

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

VALÉRIA BATISTA PEREIRA

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE PRESSÃO EM PONTOS DE UMA REDE DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA

RECIFE
2018

VALÉRIA BATISTA PEREIRA

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE PRESSÃO EM PONTOS DE UMA REDE DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos hídricos, hidráulica

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo

RECIFE

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

P436e Pereira, Valéria Batista.

Estudo da variação de pressão em pontos de uma rede de abastecimento de água / Valéria Batista Pereira. - Recife: O Autor, 2018.
47 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2018.
Inclui Referências e Anexo.

1. Engenharia Civil. 2. Rede de abastecimento de água. 3. Perdas e desperdício. 4. Fator de pesquisa. I. Azevedo, José Roberto Gonçalves de. (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-281



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 – VALÉRIA BATISTA PEREIRA

2 –

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: José Roberto Gonçalves de Azevedo

Examinador 1: Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Examinador 2: Tiago Lamenha de Freitas

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

LOCAL:

DATA: _14_/ _06_/ _2018_ HORÁRIO DE INÍCIO: _____.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: _____(deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) () aprovado(s) (nota $\geq 7,0$), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, **$3,0 \leq \text{nota} < 7,0$** , será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota $< 3,0$)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 14 de junho de 2018

Orientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato 1:

Candidato 2:

Coordenação do Curso de Engenharia Civil-Dcivil

Rua Acadêmico Hélio Ramos s/nº. Cidade Universitária. Recife-PE CEP: 50740-530.

Fones: (081)2126.8220/8221 Fone/fax: (081)2126.8219.

Dedico este trabalho ao Prof. José Roberto por ser o meu maior incentivador

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter sempre me abençoado durante toda essa trajetória.

Aos meus pais, por estarem ao meu lado em todas as dificuldades vencidas.

Ao meu irmão por ser o meu maior espelho e incentivador.

Ao meu orientador Prof. José Roberto pelo incentivo para tornar possível a conclusão deste trabalho.

À todas as pessoas que colaboraram de alguma forma durante este trabalho.

RESUMO

De acordo com a necessidade do consumo de água, foram criadas as Redes de Abastecimento de Água (RAD), elemento presente em um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) responsável por conduzir toda a água aos usuários com qualidade e quantidade adequadas. É necessário o estudo de indicativos de perdas na RAD devido à escassez de água presente. Foi feito um estudo da RAD do Distrito 42 localizado no município de Recife – PE, onde dados de pressão e vazão de 15 em 15 minutos foram fornecidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). A metodologia do estudo consistiu em 4 etapas: elaboração do banco de dados, de modo que esses dados puderam ser trabalhados mais facilmente; Análise e consistência dos dados, pois os dados com perdas deveriam ser eliminados da análise para uma melhor precisão dos resultados do estudo; Preenchimento dos dados eliminados da análise por métodos estatísticos e visuais, ou seja, preenchimento de falhas; e, por fim, uma avaliação de perdas na RAD em estudo. São encontrados na literatura variados métodos para avaliação de perdas, sendo utilizado no presente trabalho o parâmetro Fator de Pesquisa (FP) para esta avaliação, relacionando a vazão mínima no período noturno com a vazão média durante todo o dia. O presente estudo apontou que entre os meses de janeiro a abril e de novembro a dezembro há um indicativo de ocorrência de perdas e vazamentos na RAD em estudo por ter um Fator de Pesquisa variando entre 62,52% e 83,24% para estes meses, sendo o ideal para a não ocorrência de perdas valores de Fatores de Pesquisa abaixo de 60%. O presente trabalho traz recomendações para outros trabalhos futuros, como o estudo mais aprofundado do indicativo de perdas Fator de Pesquisa, de modo que esta ferramenta possa ser utilizada em monitoramentos de controle de perdas por órgãos responsáveis pela RAD, como a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Palavras-chave: Rede de abastecimento de água. Perdas e desperdício. Fator de pesquisa.

ABSTRACT

According to the proper consummation of water, Water Supply Networks were created, an element presents in a Water Supply System, responsible for water quality control and water use. It is necessary to study losses data in Water Supply Networks due to the water shortage present. A study of the Water Supply Networks of the District 42 located in the city of Recife - PE, with data of pressure and flow of every 15 minutes was made by Pernambuco Sanitation Company (COMPESA). The methodology of the study consisted of 4 steps: elaboration of the database, so that the data could be more easily worked; Evaluation and consistency of the data, since the data should be analyzed and eliminated for a better analysis of the study results; Completion of the data eliminated from the analysis by means of statistical and visual methods, that is, completion of failures; and, finally, an evaluation of losses in the study Water Supply Networks. They are used in the list of varied methods for the evaluation of losses, being used in the present work the parameter Search Factor (FP) for this evaluation, relating them with the minimum advance during the lesson. The present study was published in January 2011 by a leakage and leakage survey indicator in the Water Supply Networks in a study by an indicator of variation between 62.52% and 83.24% for these months, being the ideal for a non-detection Percentage of Research Factors below 60%. The present work presents recommendations for future work, such as a more detailed study of the data loss indicator, so that this tool can be used in monitoring the control of part of the resources by Water Supply Networks, such as a Pernambuco Sanitation Company (COMPESA).

Keywords: Water supply network. Loss and waste. Search fator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Modelo de um Sistema de Abastecimento de Água.....	14
Figura 2 -	Exemplo de rede ramificada.....	17
Figura 3 -	Exemplo de rede malhada.....	17
Figura 4 -	Exemplo de rede mista.....	17
Figura 5 -	Configuração dos tipos de vazamentos.....	19
Figura 6 -	Tela computacional do sistema da COMPESA que permite extrair dados de pressão e/ou vazão do ponto 32694 do Distrito 42.....	21
Figura 7 -	Mapa contendo a localização dos pontos estudados do Distrito 42.....	22
Figura 8 -	Exemplo de planilha eletrônica gerada no Excel pela ferramenta Tabela Dinâmica contendo dados agrupados por dia.....	24
Figura 9 -	Exemplo de planilha eletrônica gerada no Excel pela ferramenta Tabela Dinâmica contendo dados agrupados por hora.....	25
Figura 10 -	Exemplo de planilha eletrônica gerada no Excel pela ferramenta Tabela Dinâmica contendo dados sem agrupamento.....	25
Figura 11 -	Gráfico gerado pelo Excel para identificação dos <i>outliers</i> para o ponto 61679 no mês de março.....	29
Figura 12 -	Planilha eletrônica gerada no Excel para cálculo do Fator de Pesquisa para o ponto 32694 no mês de janeiro.....	32
Figura 13 -	Gráfico gerado pelo Excel para identificação dos <i>outliers</i> pelo primeiro critério para o ponto 61679 no mês de janeiro.....	33
Figura 14 -	Gráfico gerado pelo Excel para identificação dos <i>outliers</i> pelo segundo critério para o ponto 61679 no mês de janeiro.....	34
Figura 15 -	Gráfico gerado pelo Excel para identificação dos <i>outliers</i> pelo terceiro critério para o ponto 61679 no mês de janeiro.....	34
Figura 16 -	Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 1 para o preenchimento de falhas para o ponto 61766 no mês de abril.....	36
Figura 17 -	Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 2 utilizado para o preenchimento de falhas para o ponto 61766 no mês de janeiro.....	36
Figura 18 -	Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 3 para o preenchimento de falhas para o ponto 32694 no mês de janeiro.....	37
Figura 19 -	Planilha eletrônica do Excel indicando as médias das pressões para cada	38

	hora para os pontos Pin e Pout no mês de janeiro.....	
Figura 20 -	Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 4 utilizado para o preenchimento de falhas para o ponto 32694 no mês de março.....	39
Figura 21 -	Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 5 para o preenchimento de falhas para o ponto 32694 no mês de janeiro.....	41
Figura 22 -	Planilha eletrônica do Excel exemplificando a correção dos dados da análise visual para o ponto 32694 – Pin e Pout no mês de janeiro.....	42
Figura 23 -	Gráfico de colunas gerado pelo Excel contendo a média, o máximo e o mínimo dos valores dos Fatores de Pesquisa para o ponto 32694 no ano de 2016.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fórmulas para cálculo dos limites superiores e inferiores para cada critério...	26
Tabela 2 - <i>Outliers</i> do ponto 61679 no mês de janeiro.....	33
Tabela 3 - <i>Outliers</i> do ponto 61766 no mês de janeiro.....	35
Tabela 4 - <i>Outliers</i> do ponto 61940 no mês de janeiro.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COMPESA -	Companhia Pernambucana de Saneamento
EEA -	Estação Elevatória de Água
ETA -	Estação de Tratamento de Água
FP -	Fator de Pesquisa
IVIN -	Indicador de vazamento da infraestrutura
IWA -	International Water Association
L/s -	Litros por segundo
m.c.a -	metros de coluna de água
Pin -	Pressão de entrada
PNDCA -	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
Pout -	Pressão de saída
RAD -	Rede de Abastecimento de Água
SAA -	Sistema de Abastecimento de Água
SES -	Sistema de Esgoto Sanitário
Vaz -	Vazão
VRP -	Válvula Redutora de Pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Justificativa e motivação.....	13
1.2	Objetivos gerais e específicos.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Sistema de Abastecimento de Água (SAA).....	14
2.1.1	Definição.....	14
2.1.2	Componentes.....	15
2.1.3	Redes de Abastecimento de Água (RAD).....	16
2.1.3.1	<i>Classificação por tipo de canalização.....</i>	<i>16</i>
2.1.3.2	<i>Classificação por tipo de traçado.....</i>	<i>16</i>
2.1.4	Perdas e desperdícios.....	17
2.1.5	Tipos de perdas.....	18
2.1.5.1	<i>Perdas reais.....</i>	<i>18</i>
2.1.5.2	<i>Perdas aparentes.....</i>	<i>20</i>
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1	Elaboração do banco de dados.....	23
3.2	Análise e consistência dos dados.....	26
3.3	Preenchimento de falhas.....	29
3.4	Cálculo dos Fatores de Pesquisa.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1	Dados fora de série – <i>Outliers</i>.....	33
4.2	Preenchimento de falhas.....	36
4.3	Fator de Pesquisa (FP).....	43
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho descreve um estudo da variação de pressão (em metros de coluna de água – m.c.a) e vazão (em Litros por segundo - L/s) em pontos de uma rede de abastecimento de água. De acordo com Miranda e Teixeira (2004), a água possui características essenciais para a sobrevivência da humanidade, esta sendo sua principal usuária e também sua maior poluidora. O fluxo da água utilizada pelas sociedades no meio urbano acontece da seguinte forma: mover a água de onde se encontra disponível para onde seu uso seja necessário e removê-la após a utilização, retornando ao ambiente. Para realizar este fluxo, torna-se necessária a existência de sistemas de infraestrutura, tanto para o abastecimento (Sistema de Abastecimento de Água – SAA), quanto para o esgotamento (Sistema de Esgoto Sanitário – SES). Conforme Favretto *et al.* (2016), um sistema de distribuição de água funcionando perfeitamente implica na qualidade e quantidade de água, pressão adequada com o menor custo para os usuários, porém, a infraestrutura do sistema deve ser adequada e os recursos disponíveis devem ser racionalmente utilizados. Este trabalho está diretamente relacionado com a interpretação dos resultados do estudo da variação de pressão e vazão na Rede de Abastecimento de Água (RAD) em questão, ou seja, como a variação do consumo de água em determinados dias e meses podem acusar possíveis rompimentos de trechos e perdas.

