5	70,6	43,4
26/09/2014	64,0	6,1	37,3	58,30	55,3	70,7	70,9	50,2
27/09/2014	65,0	4,9	23,6	68,20	57,6	70,6	70,9	53,6

O Nó 115 apresentou valores mais baixos de pressão, sendo as médias variantes entre 47 e 55 mca, segunda-feira 22/09 e domingo 21/09, respectivamente. O desvio padrão ficou entre 6,9 e 10,5 mca, o menor valor de desvio aconteceu no mesmo dia que a média de pressão foi mais alta já o maior valor de desvio aconteceu no dia 25/09 em uma quinta-feira nesse a pressão média estava próxima ao valor mínimo. A pressão máxima encontrada foi de 65,5 mca, abaixo da encontrada em outros pontos de medição. Já a pressão mínima foi de 27,0 mca, quase metade do exigido na norma de redes de água, ocorrido no dia 25/09, quinta-feira, possivelmente neste dia foi feita alguma manobra na rede, pois os valores de desvio padrão e variância também foram maiores que os demais dias.

Tabela 15 - Dados estatísticos Nó 115 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 115								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	51,0	7,8	60,6	50,80	40,3	61,5	63,6	33,2
21/09/2014	55,0	6,9	48,0	52,70	44,5	62,9	65,4	43,2
22/09/2014	47,0	10,4	107,6	57,30	33,1	60,5	65,5	26,7
23/09/2014	45,9	9,8	96,3	44,00	32,5	60,1	65,4	27,9
24/09/2014	48,2	8,1	65,4	45,50	39,3	61,3	65,0	32,6
25/09/2014	47,3	10,5	111,2	45,10	33,2	62,0	65,5	27,0
26/09/2014	50,8	8,3	68,3	44,75	42,3	61,9	65,4	34,0
27/09/2014	52,9	7,1	51,0	44,70	44,6	63,0	65,5	42,7

No Nó 14 pode-se verificar que todas as médias de pressão ficaram abaixo de 50 mca, variando de maior valor de 49,7 mca e menor valor foi de 40,8 mca. O desvio padrão maior encontrado foi no dia 25/09 e o menor 7,7 mca no dia 20/09 primeiro dia de medição. A pressão máxima foi de 60,8 mca e a mínima registrada foi de 17,2 mca, esta considerada muito baixa em relação à média registrada.

Tabela 16 - Dados estatísticos Nó 14 em mca, calculados referente aos dias 20/09/2014 à 27/09/2014

Nó 14								
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
20/09/2014	46,7	7,7	59,2	46,50	35,8	56,8	59,1	28,6
21/09/2014	49,7	8,1	65,9	41,90	39,6	57,8	60,7	20,3
22/09/2014	41,9	10,4	108,5	52,45	27,4	55,4	60,8	21,4
23/09/2014	40,8	9,9	98,4	39,10	27,0	55,1	60,6	22,2
24/09/2014	43,1	8,2	67,5	40,50	33,7	56,3	60,1	27,5
25/09/2014	42,3	10,5	110,6	40,00	28,1	57,0	60,5	22,5
26/09/2014	45,7	8,2	68,0	39,40	37,2	57,1	60,8	30,1
27/09/2014	47,4	8,3	68,7	39,70	39,4	58,6	60,7	17,2

Na Figura 24 é exposto o gráfico de vazão do bairro Morada da Serra por dia da semana, em cada hora do dia, no que é permitido identificar as características somente desse local.

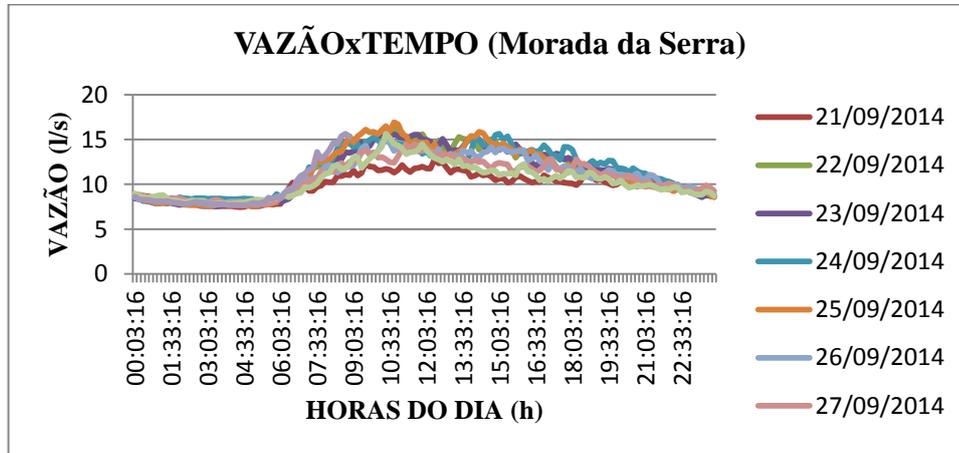


Figura 25 – Vazão x Tempo (Morada da Serra)

O bairro Morada Da Serra possui um perfil de vazão igual em todos os dias. Entre 0h e 6h30min permanece entre 8 e 9 l/s, com consumo aumentado a partir das 7h, atingindo o pico em torno das 11h a vazão com valores entre 14 e 16 l/s aos logo dos dias. A vazão começa a diminuir a partir das 14h30min, voltando ao seu valor de início às 22h. No dia 21/09 são observados valores de pressão menores que os demais dias, não passando de 13 l/s. Isso se justifica por se tratar de um domingo e, portanto com consumo menor. Outro dia que se destaca é 25/09, sexta-feira, representa comportamento diferente, pois nesses dias geralmente o consumo é maior por ocorrer eventuais faxinas nas residências, enchimentos das piscinas e consumo maior por aumentar o fluxo de pessoas no bairro.

5.1.2 Variação estatística dos parâmetros de pressão por Setor

Os pontos também foram comparados por setor para compreender como funciona cada região. O primeiro ponto estudado é a entrada da rede, analisando dados de vazão e velocidade. A entrada da rede fica localizada no Solar dos Lagos. Foi feita análise de média, desvio padrão e variância e os resultados são expressos nas Tabelas 17 e 18.

Assim como nos pontos (Nós) o menor valor de média não teve diferença expressiva em relação aos demais dias da semana. Sendo que o menor valor obtido foi em uma segunda-feira se tornando um valor diferente do comum, pois na segunda-feira da semana anterior o valor mais alto. O valor mais alto de vazão foi obtido no dia 24/09 em uma quarta-feira. Nota-se que a vazão é menor nos finais de semana e durante a semana vai aumentando o valor

gradativamente até quarta-feira e depois vai diminuindo até chegar novamente o sábado e sendo menor aos domingos. Por mais estranho que possa parecer, quando as pessoas estão em casa de folga acaba sendo o dia de menor consumo.

Tabela 17 – Análise dos dados de vazão Solar dos Lagos

VAZÃO (l/s)			
DIA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
20/09/2014	10,361	0,844	0,713
21/09/2014	9,905	1,415	2,004
22/09/2014	11,360	2,742	7,517
23/09/2014	11,255	2,742	7,521
24/09/2014	11,545	2,514	6,322
25/09/2014	11,362	2,862	8,192
26/09/2014	11,019	2,220	4,928
27/09/2014	10,755	1,965	3,862
28/09/2014	10,457	1,920	3,686
29/09/2014	9,431	2,446	5,981

Fonte: Autor

O menor valor de desvio padrão foi apresentado no dia 20/09, sábado, quando os valores de vazões variaram menos que nos demais dias em relação a média. Em consequência desse resultado o valor de variância encontrado nesse dia também foi o menor para entrada do setor. Do dia 22/09 a 26/09 os valores de desvio padrão foram bem similares ficando entre 2,22 e 2,86 mca, assim conclui-se que quanto maior é a vazão média mais alto também é seu valor de desvio padrão e em consequência o valor de variância.

Outro parâmetro verificado para entrada do setor foi a velocidade da água. Conhecendo-se a velocidade é possível diagnosticar se a pressão na tubulação será maior ou menor, pois quanto maior a velocidade menor será a pressão nas paredes do tubo. A Tabela 18 demonstra os valores obtidos nos cálculos de média, desvio padrão e variância da velocidade:

A velocidade da água na entrada do setor ficou entre 0,48 e 0,59 m/s nos dias que foram medidos. Segundo a NBR 12218 o valor mínimo nas tubulações devem ser 0,6 m/s e a máxima 3,5m/s, assim pode-se observar que as velocidades encontradas estão abaixo do valor mínimo, sendo somente o dia 24/09 um valor mais próximo que foi de 0,5914 m/s. Mesmo estando abaixo do valor mínimo do dia 22/09 a 27/09 os valores ficam próximos e acima de 0,55 m/s, a velocidade é mais ideal entre segunda-feira e sexta-feira, quando o consumo também é maior. Pode-se supor com isso que nesses dias as pressões são menores que nos

finais de semana, quando a velocidade da água diminui mais expressivamente e a pressão se eleva.

Tabela 18 - Análises da velocidade Solar dos Lagos

VELOCIDADE (m/s)			
DIA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
20/09/2014	0,5308	0,0432	0,0019
21/09/2014	0,5074	0,0725	0,0053
22/09/2014	0,5820	0,1404	0,0197
23/09/2014	0,5766	0,1405	0,0197
24/09/2014	0,5914	0,1288	0,0166
25/09/2014	0,5820	0,1466	0,0215
26/09/2014	0,5645	0,1137	0,0129
27/09/2014	0,5510	0,1007	0,0101
28/09/2014	0,5357	0,0984	0,0097
29/09/2014	0,4832	0,1253	0,0157

Na Tabela 18 também pode-se perceber que os valores de desvio padrão são maiores quando a velocidade é maior. Entre os dias 22/09 e 27/09 tanto o desvio padrão quanto a variância foram maiores. O pico de velocidade aconteceu no dia 24/09 com valor de 0,5914 m/s, já o maior valor de desvio padrão foi no dia 25/09, 0,1466, e variância também no mesmo dia, 0,0215. Isso mostra que mesmo a velocidade sendo maior neste dia o desvio padrão das médias não foi maior que os demais dias. A menor velocidade foi no dia 29/09, 0,48 m/s, em uma segunda-feira, bem diferente da segunda-feira da semana anterior, quando foi encontrado valor de 0,58 m/s. Tal fato chama atenção, pois a rede acabou tendo um comportamento diferente do usual, pois geralmente a partir de segunda-feira a tendência é que a velocidade seja maior que nos finais de semana.

Foi gerado um gráfico com valores de pressão e consumo por setor da rede de estudo, para que pudesse entender como os bairros influenciam na rede total. A Figura 25 evidencia os resultados obtidos:

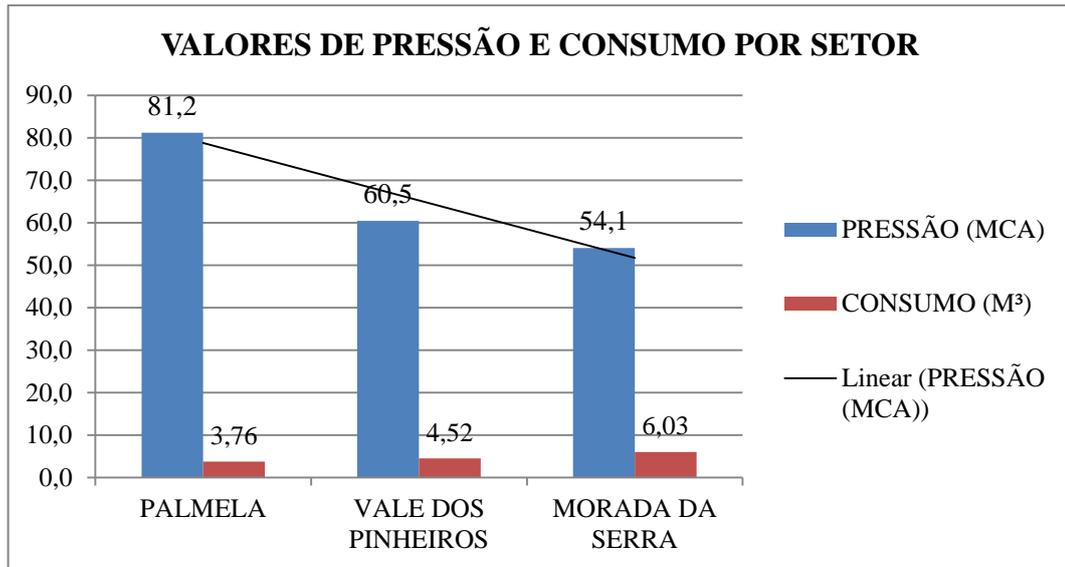


Figura 26 - Pressão e consumo por setor

A Figura 26 mostra a diferença entre valores de pressão e consumo para cada bairro. Como podemos verificar o bairro Palmela possui valores bem maiores de pressão que os outros dois bairros, em contrapartida possuem consumo de água menor. O bairro Palmela possui como característica altitude menor e poder aquisitivo da população também menor, que o Vale dos Pinheiros e Morada da Serra, isso implica diretamente no consumo e na pressão.

O Bairro Vale dos Pinheiros possui uma parte com cotas altimétrica mais baixa e outra mais alta, a média de pressão nesse bairro fica entre os dois outros bairros com valor de 60,5 mca, sua média de consumo é de 4,52 l/s também entre o bairro Palmela com 3,76 l/s e o bairro Morada da Serra com 6,03 l/s, como característica que justifica esse valor de consumo possivelmente é que o bairro possui valor aquisitivo maior que o Bairro Palmela e menor que o Morada da Serra o que implica no consumo da população.

