



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo

DANIELA BONAZZI SODEK

**IMPACTO DA REDUÇÃO DE PRESSÃO EM REDES
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO PERFIL DE
CONSUMO**

CAMPINAS

2019

DANIELA BONAZZI SODEK

**IMPACTO DA REDUÇÃO DE PRESSÃO EM REDES
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO PERFIL DE
CONSUMO**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e
Urbanismo da Unicamp para obtenção do
título de Mestra em Engenharia Civil, na área
de Recursos Hídricos, Energéticos e
Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Jose Gilberto Dalfré Filho

Co-orientador: Prof. Dr. André Luís Sotero Salustiano Martim

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA DANIELA BONAZZI
SODEK, ORIENTADA PELO PROF. DR. JOSE GILBERTO
DALFRÉ FILHO

ASSINATURA DO ORIENTADOR

CAMPINAS

2019

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

So15i Sodek, Daniela Bonazzi, 1977-
Impacto da redução de pressão em redes de abastecimento de água no perfil de consumo / Daniela Bonazzi Sodek. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Jose Gilberto Dalfré Filho.
Coorientador: André Luis Sotero Salustiano Martim.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Engenharia hidráulica. 2. Abastecimento de água. 3. Água - Distribuição. 4. Água - Consumo. 5. Válvulas. I. Dalfré Filho, Jose Gilberto, 1976-. II. Martim, André Luis Sotero Salustiano, 1976-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Impact of pressure reduction in water distribution network on consumption profile

Palavras-chave em inglês:

Hydraulic engineering

Water - Supply

Water - Distribution

Water consumption

Water-pipe - Valves

Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Titulação: Mestra em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Jose Gilberto Dalfré Filho

Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes

Edevar Luvizotto Junior

Data de defesa: 30-04-2019

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-9639-9444>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/9774544429209985>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**IMPACTO DA REDUÇÃO DE PRESSÃO EM REDES DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO PERFIL DE CONSUMO**

Daniela Bonazzi Sodek

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Jose Gilberto Dalfré Filho
Presidente e Orientador /FEC - Unicamp

Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior
FEC - Unicamp

Dr. Cristóvão Vicente Sacapulatempo Fernandes
PPGERHA - UFPR

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 30 de abril de 2019

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais
Giancarlo Bonazzi e
Maria Lúcia Bonazzi com
todo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelas oportunidades que me proporciona, pela proteção e vida.

Agradeço ao meu querido esposo, Steven, pelo suporte e auxílio durante estes anos enquanto me dedicava a este trabalho. Também agradeço aos meus queridos filhos, Caio e Arthur por orarem a cada dia para que eu concluísse logo o meu trabalho, e permitirem que eu dedicasse boa parte do meu tempo estudando.

Minha eterna gratidão aos meus queridos pais Giancarlo e Lúcia Bonazzi, por dedicarem uma parte enorme do seu tempo com o Caio e o Arthur, possibilitando que este trabalho fosse realizado, não seria possível sem eles.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Jose Gilberto Dalfré Filho e co-orientador Prof. Dr. André Luis Sotero Salustiano Martim pelo auxílio, correções, recomendações e parceria. Também agradeço ao Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior e a Profa. Dra. Lubienka Cristina Lucas Jaquiê Ribeiro que compuseram a banca de qualificação deste trabalho pelas importantes contribuições. Também agradeço ao Prof. Dr. Cristóvão Vicente Sacapulatempo Fernandes que compôs a banca de defesa, pelas contribuições e importantes lições que jamais serão esquecidas.

Meu agradecimento especial a Sabesp por ter disponibilizado os valiosos dados de consumo de Várzea Paulista e a BRK Ambiental pelos valiosos dados de consumo de Palmas que viabilizaram o estudo apresentado neste trabalho.

Também agradeço a Prof. Dr. Sueli Irene Rodrigues Costa, do Departamento de Matemática do Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica (IMECC) por ter possibilitado a utilização do laboratório do Instituto como visitante para a utilização do Minitab® Statistical Software.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código do financiamento 001.

Exemplos dos resultados dos testes de hipóteses gerados pelo Minitab® Statistical Software são apresentados neste trabalho, e conforme solicitado pelo fabricante as seguintes declarações estão apresentadas em inglês:

"Portions of information contained in this publication are printed with permission of Minitab Inc. All such material remains the exclusive property and copyright of Minitab Inc. All rights reserved."

"MINITAB® and all other trademarks and logos for the Company's products and services are the exclusive property of Minitab, LLC. All other marks referenced remain the property of their respective owners. See minitab.com for more information."

RESUMO

A redução de pressão é uma medida frequentemente implantada para reduzir as perdas reais nos sistemas de abastecimento de água. Perdas reais referem-se ao volume de água produzido, porém não consumido, já as perdas aparentes referem-se ao volume de água consumido, porém não medido ou faturado. Neste contexto, contudo, há um desconhecimento da relação entre a redução de pressão e a redução efetiva no consumo de água. Sobretudo, no Brasil, a escassez de dados apropriados e a complexidade dos sistemas de abastecimento, requer estudos prementes para conhecer esta relação. O objetivo geral deste trabalho é relacionar a redução de pressão em setores de abastecimento de água predominantemente misto (através de caixas d'água e diretamente da rede) e a consequente redução de consumo. Para tanto dois estudos de caso são apresentados para os municípios de Várzea Paulista, e Palmas. Dados de consumo antes e depois da redução de pressão foram disponibilizados pelas companhias operadoras para 3 setores de Várzea Paulista e 4 setores de Palmas. Dados de setores onde válvulas redutoras de pressão não foram instaladas também foram analisados, servindo de comparação com os setores onde as válvulas foram instaladas. Os dados foram analisados através do teste estatístico t-pareado. Foram propostos três cenários para avaliar os dados disponíveis, Cenário 1 onde foram comparadas as médias de consumo de onze meses antes e onze meses depois a instalação da válvula redutora de pressão, Cenário 2 onde foram comparados o consumo do mês anterior a instalação da válvula e o mês posterior e, por fim, o Cenário 3 onde são comparadas as médias de consumo de seis meses após a instalação da válvula redutora de pressão e o consumo dos meses equivalentes antes da redução de pressão. Os resultados mostram que os setores de Várzea Paulista que sofreram redução de pressão não apresentaram redução de consumo para os cenários propostos. No entanto a redução de consumo foi observada nos setores de Palmas onde a redução de pressão foi implantada, enquanto os setores onde não houve alteração de pressão o consumo aumentou ou não apresentaram variação para o mesmo período. Estes resultados possivelmente refletem o tipo de consumo praticado nos municípios estudados, uma vez que a redução do consumo também depende da porcentagem do consumo externo, diretamente da rede de abastecimento.

Palavras chave: Sistema de abastecimento de água, perdas de água, válvula redutora de pressão, redução de consumo.