1.1 Justificativa e motivação

É considerável o estudo da variação dos parâmetros mais importantes em pontos de uma RAD, tais como dados de pressão e vazão, que após sua obtenção possam ser organizados em um banco de dados permitindo, assim, que esses dados possam explicar ocorrências anormais na RAD e também possam sinalizar um possível vazamento através de coeficientes de controle como o Fator de Pesquisa.

1.2 Objetivos gerais e específicos

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a variação de pressão e vazão mensal, diária e horária em uma Rede de Abastecimento de Água (RAD) no Distrito 42 localizada no município de Recife – PE.

Como objetivos específicos, pode-se listar:

- Realizar um estudo de consistência dos dados obtidos;
- Preencher falhas;
- Analisar as variações de pressão e vazão e verificar o risco de perdas na RAD.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

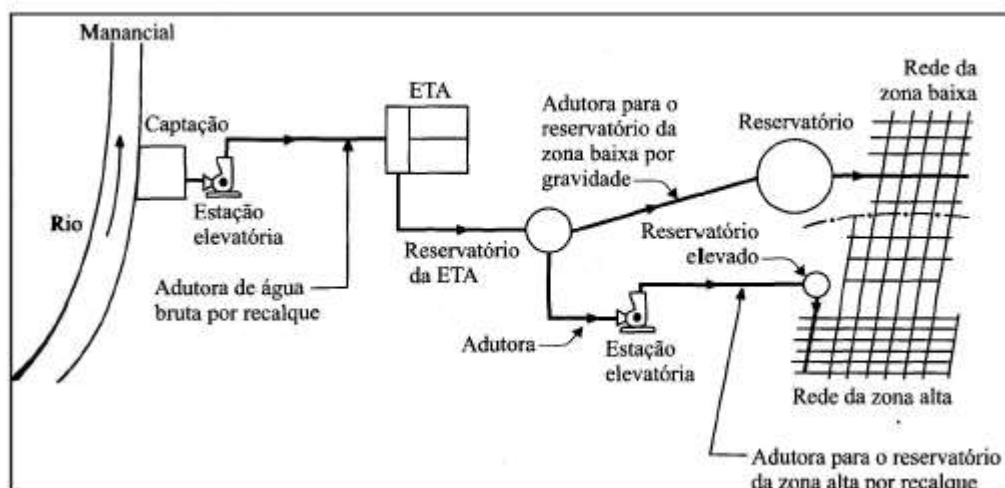
“A variação de demanda que ocorre ao longo do dia nas redes de distribuição de água torna necessário ajustar a pressão disponibilizada nas elevatórias para evitar falta ou excesso de pressão na rede” (SILVA; SANTOS; BASSO, 2017, p.1). A análise da variação de pressão e vazão permitirá visualizar os possíveis problemas que possam estar ocorrendo em uma Rede de Abastecimento (RAD), como possíveis rompimentos de trechos da rede através do cálculo do Fator de Pesquisa. Este fator é um indicativo de perdas e permite que técnicos da companhia responsável possam de imediato tomar providências.

2.1 Sistema de Abastecimento de Água (SAA)

2.1.1 Definição

Conforme Gomes (2004 *apud* GIROL, 2008), um SAA é o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público, onde se constitui de captação de água de algum manancial, do tratamento da mesma e da distribuição por gravidade aos consumidores através de reservatórios e bombeamento em zonas baixas e altas, respectivamente. Na Figura 1, encontram-se os componentes de uma SAA:

Figura 1 - Modelo de um Sistema de Abastecimento de Água



Fonte: Orsini (1996)

2.1.2 Componentes

- **Manancial:** “É o local onde é captada água para o abastecimento. Esta captação pode ser de uma fonte subterrânea ou superficial e deve ser suficiente para atender a demanda de projeto” (TSUTIYA, 2005 *apud* GIROL, 2008, p.4).
- **Captação:** A captação é um “conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto a um manancial, para a retirada de água destinada a um sistema de abastecimento” (ABNT, 1992a).
- **Estação Elevatória de Água (EEA):** Segundo Tsutiya (2006 *apud* GIROL, 2008), as estações elevatórias têm elevada importância dentro de um sistema de abastecimento de água, podendo ser utilizadas na captação, adução, tratamento e na própria distribuição. Porém, devido ao elevado custo da energia elétrica, seu emprego deve ser visto com cautela. Os gastos com bombeamento podem ser altos dentro de uma companhia de saneamento.
- **Adutoras:** Para Tsutiya (2006 *apud* GIROL, 2008), são canalizações dos sistemas de abastecimento de água responsáveis por conduzir água para as unidades que antecedem a rede de distribuição. As adutoras são encarregadas de executar a interligação da captação, estação de tratamento e reservatórios, não sendo responsáveis, em geral, pela distribuição de água aos consumidores.
- **Estação de Tratamento de Água (ETA):** “Conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade” (ABNT, 1992b).
- **Reservatório de distribuição:** “Elemento do sistema de abastecimento de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição” (ABNT, 1994).
- **Redes de Abastecimento de Água (RAD):** Segundo Tsutiya (2006 *apud* GIROL, 2008), as redes de abastecimento de água têm como componentes

tubulações e órgãos acessórios com a finalidade de transportar água potável continuamente em quantidade, qualidade e pressão adequada aos consumidores de acordo com a norma vigente.

No presente trabalho, iremos analisar apenas um dos itens do Sistema de Abastecimento de Água no Distrito 42: a Rede de Abastecimento de Água (RAD).

2.1.3 Redes de Abastecimento de Água (RAD)

2.1.3.1 Classificação por tipo de canalização

Conforme Tsutiya (2006 *apud* GIROL, 2008), as redes são constituídas por dois tipos de canalizações:

- **Principal:** São as tubulações de maior diâmetro e que tem o propósito de transportar água as tubulações secundárias. São conhecidas, também, como canalização mestra ou conduto tronco.
- **Secundária:** São as tubulações de menor diâmetro e tem como propósito abastecer os pontos de consumo no sistema.

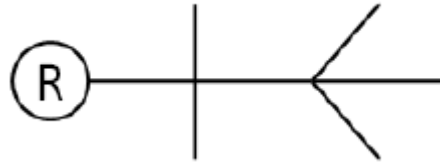
2.1.3.2 Classificação por tipo de traçado

Em relação ao tipo de traçado, Araújo Prince (2006 *apud* GIROL, 2008) os classifica como:

- **Rede ramificada:** Tem uma configuração característica da Figura 2, ou seja, de áreas que dispõem de um desenvolvimento linear em que as ruas não se conectam devido a problemas de traçados urbanos ou de topografia local. Estas redes podem ter traçados do tipo “espinha de peixe” ou “em grelha”.
- **Rede malhada:** Esta configuração de rede é típica de áreas com ruas formando malhas viárias, conforme a Figura 3. As tubulações principais formam blocos ou anéis propiciando o abastecimento do sistema por mais de um caminho, possibilitando a manutenção na rede com uma parcela insignificante de interrupções no abastecimento de água.

- **Rede mista:** Se configura como a combinação da rede ramificada com a rede malhada, conforme a Figura 4.

Figura 2 - Exemplo de rede ramificada



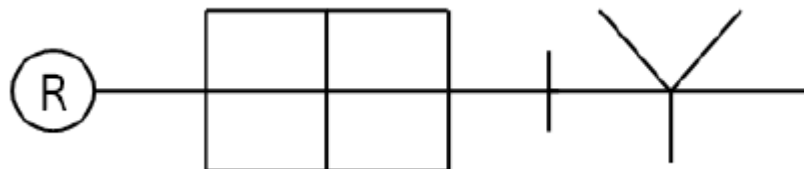
Fonte: Modificado de Gomes (2004)

Figura 3 - Exemplo de rede malhada



Fonte: Modificado de Gomes (2004)

Figura 4 - Exemplo de rede mista



Fonte: Modificado de Gomes (2004)

2.1.4 Perdas e desperdícios

A definição de perdas é dada por Favero e Dib (1981, p.50):

“Internacionalmente tem sido adotado o conceito de perdas que abrange apenas a água que já tenha sido submetida aos processos de tratamento. Assim sendo, poderíamos definir perda como sendo toda a quantidade de água submetida a algum processo de tratamento que foi introduzida no Sistema de Distribuição e não foi utilizada pelos consumidores”.

E a definição de desperdício, citando o mesmo:

“Toda perda é um desperdício, porém como conceito específico, optamos por qualificá-lo como responsabilidade do consumidor, portanto intimamente ligado e dependente do nível cultural e sócio econômico de um povo. Desperdício, então, é toda a quantidade de água entregue ao consumidor e cuja utilização foi inadequada” (FAVERO; DIB, 1981, p.50).

2.1.5 Tipos de perdas

Segundo a International Water Association (IWA) (2002 *apud* GIROL, 2008), podemos dividir as perdas em dois tipos:

Perda real: Conhecida, também, como perda física, é o volume de água gerado pela companhia que não atinge o consumidor, ou seja, que não consegue ser medida no hidrômetro (micromedição) devido a vazamentos nas adutoras, redes de distribuição e extravasamento de reservatórios.

- **Perda aparente:** Também conhecida como perda não-física ou perda comercial, é o volume de água produzido pela companhia que é consumida pelo cliente, porém, que não é contabilizado devido a erros de medição dos hidrômetros, ligações clandestinas, violação nos hidrômetros e falhas no cadastro comercial.