Esse bairro possui pousadas que acaba tendo uma maior movimentação de pessoas e já o bairro Morada da Serra por ser um condomínio fechado os moradores possuem piscinas e outros equipamentos que consomem mais água. O Bairro Morada da Serra pertence a uma área com altitudes elevadas, que implica diretamente nos valores de pressão, por isso seu valor de média de 54,1 mca e bem menor que o valor de 81,2 mca do bairro Palmela que esta num local com altitudes baixas.

Caracterizado o valor de pressão por setor, foi feito um gráfico com valor de média por nó. Assim obtemos os nós com valores mais altos e os mais baixos, esses resultados são apresentados na Figura 26.

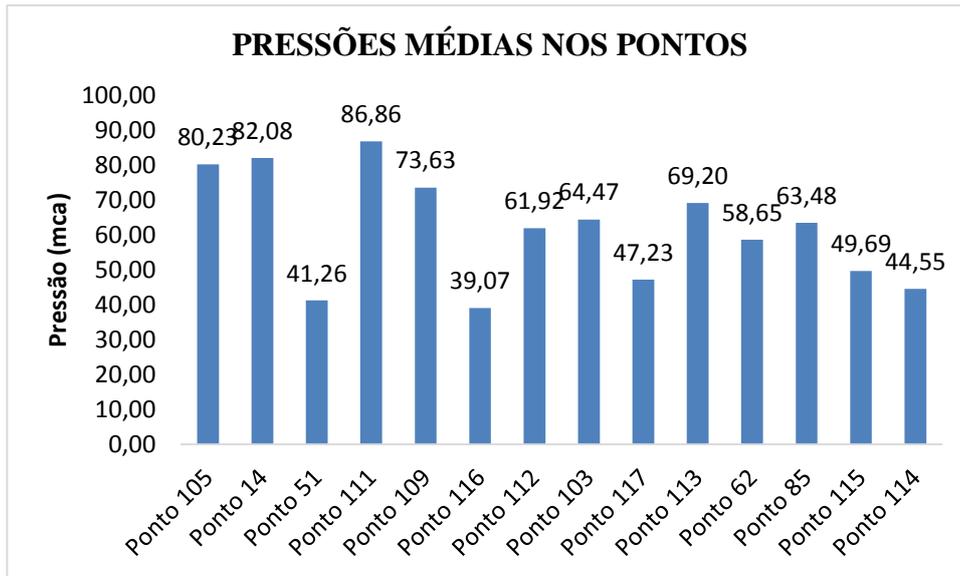


Figura 27 - Gráfico das médias por Nó

Os valores de médias por Nó ficaram entre 39,1 e 86,86 mca, diferença de aproximadamente 48,00 mca entre eles. Verificou-se que o nó 111 teve valor mais alto de média de pressão, 86,86 mca. Este nó pertence a uma cota altimétrica mais baixa do bairro Vale dos Pinheiros, o que possivelmente justifica o resultado da pressão. Já o valor de 39,07 mca foi encontrado no nó 116, este está localizado na cota mais alta da rede, 921,72 m, pertencendo também ao bairro Vale dos Pinheiros. Essa informação reforça a teoria de maior cota altimétrica menor pressão e vice-versa.

Nesse gráfico pode-se observar também que mais da metade das pressões registradas ficaram acima do valor máximo de 50 mca permitido para uma rede de distribuição de água. Abaixo de 50 mpa ficaram cinco valores desses o Nó 114 e o 115 pertence ao bairro morada da Serra e os Nós 51, 111 e 117 pertence ao bairro Vale dos Pinheiros.

Na Tabela 19 foram calculados os parâmetros estatísticos por bairro, que compõem a rede. Os dados coletados durante os sete dias da semana, assim podemos compará-los.

Tabela 19 – Dados estatísticos por setor, em mca, calculados durante os 7 dias

	MÉDIA	DV PAD	MEDIANA	P90%	P10%	Pmax	Pmin
PALMELA	81,2	1,3	81,2	80,4	81,9	82,1	80,3
VALE DOS PINHEIROS	60,5	16,8	63,2	40,6	77,6	86,9	39,1
MORADA DA SERRA	54,1	8,5	54,2	46,1	62,0	63,5	44,6

Comparando os três bairros foram verificados que o bairro Palmela possui média de pressão maior que os outros dois, sendo seu valor de 81,2mca e o bairro Morada da Serra apresentou valor mais baixo de 54,1 mca, ele se encontra totalmente em uma área mais alta da rede o que diminui a pressão na tubulação.

O maior valor de desvio padrão foi do bairro Vale dos Pinheiros, 16,8 mca. Essa região possui algumas diferenças de níveis o que acaba influenciando nas pressões tornando umas mais elevadas que as outras. Em consequência do desvio padrão, obtivemos um valor mais alto de variância para esse bairro também sendo valor de 280,8. A pressão mais alta entrada foi no bairro Vale dos Pinheiros sendo valor de 86,9 mca e o mais baixo também foi nesse bairro, 39,1 mca, isso ocorre possivelmente devido a diferenças de cotas altimétricas dos pontos de coleta de dados.

As Tabelas 20, 21 e 22 demonstram os valores calculados de parâmetros estatísticos por bairro em cada dia da semana. Nele pode-se ver como a pressão se comportou ao longo dos sete dias de coleta em cada setor da rede.

Tabela 20 - Análise de parâmetros estatísticos Bairro Palmela, em mca

DATA	MÉDIA	DV PAD	Pmax	Pmin
20/09/2014	78,3	2,7	80,2	76,4
21/09/2014	82,4	0,2	82,6	82,3
22/09/2014	80,8	2,1	82,3	79,3
23/09/2014	80,8	1,3	81,7	79,8
24/09/2014	80,8	1,9	82,1	79,4
25/09/2014	81,3	1,5	82,4	80,3
26/09/2014	81,7	1,0	82,5	81,0
27/09/2014	82,1	0,6	82,5	81,6

A Tabela 20 traz informação do bairro Palmela, como já foi elucidado anteriormente esse bairro se localiza em uma região mais baixa da rede e devido a isso os valores de pressão são altos. Como pode ser observado o valor mais baixo encontrado na semana foi no dia 20/09 primeiro dia de coleta em um sábado, com valor de 78,3 mca e o valor mais alto de pressão media foi de 82,4 mca no dia 21/09 em um domingo. Os valores de desvio padrão oscilaram entre 0,2 e 2,7, com valores de pressão altos e com poucas diferenças o desvio padrão não se mostrou alto. A maior pressão obtida foi de 82,6 mca no domingo dia 21/09 e a menor foi de 76,4 mca no sábado, dia 20/09.

Tabela 21 - Análise de parâmetros estatísticos Bairro Vale dos Pinheiros, em mca

DATA	MÉDIA	DV PAD	Pmax	Pmin
20/09/2014	59,6	17,4	84,5	37,6
21/09/2014	64,5	17,5	88,9	40,8
22/09/2014	61,5	17,2	86,5	38,8
23/09/2014	56,6	17,1	86,0	38,5
24/09/2014	56,3	16,6	84,5	39,0
25/09/2014	59,0	19,2	84,5	33,1
26/09/2014	59,8	33,6	84,5	20,8
27/09/2014	61,7	17,4	84,5	40,0

Na Tabela 21 tem-se valores do bairro Vale dos Pinheiros, como podem ser observados os valores de pressão média ao longo da semana se mantiveram entre 56,3 e 64,5 mca, mais baixos que o bairro Palmela. O maior valor foi no dia 21/09 e o menor na quarta-feira dia 24/09. O desvio padrão variou de 16,6 mca no dia 24/09 a 33,6 mca no dia 26/09. A maior pressão obtida foi de 88,9 mca no domingo dia 21/09, explicado por se tratar de um dia com pouco consumo no geral e isso provoca um aumento de pressão na tubulação. Já o menor valor de pressão foi de 20,8 mca no dia 26/09 em uma sexta-feira, dia em que geralmente o consumo é bem maior, pois acontece um aumento de pessoas no local por se tratar de uma região com pousada e hotel, quanto maior o consumo menor a pressão.

Na Tabela 22 temos valores calculados para o bairro Morada da Serra. Esse bairro em particular está todo em cotas altimétricas mais elevadas que os demais. Isso reflete nos valores das pressões mais baixas, entre 51,4 mca no dia 23/09 e 58,4 mca no dia 21/09. O desvio padrão variou entre 6,8 mca no dia 20/09 e 9,7 no dia 23/09. A maior pressão coletada foi no dia 21/09 com valor de 66,9 mca e a menor foi no dia 22/09 com valor de 41,9 mca.

Tabela 22 - Análise de parâmetros estatísticos Bairro Morada da Serra, em mca

BAIRRO MORADAS DA SERRA					
DATA	MÉDIA	DV PAD	VARIÂNCIA	Pmax	Pmin
20/09/2014	54,2	6,8	45,6	62,1	46,7
21/09/2014	58,4	7,6	57,6	66,9	49,7
22/09/2014	52,3	9,4	89,2	62,4	41,9
23/09/2014	51,4	9,7	94,4	61,8	40,8
24/09/2014	52,9	8,9	78,9	62,7	43,1
25/09/2014	52,3	9,1	82,6	62,1	42,3
26/09/2014	55,0	8,2	67,9	64,0	45,7
27/09/2014	56,3	7,7	59,5	65,0	47,4

5.2 Teste estatístico

5.2.1 Resultado do teste t por dia nos Nós

A Tabela 23 ilustra para uma melhor compreensão dos dados gerados de médias da pressão na rede, foi aplicado o teste t, que é um teste de hipótese da média de uma ou duas populações distribuídas normalmente. Para isso foi analisado teste t pertencente às planilhas do Excel, comparando através de uma matriz os valores das médias dos dados de cada dia da semana. Com a matriz gerada foram destacados os níveis de significância dos dados e o valor estipulado foi 0,05 (α). Valores menores abaixo foram discutidos e analisados os possíveis motivos pelo qual apresentam esse resultado.

Para $p \leq \alpha$ a diferença entre as médias é estaticamente significativa, isto é há diferença entre os valores das médias calculados nos pontos. Para $p > \alpha$ a diferença entre as médias não é estatisticamente significativa, assim pode ser afirmado que os valores das médias de pressão são os mesmos.

Os cálculos foram feitos para todos os Nós, dos dias 20/09/2014 a 27/09/2014. Os resultados foram os seguintes:

Quando comparados os valores do dia 20/09 e os demais dias podemos notar que os valores ficaram abaixo 0,05, isso pode ter ocorrido pois o dia 20/09 foi o primeiro dia de coleta e o equipamento se encontrava em adaptação aos locais de medição, assim seus valores médios acabam sendo diferentes dos demais dias que possuem inclusive mais dados válidos. Os outros dias, praticamente não foram observados valores do teste t menores que 0,05. Possivelmente tal achado se deve em razão de os valores de pressão não terem tido grandes oscilações e a média.

O Nó 14 apresentou resultados diferentes em relação ao Nó 105. Separando os valores do teste t inferiores a 0,05, foram verificados que quase todos os resultados de comparação dos dias foram inferiores, ou seja, significativos. Entende-se assim que houve diferenças entre as médias das pressões trabalhadas.

A diferença mais explícita foi quando comparado o dia 20/09 com os demais dias, possivelmente pelo fato de os equipamentos ainda estarem sendo adaptados aos locais de medição. Outra característica verificada é que os valores de pressão permanecem praticamente o dia todo, em níveis muito elevados. Desse modo, essa região também pode apresentar valores de consumo mais baixos, o que implica no aumento de pressão na rede. Outra característica desse ponto, que pode ter causado alguma diferença dos outros, é o fato de ter sido necessária a troca do medidor, pois o primeiro apresentou problema na medição.

O Nó 51 apresentou resultados diferentes dos dois Nós anteriores, sendo que poucas comparações entre dias terem sido significativas. Assim como os outros a comparação do dia 20/09 foi o que mais ficou abaixo desse valor. E outros dois dados também foram inferiores, visualizando os resultados obtidos e os dados originais para estudo, observa-se uma possível alteração nos dias 23/09 e 24/09, que possivelmente foram dias em que houve alguma interferência na rede, para manutenção. Para esse Nó, portanto infere-se que ele tenha valores de pressões baixos similares uma à outra.

Nos Nós 111, 109, 116 e 112 pode-se verificar diversos valores de t significativos. Esses nós pertencem a uma mesma região do bairro Vale dos Pinheiros. Essa região em geral apresenta valores de pressões médias em relação aos dois outros bairros. As diferenças das médias foram verificadas em maior parte quando comparado o dia 20 com os demais dias.

Isso pode ter ocorrido por ser o primeiro dia de coleta de informação ou por se tratar de um sábado e como essa região possui algumas pousadas e um hotel, aumenta o fluxo de pessoas provocando uma alteração no consumo e, em consequência, a diminuição na pressão, gerando uma diferença em relação aos demais dias. Um valor que chamou atenção foi a comparação do dia 20 com o dia 24, em 3 dos 4 nós o valor ficou abaixo de 0,005 o que representa uma variação bem significativa das médias encontradas.