ABSTRACT

Pressure reduction is frequently adopted to reduce real water loss in water distribution systems. Real losses equate to the volume of water produced, but not consumed, in the other hand apparent losses refers to the volume of water consumed, but not measured or charged. On that context, however, there is an unknown parcel of the relationship between pressure reduction and the effective water consumption reduction. Specially in Brazil, the lack of appropriate data and the complexity of the water distribution systems, requires further studies to understand this relationship. The main objective of this work is to relate pressure reduction and consumption reduction in areas where the distribution is mixed (through private water tanks and consumption directly from the mains). For that, two case studies are presented for the cities of Várzea Paulista and Palmas. Consumption data before and after pressure reduction valves installation were made available by the operating companies for 3 sectors of Varzea Paulista and 4 sectors of Palmas. Data from areas where pressure reduction valves had not been installed were also analysed, serving as comparison with sectors where valves were installed. The data was analysed through the statistical test t-paired. Three scenarios were proposed to evaluate the data available, Scenario 1 where average consumption of eleven months before and eleven months after the installation of pressure reducing valves were compared, Scenario 2 where consumption from the month before valve installation and the month after were compared, and last, Scenario 3 where average consumption of six month after the installation of pressure reducing valve and the average consumption of the equivalent months before pressure reducing were compared. Results shows that the sectors form Varzea Paulista that had pressure reduction did not present consumption reduction for the proposed scenarios. However, consumption reduction was observed for the sectors of Palmas where pressure reduction was implanted, whilst the sectors where pressure were not altered, the consumption raised or did not present variation for the same period. These results possibly reflect the type of consumption of the cities studied, once consumption reduction will also depend on the percentage of external consumption directly from the water distribution network.

Key words: water distribution system, water losses, pressure reduction valves, consumption reduction.

Lista de Figuras

Figura 2.1: Relação entre pressão e vazamento utilizando N_1	41
Figura 2.2: Índice de perdas na distribuição de algumas cidades do Brasil.	46
Figura 2.3: Os quatro pilares para o controle de perdas aparentes.	50
Figura 2.4: Quatro pilares para o controle de perdas reais.	52
Figura 2.5: Gráfico da redução de pressão por uma VRP.....	56
Figura 2.6: Vazão em um setor de abastecimento antes e depois a redução de pressão.	57
Figura 2.7: Influência do gerenciamento de pressão em componentes do “BABE” da perda real.	58
Figura 3.1 Localização do Município de Várzea Paulista. Latitude: 23° 12' 41" S Longitude: 46° 49' 42" W.....	69
Figura 3.2: Localização dos subsetores VRP 1 e 2 e setor de comparação C1.....	70
Figura 3.3: Localização do subsetor VRP5 e o setor de comparação C3.	71
<i>Figura 3.4: Localização do município de Palmas. Latitude:10°11'4" S, Longitude: 48° 20' 1" W.....</i>	<i>73</i>
Figura 3.5: Localização dos setores VRP1, VRP2, C14 e C11 em Palmas.	75
Figura 3.6: Localização dos setores VRP4, VRP5, C9 e C10 em Palmas.	76
Figura 4.1: Porcentagem de variação de consumo para cada setor de Várzea Paulista.	84
Figura 4.2: Comparação da variação de consumo entre as médias de 11 meses antes e depois da instalação da VRP para os setores de Várzea Paulista.....	85
Figura 4.3: Comparação da variação de consumo entre os meses anterior e posterior a instalação da VRP.....	86
Figura 4.4: Comparação da variação de consumo entre as médias de 6 meses antes e depois da instalação da VRP.	86
Figura 4.5: Porcentagem de variação de consumo para cada setor de Palmas.	87
Figura 4.6: Comparação da variação de consumo entre as médias de 11 meses antes e depois da instalação da VRP para os setores de Palmas.....	88
Figura 4.7: Comparação da variação de consumo entre os meses anteriores e posteriores a instalação da VRP para os setores de Palmas.....	88
Figura 4.8 Comparação da variação de consumo entre as médias de 6 meses antes e depois da instalação da VRP para os setores de Palmas.	89

Figura 4.9: Boxplot com outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 1....	90
Figura 4.10: Boxplot sem outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 1..	92
Figura 4.11: Boxplot sem outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 2..	92
Figura 4.12: Boxplot sem outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 3..	93
Figura 4.13: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 1 todas as ligações.	94
Figura 4.14: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 1 considerando apenas as ligações diretas.	95
Figura 4.15: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 1 considerando apenas as ligações indiretas (através de caixa d’água).	96
Figura 4.16: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 2 considerando todas as ligações.	97
Figura 4.17: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 2 considerando apenas as ligações diretas.	97
Figura 4.18: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 2 considerando apenas as ligações indiretas (através de caixa d’água).	98
Figura 4.19: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 3 considerando todas as ligações.	98
Figura 4.20: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 3 considerando apenas as ligações diretas.	99
Figura 4.21: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 3 considerando apenas as ligações indiretas (através de caixa d’água).	100
Figura 5.1: Exemplo do Cartão Relatório gerado pelo Minitab® Statistical Software para o setor VRP1 de Palmas para todas as ligações.	101
Figura 5.2: Exemplo do Relatório de Diagnóstico gerado pelo Minitab® Statistical Software para o setor VRP1 de Palmas para todas as ligações.	102
Figura 5.3: Exemplo do Relatório Resumo gerado pelo Minitab® Statistical Software para o setor VRP1 de Palmas para todas as ligações.	103
Figura 5.4: Estimativa do consumo externo para o setor VRP1 de Palmas considerando o Cenário1.	115
Figura 5.5: Estimativa do consumo externo para o setor VRP2 de Palmas considerando o Cenário1.	115

Figura 5.6: Estimativa do consumo externo para o setor VRP4 de Palmas considerando o Cenário1.	115
---	-----

Lista de Quadros

Quadro 2.1 Classificação dos principais medidores de condutos sob pressão utilizados em sistemas de abastecimento de água.	24
Quadro 2.2 Componentes da perda aparente na operação dos medidores e ferramentas para intervenção.....	31
Quadro 2.3 Componentes da perda aparente que podem ocorrer durante a aquisição de dados e ferramentas para intervenção.	33
Quadro 2.4 Componentes da perda aparente provenientes de consumos não autorizados e consumidores sem medidores e ferramentas para intervenção.....	34
Quadro 2.5 Componentes da perda real e ferramentas para intervenção.	36
Quadro 2.6: Balanço hídrico.....	38
Quadro 2.7 Principais pontos de abastecimento residencial e a influência da pressão	62
Quadro 3.1 Resumo das características dos setores com VRPs de Várzea Paulista.	72
Quadro 3.2: Resumo das características dos setores de Palmas.	77

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Porcentagem de Redução de consumo em função da redução de pressão e porcentagem de consumo externo.	60
Tabela 3.1: Porcentagens de redução de consumo esperada para setores com abastecimento misto, onde N_{3i} é igual a zero.	81
Tabela 3.2: Redução de consumo esperada de acordo com a redução de pressão por faixa de consumo segundo a Equação(12) proposta por Lambert e Fantozzi (2010b).	81
Tabela 4.1: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Várzea Paulista – Cenário 1.	91
Tabela 5.1: Exemplo do resultado do teste de hipóteses. A tabela apresenta os resultados para os três cenários para o setor VRP 1 de Palmas considerando todas as ligações.	104
Tabela 5.2: Resultados dos testes de hipóteses para os setores de Várzea Paulista.	105
Tabela 5.3: Resultado dos testes de hipótese para os setores de Palmas considerando ligações diretas e indiretas.	108
Tabela 5.4: Resultado dos testes de hipótese para os setores de Palmas considerando apenas consumidores com ligações diretas.	109
Tabela 5.5: Resultado dos testes de hipótese para os setores de Palmas considerando apenas consumidores com ligações indiretas.	111
Tabela 5.6: Redução de consumo esperada considerando apenas consumo externo para os setores de Várzea Paulista.	112
Tabela 5.7: Variação de consumo observada para os setores de Várzea Paulista (os valores negativos indicam aumento de consumo).	113
Tabela 5.8: Redução de consumo esperada para os setores de Palmas.	113
Tabela 5.9: Variação de consumo observada para os setores de Palmas considerando os consumidores com abastecimento direto e indireto (os valores negativos indicam aumento de consumo).	114