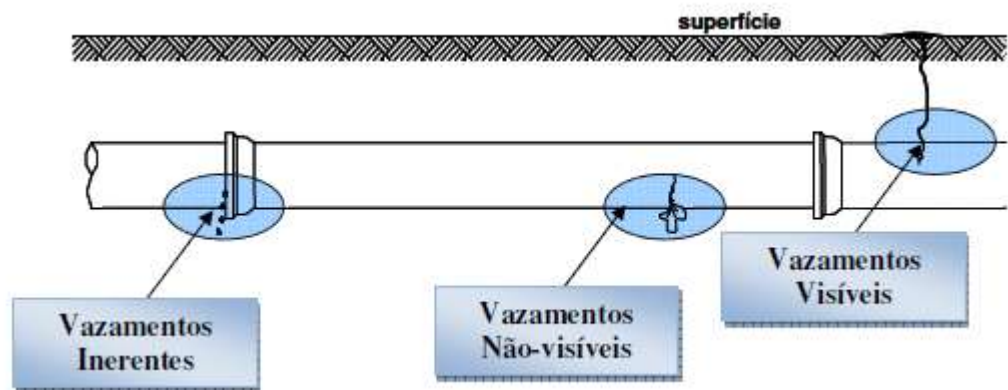
2.1.5.1 Perdas reais

Conforme Almeida (2006), as perdas reais podem ocorrer devido a vazamentos nas adutoras, redes de distribuição e reservatórios, bem como de extravasamentos em reservatórios setoriais.

- **Vazamentos:** Os principais pontos de ocorrência de vazamentos no sistema de abastecimento de água são nas estruturas da ETA, nas tubulações das linhas de adução e da rede de distribuição e seus acessórios, nos ramais prediais e cavaletes, nas estruturas dos reservatórios setoriais e nos equipamentos das estações elevatórias. Os vazamentos são classificados como visíveis e não visíveis. Os visíveis são aqueles detectados com facilidade por técnicos ou pela população. Já os não visíveis necessitam de gestão especial, são utilizados equipamentos e técnicas para a detecção das fugas. Estes vazamentos podem permanecer por anos contabilizando um grande volume de água perdido se não

for adotado o procedimento correto. Segundo Lambert (2000 *apud* GIROL, 2008), ainda existe uma terceira classificação para os vazamentos: os vazamentos inerentes, estes sendo não visíveis e não detectáveis por equipamentos de detecção acústica. A Figura 5 ilustra os tipos de vazamentos:

Figura 5 - Configuração dos tipos de vazamentos



Fonte: Modificado de Gonçalves (1998)

- **Extravasamentos:** Os extravasamentos ocorrem no período noturno, que é o período de carregamento, devido à ausência de dispositivos de alerta e controle, ou falhas operacionais nos equipamentos de controle instalados. A magnitude das perdas por extravasamento é variável e depende das características do controle de nível existente. No geral, tem pouca importância em termos numéricos para o contexto global do sistema.

Conforme Fernandes e Oliveira (2017), alguns dos métodos utilizados para avaliação de perdas são: Indicador Percentual de Perda na Distribuição, Balanço Hídrico, Método das Vazões Mínimas Noturnas ou através do cálculo do Fator de Pesquisa. Para o presente trabalho, foi utilizado o Fator de Pesquisa, posteriormente detalhado, com a finalidade de indicar possíveis trechos com perdas.

2.1.5.2 Perdas aparentes

Segundo Girol (2008), erros de macromedição e de micromedição são uma das causas de ocorrência de perdas aparentes:

- **Macromedição:** A macromedição tem relação com o conjunto de medições de vazão, pressão e nível dos reservatórios realizados nos sistemas de abastecimento de água, que vai desde a captação do manancial até antes do ponto final de entrega aos consumidores. Os aparelhos de macromedição apresentam uma imprecisão natural que varia de acordo com o tipo de medidor.
- **Micromedição:** A micromedição tem relação com a medição do volume consumido pelos usuários da companhia de saneamento. Estes aparelhos são responsáveis pela maior parte da arrecadação das empresas e são instalados na testada da entrada de imóveis residenciais, comerciais, públicos ou industriais.

Segundo Girol (2008), as perdas aparentes ocorrem, também, por erros de gestão comercial, que compreendem o cadastro comercial, as fraudes e ligações clandestinas:

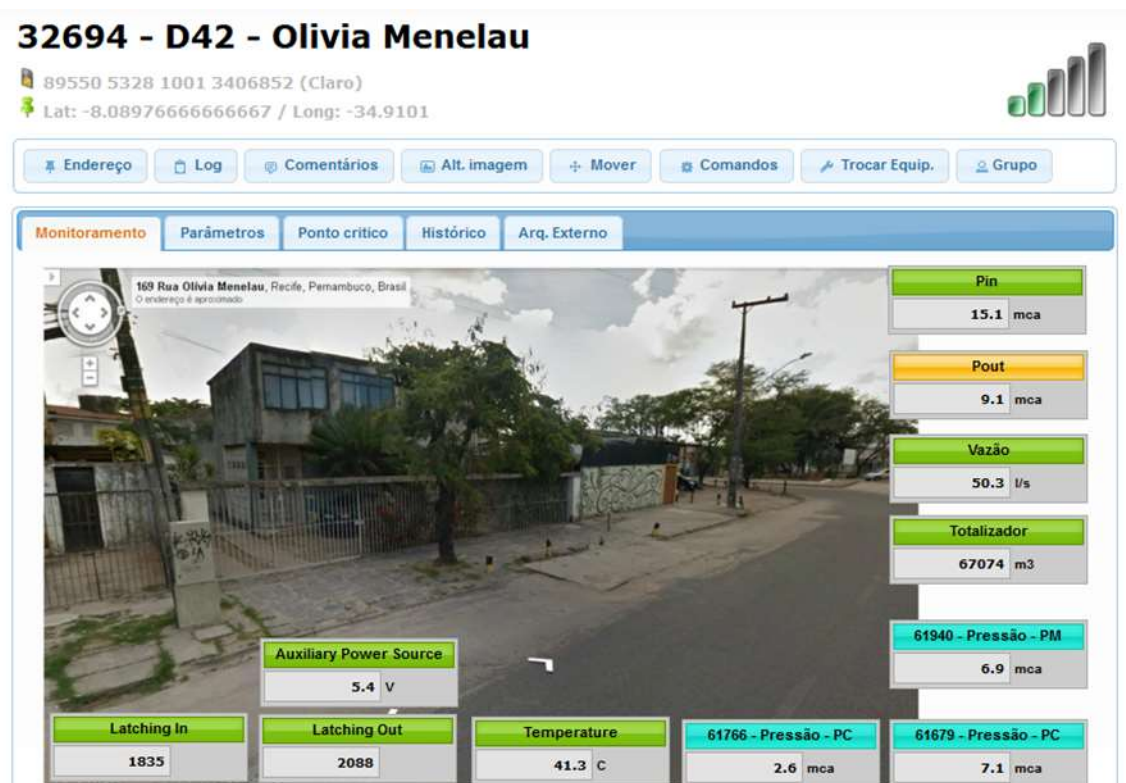
- **Cadastro comercial:** É o registro dos consumidores que envolvem dados como a localização da ligação, o tipo de ligação, entre outros. Podem ocorrer erros como o não cadastramento de novas ligações, ausência no registro de corte ou reativação de ligações, que podem ocorrer quando o setor comercial e o operacional não se encontram em sintonia.
- **Fraudes e ligações clandestinas:** As fraudes ocorrem devido à intervenção nos hidrômetros, como furo do seu visor, rompimento do lacre e inversão do mesmo. As ligações clandestinas ocorrem devido ao by-pass (desvio ao hidrômetro), derivação clandestina do ramal, derivação clandestina na rede e ligação direta consecutiva.

As perdas aparentes influenciam na consistência dos dados do presente trabalho, sendo caracterizadas como falhas. Com o intuito de diminuir as perdas aparentes, os dados são tratados e preenchidos de acordo com critérios detalhados posteriormente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

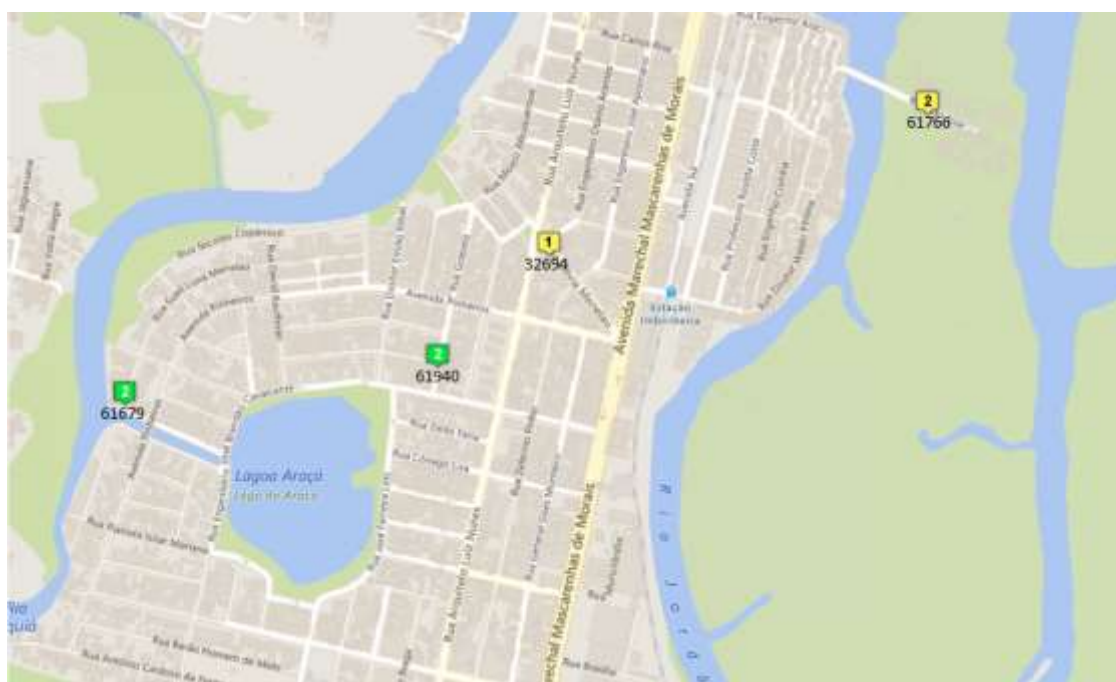
Para a análise da variação de pressão e vazão na rede de abastecimento de água, é necessária a utilização do software Microsoft Excel. A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) forneceu dados de pressão de entrada, pressão de saída e vazão no ponto 32694, correspondente a localização de uma válvula redutora de pressão na entrada da Rede de Abastecimento de Água (RAD) do Distrito 42 da cidade do Recife/PE, região alvo dessa pesquisa. Também forneceu dados de pressão em mais 3 pontos: 61679, 61940 e 61766 situados ao longo da RAD. Os dados variam de 15 em 15 minutos e vão desde janeiro de 2016 a dezembro de 2016. Não houve pesquisa de campo no presente trabalho. As Figuras 6 e 7 mostram o local de estudo e o mapa contendo a localização de cada um dos pontos estudados no presente trabalho:

Figura 6 - Tela computacional do sistema da COMPESA que permite extrair dados de pressão e/ou vazão do ponto 32694 do Distrito 42



Fonte: COMPESA (2017).