Tabela 23 - Valores do test t por Nó

NÓ		SABADO	DOMINGO	SEGUNDA- FEIRA	TERÇA- FEIRA	QUARTA- FEIRA	QUINTA- FEIRA	SEXTA- FEIRA	SÁBADO
		20/09/2014	21/09/2014	22/09/2014	23/09/2014	24/09/2014	25/09/2014	26/09/2014	27/09/2014
105	20/09/2014	-	0,159	0,010	0,035	0,035	0,037	0,125	0,395
	21/09/2014	0,159	-	0,167	0,127	0,105	0,126	0,037	0,437
	22/09/2014	0,010	0,167	-	0,045	0,068	0,046	0,134	0,392
	23/09/2014	0,035	0,127	0,045	-	0,024	0,002	0,092	0,406
	24/09/2014	0,035	0,105	0,068	0,024	-	0,023	0,069	0,413
	25/09/2014	0,037	0,126	0,046	0,002	0,023	-	0,091	0,406
	26/09/2014	0,125	0,037	0,134	0,092	0,069	0,091	-	0,430
	27/09/2014	0,395	0,437	0,392	0,406	0,413	0,406	0,430	-
14	20/09/2014	-	0,028	0,011	0,008	0,007	0,645	0,019	0,017
	21/09/2014	0,028	-	0,005	0,008	0,009	0,005	0,003	0,001
	22/09/2014	0,011	0,005	-	0,000	0,003	0,011	0,009	0,006
	23/09/2014	0,008	0,008	0,000	-	0,001	0,013	0,011	0,009
	24/09/2014	0,007	0,009	0,003	0,001	-	0,014	0,012	0,010
	25/09/2014	0,645	0,005	0,011	0,013	0,014	-	0,002	0,004
	26/09/2014	0,019	0,003	0,009	0,011	0,012	0,002	-	0,002
	27/09/2014	0,017	0,001	0,006	0,009	0,010	0,004	0,002	-
51	20/09/2014	-	0,149	0,006	0,024	0,042	0,645	0,665	0,120
	21/09/2014	0,149	-	0,144	0,171	0,111	0,730	0,759	0,032
	22/09/2014	0,006	0,144	-	0,030	0,036	0,653	0,668	0,114
	23/09/2014	0,024	0,171	0,030	-	0,066	0,634	0,653	0,142
	24/09/2014	0,042	0,111	0,036	0,066	-	0,657	0,687	0,080
	25/09/2014	0,645	0,730	0,653	0,634	0,657	-	0,058	0,709
	26/09/2014	0,665	0,759	0,668	0,653	0,687	0,058	-	0,737
	27/09/2014	0,120	0,032	0,114	0,142	0,080	0,709	0,737	-
111	20/09/2014	-	0,071	0,025	0,043	0,001	0,033	0,030	0,047

	21/09/2014	0,071	-	0,096	0,113	0,072	0,103	0,042	0,024
	22/09/2014	0,025	0,096	-	0,018	0,025	0,008	0,055	0,072
	23/09/2014	0,043	0,113	0,018	-	0,043	0,010	0,073	0,090
	24/09/2014	0,001	0,072	0,025	0,043	-	0,029	0,031	0,048
	25/09/2014	0,033	0,103	0,008	0,010	0,029	-	0,059	0,080
	26/09/2014	0,030	0,042	0,055	0,073	0,031	0,059	-	0,017
	27/09/2014	0,047	0,024	0,072	0,090	0,048	0,080	0,017	-
109	20/09/2014	-	0,155	0,057	0,040	0,043	0,002	0,125	0,121
	21/09/2014	0,155	-	0,102	0,189	0,115	0,153	0,033	0,037
	22/09/2014	0,057	0,102	-	0,095	0,013	0,054	0,071	0,067
	23/09/2014	0,040	0,189	0,095	-	0,082	0,042	0,161	0,157
	24/09/2014	0,043	0,115	0,013	0,082	-	0,033	0,084	0,080
	25/09/2014	0,002	0,153	0,054	0,042	0,033	-	0,115	0,119
	26/09/2014	0,125	0,033	0,071	0,161	0,084	0,115	-	0,004
	27/09/2014	0,121	0,037	0,067	0,157	0,080	0,119	0,004	-
116	20/09/2014	-	0,087	0,067	0,096	0,005	0,596	0,005	0,053
	21/09/2014	0,087	-	0,150	0,177	0,092	0,573	0,083	0,035
	22/09/2014	0,067	0,150	-	0,030	0,063	0,618	0,072	0,119
	23/09/2014	0,096	0,177	0,030	-	0,092	0,630	0,101	0,146
	24/09/2014	0,005	0,092	0,063	0,092	-	0,569	0,009	0,058
	25/09/2014	0,596	0,573	0,618	0,630	0,569	-	0,567	0,581
	26/09/2014	0,005	0,083	0,072	0,101	0,009	0,567	-	0,049
	27/09/2014	0,053	0,035	0,119	0,146	0,058	0,581	0,049	-
112	20/09/2014	-	0,104	0,151	0,022	0,009	0,188	0,087	0,089
	21/09/2014	0,104	-	0,238	0,083	0,096	0,268	0,018	0,017
	22/09/2014	0,151	0,238	-	0,170	0,159	0,042	0,224	0,225
	23/09/2014	0,022	0,083	0,170	-	0,013	0,206	0,066	0,067
	24/09/2014	0,009	0,096	0,159	0,013	-	0,184	0,078	0,080
	25/09/2014	0,188	0,268	0,042	0,206	0,184	-	0,246	0,256
	26/09/2014	0,087	0,018	0,224	0,066	0,078	0,246	-	0,002

	27/09/2014	0,089	0,017	0,225	0,067	0,080	0,256	0,002	-
103	20/09/2014	-	0,244	0,898	0,854	0,177	0,757	0,005	0,109
	21/09/2014	0,244	-	0,690	0,665	0,352	0,614	0,240	0,154
	22/09/2014	0,898	0,690	-	0,048	0,918	0,160	0,893	0,800
	23/09/2014	0,854	0,665	0,048	-	0,964	0,117	0,849	0,763
	24/09/2014	0,177	0,352	0,918	0,964	-	0,870	0,181	0,262
	25/09/2014	0,757	0,614	0,160	0,117	0,870	-	0,720	0,686
	26/09/2014	0,005	0,240	0,893	0,849	0,181	0,720	-	0,104
	27/09/2014	0,109	0,154	0,800	0,763	0,262	0,686	0,104	-
21	20/09/2014	-	0,920	0,060	0,115	0,491	0,039	0,560	0,450
	21/09/2014	0,920	-	0,980	0,963	0,507	0,959	0,454	0,539
	22/09/2014	0,060	0,980	-	0,057	0,492	0,021	0,549	0,458
	23/09/2014	0,115	0,963	0,057	-	0,494	0,078	0,541	0,465
	24/09/2014	0,491	0,507	0,492	0,494	-	0,491	0,596	0,386
	25/09/2014	0,039	0,959	0,021	0,078	0,491	-	0,556	0,456
	26/09/2014	0,560	0,454	0,549	0,541	0,596	0,556	-	0,945
	27/09/2014	0,450	0,539	0,458	0,465	0,386	0,456	0,945	-
113	20/09/2014	-	0,104	0,287	0,529	0,539	0,363	0,044	0,025
	21/09/2014	0,104	-	0,345	0,540	0,554	0,401	0,144	0,080
	22/09/2014	0,287	0,345	-	0,510	0,514	0,143	0,259	0,302
	23/09/2014	0,529	0,540	0,510	-	0,097	0,506	0,525	0,531
	24/09/2014	0,539	0,554	0,514	0,097	-	0,510	0,534	0,542
	25/09/2014	0,363	0,401	0,143	0,506	0,510	-	0,326	0,373
	26/09/2014	0,044	0,144	0,259	0,525	0,534	0,326	-	0,068
	27/09/2014	0,025	0,080	0,302	0,531	0,542	0,373	0,068	-
62	20/09/2014	-	0,164	0,729	0,842	0,591	0,920	0,153	0,144
	21/09/2014	0,164	-	0,637	0,713	0,554	0,770	0,283	0,277
	22/09/2014	0,729	0,637	-	0,141	0,266	0,213	0,853	0,844
	23/09/2014	0,842	0,713	0,141	-	0,348	0,083	0,994	0,984
	24/09/2014	0,591	0,554	0,266	0,348	-	0,375	0,649	0,644

	25/09/2014	0,920	0,770	0,213	0,083	0,375	-	0,944	0,933
	26/09/2014	0,153	0,283	0,853	0,994	0,649	0,944	-	0,010
	27/09/2014	0,144	0,277	0,844	0,984	0,644	0,933	0,010	-
85	20/09/2014	-	0,114	0,497	0,577	0,206	0,540	0,133	0,003
	21/09/2014	0,114	-	0,498	0,553	0,289	0,528	0,230	0,112
	22/09/2014	0,497	0,498	-	0,524	0,494	0,547	0,495	0,497
	23/09/2014	0,577	0,553	0,524	-	0,653	0,194	0,617	0,576
	24/09/2014	0,206	0,289	0,494	0,653	-	0,537	0,085	0,209
	25/09/2014	0,540	0,528	0,547	0,194	0,537	-	0,528	0,540
	26/09/2014	0,133	0,230	0,495	0,617	0,085	0,528	-	0,135
	27/09/2014	0,003	0,112	0,497	0,576	0,540	0,135	0,135	-
115	20/09/2014	-	0,904	0,400	0,380	0,176	0,413	0,182	0,626
	21/09/2014	0,904	-	0,574	0,589	0,748	0,565	0,743	0,331
	22/09/2014	0,400	0,574	-	0,059	0,324	0,100	0,286	0,520
	23/09/2014	0,380	0,589	0,059	-	0,291	0,100	0,286	0,524
	24/09/2014	0,176	0,748	0,324	0,291	-	0,333	0,007	0,571
	25/09/2014	0,413	0,565	0,100	0,100	0,333	-	0,329	0,518
	26/09/2014	0,182	0,743	0,286	0,286	0,007	0,329	-	0,569
	27/09/2014	0,626	0,331	0,520	0,524	0,571	0,518	0,569	-
114	20/09/2014	-	0,083	0,382	0,364	0,198	0,393	0,174	0,161
	21/09/2014	0,083	-	0,347	0,325	0,126	0,362	0,098	0,084
	22/09/2014	0,382	0,347	-	0,046	0,276	0,032	0,294	0,303
	23/09/2014	0,364	0,325	0,046	-	0,245	0,078	0,265	0,275
	24/09/2014	0,198	0,126	0,276	0,245	-	0,281	0,029	0,044
	25/09/2014	0,393	0,362	0,032	0,078	0,281	-	0,299	0,321
	26/09/2014	0,174	0,098	0,294	0,265	0,029	0,299	-	0,015
	27/09/2014	0,161	0,084	0,303	0,275	0,044	0,321	0,015	-

* Valores de $t < 0,05$ são considerados significativos

Os nós 103, 21 e 113 apresentaram características diferentes de dados, sendo que somente 2 valores de t ficaram abaixo de 0,05 e portanto significativos. Os valores significativos aconteceram como na maior parte dos nós aconteceram quando comparado o dia 20 com os demais e nesse caso foi mais precisamente quando foi comparado o dia 20 com 26 e 27, tendo em vista que essa data foi na sexta e no sábado, isso justifica talvez pela presença de visitantes nas residências, ou até mesmo por possíveis faxinas ou até mesmo troca de água das piscinas o que de certa forma causa alteração no consumo de água. Esses nós pertencem a uma mesma região por isso justifica-se a mesma característica nos 3.

Já os nós 62, 85 e 115 só tiveram um valor significativo de t , isso significa que suas médias possuem valores bem próximos. Ambos pertencem ao bairro Morada do Sol, que fica na parte mais alta da rede e por isso seus valores de pressão são baixos, não por decorrência de um alto valor de consumo, mais sim pela altitude que dificulta a chegada da água com pressão mais alta. Nessa região o padrão das casas são alto, pois pertencem a um condomínio fechado, por possuir poucas residências habitadas o valor de consumo é relativamente mais baixo que os outros bairros e em função disso não possui grandes alterações de pressão na rede. Destaca-se que também para esses nós os valores significativos aconteceram quando foram comparados os dias mais próximos dos finais de semana (sexta e sábado).

A Figura 27 comprova os dados obtidos com teste t , pois como pode ser observado o comportamento das medias de pressão dos pontos 114, 115,85 e 62 são similares, com valores diferentes.