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivo.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Sistema de abastecimento.....	20
2.2	Medidores de vazão.....	23
2.2.1	Micromedidores.....	24
2.2.2	Macromedidores.....	27
2.3	Perdas nos sistemas de abastecimento de água.....	29
2.3.1	Perdas Aparentes.....	30
2.3.2	Perdas Reais.....	35
2.4	Métodos de identificação e avaliação de perdas.....	37
2.4.1	“Top – down” - Balanço Hídrico	37
2.4.2	Análise de componentes das perdas reais- Método “BABE” e “FAVAD” 39	
2.4.3	“Bottom up” - Vazões mínima noturna MNF	43
2.5	Indicadores de perda.....	44
2.5.1	Indicadores econômico-financeiros de perdas	45
2.5.2	Indicadores de perdas reais técnicas ou operacional.....	45
2.5.3	Indicadores de perdas aparentes técnico ou operacionais.....	48
2.6	Controle e redução de perdas.....	49
2.6.1	Controle de perda aparente.....	49
2.6.2	Controle e redução de perdas reais.....	51
2.6.3	Gerenciamento de pressão	53
2.7	Efeitos da redução de pressão.....	57
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	68
3.1	Caracterização do município de Várzea Paulista.....	68

3.1.1	Caracterização dos setores de Várzea Paulista	70
3.2	Caracterização do município de Palmas.....	72
3.2.1	Caracterização dos setores de Palmas	73
3.3	Dados e seleção das amostras.....	77
3.4	Análises e cenários propostos	78
3.5	Análise de dispersão dos dados	80
3.6	Teste de hipótese.....	82
4	ANÁLISE DOS DADOS.....	84
4.1	Análises e cenários.....	84
4.1.1	Setores de Várzea Paulista	84
4.1.2	Setores de Palmas	87
4.2	Resultados da análise de dispersão dos dados.	89
4.2.1	Boxplots para os setores de Várzea Paulista	90
4.2.2	Boxplots para os setores de Palmas	93
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	101
5.1	Resultados da aplicação do teste de hipótese.....	101
5.1.1	Resultados para os setores de Várzea Paulista.....	105
5.1.2	Resultado para os setores de Palmas.....	107
5.2	Relação proposta por Lambert e Fantozzi	112
6	CONCLUSÕES.....	116
	REFERÊNCIAS.....	119
	ANEXO A.....	125
1	Métodos estatísticos.....	125
1.1	Análise dos dados.....	125
1.2	Teste de hipótese (Devore,2006).....	127
	ANEXO B.....	131
	ANEXO C.....	142

1 INTRODUÇÃO

A população urbana vem crescendo rapidamente nos últimos anos. A partir de 2008 mais de 50% da população mundial habita em centros urbanizados (UN-HABITAT, 2015). Estima-se que até 2050 dois terços da população mundial estarão residindo em áreas urbanizadas (UN-HABITAT, 2015). Este rápido crescimento populacional tem colocado em perspectiva vários aspectos do crescimento sustentável das cidades, entre outros, o acesso à água e a necessidade de um sistema de distribuição mais eficiente.

Atualmente, o índice de perdas de água médio para o Brasil é de 38%, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNISS, 2017) podendo chegar a mais de 70% em algumas concessionárias. Apesar de ainda representar uma grande parcela do volume tratado no país, as perdas no sistema de abastecimento de água têm diminuído ao longo dos anos. Esta porcentagem engloba as perdas reais e as perdas aparentes. As perdas reais, também chamadas de físicas, são provenientes do volume de água produzido, porém não consumido. Referem-se, por exemplo, aos vazamentos nas tubulações da rede de distribuição. As perdas aparentes são caracterizadas pelo volume de água consumido pelos usuários, que, porém, não é medido. Estas perdas são decorrentes, por exemplo, de imprecisões da medição e de ligações clandestinas e fraudes.

Um dos primeiros passos para gerenciar as perdas em um sistema de abastecimento de água é dividir o sistema de distribuição em áreas onde seja possível monitorar a vazão e pressão de entrada, bem como a pressão média. Estas áreas são chamadas de distritos de medição e controle (DMC) (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008). A divisão do sistema de abastecimento de água em DMCs possibilita o gerenciamento tanto das perdas reais quanto das perdas aparentes. Uma vez determinado o DMC pode ser elaborado o balanço hídrico que direciona as ações para regiões onde foram identificadas as maiores perdas (SOUZA JÚNIOR, 2014).

Em todo o mundo, a redução da pressão na rede tem sido uma medida largamente implantada como uma maneira de reduzir as perdas reais nos sistemas de abastecimento de água. Frequentemente, a redução de pressão é realizada através da instalação de uma válvula redutora de pressão (VRP) na entrada de um

DMC. Thornton e Lambert (2005) apresentam uma relação entre a redução de pressão e a redução do volume de perdas que vem sendo amplamente utilizada (a teoria FAVAD com o coeficiente N_1). Apesar do principal benefício ser a redução de perdas reais por vazamentos, a redução de pressão na rede também foi relacionada com a diminuição da frequência de rompimentos das redes (THORNTON; LAMBERT, 2007) bem como a redução de consumo (LAMBERT; FANTOZZI, 2010a). Segundo os autores a redução de consumo pode ser observada em setores que possuem abastecimento direto, com todos os pontos de consumo diretamente conectados à rede de abastecimento; ou misto, com pontos de consumo externos conectados diretamente à rede de distribuição e pontos de consumo interno abastecidos através de reservatório próprio.

Gomes, Souza e Sá Marques (2013) apresentam um estudo de caso onde foi possível quantificar o impacto na arrecadação devido à redução de pressão nos setores com abastecimento direto. No entanto, Galvão, (2007) investigou alguns setores com abastecimento indireto na grande São Paulo e concluiu que não era possível atribuir a redução de consumo à redução de pressão nestes setores de abastecimento. De acordo com Vicente *et al.*, (2016) “a redução do consumo é um objetivo crucial que pode ser atingido com a redução de pressão”... “porém sua eficácia requer melhor compreensão”. Dos estudos já realizados é possível identificar uma lacuna em relação a identificação da redução do consumo em áreas onde foram implantadas a redução de pressão. Desta forma, ainda existe um fator de desconhecimento do real impacto da redução de pressão no setor de abastecimento de água e a redução de consumo de água. Sobretudo, no Brasil, a escassez de dados apropriados e a complexidade dos sistemas de abastecimento, requer estudos prementes para conhecer esta relação.

1.1 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é relacionar a redução de pressão em setores de abastecimento de água predominantemente misto e a consequente redução de consumo. Caso exista uma redução de consumo identificar se esta segue as relações propostas por Fantozzi e Lambert (2010).

Este trabalho propõe dois estudos de caso onde os dados de consumo de alguns setores são conhecidos para um período antes da adoção da redução da

pressão e para o mesmo período depois da redução de pressão. Este estudo possibilitará, ademais, responder algumas questões importantes, como, se a redução de pressão em um sistema de abastecimento misto pode efetivamente promover economia de água e qual o impacto resultante para as operadoras dos sistemas e os seus clientes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O acesso a água sempre foi uma prioridade para o desenvolvimento humano, nos grandes centros urbanos para consumo industrial e consumo da população crescente, nas áreas rurais, para o consumo animal e irrigação das lavouras. A distribuição de água é possível através de um sistema de abastecimento de água. Segundo a ABNT NBR 12218 um sistema de abastecimento de água “é um conjunto de instalações destinadas a captar, transportar, tratar, reservar e distribuir água, compreendendo as unidades operacionais necessárias ao abastecimento”.

A água que chega até os consumidores percorre um longo percurso dentro do sistema de abastecimento, no caminho, parte da água se perde através de vazamentos, ou ainda, apesar de consumida não é contabilizada. O volume disponibilizado, porém, não faturado caracteriza a perda no sistema de abastecimento de água.