Figura 7 - Mapa contendo a localização dos pontos estudados do Distrito 42



Fonte: COMPESA (2017).

Os referidos dados foram trabalhados em níveis horários, diários e mensais, em que a média das pressões e vazões nos primeiros 15 minutos de dados totaliza 1 hora, a média das 00hrs às 23hrs totaliza 1 dia e a média entre todos os dias do mês totaliza 1 mês. Durante à noite a demanda cai. Desta forma, a COMPESA adota uma redução de pressão no período noturno, diminui de 11 metros de coluna de água (m.c.a) para 8 m.c.a., diminuindo também a perda de carga, o que favorece a redução de pressão na entrada da RAD. Essa redução tem por objetivo diminuir a probabilidade de ocorrência de vazamentos. Variações bruscas inesperadas poderão indicar algum problema na Rede, como principalmente algum rompimento de algum trecho ou dispositivo.

Antes de iniciar o trabalho com os dados, foi necessário um tratamento destes devido às perdas aparentes, perdas reais e a inconsistência dos dados, estes indicados como falhas. As falhas são de 3 tipos: representadas pelo valor zero de pressões, dados faltosos e dados fora de

Após o tratamento dos dados, foi necessária uma avaliação de perdas que pode ser apontada, segundo PNCD (2007), pelo Fator de Pesquisa (FP) – fator que relaciona vazões mínimas noturnas com vazões médias diárias - indicando bom ou o mal funcionamento da rede de abastecimento de água de acordo com valores de pressão e de vazão no ponto (32694).

3.1 Elaboração do banco de dados

Para a elaboração do banco de dados, estes foram agrupados por hora, por dia e por mês. Como citado anteriormente, a organização dos dados por hora se deu pelo agrupamento dos 4 primeiros 15 minutos de dados, por exemplo, a média entre os dados das horas 00:00, 00:15, 00:30 e 00:45 do banco de dados original representa o agrupamento para as 00hrs do dia referenciado. O agrupamento por dia é dado pela média entre as 00hrs e as 23hrs do dia referenciado. O agrupamento do mês é dado pela média entre todos os dias do mês de referência. Foi necessária a utilização da ferramenta Tabela Dinâmica do Excel para a realização destes agrupamentos.

Para este agrupamento, foi feito um modelo de tabela dinâmica em que, neste modelo, a coluna *Data e Hora* foi preenchida com o dia, ano e hora, omitindo-se o mês propositalmente, visto que o modelo serviria para todos os meses do ano. As colunas foram adaptadas aos dados de cada ponto, por exemplo, no ponto 32694 as colunas foram adaptadas para haver pressão de entrada (Pin), pressão de saída (Pout) e vazão (Vaz). Já nos outros 3 pontos, para obterem apenas os dados de pressão do ponto (ex: 61679 – Pressão).

Com o modelo pronto, foi criada uma Tabela Dinâmica. A Tabela Dinâmica estava disposta da seguinte maneira: no campo *Linhas* foi colocado *Data e Hora* e no campo *Valores* as outras 3 colunas que variavam de acordo com o ponto, sendo configuradas para retornar o valor da média. Foram selecionadas as linhas de 4 em 4, com o botão direito do mouse clicando-se em *Agrupar...*, agrupando todos os dados por hora. Agrupados em hora, foram selecionados todos os dados de um determinado dia, agrupando-os em dia da mesma maneira. Feito isto, foram escritas as horas e os dias dos dados.

Para cada mês, foram colocados os dados corrigidos no modelo, na aba *Analisar – Atualizar* os dados foram automaticamente atualizados, estando todos de acordo com os dados novos (do mês) e agrupados por hora, dia e mês. As Figuras 8, 9 e 10 mostram um exemplo de agrupamentos a nível diário, horário e sem agrupamento dos dados utilizando a ferramenta Tabela Dinâmica no Excel:

Figura 8 - Exemplo de planilha eletrônica gerada no Excel pela ferramenta Tabela Dinâmica
contendo dados agrupados por dia

Rótulos de Linha ▼	Média de 61679 - Press	Média de 61940 - Press	Média de 61766 - Press
01/01/2016	8,5533	7,8952	5,4472
02/01/2016	8,7928	8,1366	5,1511
03/01/2016	8,1435	7,6507	4,9614
04/01/2016	7,5777	7,1327	4,3819
05/01/2016	7,5510	6,9802	4,3688
06/01/2016	7,5938	7,0344	4,3375
07/01/2016	7,7167	7,1302	4,5438
08/01/2016	7,5656	6,9063	4,4500
09/01/2016	8,0927	7,4010	5,0188
10/01/2016	8,1104	7,4427	4,9406
11/01/2016	7,7010	7,0729	4,5458
12/01/2016	7,7677	7,1635	4,5792
13/01/2016	7,6698	6,9656	4,3135
14/01/2016	7,6521	6,9979	4,4177
15/01/2016	7,5156	6,8646	4,1760
16/01/2016	7,8010	7,1365	4,2635
17/01/2016	7,8688	7,1573	4,2146
18/01/2016	7,9938	7,3188	4,8531
19/01/2016	7,8167	7,1260	4,6979
20/01/2016	7,8000	7,0667	4,5250
21/01/2016	7,6323	6,8906	4,2986
22/01/2016	7,7948	7,0729	4,4906
23/01/2016	7,8894	7,4120	4,6385
24/01/2016	7,9865	7,2448	4,4865
25/01/2016	7,4885	6,8479	4,3427
26/01/2016	7,7917	7,0677	4,4427
27/01/2016	7,5552	6,8417	4,3094
28/01/2016	7,6979	7,0156	4,4333
29/01/2016	7,7854	7,0781	4,4448
30/01/2016	7,7969	7,1052	4,6844
31/01/2016	7,7083	7,0031	4,4302

Fonte: O Autor

Figura 9 - Exemplo de planilha eletrônica gerada no Excel pela ferramenta Tabela Dinâmica
contendo dados agrupados por hora

Rótulos de Linha ▼	Média de 61679 - Press	Média de 61940 - Press	Média de 61766 - Press
01/01/2016			
01/01/2016 01:00:00	9,2250	8,5000	4,9250
01/01/2016 02:00:00	9,7500	9,1250	5,4250
01/01/2016 03:00:00	9,8500	9,2000	5,6500
01/01/2016 04:00:00	7,5080	6,6991	6,1500
01/01/2016 05:00:00	8,6880	7,9278	5,9417
01/01/2016 06:00:00	9,2620	8,4204	5,5154
01/01/2016 07:00:00	8,4731	7,7287	6,9750
01/01/2016 08:00:00	8,0546	7,3250	6,5250
01/01/2016 09:00:00	8,0075	7,2000	5,7000
01/01/2016 10:00:00	7,6647	9,1750	5,1250
01/01/2016 11:00:00	9,0750	8,3000	4,5000
01/01/2016 12:00:00	8,3000	7,9250	4,2750
01/01/2016 13:00:00	9,1250	8,7000	4,5750
01/01/2016 14:00:00	8,9250	8,2750	4,7750
01/01/2016 15:00:00	9,0500	8,6000	5,1250
01/01/2016 16:00:00	10,0500	7,3017	5,6250
01/01/2016 17:00:00	7,9034	7,4155	6,0750
01/01/2016 18:00:00	7,9681	7,3983	6,1750
01/01/2016 19:00:00	8,1241	7,5491	6,3500
01/01/2016 20:00:00	8,1009	7,4931	6,3500
01/01/2016 21:00:00	8,7750	7,9500	4,9000
01/01/2016 22:00:00	7,3250	6,4750	4,3000
01/01/2016 23:00:00	7,4250	6,8000	5,1750
01/01/2016 00:00:00	8,6500	8,0000	4,6000

Fonte: O Autor

Figura 10 - Exemplo de planilha eletrônica gerada no Excel pela ferramenta Tabela Dinâmica
contendo dados sem agrupamento

Rótulos de Linha ▼	Média de 61679 - Press	Média de 61940 - Press	Média de 61766 - Press
01/01/2016			
01/01/2016 01:00:00			
01/01/2016 01:00:00	9,0000	8,3000	4,8000
01/01/2016 01:15:00	9,2000	8,5000	4,9000
01/01/2016 01:30:00	9,3000	8,5000	4,9000
01/01/2016 01:45:00	9,4000	8,7000	5,1000

Fonte: O Autor

3.2 Análise e consistência dos dados

É notório que os dados devam ter consistência para que possam ser trabalhados. Esta consistência se dá por meio de 2 análises: a análise visual e a análise estatística. Para a análise estatística, foi utilizado o método dos dados fora de série (*outliers*) a partir de 3 critérios:

- 1 – Segundo Lima (2016), ajuda do próprio Excel;
- 2 – Conforme Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 1º método: se baseia em medidas pouco resistentes;
- 3 – Conforme Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 2º método: se baseia em medidas mais resistentes.

O método dos *outliers* consistiu em estabelecer valores-limites superiores e inferiores e os dados que estiveram fora desses limites foram considerados *outliers*, sendo retirados da análise. Para tal análise estatística, os dados de pressões foram separados de 4 formas no Excel: dados por dia ao ano, por dia ao mês, por hora ao ano e por hora ao mês. A partir destes dados, foram calculados a média, o desvio padrão, o primeiro quartil, o terceiro quartil, a distância interquartil e os limites superiores e inferiores. A diferença entre os três critérios do método dos *outliers* se dá pelo cálculo dos limites superiores e inferiores, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 - Fórmulas para cálculo dos limites superiores e inferiores para cada critério

Critérios	Lsup	Linf
1 – Segundo Lima (2016), ajuda do próprio Excel	$\bar{x} + 1,5 \times DIQ$	$\bar{x} - 1,5 \times DIQ$
2 – Segundo Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 1º método	$\bar{x} + 3 \times \sigma_{(x)}$	$\bar{x} - 3 \times \sigma_{(x)}$
3 – Segundo Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 2º método	$Q_3 + 1,5 \times DIQ$	$Q_1 - 1,5 \times DIQ$