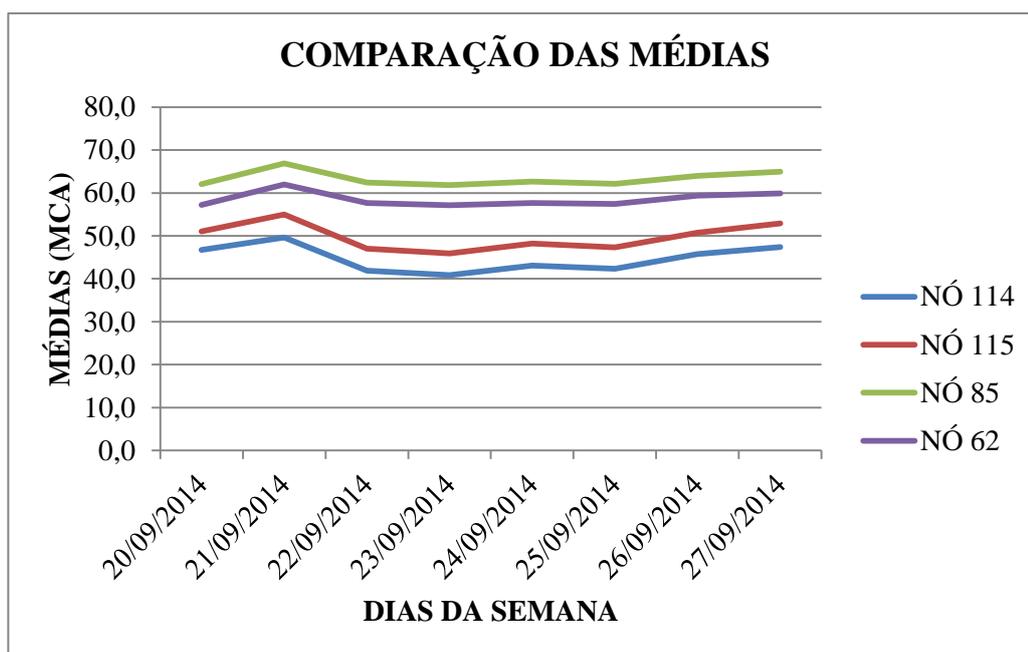


Figura 28 - Gráfico de comparação das médias dos nós 114, 115, 85 e 62

5.2.2 Resultado do teste t por Nós

Outra comparação apresentada na Tabela 24 foi valores de médias entre Nós, em que houve algumas diferenças significativas. Comparando-se Nó 14 e Nó 111 obtivemos valor de $\alpha=0,044$, abaixo do valor de 0,05, bem como a comparação entre Nó 51 e Nó 115, que apresentou valor de $t=0,030$. Já a comparação entre Nó 109 e Nó 112 o valor obtido foi de 0,008 muito abaixo do valor limite de 0,05, dessa forma conclui-se que o valor das médias dos dois nós são diferentes entre si. Os Nós 14 e 111 encontra-se em altitudes diferentes e bairros diferentes o que justificaria a diferença de valores das médias, sendo o ponto 14 pertencente a uma parte com altitude e pressões médias comparadas as outras regiões e o Nó 111 pertence a uma região com baixa altitude e uma maior pressão e encontra-se no bairro Vale dos Pinheiros mais distante do bairro Palmela o qual pertence o Nó 14.

Já os Nós 51 e 115 pertencem ao mesmo bairro e assim acaba ficando na mesma região de maior altitude e uma pressão mais baixa a diferença de média das pressões pode ser justificada devido aos pontos de localização na rede, sendo o Nó 51 o final de uma linha da rede e o Nó 115 está um pouco mais distante e próximo de um nó da rede. Os Nós 109 e 112 pertencem a uma mesma região de pressão média em relação às outras e encontram-se na região intermediária, além de estarem bem próximos em relação à localização, portanto essa diferença de médias ser motivada por algum problema com a medição em um dos dois Nós.

As demais comparações não apresentaram resultados significativos, isso implica em dizer que as médias de pressões foram similares entre si. Mesmo pertencendo a regiões diferentes na rede, com valores de consumo e altitudes diferentes. Justifica-se assim como sendo uma rede com comportamento análogo em todos os pontos de coletas.

Tabela 24 - Teste t para todos os nós

NÓS	105	14	51	111	109	116	112	103	117	113	62	85	115	114
105	-	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
14	N/S	-	N/S	0,044	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
51	N/S		-	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	0,030	N/S
111	N/S	0,044		-	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
109	N/S	N/S	N/S	N/S	-	N/S	0,008	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
116	N/S	N/S	N/S	N/S		-	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
112	N/S	N/S	N/S	N/S	0,008	N/S	-	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
103	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	-	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
117	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	-	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
113	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	-	N/S	N/S	N/S	N/S
62	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	-	N/S	N/S	N/S
85	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	-	N/S	N/S
115	N/S	N/S	0,030	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	-	N/S
114	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	-

* Valores de $t < 0,05$ são considerados significativos

5.3 Análises estatísticas com apresentações gráficas

Foi elaborado o gráfico de Boxplot para termos uma visão diferente do que já havia sido obtido no Excel e também foi feito uma correlação de Person.

5.3.1 Gráfico Boxplot

O Boxplot (gráfico de caixa) é elaborado com base em cinco dados estatístico (Valor mínimo, Primeiro quartil (Q1), Mediana (segundo quartil Q2), Terceiro quartil (Q3) e Valor máximo), a partir dos dados é feito um resumo em forma de gráfico. Esse gráfico é utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados. Por ele também são determinados valores discrepantes, também conhecidos como outliers, que são representados nos gráficos por asteriscos.

Para o caso estudado foram elaborados gráficos para os diversos pontos e estão representados nas figuras 29 a 41. Os pontos mais altos indicam valores máximos de pressão no nosso caso e os valores mais baixos indicam valores mínimos. As caixas fazem referência ao primeiro e terceiro quartil, e a linha na metade da caixa indica o segundo quando quartil ou mediana.

Na Figura 29 observa-se o gráfico gerado do ponto 105. Destaca-se nele que todos os dados de média de pressão registrados foram acima de 60 mca e somente um outlier no dia 25/09 com valor menor que 60 mca. Observa-se também no dia 21/09/2014 a maior mediana e a menor variabilidade, enquanto que as menores medianas são observadas nos dias 20/09/2014 e 24/09/2014. As maiores variabilidades das pressões são observadas nos dias 22/09/2014 e 23/09/2014.

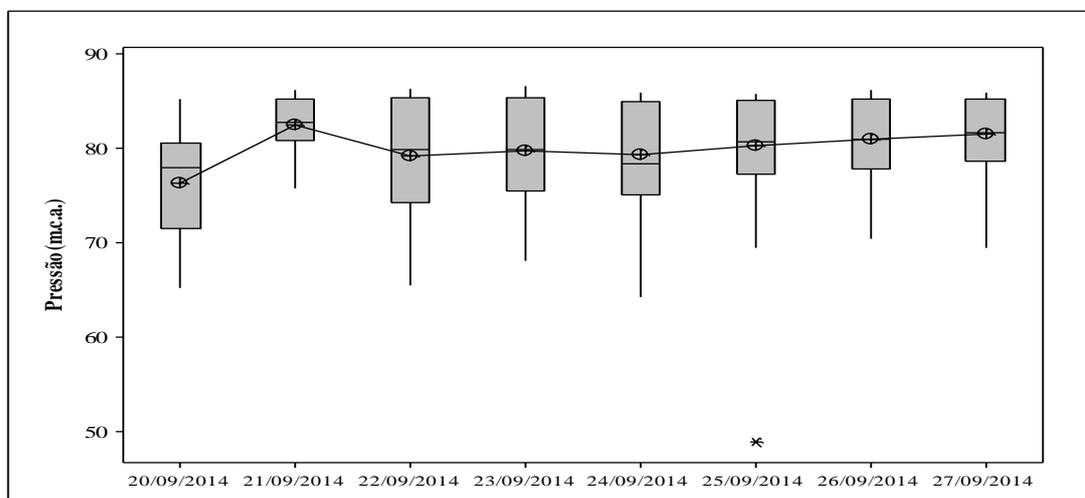


Figura 29 - Boxplot ponto 105

Na Figura 30 apresenta-se o gráfico do ponto 14. Esse gráfico diferente do anterior demonstra que os valores para esse ponto não tiveram grande variabilidade e em geral ficaram acima de 75 mca e abaixo de 85 mca. Destaca-se nesse ponto a existência de pelo menos um outlier em todos os dias da semana, exceto no dia 23/09. Os valores de medianas ficaram todos entre 80 e 85 mca, sendo o maior valor apresentado nos dias 24/09 e 27/09. A maior variabilidade foi no dia 23/09 e a menor aconteceu no dia 25/09.

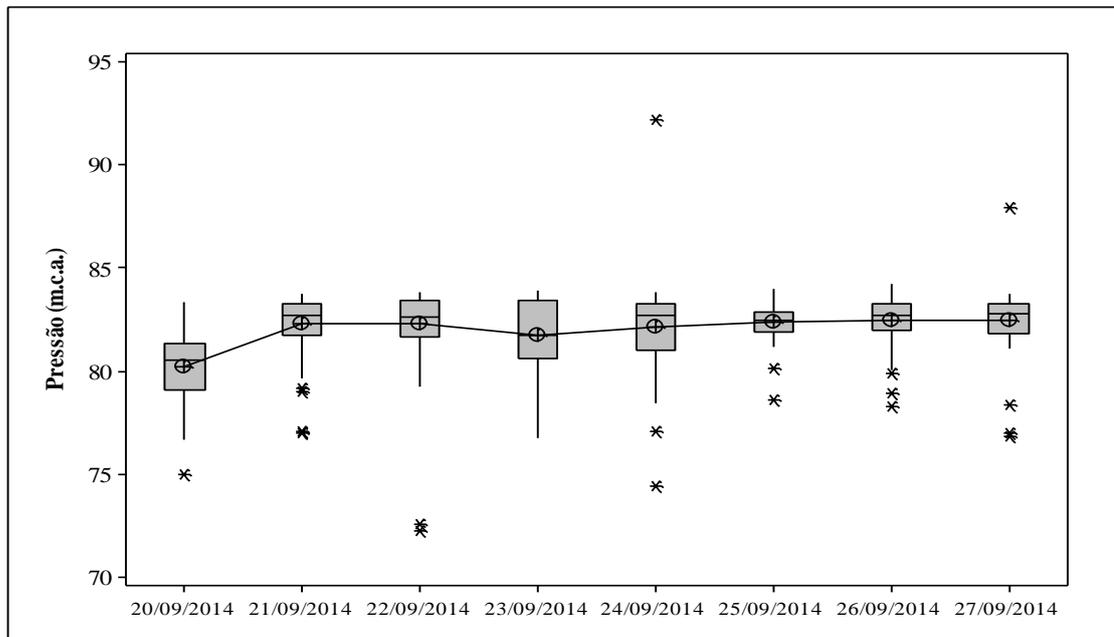


Figura 30 - Boxplot ponto 14

No gráfico da Figura 31, tem-se os dados do ponto 51. Observa-se diferentes valores de variabilidades nos dias registrados, sendo todos os dias com pressões abaixo de 50 mca. Um destaque é o dia 25/09, que variou entre 20 e 48 mca, demonstrando um comportamento diferente oscilando entre baixas e médias pressões. No dia 26/09 observa-se um valor de mediana abaixo de 25 mca, diferenciando e muito dos valores encontrados para os demais dias. A menor variabilidade foi no dia 21/09, seus valores de quartis ficaram entre 45 e 48 mca. O que chama atenção em relação aos demais pontos de medição é o fato de não ter sido identificados outliers de pressão, mostrando uma configuração análoga em toda a semana.

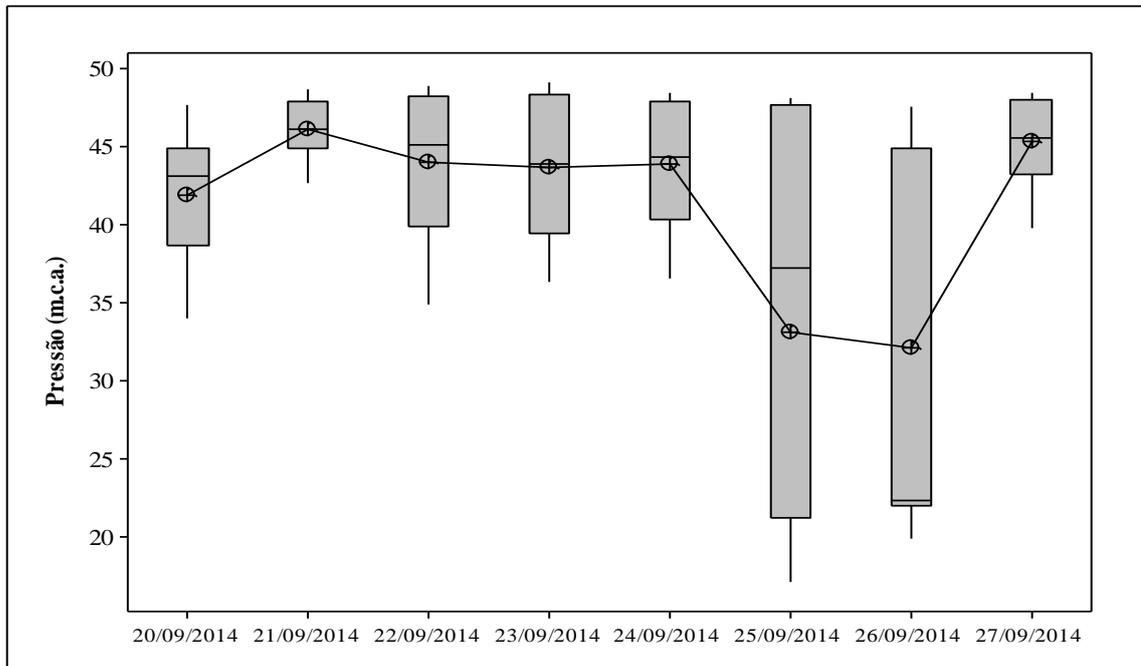


Figura 31 - Boxplot ponto 51

O gráfico de boxplot do ponto 111 é demonstrado na Figura 32. Nele pode-se observar que ao longo dos dias houve grande variabilidade dos pontos, somente no dia 21/09 a variabilidade foi menor. Os valores de pressão para esse ponto permaneceram entre 75 e 92,5 mca, valor alto para pressão na rede. A menor mediana encontrada foi no dia 20/09, sendo seu valor acima de 85 mca. A pressão mínima de 75 mca foi registrada nos dias 22/09 e 25/09, e todos valores de pressão máxima registradas ficaram acima de 90 mca. Observa-se também que não houve a ocorrência de outliers nesse ponto.