Esta revisão bibliográfica apresenta brevemente os principais componentes de um sistema de abastecimento de água convencional e os equipamentos utilizados na medição dos volumes de água produzidos e consumidos. Em seguida, apresenta onde e como podem ocorrer perdas no sistema de abastecimento e as maneiras de minimiza-las.

2.1 Sistema de abastecimento

A importância do sistema de abastecimento não se limita em fornecer água em quantidade suficiente para uma determinada população, mas também é importante que a água distribuída seja da melhor qualidade do ponto de vista físico químico e bacteriológico (NETO et al., 1998). Segundo Tsutiya, (2006) sistemas de abastecimento de água proporcionam grande impacto na redução de doenças infecciosas, visto que a água é o principal vetor destas doenças.

A concepção de um sistema de abastecimento de água depende principalmente do tipo de manancial, topografia local e população a ser atendida. A captação de água pode ocorrer em mananciais superficiais ou subterrâneos. Captações em mananciais superficiais podem ser em curso de água, em represas ou em manancial de serra. Já a captação em mananciais subterrâneos pode ser através de caixa de tomadas quando o lençol aflora, poços horizontais ou através de poços

profundos (TSUTIYA, 2006). Das captações subterrâneas os poços profundos são os mais utilizados para abastecimento público, visto que as outras duas fornecem pequena vazão sendo empregadas apenas em pequenas comunidades (TSUTIYA, 2006).

Após a captação a água bruta é transportada através de uma adutora até a estação de tratamento de água. O transporte da água bruta pode ser realizado por gravidade, quando existe um desnível topográfico suficiente entre o ponto de captação e a estação de tratamento que é o caso de algumas captações em manancial de serra, ou por bombeamento, quando a topografia do terreno não permite o escoamento por gravidade ou ainda na captação subterrânea. Neste caso são construídas estações elevatórias que consiste na implantação de uma casa de bombas e poço de sucção para o bombeamento da água até o local de destino, o dimensionamento da estação elevatória depende da vazão a ser captada e do desnível geométrico entre a captação e a estação de tratamento.

Existem vários métodos para o tratamento da água bruta, em geral o método depende da qualidade da água bruta. Uma estação de tratamento de água convencional clássica consiste nas etapas de coagulação e floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. A floculação é um processo químico com o objetivo de aglomerar as finas partículas em suspensão através da introdução de um agente coagulante, sendo o sulfato de alumínio o coagulante mais utilizado. Na etapa de decantação ocorre a separação das partículas sólidas da água. A etapa de filtração consiste em filtrar a água após a floculação para a retirada de sólidos. A desinfecção tem o objetivo de eliminar micro organismos presentes na água, os produtos mais utilizados na desinfecção são o cloro, o hipoclorito de sódio e a cal clorada (NETO et al., 1998)

Após o tratamento a água tratada é transportada até reservatórios através de adutoras por gravidade ou bombeamento. Os reservatórios são unidades destinadas a armazenar o volume de água necessário para compensar as variações horárias de vazão, assegurar uma reserva de água para incêndios e emergências e fornecer níveis mínimos de pressão necessária na rede (NETO et al., 1998). A localização dos reservatórios depende da demanda da comunidade a ser abastecida bem como da topografia local. Segundo Tsutiya (2006), quanto a localização no terreno os reservatórios podem ser enterrados, semienterrados, apoiados ou

elevados. Os reservatórios enterrados são mais custosos do que os reservatórios semienterrados ou apoiados, mas possuem a vantagem de serem isolados termicamente. Já os reservatórios elevados são construídos em situações onde a topografia não favorece o abastecimento por gravidade que garanta a pressão mínima na rede. Por causa do alto custo para a implantação e operação, os reservatórios elevados vêm sendo substituídos por “*boosters*” (bombas centrífugas), em unidades similares a estações elevatórias, porém não é necessário poço de sucção, a pressurização é feita diretamente na rede.

A água tratada é distribuída dos reservatórios aos consumidores através das redes de distribuição, que são constituídas por tubulações, bem como peças especiais de manobra que garantam o abastecimento constante e com pressão dentro dos limites recomendados pela norma. De acordo com a norma NBR 12218 1994 da ABNT a rede de distribuição deve operar à pressão dinâmica mínima de 10 mca e estática máxima de 50 mca. Para atender as recomendações de pressões mínimas e máximas as redes são divididas em zonas de pressão. O abastecimento é feito através de reservatórios elevados ou boosters para garantir a pressão mínima nos pontos altos do setor. Para limitar as altas pressões nos pontos baixos do setor geralmente são utilizadas válvulas redutoras de pressão (VRPs), estas válvulas introduzem uma perda de carga proporcional à pressão de montante do ponto de instalação com o objetivo de estabilizar o nível piezométrico a jusante. Muitas vezes VRPs são instaladas após a implantação da rede de distribuição para reduzir não somente a pressão, mas também reduzir o volume de perdas como será abordado no item 2.6.3 deste trabalho. O traçado das redes de distribuição depende das configurações da cidade e dos seus bairros podendo ser classificadas quanto ao traçado em rede malhada ou ramificada. A rede malhada admite circulação em cada trecho de acordo com a diferença de pressão entre os seus nós extremos e as redes ramificadas admite um único sentido de circulação (NETO et al., 1998).

Perdas de água podem ocorrer em qualquer unidade do sistema de abastecimento de água, porém as redes de distribuição apresentam a maior incidência de perdas reais e aparentes como será abordado no item 2.3. As redes são divididas em setores de abastecimento, na entrada de cada setor medidores de vazão geralmente são instalados, estes são chamados de macromedidores. Medidores de

vazão geralmente também são instalados em ramais, ou seja, ligação da rede de abastecimento com consumidores, estes são os chamados micromedidores.

2.2 Medidores de vazão

Segundo a norma NBR 10977, (ABNT 2017) medidor de vazão é um “instrumento usado para medir a quantidade de fluido que escoar em um determinado conduto por unidade de tempo”. No sistema de abastecimento de água é fundamental medir a vazão captada, a vazão produzida na estação de tratamento, bem como as vazões disponibilizadas para cada reservatório e cada setor da rede de abastecimento, possibilitando o gerenciamento e controle da produção e distribuição, estes medidores do sistema de abastecimento são denominados macromedidores. Medidores de vazão também são utilizados nas ligações prediais, ou ramais, com o objetivo de medir o volume consumido por cada economia, estes medidores são chamados micromedidores. O volume medido pelos micromedidores possibilita a cobrança pela água consumida, o planejamento de investimentos futuros, bem como uma maneira de obter dados fundamentais que auxiliam os programas de redução de perdas e redução de consumo (AWWA, 2009). No Brasil a maioria das ligações prediais possuem medidores. Em 2008, o país possuía 5.531 municípios com redes de abastecimento de água somando mais de 40 milhões de ligações, destas, 84,2% possuíam medidores de vazão (IBGE, 2010).

Em geral, os medidores de vazão utilizados nos sistemas de abastecimento de água podem ser classificados de acordo com o princípio de funcionamento em; medidores mecânicos, medidores diferenciais ou deprimogêneos, medidores ultrassônicos e medidores eletromagnéticos (COELHO, 1983).

Para a escolha do medidor devem ser levadas em consideração as condições de operação dos medidores, a qualidade da água, temperatura, pressão, condições de instalações e a vazão a ser medida (TSUTIYA, 2006). O correto dimensionamento dos medidores bem como a correta instalação é fundamental para garantir a precisão dos volumes computados. O Quadro 2.1 apresenta de forma simplificada os principais medidores de vazão de condutos sob pressão utilizados em sistemas de abastecimento de água.