Fonte: O Autor

As fórmulas padrões da estatística citadas nas equações de (1) a (8) demonstram como se calculam os itens da Tabela 1, como a média, o desvio padrão, os quartis, a distância interquartil e itens necessários para o cálculo destes. Para facilitar o cálculo dos itens da Tabela 1, foram utilizadas funções do Excel apropriadas, como a função DESVPAD.A,

utilizada para cálculo do desvio padrão, a função MÉDIA para o cálculo da média a partir do banco de dados e a função QUARTIL.EXC para o cálculo dos quartis 1 e 3.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

$$\sigma_{(x)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad \text{ou} \quad \sigma_{(x)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (2)$$

$$\sigma_{(x)} = \sqrt{\sigma_x^2} \quad (3)$$

$$Md = l^* + \frac{\left(\frac{n}{2} - F_{ant}\right)}{f^*} \times h^* \quad (4)$$

$$Q_k = l^* + \frac{\left[\frac{k \sum f_i}{4} - F_{ant}\right] \cdot h^*}{f^*} \quad (5)$$

$$F_i = f_1 + f_2 + \dots + f_k = \sum_{i=1}^k f_i \quad (6)$$

$$h_i = L_i - l_i \quad (7)$$

$$DIQ = Q_3 - Q_1 \quad (8)$$

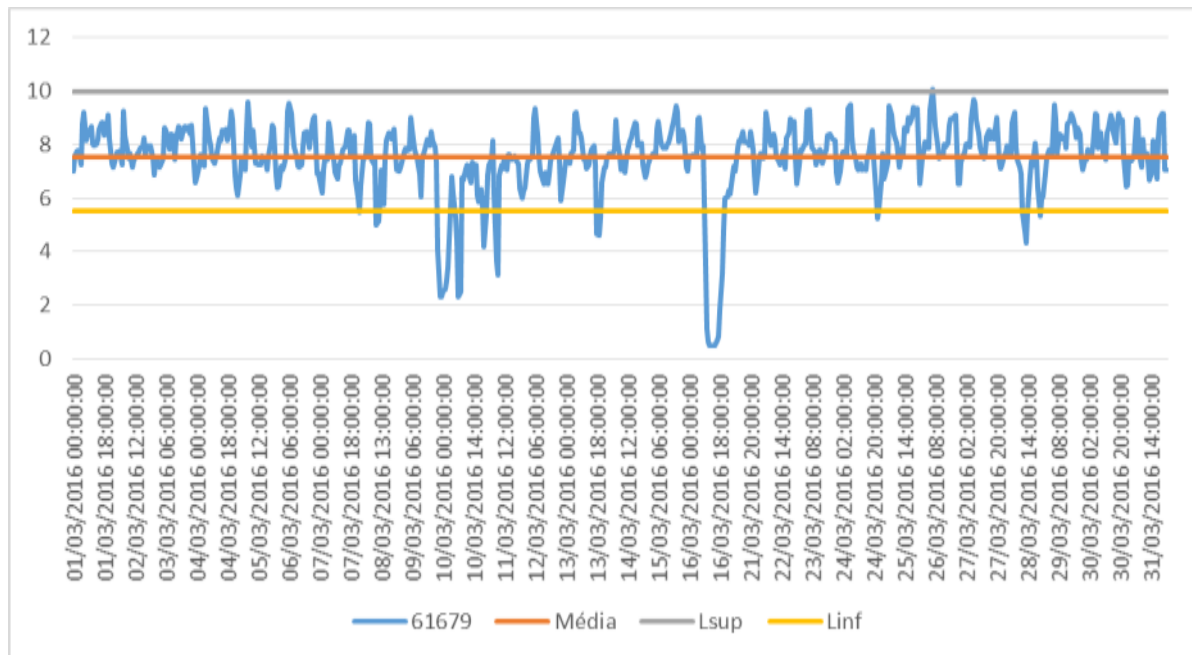
Onde:

- $\sigma_{(x)}$ – Desvio padrão
- $\sigma_{(x)}^2$ - Variância
- \bar{x} – Média aritmética
- Q_1 – 1º quartil
- Q_3 – 3º quartil
- Q_k – kº quartil
- DIQ – Distância interquartil
- X_i – Valores da variável

- n – Número de valores
- Md - Mediana
- k – Número de ordem do quartil
- l^* - Limite inferior da classe mediana
- f_i - frequência simples da i -ésima classe
- F_{ant} – Frequência acumulada da classe anterior à classe mediana
- f^* - Frequência simples da classe mediana
- h^* - Amplitude do intervalo da classe que contém a mediana
- F_i – Frequência acumulada da i -ésima classe
- h_i – Amplitude da i -ésima classe
- L_i – Limite superior da i -ésima classe
- l_i – Limite inferior da i -ésima classe

Os *outliers* foram sinalizados em *Formatação Condicional > Realçar regras das Células > É Maior do que.../É Menor do que*, foram criadas 3 colunas junto aos dados: a coluna da média, do limite superior e do limite inferior. A partir disto, foi gerado um gráfico em *INSERIR > Inserir Gráfico de Linhas > Linhas*. O gráfico mostra com clareza os pontos fora de série. Foi criada outra coluna com os pontos fora de série eliminados e repetido o mesmo processo. A Figura 11 mostra um exemplo de gráfico gerado pelo Excel para identificação de *outliers*:

Figura 11 - Gráfico gerado pelo Excel para identificação dos *outliers* para o ponto 61679 no mês de março



Fonte: O Autor

Foram considerados dados inconsistentes aqueles que são comuns a 2 dos 3 critérios adotados. Os dados inconsistentes foram eliminados do banco de dados.

Já para a análise visual, foram considerados dados inconsistentes os quais a pressão em alguns momentos eram inferiores aos de pontos situados a jusante dos mesmos, o que hidraulicamente é impossível.

3.3 Preenchimento de falhas

Foi necessário um tratamento desses dados, visto que estes encontravam-se com falhas no valor das pressões, ausência de dados e dados fora de série (*outliers*) devido às perdas aparentes e reais. Para isso, foi importante identificar, em todos os meses, os dados que se encontravam com o valor zero, pois é praticamente impossível haver uma medição de pressão ou vazão que seja zero. Identificado o valor zero em todos os dados, foi necessário substituí-lo por -1, pois este é o valor característico de uma falha nos dados.

- 1) No caso de uma falha pontual, por exemplo, num determinado dia da semana não existir dados para 7:15 da manhã, o valor foi preenchido pela média aritmética simples entre os dados de 7 e 7:30 horas;

- 2) No caso de até 4 falhas de 15 minutos, totalizando 1 hora de falha, foi feita a média entre a hora anterior e a hora posterior e as 4 falhas foram preenchidas por este mesmo valor, por exemplo, uma falha às 7:00 da manhã deve ter sido preenchida pela média entre as 6:00 e as 8:00 da manhã, tendo os valores 7:00, 7:15, 7:30 e 7:45 iguais.
- 3) No caso de até 6 horas de falhas seguidas, os valores foram preenchidos pela média no mês das horas com falha, com os 4 dados de 15 minutos iguais.
- 4) No caso de até 1 dia com falha, os valores foram preenchidos pela média entre o dia anterior e o dia posterior, com os dados de 15 em 15 minutos iguais.
- 5) No caso de mais de um dia de falha, foram feitas as médias das horas do mês. Foi calculada a média dos dias do mês. Para cada hora, tivemos uma porcentagem, dada pela média da hora correspondente dividida pela média dos dias do mês. O valor preenchido para a respectiva hora da falha foi dado pela média dos dias do mês multiplicado pela porcentagem relacionada à hora a ser preenchida. Para valores de 15 em 15 minutos, foram iguais à sua respectiva hora.

Após o preenchimento total das falhas, foi efetuada a análise visual, checando se haviam dados de pressão a montante menores que os dados de pressão a jusante. Os dados que se encontravam nesta condição foram preenchidos da seguinte maneira: a nível horário, foi calculada a diferença entre as pressões a montante e as pressões a jusante, acarretando em uma perda de carga. Foi feita a média das perdas de cargas positivas e o novo valor da pressão a montante para a hora i foi dado pela soma entre a pressão a jusante para a hora i e a média das perdas de cargas. Estes dados foram reagrupados em dados por hora, por dia e por mês.

3.4 Cálculo dos Fatores de Pesquisa (FP)

Segundo o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA, 2007), de forma similar ao Indicador de vazamento da infraestrutura (IVIN), que relaciona as perdas reais anuais de água com as perdas reais anuais inevitáveis, tem-se o conceito do fator de pesquisa. O Fator de Pesquisa é determinado a partir da relação entre vazão mínima noturna e a vazão média diária. O comportamento desse parâmetro indica possíveis problemas operacionais no abastecimento de água.

$$FP = Q_{\text{mínima noturna}} / Q_{\text{média diária}}$$

Para o cálculo do fator de pesquisa, apenas foram consideradas as vazões referentes ao ponto 32694 do Distrito 42 por este ser o único ponto de medição disponível pela base de dados fornecida pela COMPESA. Os dados de vazão foram separados e dados por dia ao mês. A vazão mínima noturna se dá pela menor vazão ao dia no período entre 22 horas e 05 horas e a vazão média diária se dá pela média entre as 24 horas do dia. A Figura 12 exemplifica uma planilha eletrônica gerada pelo Excel utilizada para o cálculo do Fator de Pesquisa, onde em negrito, estão os resultados dos Fatores de Pesquisa para o mês de janeiro no ponto 32694.

Figura 12 – Planilha eletrônica gerada no Excel para cálculo do Fator de Pesquisa para o ponto 32694 no mês de janeiro

MÍN 22-05	
Data e Hora	Vaz
01/01/2016 22-05	33,9648
02/01/2016 22-05	33,9648
03/01/2016 22-05	33,9648
04/01/2016 22-05	33,9648
05/01/2016 22-05	34,6000
06/01/2016 22-05	34,2000
07/01/2016 22-05	33,2000
08/01/2016 22-05	34,7000
09/01/2016 22-05	34,7000
10/01/2016 22-05	32,0000
11/01/2016 22-05	32,4000
12/01/2016 22-05	32,2000
13/01/2016 22-05	32,0000
14/01/2016 22-05	32,7000
15/01/2016 22-05	34,0000
16/01/2016 22-05	32,9000
17/01/2016 22-05	33,8000
18/01/2016 22-05	30,4000
19/01/2016 22-05	32,2000
20/01/2016 22-05	31,2000
21/01/2016 22-05	32,4000
22/01/2016 22-05	32,9000
23/01/2016 22-05	33,0000
24/01/2016 22-05	32,3000
25/01/2016 22-05	31,4000
26/01/2016 22-05	31,5000
27/01/2016 22-05	31,6000
28/01/2016 22-05	33,4000
29/01/2016 22-05	31,4000
30/01/2016 22-05	32,3000
31/01/2016 22-05	32,6000

MÉDIA	
Data e Hora	Vaz
01/01/2016	47,3646
02/01/2016	47,3646
03/01/2016	47,3646
04/01/2016	49,4418
05/01/2016	49,6719
06/01/2016	50,4823
07/01/2016	50,3031
08/01/2016	50,2094
09/01/2016	47,4833
10/01/2016	45,9573
11/01/2016	47,6042
12/01/2016	47,0167
13/01/2016	47,6990
14/01/2016	47,9229
15/01/2016	48,7552
16/01/2016	48,3448
17/01/2016	45,9969
18/01/2016	45,7365
19/01/2016	46,8500
20/01/2016	46,9000
21/01/2016	46,2146
22/01/2016	46,0604
23/01/2016	45,5538
24/01/2016	46,8906
25/01/2016	46,9177
26/01/2016	46,4063
27/01/2016	46,4885
28/01/2016	46,7563
29/01/2016	47,0319
30/01/2016	45,9042
31/01/2016	43,8698