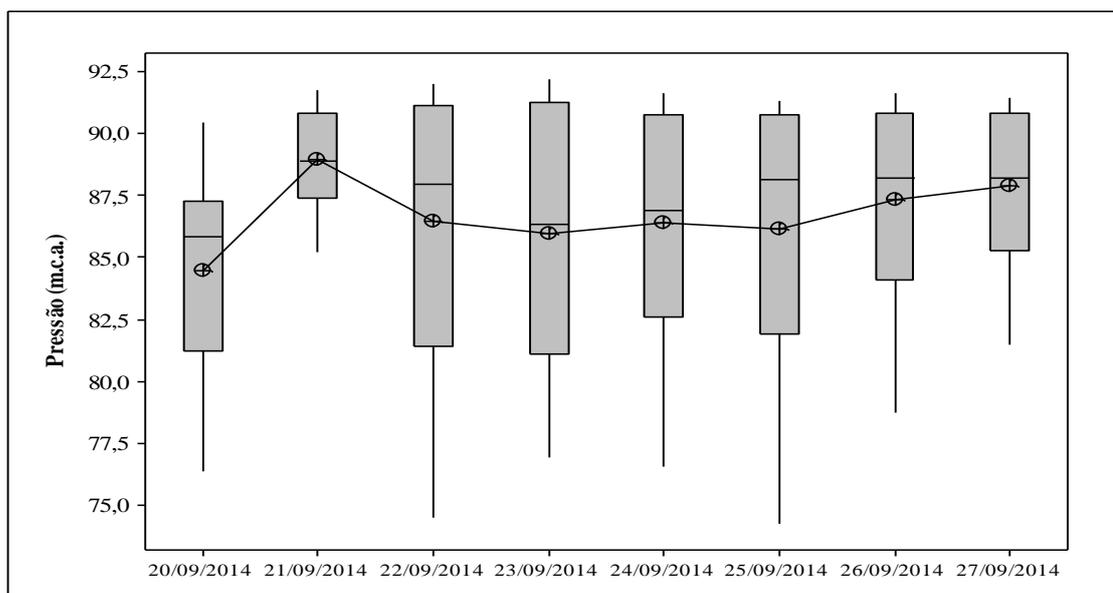


Figura 32 - Boxplot ponto 111

Na Figura 33 tem-se o gráfico do ponto 109. Nele identificamos outliers em todos os dias da semana. Os valores válidos de pressão ficaram entre 60 mca e 80 mca. A variabilidade nesse ponto não foi significativa, sendo a menor encontrada no dia 21/09 e maior nos dias 22/09 e 23/09. Todas as medianas ficaram próximas ao valor de 75 mca.

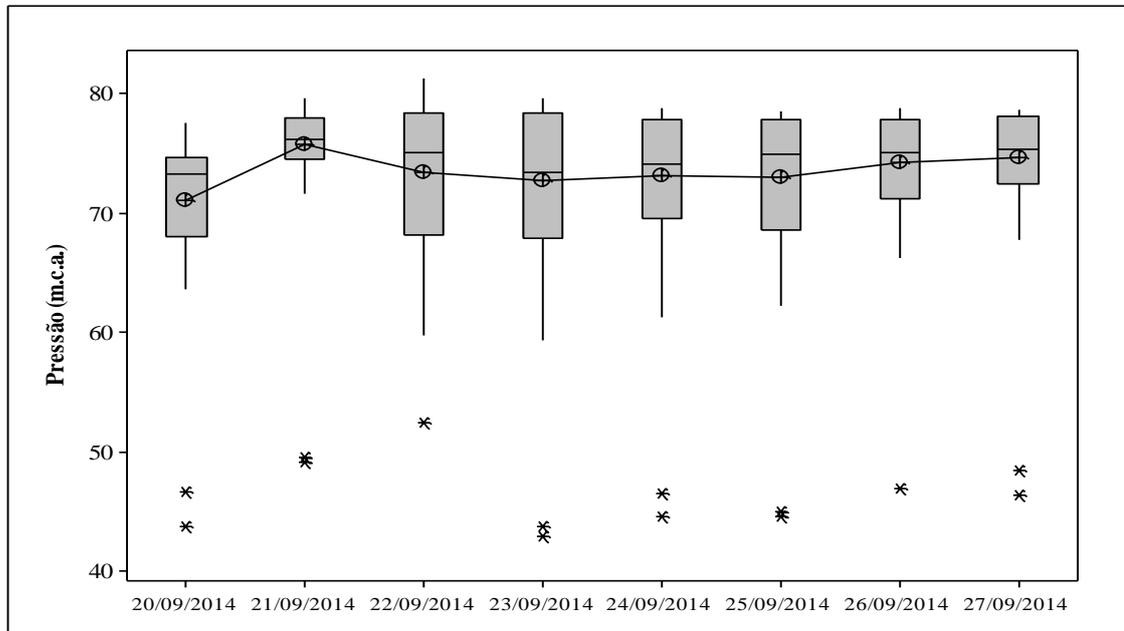


Figura 33 - Boxplot ponto 109

O gráfico Boxplot para o ponto 116, demonstrado na Figura 34, apresenta valores de pressão todas abaixo de 45 mca. A variabilidade encontrada não foi grande. Os valores de forma geral desconsiderando os outliers ficaram entre 25 e 45 mca. A maior variabilidade ocorreu no dia 23/09 e menor no dia 21/09. Registrou-se como destaque um grande número de outliers no dia 25/09, todos abaixo de 30 mca, inferindo a esse dia alguma influência na rede.

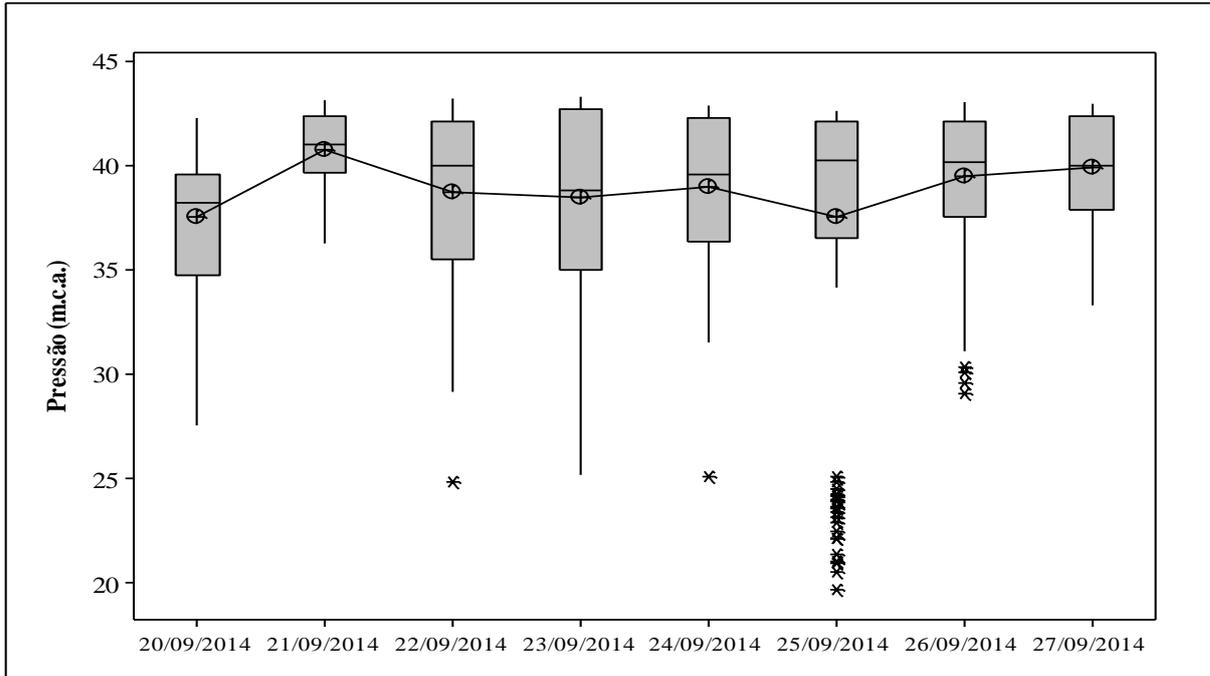


Figura 34 - Boxplot ponto 116

Na Figura 35, referente ao gráfico do ponto 112, vê-se que a variabilidade das pressões ao longo da semana foi pequena, os valores ficaram todos entre 55 e 65 mca. A menor variabilidade encontrada foi no dia 21/09. As medianas ficaram todas acima de 60 mca. Um destaque desse ponto foi a presença de outliers em quase todos os dias, principalmente no dia 25/09, com alguns valores abaixo de 30 mca. Possivelmente nessa semana foram feitas interferências na rede para reparos na tubulação.

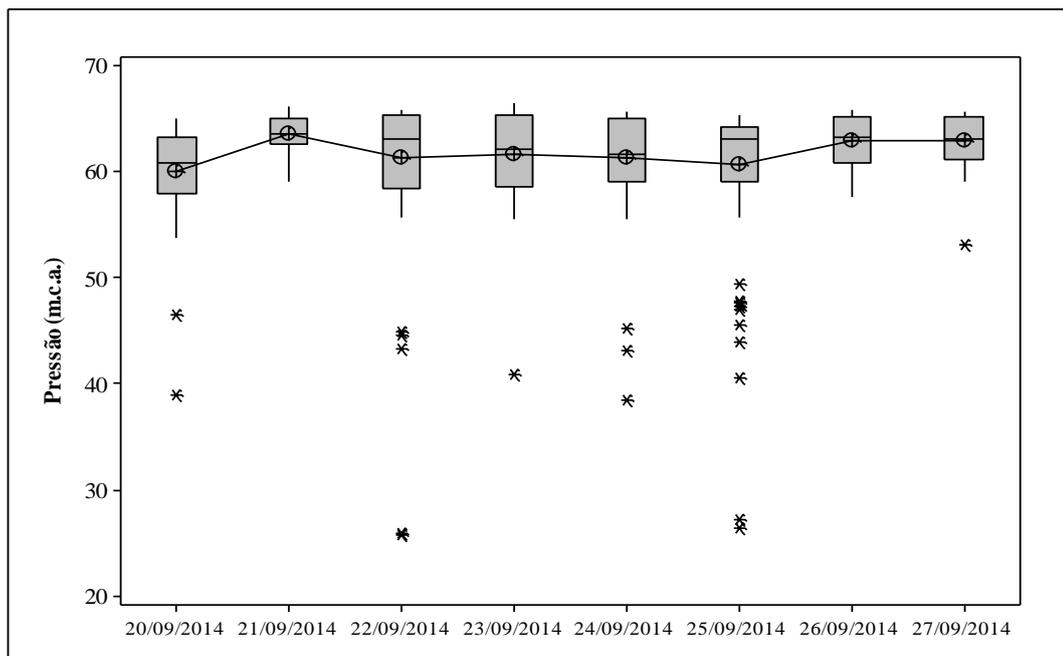


Figura 35 - Boxplot ponto 112

Na Figura 36 encontra-se o gráfico do ponto 103 e nele observa-se maior variabilidade de pressão nos dias da semana. Sendo a maior variabilidade foi encontrada nos dias 22, 23 e 25/09. A menor variabilidade no dia 21/09. Os valores de pressão ficaram todos entre 35 e 75 mca. Identifica-se também que não foram obtidos outliers em nenhum dos dias. o dia 22/09 teve comportamento diferente dos demais, onde a pressão mínima ficou abaixo de 40 mca.

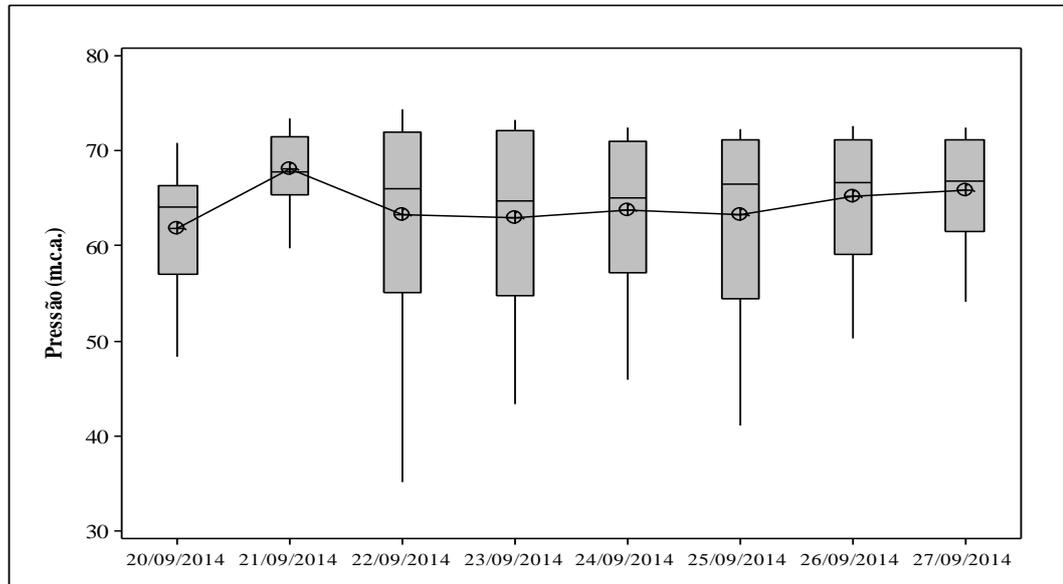


Figura 36 - Boxplot ponto 103

O boxplot do ponto 117, demonstrado na Figura 37, traz informações de pressão variando entre 25 e 60 mca, desconsiderando os outliers. A variabilidade nos dias foi relativamente grande, sendo os maiores valores ocorridos no dia 22 e 23/09. A menor variabilidade aconteceu no dia 21/09, dia também em que foi encontrado mais valores de outliers.. O valor máximo foi de 60 mca no dia 23/09 e o valor mínimo foi de 25 mca no dia 20/09. As medianas ficaram todas acima de 40 mca.