Quadro 2.1 Classificação dos principais medidores de condutos sob pressão utilizados em sistemas de abastecimento de água.

Medidores de água para condutos forçados	Mecânicos	Inferencial ou velocimétrico	Tangenciais:		• Monojato • Multijato
			Áxiais:		• Woltmann • Hélice
		Volumétricos ou de deslocamento positivo	• Disco Nutante		
			• Pistão Oscilante		
			• Pistão Alternativo		
			• Cilindro Rotativo		
		Medidores compostos			
	Diferenciais	Placa de orifício			
		Bocais			
		Venturi			
		Tubo Pitot			
	Eletromagnéticos				

Fonte: Adaptado de Coelho,(1983).

2.2.1 Micromedidores

Os micromedidores são equipamentos de medição de vazão, utilizados para contabilizar o volume de água consumido por cada ligação predial, ou ramal. O volume contabilizado pelos micromedidores corresponde ao volume que sai do sistema de abastecimento de água. Também chamados de hidrômetros, estes equipamentos são geralmente compostos por uma câmara de medição, um sistema de transmissão e um mostrador dos volumes escoados. Os hidrômetros podem ser classificados segundo o princípio de funcionamento da câmara de medição, segundo o sistema de transmissão, segundo a relojoaria e segundo o tipo de mostrador (TSUTIYA, 2006).

Os hidrômetros residenciais mais utilizados no Brasil podem ser classificados quanto ao princípio de funcionamento como velocímetros ou volumétricos. Os hidrômetros velocimétricos, também denominados taquimétricos ou inferenciais, efetuam a medição de volume de maneira indireta. Segundo Tsutiya, (2006) neste tipo de hidrômetro o volume consumido é obtido através da conversão da velocidade da água em número de rotações de uma turbina que por sua vez, está

relacionado com o volume escoado. De acordo com Neto et al., (1998) os hidrômetros velocimétricos possuem um menor custo de implantação, a manutenção é facilitada e são menos sensíveis as impurezas da água, no entanto são menos precisos do que os hidrômetros volumétricos. Apesar dos hidrômetros velocimétricos serem menos precisos, estes ainda são os mais utilizados no Brasil por serem mais baratos.

Os hidrômetros velocimétricos podem ainda ser classificados em relação ao mecanismo giratório, podendo ser através de rotor com pás ou hélices (TSUTIYA, 2006), (COELHO, 1983). Os hidrômetros de rotor com pás podem ser monojato ou multijatos, de acordo com o número de orifícios na entrada de água da câmara. Os hidrômetros de hélice são utilizados para medir a vazão de grandes consumidores como indústrias, edifícios públicos ou em edifícios com múltiplas moradias onde as vazões consumidas são maiores. No Brasil, o tipo de hidrômetro velocimétrico com mecanismo giratório em hélice mais utilizado é o Woltmann.

Hidrômetros volumétricos medem o volume de forma direta através de um recipiente de volume conhecido que se enchem e se esvaziam com a passagem da água, o volume é obtido através da contagem do número de vezes que este recipiente foi preenchido e esvaziado e, então, estes dados são convertidos em medida de volume (TSUTIYA, 2006). Os hidrômetros de volume produzem uma menor perda de carga, são mais precisos do que os velocimétricos, contabilizando consumos muito pequenos. No entanto, estes são mais caros do que os velocimétricos e mais frágeis, o seu funcionamento pode ser interrompido por partículas em suspensão na água (TSUTIYA, 2006). Quanto ao mecanismo dos hidrômetros volumétricos, os mais comuns são os de disco nutante e o de êmbolo anular rotativo. A qualidade da água tratada distribuída no Brasil tem melhorado nos últimos anos viabilizando a utilização de hidrômetros volumétricos, apesar do custo superior estes são mais precisos, minimizando assim a perda de faturamento por submedição.

Quanto ao sistema de transmissão os hidrômetros podem ser totalmente mecânicos ou magnéticos. Segundo Tsutiya, (2006) nos sistemas mecânicos, o movimento gerado pela passagem da água pela câmara é mecanicamente transmitido e transformado através de eixos de engrenagens até a unidade de conversão. Já os sistemas de transmissão magnética, o movimento é transmitido por meio de um acoplamento magnético. Dependendo do tipo de relojoaria em relação ao fluxo de água os hidrômetros podem ser classificados em relojoaria totalmente seca, relojoaria

seca, relojoaria úmida, relojoaria úmida com totalizador imerso. Quanto ao tipo de mostrador os hidrômetros podem ser de ponteiros, de cilindros ciclométricos ou mistos.

Os medidores também são classificados de acordo com a classe metrológica, que determinam parâmetros máximos e mínimos para os erros admissíveis para os campos inferiores e superiores. A classe metrológica está relacionada com o nível tecnológico do hidrômetro (TSUTIYA, 2006). As normas internacionais costumavam classificar os medidores em classes metrológicas A, B, C e D apesar de algumas normas brasileiras vigentes ainda utilizar classes metrológicas, a nova norma NBR16043 (ABNT, 2012) está vigente e está sendo atualizada de acordo com a norma internacional ISO4064-1 2014 (IOS, 2014a). A nova norma apresenta duas classes de precisão, tipo 1 e 2, para cada classe valores de erro máximo são estabelecidos para vazões altas e baixas. No sistema metrológico antigo medidores classe A são os de menor precisão e os de classe D os mais precisos.

Atualmente na maioria dos sistemas de abastecimento de água a leitura dos volumes micromedidos é realizada manualmente por um leiturista, no entanto é possível a instalação de um sistema de telemedição que possibilita o acompanhamento do consumo de forma remota. Para a implantação da telemetria é necessário que os medidores residenciais sejam eletrônicos com protocolo de comunicação, ou hidrômetro convencional com saída pulsada. Inicialmente um centro de medição era instalado próximo ao hidrômetro do cliente para captar, armazenar e transmitir os dados, hoje com a tecnologia de processamento de dados em “nuvens”, os dados são transmitidos diretamente do medidor para a “nuvem” de onde a central de processamento de dados pode acessá-los. A transmissão dos dados pode ser via celular, discada, via satélite ou rádio frequência (TSUTIYA, 2006). A utilização de telemetria oferece vantagens como a eliminação de possíveis erros de leitura contribuindo para controle de perdas aparentes e auxiliam na identificação dos volumes de perda real, no entanto a implantação do sistema de telemetria ainda é limitada em virtude do custo dos equipamentos e a implementação do sistema. Mesmo com o avanço tecnológico possibilitando custos de equipamentos mais acessíveis os operadores ainda não estão preparados para lidar com a elevada quantidade de dados (PACHECO, 2010).

2.2.2 Macromedidores

Os macromedidores são medidores de vazão que contabilizam o volume de água que entra no sistema de abastecimento de água e são instalados em pontos específicos do sistema, tal como a saída de um reservatório de abastecimento, ou na entrada de um setor. A diferença entre o volume total computado pelos macromedidores (volume macromedido) e micromedidores (volume micromedido) caracteriza o volume de águas não faturadas. Em um programa de redução de perdas o volume macromedido é o ponto de partida para os cálculos do volume perdido, desta forma a precisão em computar este volume tem grande influência na estimativa das perdas. Por este motivo, em geral é recomendável que sejam utilizados para a macromedição medidores de maior precisão, baixa manutenção e que utilizem a mais avançada tecnologia disponível (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

Os medidores deprimogêneos, eletromagnéticos e ultrassônicos tem sido os mais utilizados como macromedidores. Em geral, medidores destinados a macromedição tem capacidades para medir volumes maiores com maior precisão do que os equipamentos utilizados na micromedição, no entanto alguns dos equipamentos utilizados na macromedição podem apresentar os mesmos mecanismos de funcionamento dos hidrômetros utilizados na micromedição. Por exemplo, os hidrômetros velocimétricos de hélice do tipo Woltmann também podem ser utilizados nas linhas das adutoras, saídas de reservatórios, saídas da estação de tratamento de água, etc., por possuírem a capacidade de registrar grandes vazões (COELHO, 1983).