COEFICIENTE - FATOR DE PESQUISA	
Data e Hora	Vaz
01/01/2016	71,7093%
02/01/2016	71,7093%
03/01/2016	71,7093%
04/01/2016	68,6965%
05/01/2016	69,6571%
06/01/2016	67,7465%
07/01/2016	65,9999%
08/01/2016	69,1106%
09/01/2016	73,0783%
10/01/2016	69,6299%
11/01/2016	68,0613%
12/01/2016	68,4864%
13/01/2016	67,0874%
14/01/2016	68,2346%
15/01/2016	69,7361%
16/01/2016	68,0528%
17/01/2016	73,4833%
18/01/2016	66,4678%
19/01/2016	68,7300%
20/01/2016	66,5245%
21/01/2016	70,1077%
22/01/2016	71,4279%
23/01/2016	72,4418%
24/01/2016	68,8837%
25/01/2016	66,9257%
26/01/2016	67,8788%
27/01/2016	67,9737%
28/01/2016	71,4343%
29/01/2016	66,7632%
30/01/2016	70,3640%
31/01/2016	74,3108%

MÉDIA	69,4330%
MÍNIMO	65,9999%
MÁXIMO	74,3108%

Fonte: O Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dados fora de série – *Outliers*

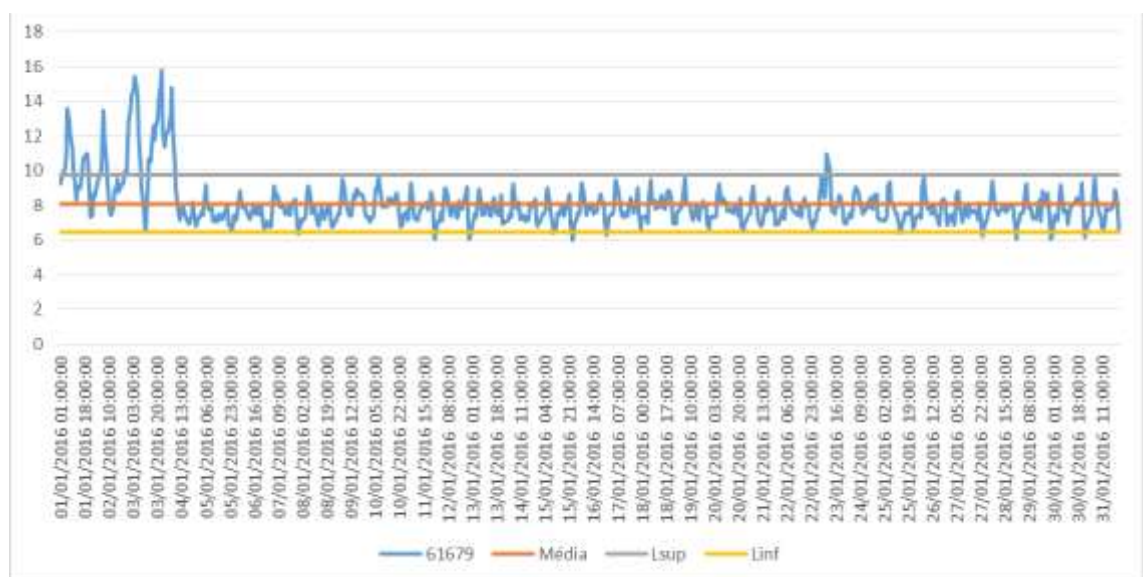
Conforme explicitado anteriormente, para a análise estatística foram considerados dados inconsistentes aqueles que são comuns a 2 dos 3 critérios adotados para identificação dos *outliers* e os dados inconsistentes foram eliminados do banco de dados. Analisando a Tabela 2 e as Figuras 13, 14 e 15, percebe-se que o primeiro critério consta de menor amplitude de dados consistentes que os demais critérios, portanto, se este critério fosse considerado, os dados inconsistentes seriam comuns aos 3 critérios, fugindo da identificação dos *outliers* definitivos correta:

Tabela 2 - *Outliers* do ponto 61679 no mês de janeiro

Crítérios	Lsup	Linf
1 – Segundo Lima (2016), ajuda do próprio Excel	9,7316	6,4316
2 – Segundo Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 1º método	12,1161	4,0472
3 – Segundo Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 2º método	10,0750	5,6750

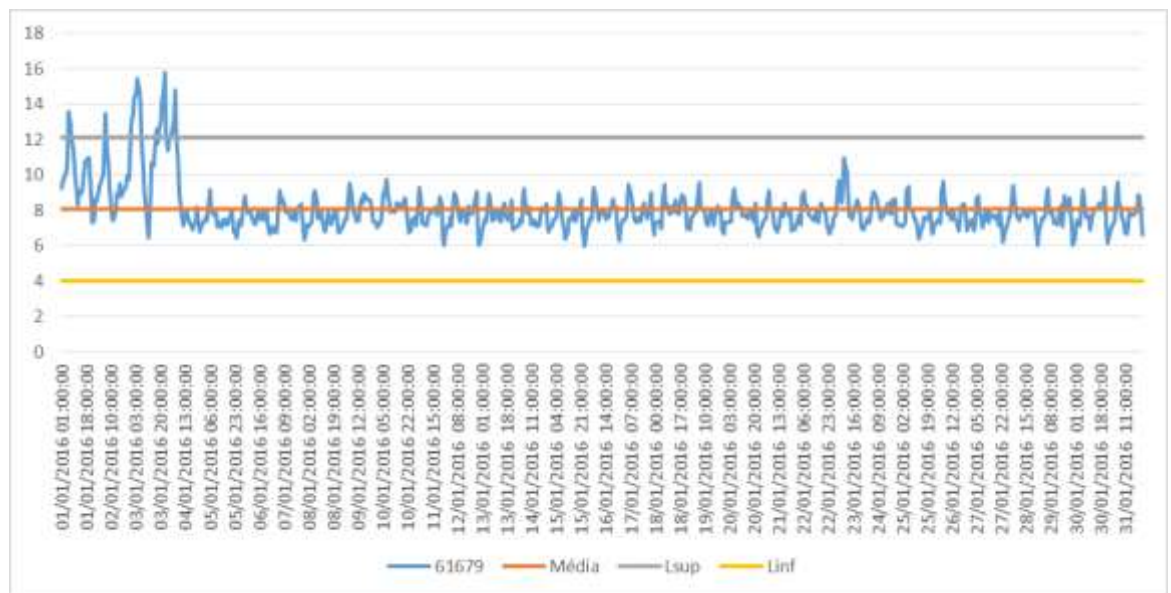
Fonte: O Autor

Figura 13 - Gráfico gerado pelo Excel para identificação dos *outliers* pelo primeiro critério para o ponto



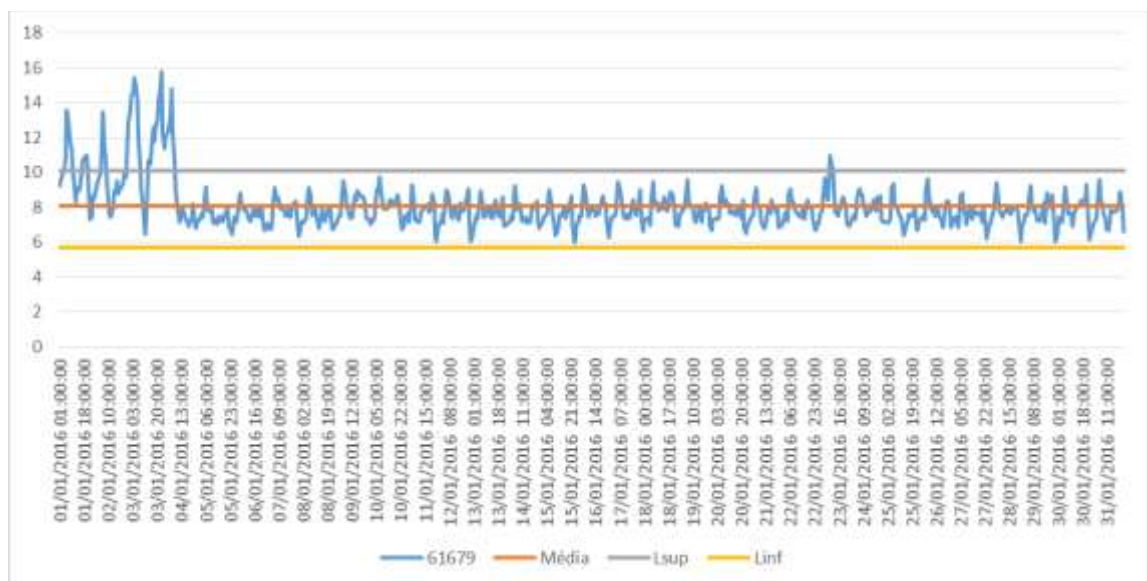
Fonte: O Autor

Figura 14 - Gráfico gerado pelo Excel para identificação dos *outliers* pelo segundo critério para o ponto 61679 no mês de janeiro



Fonte: O Autor

Figura 15 - Gráfico gerado pelo Excel para identificação dos *outliers* pelo terceiro critério para o ponto 61679 no mês de janeiro



Fonte: O Autor

Nota-se pelas Tabelas 3 e 4 que o primeiro critério ainda permanece com amplitude menor do que os demais e isso se estende em todos os pontos de todos os meses, sendo utilizados para identificação definitiva dos *outliers* o segundo e o terceiro critério. Também se nota que o terceiro critério apresenta uma amplitude menor do que o segundo critério, este sendo predominante na identificação dos *outliers*:

Tabela 3 - Outliers do ponto 61766 no mês de janeiro

Critérios	Lsup	Linf
1 – Segundo Lima (2016), ajuda do próprio Excel	6,4823	2,8823
2 – Segundo Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 1º método	7,9408	1,4237
3 – Segundo Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 2º método	7,0000	2,2000

Fonte: O Autor

Critérios	Lsup	Linf
1 – Segundo Lima (2016), ajuda do próprio Excel	9,0507	5,7507
2 – Segundo Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 1º método	11,3038	3,4976
3 – Segundo Pinheiro, Cunha e Carvajal (2009), 2º método	9,3750	4,9750