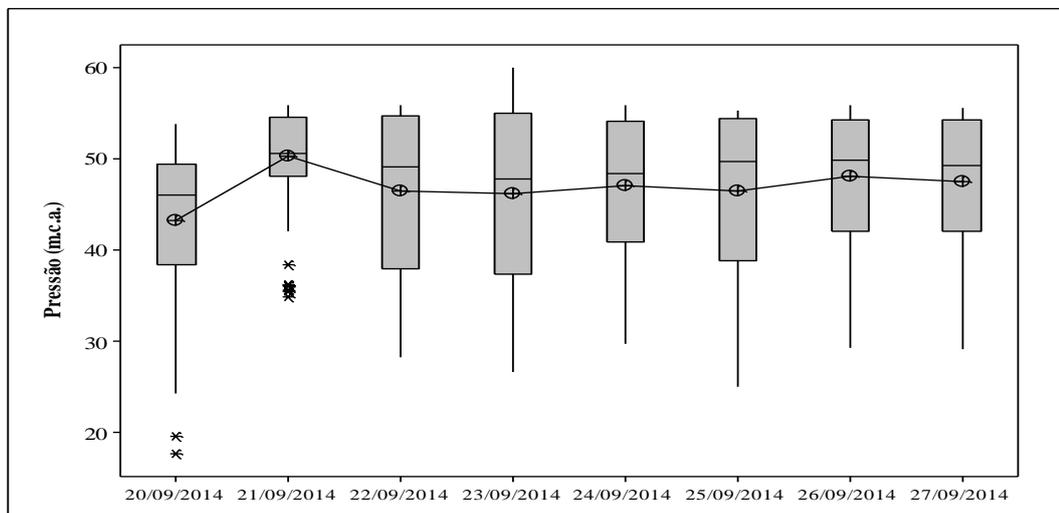


Figura 37 - Boxplot ponto 117

Na Figura 38 que representa o boxplot do ponto 113, verificou-se dois dias com grande variabilidade, o dia 23 e 24/09, com suas pressões variando de 15 a 80 mca. Os demais dias apresentaram pouca variabilidade, sendo o dia com menor variabilidade o dia 21/09. Nos dias 23 e 24/09 a mediana encontrada ficou abaixo de 20 mca, já nos demais dias a mediana ficou acima de 70 mca. Obteve-se somente um outlier no dia 25/09. Destaca-se como valor significativo o dia 23/09 que teve uma pressão abaixo de 10 mca.

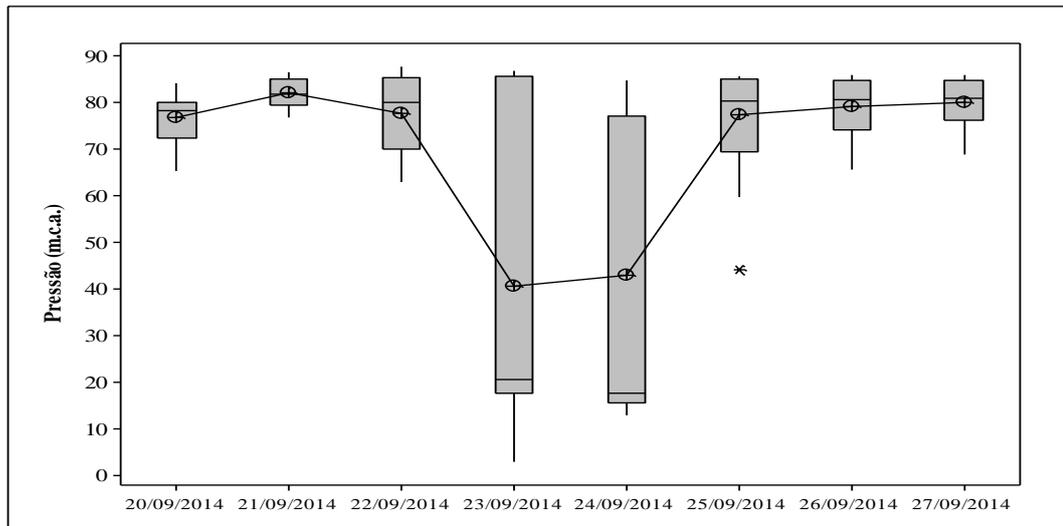


Figura 38 - Boxplot ponto 113

Na Figura 39 tem-se o boxplot do ponto 62 com variabilidade similar em todos os dias da semana. No geral as pressões foram entre 30 e 70 mca. A maior variabilidade ocorreu nos dias 22, 23 e 25 mca, ficou entre 45 e 65 mca. A menor variabilidade assim como nos outros pontos aconteceu no dia 21/09. As medianas em todos os dias ficaram acima de 55 mca. Em cinco dias da semana foram encontrados outliers, principalmente no dia 21/09 onde encontrou-se mais valores discrepantes.

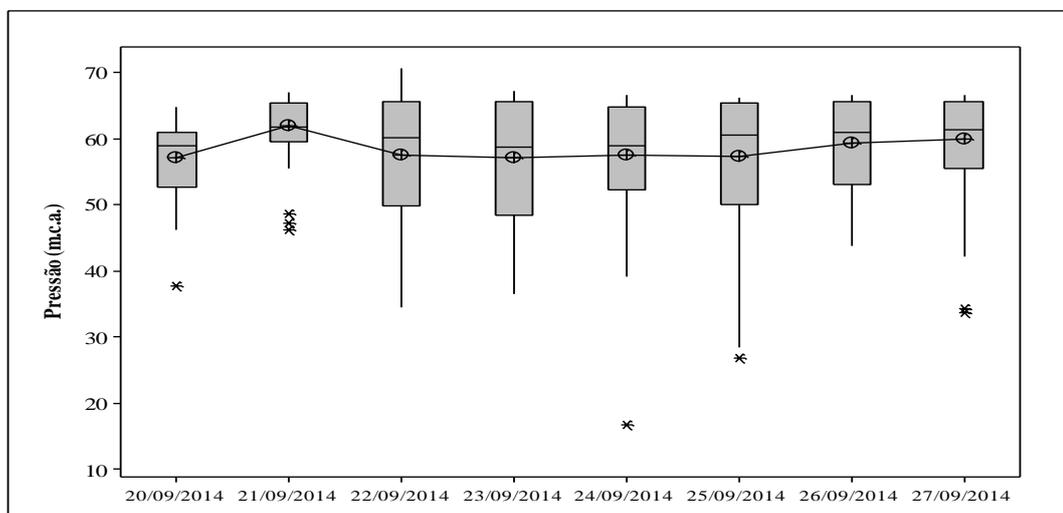


Figura 39 - Boxplot ponto 62

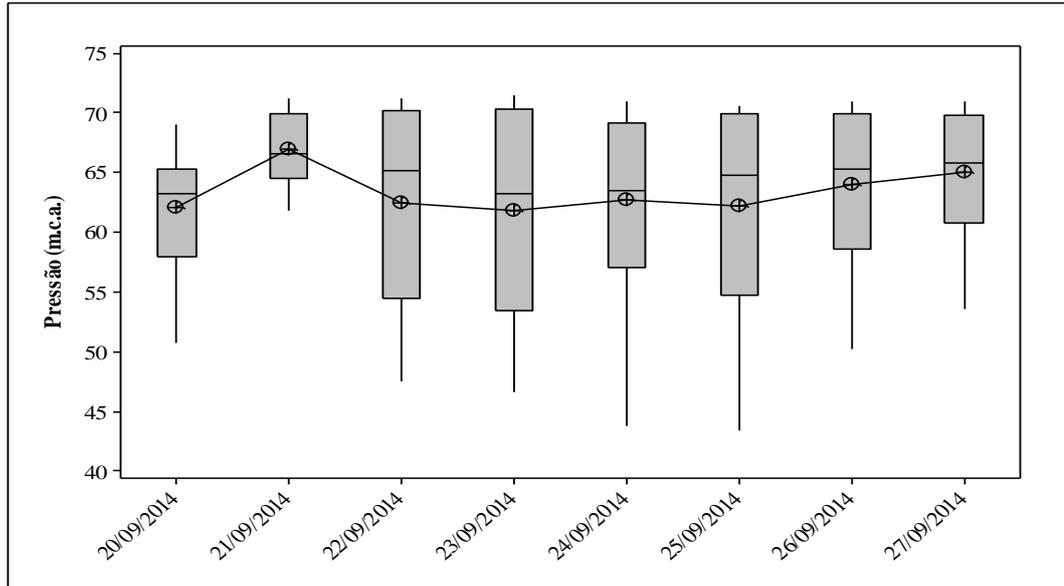


Figura 40 - Boxplot ponto 85

O boxplot do ponto 85 é representado na Figura 40 e nele pode-se observar que em praticamente todos os dias a variabilidade das pressões foram grandes, sendo o menor valor encontrado de quartil de 53 mca e a maior 70 mca. A maior variabilidade aconteceu no dia 23/09 e a menor no dia 21/09. As medianas ficaram todas acima de 60 mca. O valor máximo de pressão aconteceu no dia 23/09 de 71 mca e o valor mínimo de 43 mca no dia 25/09. Esse ponto não apresentou nenhum outlier.

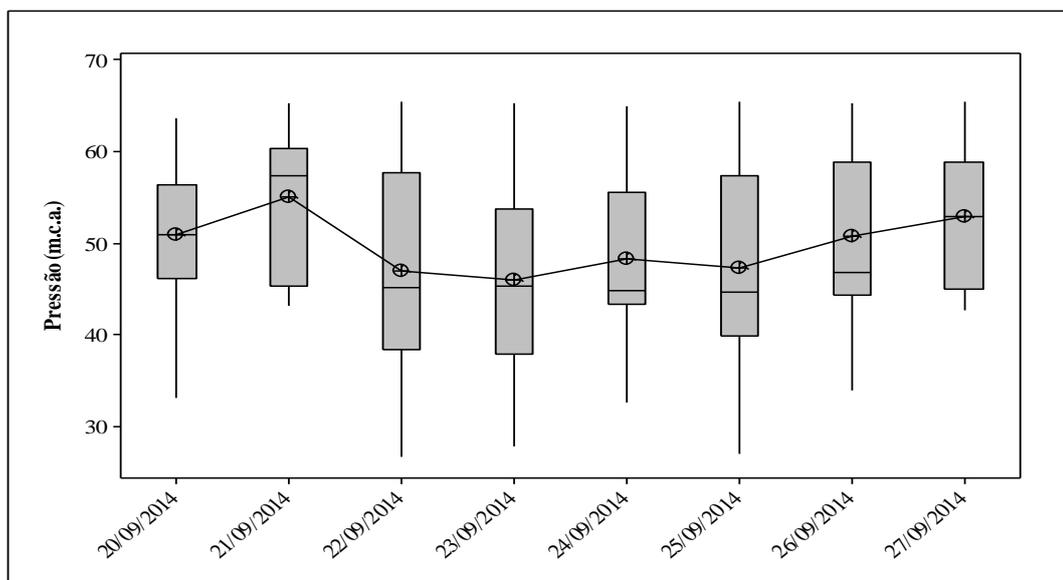


Figura 41 – Boxplot ponto 115

Na Figura 41 tem-se o boxplot do ponto 115, nele observou-se que as pressões variaram bastantes ao longo dos dias. O valor mínimo ficou abaixo de 30 mca nos dias 22, 23 e 25/09. Já o valor máximo foi acima de 60 mca em praticamente todos os dias. Mais da

metade dos valores de medianas foram abaixo de 50 mca. Neste ponto não foi observado valores de outliers.

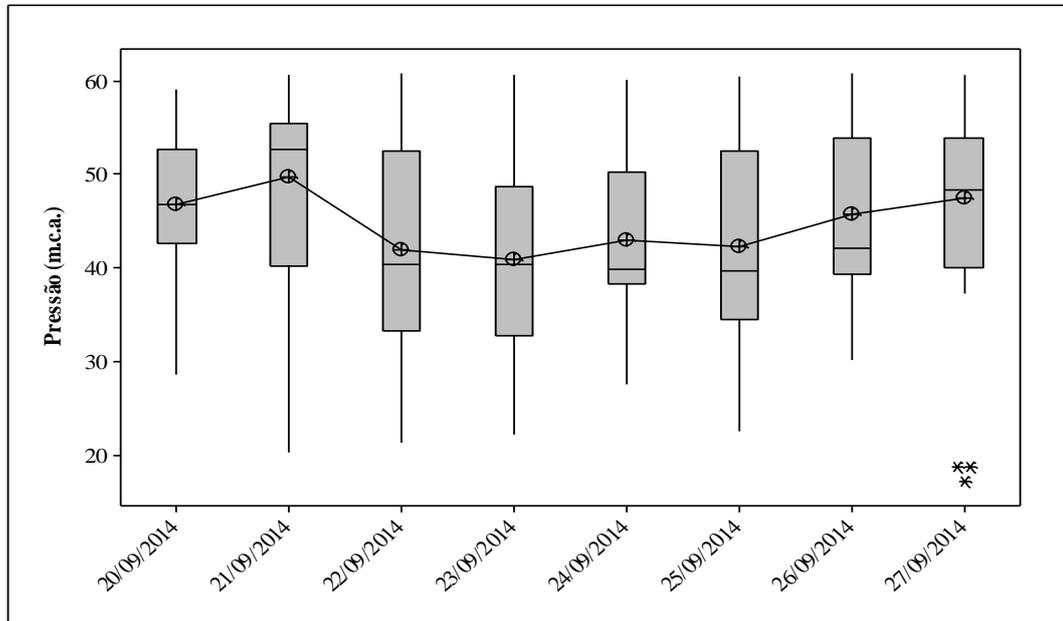


Figura 42 – Boxplot ponto 114

No bloxplot do ponto 114 demonstrado na figura 42, observou-se que em todos os dias houveram grande variância de pressão. O valor mínimo encontrado foi de 20 mca no dia 21/09, já o valor máximo de 60 mca em quase todos os dias. A maior mediana foi no dia 21/09 ficando acima de 50 mca e os outros dias na maior parte ficou abaixo desse valor. Alguns outlier foram encontrados no dia 27/09, esses valores todos abaixo de 20 mca.