Os medidores deprimogêneos ou diferenciais possuem um princípio de funcionamento baseado na medição de diferencial de pressão estática a jusante e a montante de um elemento primário instalado na tubulação. O elemento primário, neste caso, pode ser uma placa de orifício, um bocal ou um Tubo Venturi (ABNT NBR5167-1/2008). A placa de orifício “consiste em uma placa fina com uma abertura circular”. O bocal é um “dispositivo que consiste em uma entrada convergente conectada a uma seção cilíndrica”. O tubo Venturi é um “dispositivo que consiste em uma entrada cônica convergente conectada a um trecho cilíndrico chamado garganta, seguida de uma seção cônica chamada divergente” (ABNT NBR5167-1/2008). O Tubo Venturi está entre os medidores mais utilizados na macromedição (MARTIM, 2005). A pressão diferencial inserida pelo elemento primário é registrada por um elemento secundário

que transforma a variação de pressão em leitura de vazão, os elementos secundários são dotados de manômetros e um elemento de transmissão que pode ser elétrico ou pneumático. A desvantagem dos medidores diferenciais é a perda de carga que dependendo da vazão escoada pode ser elevada acarretando em perda de energia (COELHO, 1983).

O Tubo de Pitot também é um método de determinação de vazão utilizando diferencial de pressão. Consiste em uma haste metálica com duas tubulações, uma com tomada da pressão estática e outra da pressão total (ABNT NBR ISO3966, 2013). O diferencial de pressão é transmitido a um medidor secundário onde a proporcionalidade entre a diferença de pressão e a velocidade é calculada e a vazão é determinada. O Tubo de Pitot geralmente é utilizado de forma portátil na pitometria para um diagnóstico do comportamento hidráulico de partes do sistema de abastecimento de água (COELHO, 1983).

Medidor eletromagnético, segundo a ABNT NBR 9104, (1999) “é um medidor de vazão que cria um campo magnético perpendicular ao fluxo, possibilitando assim a determinação da vazão a partir da força eletromotriz (f.e.m.) produzida pelo movimento de um fluido condutor em um campo magnético. O medidor de vazão eletromagnético consiste em um elemento primário e um ou mais elementos secundários”. Ainda segundo a NBR 9104/1999 os elementos primários podem ser de três tipos 1) um tubo de medição isolado eletricamente pelo qual o escoamento ocorre, 2) um ou mais pares de eletrodos diametralmente opostos através do qual o fluido é medido, 3) uma bobina elétrica para produzir um campo magnético no tubo medido. O elemento secundário é o equipamento que contém um circuito eletrônico que extrai o sinal, a partir da leitura do diferencial de potencial em Volts dos eletrodos em função do escoamento da água, e converte em sinal padrão de saída proporcional à vazão.

Os medidores eletromagnéticos, apesar do alto custo, são muito precisos, a perda de carga é desprezível, pois não possuem partes móveis, podem ser utilizados para medir vazão de fluídos que contenham sólidos em suspensão, são compatíveis com qualquer diâmetro e qualquer vazão e podem ser instalados em tubulações sem comprimento reto disponível. Por estes motivos estes medidores vêm sendo utilizados em diversas indústrias, incluindo a indústria química, alimentícia, têxtil, etc., bem como em todos os aspectos dos sistemas de tratamento de água e esgoto (MARTIM, 2005).

Os medidores ultrassônicos segundo a ABNT NBR 16198, (2013) são “medidores de vazão que geram sinais ultrassônicos e recebe depois de eles terem sido influenciados pelo escoamento, de modo que o resultado observado possa ser usado como uma medida de vazão.” Ainda, segundo a mesma norma, estes medidores “consistem geralmente em transdutores ultrassônicos e equipamentos que avaliam a medição de vazão dos sinais ultrassônicos emitidos e recebidos e converte estes sinais para um sinal de saída padrão proporcional a vazão.” Um dos métodos utilizados pelos medidores ultrassônicos é o tempo de trânsito, “a velocidade média do fluido ao longo da trajetória acústica é determinada pela diferença de tempo de trânsito de dois sinais ultrassônicos, propagando-se a montante e a jusante, cobrindo a mesma distância no fluido em escoamento” ABNT NBR 16198, (2013). A medida de velocidade é realizada através de transdutores ultrassônicos que podem ser instalados externamente a tubulação (transdutores secos ou do tipo Clamp-on) ou transdutores inseridos (em contato com o fluido). Os medidores ultrassônicos do tipo Clamp-on vem sendo mais utilizado por sua facilidade de instalação em tubulações de qualquer diâmetro (MARTIM, 2005)

Com o avanço da tecnologia os sistemas de automação e telemetria vêm adquirindo popularidade em relação a operação dos sistemas de abastecimento de água. Apesar do alto custo de implantação, a comparação custo benefício geralmente leva a optar pela utilização dos equipamentos de transmissão eletrônica para dados de macromedidores entre outros equipamentos de operação do sistema de abastecimento (TSUTIYA, 2006). Em relação à aquisição de dados de macromedidores, Thornton, Sturm e Kunkel (2008) recomendam a utilização de sistemas de aquisição de dados e controle supervisionado (SCADA – “*Supervisory Control and Data acquisition*”) ou similares.

2.3 Perdas nos sistemas de abastecimento de água

As perdas nos sistemas de abastecimento de água englobam o volume de água produzido que não chega aos pontos de consumo e o volume de água consumido que não gera retorno financeiro. Estas podem ser classificadas em perdas reais e perdas aparentes (AWWA, 2009). Perdas reais referem-se ao volume de água produzido, porém não consumido, como, por exemplo, o volume perdido através das juntas, rupturas, extravasamentos de reservatórios e tanques, entre outros. Perdas

aparentes referem-se ao volume de água consumido, porém não faturado, como, por exemplo, erro de leitura dos medidores, medidores inadequados para a faixa de vazão consumida, bem como ligações clandestinas e fraudes.

O problema associado às perdas reais está no grande volume de água que é extraído, tratado e transportado que, porém, não será consumido. Já as perdas aparentes representam um grande impacto financeiro para as concessionárias, podendo superar o impacto financeiro das perdas reais (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008). Compreender como e onde as perdas ocorrem e evitar sua ocorrência é, atualmente, alvo de inúmeros estudos ao redor do mundo. A seguir serão abordadas as maneiras em que cada tipo de perda pode ocorrer no sistema de abastecimento de água.

2.3.1 Perdas Aparentes

De acordo com Thornton, Sturm e Kunkel (2008), as principais causas de perdas aparentes são os erros nas medições e consumo não autorizados. Os erros nas medições podem ocorrer, por exemplo, através da leitura equivocada dos dados, desgaste dos medidores, instalação incorreta do equipamento, especificações incorretas dos medidores, dimensionamento incorreto, falta de testes e manutenção periódica e condições climáticas inapropriadas para operação dos equipamentos. O consumo não autorizado ocorre quando consumidores cometem fraudes nas instalações dos hidrômetros, ou intencionalmente fazem suas conexões à rede de abastecimento de água ilegalmente sem a instalação de medidores ou não são adicionados a relação de consumidores autorizados.