Fonte: O Autor

4.2 Preenchimento de falhas

Após a eliminação dos dados inconsistentes no banco de dados, estes foram preenchidos a partir de 5 critérios, como já evidenciado anteriormente. Abaixo, seguem alguns exemplos de utilização dos critérios de preenchimento de falhas. Em negrito, nas Figuras 16, 17, 18 e 20 estão as falhas já preenchidas pelos critérios adotados:

- 1) Na Figura 16, temos o preenchimento da pressão no ponto 61766 às 08:30hrs como sendo a média entre a pressão às 08:15 e às 08:45hrs, conforme o 1º critério:

Figura 16 – Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 1 para o preenchimento de falhas para o ponto 61766 no mês de abril

Data e hora	61679 - Pr	61940 - Pr	61766 - Pre
13/04/2016 08:15:00	7,6000	6,7000	3,9000
13/04/2016 08:30:00	7,2000	6,6000	3,8000
13/04/2016 08:45:00	7,1000	6,4000	3,7000

Fonte: O Autor

- 2) Para a Figura 17 abaixo, temos o preenchimento da pressão no ponto 61766 das 03:00:00 às 03:45:00 dada pela média entre os dados de 02:00:00 e 02:45:00 e entre os dados de 04:00:00 às 04:45:00, conforme o 2º critério:

Figura 17 – Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 2 utilizado para o preenchimento de falhas para o ponto 61766 no mês de janeiro

Data e hora	61679 - Pr	61940 - Pr	61766 - Pre
02/01/2016 02:00:00	9,0000	8,3000	6,3000
02/01/2016 02:15:00	9,2000	8,5000	7,3000
02/01/2016 02:30:00	9,5000	8,7000	6,5000
02/01/2016 02:45:00	9,4000	8,6000	6,4000
02/01/2016 03:00:00	9,4000	8,8000	6,7250
02/01/2016 03:15:00	9,6000	8,8000	6,7250
02/01/2016 03:30:00	9,7000	9,0000	6,7250
02/01/2016 03:45:00	10,1000	9,1000	6,7250
02/01/2016 04:00:00	9,8000	9,0000	6,6000
02/01/2016 04:15:00	9,8000	8,9000	7,2000
02/01/2016 04:30:00	10,0000	9,2000	6,5000
02/01/2016 04:45:00	9,8000	9,1000	7,0000

Fonte: O Autor

- 3) Para a Figura 18 abaixo, temos o critério 3 sendo utilizado no ponto 32694 (Pin e Pout) das 07:00 às 12:00hrs, que contabilizam 6 horas. Na Figura 19, encontram-se os valores das médias para cada hora do mês de janeiro nos pontos Pin e Pout, estes sendo utilizados para preencher as falhas da Figura 18:

Figura 18 - Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 3 para o preenchimento de falhas para o

Data e hora	Pin (mca)	Pout (mca)
23/01/2016 07:00:00	26,2440	11,7096
23/01/2016 07:15:00	26,2440	11,7096
23/01/2016 07:30:00	26,2440	11,7096
23/01/2016 07:45:00	26,2440	11,7096
23/01/2016 08:00:00	24,9846	11,7096
23/01/2016 08:15:00	24,9846	11,7096
23/01/2016 08:30:00	24,9846	11,7096
23/01/2016 08:45:00	24,9846	11,7096
23/01/2016 09:00:00	25,2685	11,8009
23/01/2016 09:15:00	25,2685	11,8009
23/01/2016 09:30:00	25,2685	11,8009
23/01/2016 09:45:00	25,2685	11,8009
23/01/2016 10:00:00	25,0796	11,8139
23/01/2016 10:15:00	25,0796	11,8139
23/01/2016 10:30:00	25,0796	11,8139
23/01/2016 10:45:00	25,0796	11,8139
23/01/2016 11:00:00	24,6000	11,7759
23/01/2016 11:15:00	24,6000	11,7759
23/01/2016 11:30:00	24,6000	11,7759
23/01/2016 11:45:00	24,6000	11,7759
23/01/2016 12:00:00	23,7685	11,8426
23/01/2016 12:15:00	23,7685	11,8426
23/01/2016 12:30:00	23,7685	11,8426
23/01/2016 12:45:00	23,7685	11,8426

Fonte: O Autor

Figura 19 – Planilha eletrônica do Excel indicando as médias das pressões para cada hora para os pontos

Rótulos d	Média de Pin (mca)	Média de Pout (m
00:00:00	17,8833	9,3519
01:00	18,6898	9,4019
02:00	19,3639	9,3824
03:00	19,9037	9,3704
04:00	20,1907	9,3148
05:00	22,1935	11,1565
06:00	28,1127	11,8189
07:00	26,2440	11,7096
08:00	24,9846	11,7096
09:00	25,2248	11,7924
10:00	25,0796	11,8139
11:00	24,6000	11,7759
12:00	23,6962	11,8491
13:00	23,9269	11,9824
14:00	23,6759	11,9843
15:00	23,3583	11,9639
16:00	22,9807	11,8642
17:00	23,8295	11,9920
18:00	23,5241	11,8598
19:00	22,7884	11,8321
20:00	20,7964	11,7339
21:00	18,7705	11,6813
22:00	17,7313	9,7295
23:00	17,4259	9,1911

Fonte: O Autor

- 4) Para a Figura 20, foi feita a média entre as 00:00 e 23:45hrs do dia 09/03/2016 e a média entre o mesmo intervalo de horas para o dia 11/03/2016. A média entre esses dois valores foi utilizada para preencher as falhas das 07:00 às 14:00hrs do dia 10/03/2016, que excede as 6 horas, porém não contabiliza mais de 1 dia de falha, conforme o critério 4:

Figura 20 – Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 4 utilizado para o preenchimento de falhas para o ponto 32694 no mês de março

Data e hora	Pin (mca)	Pout (mca)
10/03/2016 07:00:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 07:15:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 07:30:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 07:45:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 08:00:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 08:15:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 08:30:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 08:45:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 09:00:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 09:15:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 09:30:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 09:45:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 10:00:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 10:15:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 10:30:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 10:45:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 11:00:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 11:15:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 11:30:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 11:45:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 12:00:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 12:15:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 12:30:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 12:45:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 13:00:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 13:15:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 13:30:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 13:45:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 14:00:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 14:15:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 14:30:00	15,3313	10,7540
10/03/2016 14:45:00	15,3313	10,7540

Fonte: O Autor

- 5) Na Figura 21 é esquematizado todo o processo de cálculo para o 5º critério. Tem-se na primeira tabela à esquerda a média para cada hora do mês de janeiro no ponto 32694 (Pin, Pout e Vaz). À direita, o valor de $y_{médio}$ é encontrado fazendo

a média de todas as horas. Ainda à direita, temos a segunda tabela, que representa o valor da porcentagem, representada pela razão entre a média da hora ao mês e o ymédio correspondente à média. Acima da última tabela à esquerda, temos o valor ydiasmédio, dado pela média entre os dias do mês de janeiro. Por fim, a última tabela à esquerda é o ydiasmédio multiplicado pela porcentagem correspondente à hora:

Figura 21 – Planilha eletrônica do Excel exemplificando o critério 5 para o preenchimento de falhas

ymédio=				22,2906	11,0942	47,3646
---------	--	--	--	---------	---------	---------

00:00:00	17,8833	9,3519	38,7204
01:00	18,6898	9,4019	37,3759
02:00	19,3639	9,3824	35,9315
03:00	19,9037	9,3704	34,6648
04:00	20,1907	9,3148	33,9648
05:00	22,1935	11,1565	39,9194
06:00	28,1127	11,8189	45,2877
07:00	26,2440	11,7096	48,9212
08:00	24,9846	11,7096	52,1202
09:00	25,2248	11,7924	53,7977
10:00	25,0796	11,8139	55,5824
11:00	24,6000	11,7759	55,4454
12:00	23,6962	11,8491	54,9411
13:00	23,9269	11,9824	54,9000
14:00	23,6759	11,9843	53,6463
15:00	23,3583	11,9639	52,3500
16:00	22,9807	11,8642	52,5976
17:00	23,8295	11,9920	52,7473
18:00	23,5241	11,8598	52,3116
19:00	22,7884	11,8321	51,5071
20:00	20,7964	11,7339	50,0741
21:00	18,7705	11,6813	48,0813
22:00	17,7313	9,7295	42,1848
23:00	17,4259	9,1911	39,6777

%00:00	0,8023	0,8429	0,8175
%01:00	0,8385	0,8475	0,7891
%02:00	0,8687	0,8457	0,7586
%03:00	0,8929	0,8446	0,7319
%04:00	0,9058	0,8396	0,7171
%05:00	0,9956	1,0056	0,8428
%06:00	1,2612	1,0653	0,9562
%07:00	1,1774	1,0555	1,0329
%08:00	1,1209	1,0555	1,1004
%09:00	1,1316	1,0629	1,1358
%10:00	1,1251	1,0649	1,1735
%11:00	1,1036	1,0614	1,1706
%12:00	1,0631	1,0680	1,1600
%13:00	1,0734	1,0801	1,1591
%14:00	1,0621	1,0802	1,1326
%15:00	1,0479	1,0784	1,1053
%16:00	1,0310	1,0694	1,1105
%17:00	1,0690	1,0809	1,1136
%18:00	1,0553	1,0690	1,1044
%19:00	1,0223	1,0665	1,0875
%20:00	0,9330	1,0577	1,0572
%21:00	0,8421	1,0529	1,0151
%22:00	0,7955	0,8770	0,8906
%23:00	0,7818	0,8285	0,8377

ydiasméd	22,2395	11,0913	47,3646
----------	---------	---------	---------

yi,j	Pin	Pout	Vaz
00:00:00	17,8423	9,3493	38,7204
01:00	18,6469	9,3993	37,3759
02:00	19,3194	9,3799	35,9315
03:00	19,8580	9,3679	34,6648
04:00	20,1444	9,3123	33,9648
05:00	22,1426	11,1535	39,9194
06:00	28,0482	11,8157	45,2877
07:00	26,1838	11,7065	48,9212
08:00	24,9273	11,7065	52,1202
09:00	25,1669	11,7892	53,7977
10:00	25,0221	11,8107	55,5824
11:00	24,5435	11,7728	55,4454
12:00	23,6418	11,8459	54,9411
13:00	23,8719	11,9792	54,9000
14:00	23,6216	11,9810	53,6463
15:00	23,3047	11,9607	52,3500
16:00	22,9280	11,8610	52,5976
17:00	23,7748	11,9887	52,7473
18:00	23,4701	11,8566	52,3116
19:00	22,7361	11,8290	51,5071
20:00	20,7487	11,7308	50,0741
21:00	18,7274	11,6781	48,0813
22:00	17,6905	9,7269	42,1848
23:00	17,3859	9,1886	39,6777