5.3.2 Correlação de Pearson

Uma análise estatística interessante a se realizar pode ser a correlação de Pearson. Esta análise mostra qual é a correlação entre os dados, ou seja, a interdependência entre as variáveis. No caso da correlação de Pearson se diz que quanto mais próximo do valor 1, maior a correlação entre as variáveis. Normalmente se considera uma forte correlação entre as variáveis a partir do valor 0,8. Sendo assim a Tabela 25 mostra dois números para cada relação das variáveis, o valor de cima informa o valor da correlação de Pearson e o valor de baixo seu P-valor, ou seja, sua significância estatística, e se vê que quase todas as relações são estatisticamente significativas, mas só alguns pontos apresentam altas ou médias correlações, estes em vermelho e verde respectivamente.

Tabela 25 - Correlação entre as pressões nos pontos de medição

	Ponto 51	Ponto 111	Ponto 109	Ponto 116	Ponto 112	Ponto 103
Ponto 111	0,384 0,000					
Ponto 109	0,333 0,000	0,875 0,000				
Ponto 116	0,309 0,000	0,877 0,000	0,751 0,000			
Ponto 112	0,232 0,000	0,689 0,000	0,633 0,000	0,608 0,000		
Ponto 103	0,378 0,000	0,966 0,000	0,851 0,000	0,850 0,000	0,664 0,000	
Ponto 117	0,337 0,000	0,928 0,000	0,826 0,000	0,816 0,000	0,640 0,000	0,956 0,000
Ponto 113	0,009 0,776	0,388 0,000	0,336 0,000	0,331 0,000	0,229 0,000	0,392 0,000
Ponto 62	0,350 0,000	0,909 0,000	0,793 0,000	0,804 0,000	0,617 0,000	0,923 0,000
Ponto 85	0,384 0,000	0,966 0,000	0,857 0,000	0,862 0,000	0,666 0,000	0,978 0,000
Ponto 115	0,200 0,000	0,509 0,000	0,450 0,000	0,483 0,000	0,305 0,000	0,521 0,000
Ponto 114	0,191 0,000	0,496 0,000	0,440 0,000	0,469 0,000	0,291 0,000	0,517 0,000

Valores apresentados nas células: Correlação de Pearson
P-Valor

	Ponto 117	Ponto 113	Ponto 62	Ponto 85	Ponto 115
Ponto 113	0,353 0,000				
Ponto 62	0,882 0,000	0,392 0,000			
Ponto 85	0,938 0,000	0,412 0,000	0,934 0,000		
Ponto 115	0,473 0,000	0,334 0,000	0,495 0,000	0,542 0,000	
Ponto 114	0,477 0,000	0,329 0,000	0,484 0,000	0,536 0,000	0,974 0,000

* Valores apresentados nas células: Correlação de Pearson
P-Valor

Como cada variável representa a distribuição da pressão ao decorrer do dia nos pontos de medição, a alta correlação é entendida como a semelhança nos valores de pressão ao decorrer do dia, isso significa que os pontos que possuem alta correlação entre si apresentam o mesmo padrão de consumo.

As Figuras 42, 43 e 44 a seguir mostram gráficos de dispersão entre pontos que possuem alta correlação de Pearson. Nestes casos foram realizadas regressões lineares e a equação que representa a relação entre os pontos bem como o ajuste da equação estão presentes nas Figuras.

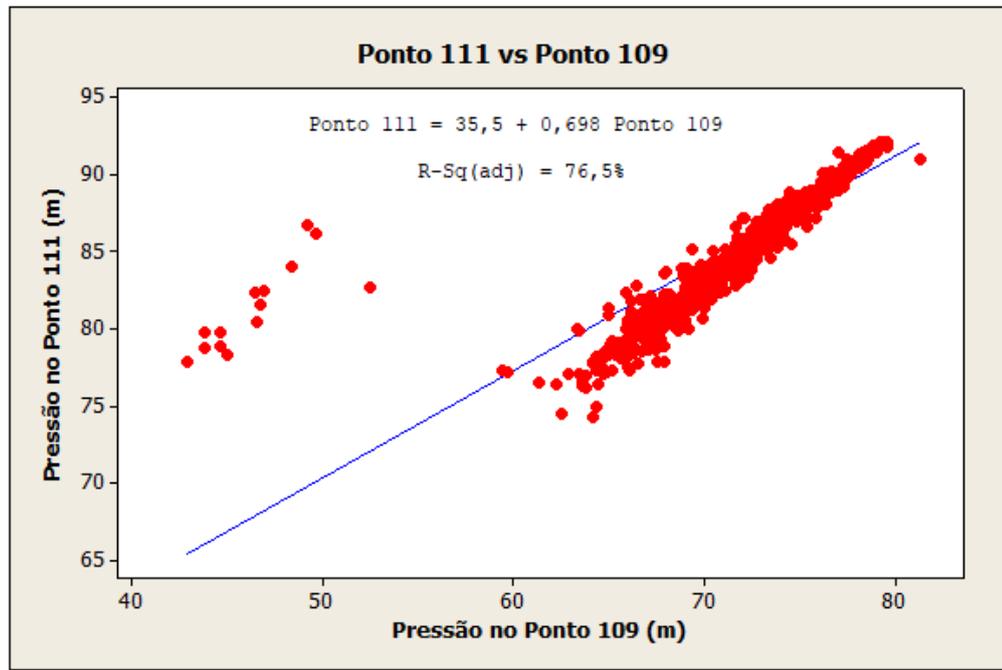


Figura 43 - Dispersão que relaciona os pontos 111 e 109

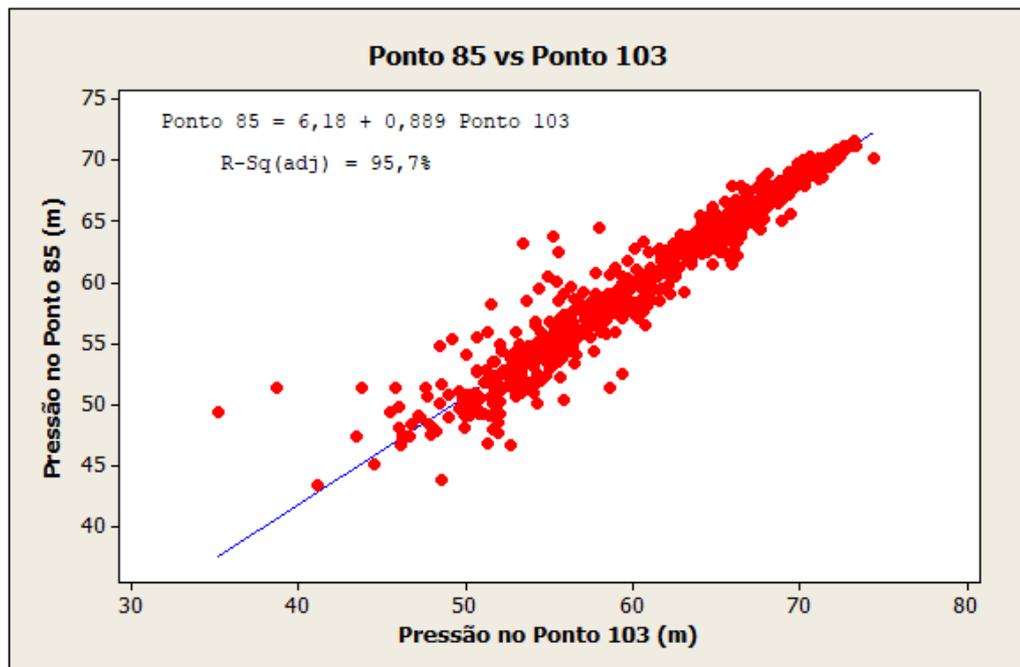


Figura 44 - Dispersão que relaciona os pontos 85 e 103

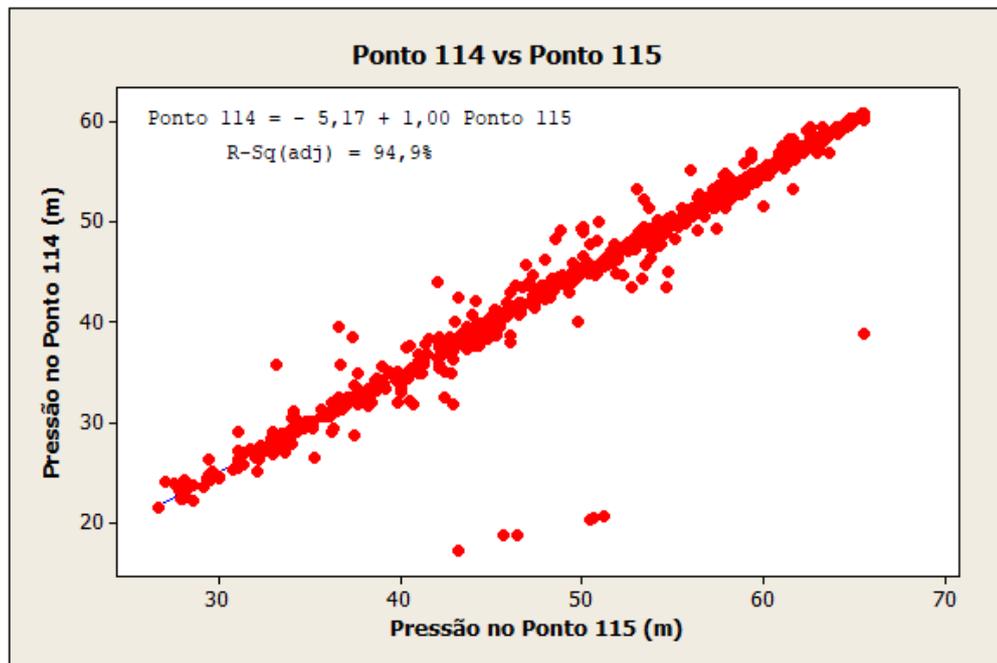


Figura 45 - Dispersão que relaciona os pontos 114 e 115

5.3.3 Correlações de variações de pressões e perdas de água

O objetivo do trabalho era identificar os limites de pressão para as perdas mínimas de 35% e máxima de 65%, baseado no trabalho de Fortes (2016) que por meio do método mínimos noturnos obteve uma perda real na rede de 65,40%.

Assim foi feito o cálculo de maneira inversa, pois como já era conhecido o valor de perda foi calculada inversamente a pressão máxima e mínima para os limites admitidos. Os coeficientes A e B foram baseados nas pesquisas citadas anteriormente e estão expressas na Tabela 26.

Tabela 26 - Coeficientes A e B

Coeficiente	Valor
A	0,5
B	7,27

Fonte: Autor

Estimados os coeficientes, foram calculadas as pressões limites em função dos valores de perdas, a Tabela 27 traz esses valores:

Tabela 27 - Correlação de perdas e pressão

Perdas (%)	Pressão (mca)
35	23,18
65	79,94

Fonte: autor

Como pode ser observado para o valor de perda mínima de 35% o limite de pressão é 23,18 mca e para o valor de perda máxima de 65% a pressão limite é de 79,94 mca. A partir desses dados foram calculadas as perdas por nós da rede e verificado quais deles obtinha a pressão média fora dos limites estabelecidos. A Tabela 28 descreve esses valores:

Tabela 28 - Médias e perdas por Nós

Nós	Médias (mca)	Perdas (%)
105	80,23	65,12
14	82,08	65,87
51	41,26	46,7
111	86,86	67,75
109	73,63	62,38
116	39,07	45,44
112	61,92	57,21
103	64,47	58,37
117	47,23	49,96
113	69,20	60,48
62	58,65	55,68
85	63,48	57,92
115	49,69	51,25
114	44,55	48,53

Fonte: Autor

Na Tabela 28, foram observados que os pontos 105, 104 e 111 possuem a pressão acima do valor limite e em consequência seus valores de perdas ficaram acima de 65%.