O conhecimento da demanda é uma ferramenta importante no planejamento de investimentos futuros, bem como uma maneira de obter dados fundamentais que auxiliam os programas de redução de perdas e redução de consumo (AWWA, 2009). A utilização de medidores é a melhor maneira de monitorar o consumo, a AWWA recomenda a utilização de medidores de vazão em todas as ligações. No Brasil a maioria das ligações possuem medidores (IBGE, 2010), no entanto, países onde os medidores de vazão não são adotados, como, por exemplo, na Inglaterra, é necessário fazer uma aproximação do consumo através de uma amostra representativa de alguns medidores instalados e estatisticamente inferem perfis de consumo para o restante dos consumidores (AWWA, 2009). Entretanto, um

amplo parque de medidores não garante a qualidade dos dados, existem alguns fatores que podem impactar a precisão dos dados provocando a submedição.

Jhonson e Vermersch, (2010) dividem as perdas aparentes em quatro categorias; erro nos medidores, erro na aquisição de dados, consumo não autorizado e erro na estimativa de consumidores autorizados sem medidores. Os Quadros 2.2, 2.3 e 2.4 apresentam estas categorias, relacionando onde e como elas pode ocorrer e apresenta ferramentas de intervenção para cada subcategoria de perda aparente para que estas possam ser mitigadas.

Quadro 2.2 Componentes da perda aparente na operação dos medidores e ferramentas para intervenção.

Categoria de perda aparente	Subcategoria de perda aparente	Definição	Ferramentas para intervenção
Erro nos medidores	Erro nos hidrômetros	Envelhecimento	• Definir uma curva idade x uso; • Política de substituição de hidrômetros definida
		Instalação inadequada de hidrômetros	• Definir procedimentos e desenhos padrão; • Treinamento; • Substituição de hidrômetros instalados fora do padrão.
		Impacto das instalações do consumidor (ex. Caixa d'água)	• Fazer estudos de laboratório • Dimensionar e selecionar os hidrômetros corretamente
		Hidrômetros superdimensionados (para grandes consumidores)	• Estabelecer o perfil de consumo; • Instrução para o dimensionamento; • Substituição dos hidrômetros superdimensionados.
	Gerenciamento de medidores	Hidrômetros fora de operação	• Definir procedimento de detecção e substituição

Fonte: Adaptado de Jhonson e Vermersch, (2010).

O Quadro 2.2 apresenta os componentes de perda aparente que podem ocorrer na operação dos medidores. De acordo com AWWA (2009) erros provenientes da imprecisão dos medidores são o principal fator de perdas aparentes.

Hidrômetros que ultrapassam sua vida útil podem apresentar submedição (AWWA, 2009) e (JHONSON, E. H., VERMERSCH, 2010) sendo responsabilidade

das concessionárias verificar o bom funcionamento dos hidrômetros no decorrer de sua utilização. De acordo com o INMETRO (2000) os hidrômetros em uso devem passar por verificações periódicas a cada cinco anos. Verificações eventuais também podem ser realizadas a pedido do usuário ou quando as concessionárias julgarem necessário. Os hidrômetros em uso podem ser considerados aprovados quando os erros não ultrapassarem 10% entre a vazão mínima e a vazão de transição e 5% entre a vazão máxima e a vazão de transição. (INMETRO, 2000) .

A correta instalação dos hidrômetros também é fundamental para garantir a precisão nas leituras. Os hidrômetros devem ser instalados com o eixo da turbina na posição vertical. A instalação dos medidores com um ângulo de inclinação ainda é uma prática comum sob a justificativa de facilitar o trabalho do leiturista. Gularte, (2005), realizou ensaios em laboratório com hidrômetros novos variando o ângulo de instalação dos mesmos. Segundo o autor, hidrômetros instalados com o eixo da turbina a 45° em relação a vertical, apresentaram erro na medição superior a 8%, podendo chegar a 15% quando instalados a 90°.

Em setores onde o abastecimento é indireto, pode ser observado um fator de submedição devido a utilização frequente de válvulas tipo boia no controle da entrada das caixas. Estas boias abrem e fecham vagarosamente, permitindo assim, a passagem de vazões menores do que as vazões mínimas registradas pelos hidrômetros. Rizzo e Cilia, (2005) realizaram um estudo em residências típicas da Ilha de Malta que possuíam abastecimento indireto, ou seja, através de caixa d'água, e concluíram que, nestas condições a submedição pode chegar a 9% do valor efetivamente consumido por residência, o que representa 7,5 m³ por residência por ano, os autores recomendam a utilização de válvulas solenoide na entrada da caixa d'água como uma forma de controlar este tipo de perda aparente. Pereira (2007) realizou estudo semelhante em residências de interesse social na cidade de Campinas, neste, foi realizada também a comparação do desempenho de boias convencionais e válvulas de alta vazão na entrada das caixas d'água, a submedição também foi identificada, o autor recomenda a utilização de válvulas de alta vazão na entrada das caixas d'água ou a utilização de hidrômetros volumétricos que apesar de apresentarem maior custo de implantação são mais precisos. A seleção de medidores apropriada para o tipo de consumo é fundamental para evitar a submedição.

A precisão dos dados registrados pelos medidores é apenas um dos fatores que contribuem para o aumento do volume das perdas aparentes. Erros podem ocorrer ao longo do ciclo de aquisição de dados, que tipicamente compreende a leitura rotineira dos medidores, transferência dos dados de leitura para o sistema de cobrança, arquivamento de dados e apresentação do consumo em relatórios. Estes erros acarretam não apenas perda de faturamento para as concessionárias, mas também impactam no dimensionamento de ampliações do sistema de abastecimento (AWWA, 2009). O Quadro 2.3 apresenta os componentes da perda aparente que podem ocorrer durante o ciclo de aquisição de dados.

Quadro 2.3 Componentes da perda aparente que podem ocorrer durante a aquisição de dados e ferramentas para intervenção.

Categoria de perda aparente	Subcategoria de perda aparente	Definição	Ferramentas para intervenção
Erro durante o ciclo de aquisição de dados	Volume que entra no Sistema e Volume fornecido	Erro na macromedicação	• Estabelecer protocolo de calibração; • Procedimento de calibração; • Sistema de qualidade credenciado de calibração • Substituição de macromedidores
		Erro na leitura e transmissão de dados	• Auditoria técnica, • Reparo ou substituição de medidores
	Erro na leitura dos hidrômetros dos consumidores	Leitura de hidrômetros manual ou parcialmente manual	• Auditoria dos procedimentos de leitura de hidrômetros; • Uso de equipamentos eletrônicos digitais
		Leitura automática de hidrômetros	• Auditoria técnica; • Instalação do sistema de telemetria
	Erro no processamento de dados	Erro no sistema de cobrança	• Auditoria dos procedimentos e sistema de cobrança; • Aprimoramento do sistema de cobrança existente
		Erros no manuseio de outros dados	• Auditorias específicas

Fonte: Adaptado de Jhonson e Vermersch, (2010).

O Quadro 2.4 apresenta os componentes da perda aparente pelo consumo não autorizado e consumidores sem medidores e ferramentas de controle.

Quadro 2.4 Componentes da perda aparente provenientes de consumos não autorizados e consumidores sem medidores e ferramentas para intervenção.