Fonte: O Autor

Para a análise visual, foram corrigidas para todos os meses as pressões de saída da Válvula Redutora de Pressão (VRP) do ponto 32694 que devem ser maiores que as pressões no ponto 61679 e as pressões de entrada da VRP que devem ser maiores que as pressões de saída da VRP no ponto 32694, conforme a Figura 22. Em negrito, encontram-se os novos valores após a correção visual do ponto Pin e Pout:

Figura 22 – Planilha eletrônica do Excel exemplificando a correção dos dados da análise visual para o ponto 32694 – Pin e Pout no mês de janeiro

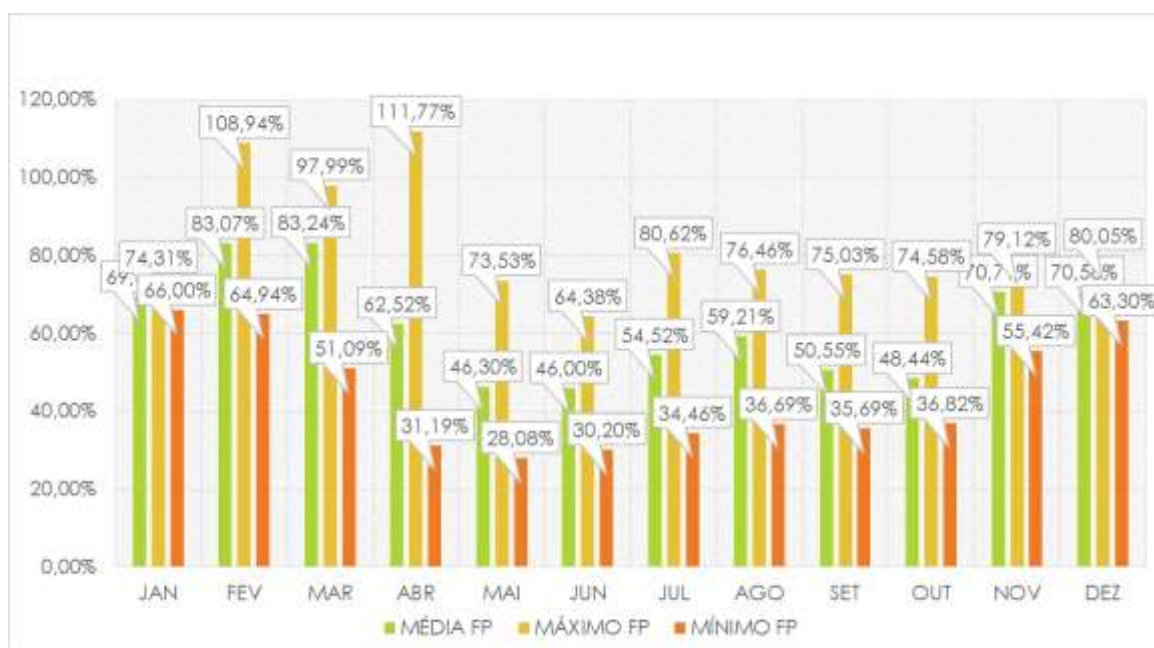
DATA E HORA	VALORES COM FALHAS PREENCHIDAS			$\Delta H1 = \text{Pout} - 61679$	NOVO Pout	$\Delta H2 = \text{Pin} - \text{Pout}$	NOVO Pin
Data e hora	Pin (mca)	Pout (mca)	61679 - Press	$\Delta H1 = \text{Pout} - 61679$	Pout (mca)	$\Delta H2 = \text{Pin} - \text{Pout}$	Pin (mca)
01/01/2016 00:00:00	17,8423	9,3493	8,6000	0,7493	9,3493	8,4929	17,8423
01/01/2016 00:15:00	17,8423	9,3493	8,6000	0,7493	9,3493	8,4929	17,8423
01/01/2016 00:30:00	17,8423	9,3493	8,7000	0,6493	9,3493	8,4929	17,8423
01/01/2016 00:45:00	17,8423	9,3493	8,7000	0,6493	9,3493	8,4929	17,8423
01/01/2016 01:00:00	18,6469	9,3993	9,0000	0,3993	9,3993	9,2476	18,6469
01/01/2016 01:15:00	18,6469	9,3993	9,2000	0,1993	9,3993	9,2476	18,6469
01/01/2016 01:30:00	18,6469	9,3993	9,3000	0,0993	9,3993	9,2476	18,6469
01/01/2016 01:45:00	18,6469	9,3993	9,4000	-0,0007	12,7000	5,9469	18,6469
01/01/2016 02:00:00	19,3194	9,3799	9,5000	-0,1201	12,8000	6,5194	19,3194
01/01/2016 02:15:00	19,3194	9,3799	9,7000	-0,3201	13,0000	6,3194	19,3194
01/01/2016 02:30:00	19,3194	9,3799	10,0000	-0,6201	13,3000	6,0194	19,3194

Fonte: O Autor

4.3 Fator de Pesquisa (FP)

Conforme citado anteriormente, segundo o PNCDA (2007), o Fator de Pesquisa (FP) é um fator que indica possíveis vazamentos na Rede de Abastecimento de Água (RAD). Quanto maior o valor do Fator de pesquisa, maior a tendência de ocorrência de perdas na RAD. As médias mensais dos Fatores de Pesquisa variaram entre 46,00% (em 06/16) e 83,24% (em 03/16). O valor máximo do FP variou entre 73,53% (em 05/16) e 111,77% (em 04/16). O valor mínimo do FP variou entre 28,08% (em 05/16) e 66,00% (em 01/16). O mês com maior variação entre os Fatores de Pesquisa foi abril, com o máximo FP de 111,77% (em 04/16) e mínimo FP de 31,19% (em 04/16), e o mês com menor variação entre os Fatores de Pesquisa foi janeiro, com máximo FP de 74,31% (em 01/16) e mínimo FP de 66,00% (em 01/16). A média anual do FP foi de 62,05%. A Figura 23 mostra os resultados do Fator de Pesquisa citados anteriormente:

Figura 23 - Gráfico de colunas gerado pelo Excel contendo a média, o máximo e o mínimo dos valores dos Fatores de Pesquisa para o ponto 32694 no ano de 2016



Fonte: O Autor

Conforme Favero e Dib (1981 *apud* GIROL, 2008), em geral, se o Fator de Pesquisa estiver entre 0 e 0,25 (ou 0 e 25%), não há uma tendência de ocorrência de perdas. Para valores entre 0,25 (25%) e 0,6 (60%), há uma tendência de ocorrerem perdas e deve-se tomar cuidado. Valores acima de 0,6 (60%) representam um indicativo de perdas no ponto estudado. Há um indicativo de perdas entre os meses de janeiro a abril e de novembro a dezembro, pois

estes se encontram com valores de FP maiores que 60%, portanto, deve-se checar a RAD do Distrito 42.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O propósito deste trabalho foi organizar um banco de dados de pressão e vazão em pontos da Rede de Abastecimento de Água (RAD) do Distrito 42 no município de Recife -PE, criar uma planilha eletrônica e fazer um estudo com esses dados, de modo que o estudo nos forneça um resultado que possa dar um indicativo de perdas de água na RAD em questão.

Para a organização do banco de dados para posterior estudo dos mesmos, foi necessário um tratamento dos dados, retirando falhas relacionadas as perdas aparentes e reais, como dados fora de série e preenchendo-os, deixando o estudo dos dados mais consistente e permitindo um resultado mais preciso.

Os meses que apresentam um indicativo de perdas na RAD do Distrito 42 foram os meses de janeiro a abril e os meses de novembro a dezembro, estes com médias mensais de Fatores de Pesquisa variando entre 62,52% e 83,24%, apresentando uma média mensal de FP maior que 60% e requerendo cuidados na RAD e um alerta maior.

Este trabalho traz recomendações para trabalhos futuros, como avançar nos estudos da aplicação do Fator de Pesquisa (FP), ainda inicial em seu uso, ampliando a utilização do FP para outras áreas da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), mostrando, também, que há essa possibilidade de monitoramento das Redes de Abastecimento de Água ainda não implementada na COMPESA.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12213:** Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1992a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12216:** Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12217:** Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1994.

ALMEIDA, D. F. **Controle e Redução de Perdas Reais em Sistemas de Abastecimento de Água.** Apostila da disciplina de PHD 2537 – Águas em Ambientes Urbanos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, SP, 2006.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. Dados de monitoramento de pressão e vazão. Engenheiro Cláudio Henrique Milfont de Magalhães. Setembro, 2017.

FAVERO J.A.; DIB, M.E.M., **Pesquisa e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.** Revista DAE, n. 126, p. 50-59, 1981.

FAVRETTO, C. R.; SCHUMANN, C.; DALL'AGNOL, A.L.B.; NAZARI, M.T.; ARAÚJO, M.M.F.; QUADRO, M.S., "Análise do Sistema de Abastecimento de Água do município de Arroio do Padre/RS", p. 1253-1262 . In: **Anais do XIV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental [= Blucher Engineering Proceedings v.3 n.2]**. São Paulo: Blucher, 2016. ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/engpro-eneeamb2016-pogi-002-5063

FERNANDES, J. S.; OLIVEIRA, N.G., **Redução de perdas no abastecimento de água: estudo de caso no bairro Fábio Silva localizado no município de Tubarão.** 2017. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina.

GIROL, G. V. **Análise de perdas reais em um setor do sistema de abastecimento de água no município de Capinzal – SC.** 2008. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água:** Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias. 2a Edição. 242p. Editora Universitária / UFPB, 2004.

GONÇALVES, E. **Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – Estudo de caso da CAESB**. Brasília, 1998. Dissertação (Mestrado) Universidade de Brasília. Brasília – DF, 1998.

LIMA, R. H. P. **Identificação de Outliers usando Excel**. ago. 2016. Disponível em: <<http://aprendendogestao.com.br/identificacao-de-outliers/>>. Acesso em: 01 set. 2017.

MIRANDA, A. B.; TEIXEIRA, B.A.N., **Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário**. [2004]. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522004000400002>. Acesso em: 17 maio 2018.

ORSINI, E. Q. **Sistemas de abastecimento de água**. Apostila da disciplina PHD 412 – Saneamento II. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, SP, 1996.

PNCDA (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água). **Guias Práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água**. Brasília. Volume 1 a 5. Ministério das Cidades/SNSA, 2007.

PINHEIRO, J.I.D; CUNHA, S.B; CARVAJAL S.R; GOMES, G.C.; **“Estatística básica: A arte de trabalhar com dados”**; ELSEVIER; ISBN: 978-85-352-3030-7; 2009

SILVA, K.R.G.; SANTOS, E.L.; BASSO, F.A., **XI-010– Ajuste de pressões de distribuição por horário**. In: CONGRESSO ABES: FENASAN, 11., 2017, Curitiba.