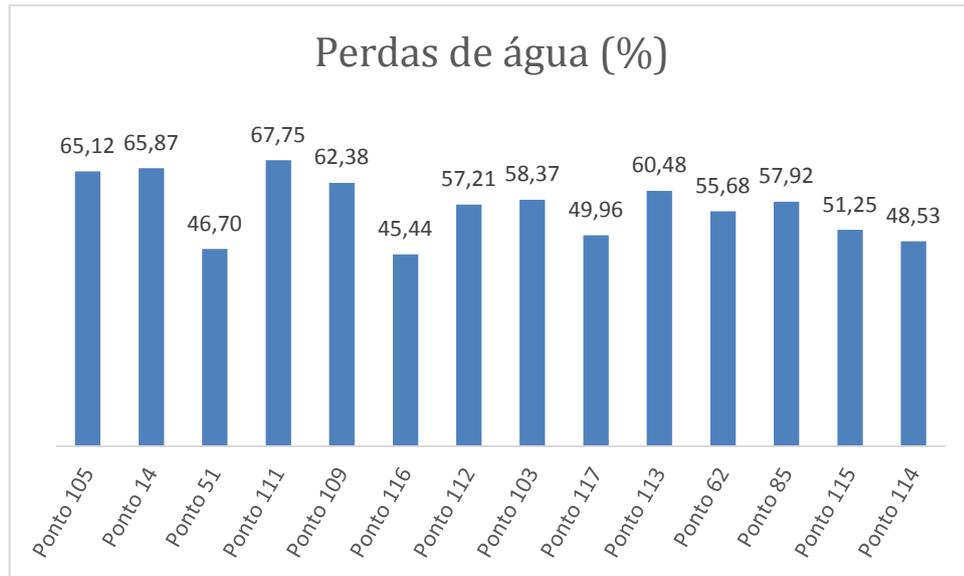


Figura 46 - Gráfico das perdas por Nós

Na Figura 45 referente às perdas em % de cada Nó da rede, pode-se observar que nenhuma das perdas ficaram abaixo do limite mínimo de 35%. Todas as perdas estão acima de 45%, destaca-se como maior índice de perda o ponto 111, esse ponto está localizado na cota altimétrica mais baixa da rede no bairro do Vale dos Pinheiros. O que indica que esse ponto precisa ser mais estudado e que manobras para diminuição de perdas nesse local serão necessárias. O Nó com valor mais baixo de perda é o Nó 116, este localizado na cota altimétrica mais alta do sistema, também pertencente ao bairro vale dos pinheiros. Assim podemos concluir que quanto mais baixa a localização do ponto maior será a pressão e em consequência maior também será o valor de perdas na rede.

6. CONCLUSÕES

Após analisar os dados de sete dias consecutivos conclui-se que a rede se comporta dentro dos padrões esperados. Os finais de semana de maneira geral apresentaram valores de pressão maiores, pois aos sábados e domingos o consumo de água é menor. Já durante a semana de segunda a sexta-feira o valor de pressão é menor, pois o consumo é maior. Esse comportamento foi verificado em todos os Nós estudados.

Foi verificado que os valores maiores de pressão ao longo da semana ficam entre 0h e 7h da manhã, como praticamente todas as pessoas estão dormindo nesse intervalo de tempo o consumo é bastante reduzido e em consequência eleva o valor de pressão nas tubulações.

Colocando como parâmetro o valor de pressão na rede exigido pela norma de sistema de distribuição de água que é de 50 mca, tem-se alguns valores abaixo e outros acima. Ficaram abaixo de 50 mca os nós 51, 116, 117, 115 e 114, todos pertencentes a altitudes maiores. Os pontos 104, 14, 111, 109, 112, 103, 113, 62 e 85 ficaram acima de 50mca. Os valores abaixo estão bem próximos do valor máximo exigido, já os valores acima estão na maioria das vezes extrapolando a casa dos 80 mca, o que aumenta a chance de rompimento das tubulações.

Em relação aos bairros pertencentes ao setor foi verificado que o bairro Palmela por possuir cotas altimétricas menores a pressão é maior, e por se tratar de um bairro com pessoas de menor valor aquisitivo o consumo de água é menor, talvez por terem residências simples com menos aparelhos que possam consumir mais água. O bairro Vale dos Pinheiros é pertencente a um condomínio fechado e possui maior valor de consumo por obterem equipamentos que consomem mais, já sua a pressão média é o menor, pois está localizada em pontos mais altos da rede.

O bairro Moradas da Serra apresenta características diferentes, pois possui pressões bem diferentes, em sua localização existem Nós que ficam em altitudes elevadas e outros em altitudes inferiores. A média geral se localiza entre os valores dos outros dois bairros. O consumo também está entre o do bairro Palmela e o Vale dos Pinheiros.

Houve resultados mais relevantes no teste t para alguns nós com valores mais significativos. O nó 14 e o nó 115 são uns deles, que tiveram grande variância ao longo dos dias da semana. Isso pode ser causado por alguma manobra significativa na rede. Assim como os nós 51 e 111 que também vieram a apresentar diversos valores significativos durante os cálculos, estes pertencem a uma região com valores mais elevados de cotas altimétricas, já o ponto 14 e 105 pertence a uma área mais baixa da rede no bairro Palmela.

Nos gráficos Boxplot elaborados, foram identificados que o dia 21/09 (domingo) em todos os nós foi o que obteve menor variabilidade nos valores de pressão, já o dia 25/09 (quinta-feira) na maioria dos nós foi o que teve maior variabilidade, exceto em alguns casos. Observou-se também vários outliers, o ponto que chamou mais atenção foi o nó 116, dia 25/09 quando apresentou diversos outliers, diferentemente dos demais dias. Também foram observados valores discrepantes no ponto 14, 112 e no109 em todos os dias. Esses outliers demonstram possíveis manobras para manutenção da rede, que acabam causando a variação das pressões.

Os resultados dos cálculos de correlações de Pearson mostraram que quase todos os pontos possuem correlação entre si, assim identificou-se que eles possuem comportamentos similares de operação. Destaque para o ponto 111 que tem valor alto de correlação com quase todos os outros Nós.

As médias de pressão foram usadas também para determinação das porcentagens de perdas em cada ponto. Foi feita uma relação de valor mínimo de pressão para que as perdas ficassem entre 35% e 65%. E como resultados os valores seriam entre 23,18 mca e 74,94 mca. Assim três nós possuem perdas acima de 65%, 105, 14 e 111, dos quais o111 com maior porcentagem de perda. De maneira geral todos os pontos possuem perda maior que 45%.

Com base nesses resultados é possível determinar quais pontos é necessária uma maior atenção, e estudar quais seriam as alternativas para melhorar o sistema. Tendo em vista que a rede já foi implantada com valores altos de pressão, sem equipamentos que possibilitem o controle desta.

Como a pressão está diretamente ligada às perdas de água, o estudo detalhado de análise de pressões impacta diretamente estudos de eficiência hídrica e energética. As variações de pressões ao longo das horas e dias da semana podem auxiliar no suporte de estudos e auxiliar gestões em decisões.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULSHAHEED, A.; MUSTAPHA, F.; GHAVAMIAN, A. A pressure-based method for monitoring leaks in a pipe distribution system: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.], v. 69, p. 902–911, Aug. 2016.

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. IN: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Goiânia, GO. Setembro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9646**: Projeto de redes de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

BOBSIN, D. **Estudo de demanda hídrica em sistema de abastecimento de água na cidade de São Lourenço – MG**. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2016.

BI, J.; LEE, H.; O'MAHONY, M. Estimation of thurtonian models for various forced-choice sensory discrimination methods as a form of the “M+N” test. **Journal of Sensory Studies**, [S.I.], v. 29, n. 1, p. 325-338, Jul. 2014.

CAMBRAINHA, G. M. G.; FONTANA, M. E. Análise da aplicação de investimentos em perdas de água no nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 983-994, mai./ago. 2015.

COPASA. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agua-de-qualidade/tratamento-da-agua>. Acesso em: 09 de julho de 2017.

DUARTE, A. P. S.; ORELLANA, M. H. B.; CAMPOS, R. P. O. **Uso de software livre aplicado à engenharia química**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

FONTANA, N.; GIUGNI, M.; PORTOLANO, D. Losses reduction and energy production in water-distribution networks. **Journal of water resources planning and management**, Reston, v. 138, n. 3, p. 237-244, May 2012.

FORMIGA, K. T. M.; CHAUDHRY, F. H. Modelos de análise hidráulica de redes de distribuição de água considerando demanda dirigida pela pressão e vazamentos. **Revista engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 153-162, abr./jun. 2008.

FORTES, L. R. **Análise de sistema de distribuição de água com a aplicação de balanço hídrico energético.** 82 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2016.

GERMANOPOULOS, G.; JOWITT, P. W. Leakage reduction by excesso pressure minimization in a water supply network. **Water engineering group**, [S. I.], v. 87, n. 2, p. 195-214, Jun. 1989.

GOOGLE EARTH, Programa Google Earth Pro, 2018.

GOMES, H. P. **Sistemas de Saneamento – Eficiência Energética. 1. Ed. João Pessoa:** Editora Universitária/UFPB, 2010. 1ª Edição. 366 p. ISBN 978-85-7745-607-9

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, fev. 2012.

GUIDI, J. M. M. **Análise da variação de consumo de água utilizando dados obtidos por sistemas supervisores remotos - estudo de caso: município de Franca - SP.** 92 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 2016.

HAMMER, M. J. **Sistema de Abastecimento de água e esgoto.** Tradução de Sérgio A. S. Almeida. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php#tabela_dado> . **Censo 2010.** Acesso em: 30 agosto 2017.

JOWITT, P. W.; XU, C. Optimal valve control in water-distribution networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, [S. I.], v. 116, n. 4, p. 733-9496, Jul. 1990.

KANAKOUDIS, V. et al. A new set of water losses-related performance indicators focused on areas facing water scarcity conditions. **Journal Desalination and Water Treatment**, Balaban, V. 51, n. 13-15, april 2013.

LAMOGLIA, H. A. **Estudo da correlação entre perdas de água e energia para setores do sistema de abastecimento de água da cidade São Lourenço – MG.** 237 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2013.

MELO, L. D. V. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de água**. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2014.

MINITAB. Minitab. Disponível em: <http://www.minitab.com/pt-br/>. Acesso em: 05 abr. 2018.

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Methods and tools for managing losses in water distribution systems. **Journal of water resources planning and management**, Reston, v. 139, n. 2, p. 166-174, Mar. 2013.

OGLIARI, P. J.; PACHECO, J. A. **Análise estatística usando o Statistica® 6.0**. Florianópolis, SC: UFSC, 2011.

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

PINNTO, M. R.; CASTRO, M. A. H.; BARBOSA, J. M. C.; MAIA JUNIOR, J. V. F. Dimensionamento econômico otimizado de redes de distribuição de água considerando custos de manutenção. **Revista engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 145-153, jan./fev. 2017.

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

RIBEIRO, D. L. C. **Estudo de calibração da rede de distribuição de água de São Lourenço – MG**. 191 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2014.

RODRIGUES, J. A. **O impacto da utilização de diferentes equipamentos de medição no índice de perdas em um setor do sistema de abastecimento de água da cidade de Campo Grande – MS**. 183 p. Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Campo Grande, 2014.

SANDR. *S-Plus* and *R* Statistics Software. Disponível em: <http://stat.ethz.ch/~www/SandR.html>>. Acesso em: 2018.

SANTOS, J. **Estudo de Modelo de Calibração para ajuste de parâmetros de rugosidade, demanda e vazamento visando eficiência hídrica e energética em redes de abastecimento de água. Estudo de caso em São Lourenço - MG**. 185 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2016.

SHYAMALA, G.; SARAVANAKUMAR, N.; ANGEL PREMA, C.; ANUSIYA, G. Assesment of Ground Water Quality In Karamadai By Using Minitab Software. **Journal of Water Resources and Pollution Studies**. Ghaziabad, v. 2, n. 2, p. 1-11, 2017.

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

SOBRINHO, R. A.; BORJA, P. C. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. **Revista engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 783-795, out./dez. 2016.

PINNTO, M. R.; CASTRO, M. A. H.; BARBOSA, J. M. C.; MAIA JUNIOR, J. V. F. Dimensionamento econômico otimizado de redes de distribuição de água considerando custos de manutenção. **Revista engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 145-153, jan./fev. 2017.

REIS, E.; MELO, P.; ANDRADE, R.; CALAPEZ, T. **Estatística aplicada**. Lisboa: Edições Sílabo, 2015.

SOLDEVILA, A.; BLESAS, J.; TORNIL-SIN, S.; DUVIELLA, E.; FERNANDEZ-CANTI, R. M.; PUIG, V. Leak localization in water distribution networks using a mixed model-based/ data-driven approach. **Control engineering Practice**, [S.I.], v.55, p. 162-173, Oct. 2016.

SOLUTION METRIC. **S-PLUS**. Disponível em:
<http://solutionmetrics.com.au/products/index.html>. Acesso em 2018.

SPLUS. **Software S-PLUS 8**. Disponível em:
<http://www.can.nl/software/details.php?id=3>. Acesso em: 04 abr. 2018.

STATSOFT. **Statistica**. Disponível em: <http://www.statsoft.com/Products/STATISTICA-Features>. Acesso em: 04 abr. 2018 TIBCO SOFTWARE.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VALIPOUR, M. Long-term runoff study using SARIMA and ARIMA models in the United States. **Royal Meteorological Society**, [s.i], v.22, p. 592-598, feb. 2015.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística**. Rio de Janeiro: elsevier editora LTDA, 2011. 345 p.; recurso digital; il.

TUCCIARELLI, B. T.; CRIMINISI, A.; TERMINI, D. Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. **Journal of hydraulic engineering**, [S.I], v. 22, n. 1, p. 277-285, march. 1999.