Categoria de perda aparente	Subcategoria de perda aparente	Definição	Ferramentas para intervenção
Consumo não autorizado	Consumidores registrados	By-pass de hidrômetros e outras fraudes	• Investigação da base de dados de consumidores; • Investigação em campo nos locais suspeitos.
		Novas ligações não registradas	
		Consumidores desconectados ilegalmente conectados	
		Consumidores inativos conectados	
	Consumidores não registrados	Ligações ilegais	• Mapeamento através de “GIS” • Investigações em campo;
		Consumo em áreas de baixa renda	• Ampla abordagem incluindo fatores sociais e de comunicação
Erros na estimativa de consumidores sem medidores	Equipamentos da rede	Ligações clandestinas em hidrantes ou outros equipamentos da rede	• Instalação de equipamentos mais seguros; • Desenvolver procedimento de segurança;
	Pequenos consumidores		• Orçamento e programa para instalação de hidrômetros • Medição de uma amostra das conexões sem medidores
	Grandes consumidores		• Instalação de hidrômetros

Fonte: Adaptado de Jhonson e Vermersch, (2010).

O consumo não autorizado ocorre quando consumidores utilizam um volume de água do sistema de abastecimento sem que este seja faturado. Na maioria das vezes ocorrem através de ações fraudulentas por parte dos consumidores. Jhonson e Vermersch (2010) divide o consumo não autorizado em três subcategorias, a primeira ocorre quando consumidores registrados executam uma ação fraudulenta, por exemplo através da instalação de *by-pass*, retirada dos medidores, vandalismo, instalação de imã para parar o medidor, colocação de agulha para interferir com a rotação e marcação do medidor, etc... A segunda subcategoria ocorre quando

consumidores não registrados executam ligações ilegais diretamente a rede sem a utilização de medidores, sendo esta uma prática muito frequente no Brasil em áreas não urbanizadas com alta densidade de ocupação. A última subcategoria do consumo não autorizado apresentado pelo autor é o consumo feito diretamente de hidrantes ou outro equipamento da rede. Jhonson e Vermersch (2010) ainda apresentam uma última categoria onde pode ocorrer a perda aparente, as estimativas de consumo dos consumidores sem medidores. Apesar da maior parte dos consumidores no Brasil possuírem medidores (84,2%) (IBGE, 2017) ainda existe no país 16,8% de ligações onde o consumo é estimado.

2.3.2 Perdas Reais

O volume de perdas reais é a diferença entre o volume de água que entra no sistema de abastecimento e o volume que chega aos pontos de consumo autorizado, excluindo-se as perdas aparentes. Este volume é perdido através de vazamentos em adutoras, ligações e extravasamentos de tanques e reservatórios. De acordo com a AWWA (2009), o extravasamento de tanques e reservatórios é pouco frequente e, na maioria das vezes, são visíveis, portanto, controlados rapidamente, representando uma pequena parcela do volume perdido. Desta forma, em geral, os trabalhos sobre controle de perdas reais são voltados a vazamentos na rede de distribuição (AWWA, 2009), (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008). Os vazamentos podem ser atribuídos, por exemplo, a má execução de redes e ramais, baixa qualidade dos materiais empregados, armazenamento precário dos materiais antes da instalação, recomposição de valas precárias, pressões do regime transitório, excesso de pressão na rede de distribuição, corrosão das tubulações, vibração e carga do tráfego de veículos, intempéries e a falta de um programa adequado de manutenção. Ainda de acordo com Thornton, Sturm e Kunkel (2008), o volume de perdas reais proveniente de vazamentos é composto por três tipos distintos de vazamentos; os reportados, os não reportados e os indetectáveis. O Quadro 2.5 apresenta a descrição destes vazamentos e as ferramentas de intervenção que podem ser utilizadas em cada caso.

Quadro 2.5 Componentes da perda real e ferramentas para intervenção.

Tipos de vazamento	Definição	Ferramentas para intervenção
Vazamentos reportados	• Grandes vazões; • Visíveis e evidentes; • Curta duração; • São reportados por consumidores ou operadores;	• Redução de pressão na rede; • Substituição de redes e ramais antigos; • Otimização do tempo de reparo.
Vazamentos não reportados	• Vazões moderadas; • Geralmente não são visíveis; • Longa duração; • São detectáveis através de programas de detecção de perdas que utilizam equipamentos acústicos de detecção de vazamentos tradicionais	• Redução de pressão na rede; • Substituição de redes e ramais antigos; • Redução no número de juntas e equipamentos de manobra; • Programas de detecção de vazamentos proativos.
Vazamentos indetectáveis	• Vazões muito pequenas; • Não são detectáveis por equipamentos acústicos de detecção de vazamentos tradicionais. • O vazamento é contínuo até que piore e a vazão aumente até que possa ser detectada.	• Redução de pressão na rede; • Substituição de redes e ramais antigos; • Redução no número de juntas e equipamentos de manobra;

Fonte: Adaptado de Thornton, Sturm e Kunkel (2008).

Ainda segundo Thornton, Sturm e Kunkel (2008), apesar das vazões dos vazamentos reportados serem grandes, estes normalmente ocorrem por um curto período, contribuindo apenas com uma pequena parcela do volume de perdas reais. Já os vazamentos não reportados podem ocorrer por muitos anos acarretando em um volume de perdas muito superior aos vazamentos de grandes vazões, confirmando a importância dos programas de detecção de vazamentos. O gerenciamento de pressão nas redes vem sendo utilizado com frequência como uma maneira de diminuir o volume de perdas reais, visto que pode impactar na redução de todos os tipos de vazamentos descritos, inclusive, na diminuição dos vazamentos indetectáveis.

Historicamente, o gerenciamento e manutenção dos vazamentos era realizado apenas quando estes se tornavam visíveis, no entanto hoje existem

tecnologias que possibilitam detectar os vazamentos que não são reportados. Estes equipamentos são utilizados nos programas ativos de detecção de vazamentos e geralmente utilizam métodos acústicos ou métodos de medição de vazão. Os equipamentos que utilizam métodos acústicos são capazes de identificar o ponto exato na rede de abastecimento onde estão ocorrendo vazamentos, no entanto não é possível quantificar as vazões. Já os equipamentos que detectam vazamentos através de medição de vazão, são capazes de quantificar os vazamentos em uma determinada área, porém não identifica sua exata localização.

2.4 Métodos de identificação e avaliação de perdas

Uma vez identificados os tipos de perdas e suas possíveis situações de ocorrência serão apresentados os métodos de avaliação de perdas proposto pela *International Water Association's* (IWA) / *American Water Association* (AWWA) que vêm sendo muito utilizados em programas de controle e redução de perdas no mundo todo. Em síntese, os métodos consistem em realizar auditorias no sistema de abastecimento de água que possibilitam identificar onde as perdas em um determinado sistema estão ocorrendo. O processo de auditoria proposto ocorre em três níveis; “*top-down*”, análise de componentes e “*bottom-up*”, sendo que cada nível apresenta um diferente refinamento. Por exemplo, o volume de perdas reais calculado através do balanço hídrico realizado na metodologia proposta “*top-down*” inclui o volume de perdas indetectáveis, para discretizar estes volumes, é recomendado pela IWA / AWWA que a primeira análise seja complementada pelas outras duas metodologias propostas. (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008). A identificação das perdas é um processo complexo visto que esta é influenciada por vários fatores (GOMES; MARQUES; SOUSA, 2011).

2.4.1 “*Top – down*” - Balanço Hídrico

O método “*top-down*” consiste em realizar um balanço hídrico “*de cima para baixo*” com o objetivo de quantificar o consumo e as perdas que ocorrem no sistema de distribuição. Para a aplicação do método é necessário coletar os dados micromedidos e macromedidos disponíveis e através de medições ou estimativas quantificar os componentes de consumo e de perdas. Através destes dados de entrada é possível calcular o balanço hídrico, o resultado apresenta um resumo dos dados de consumo e perdas do sistema de abastecimento de água. O volume de água

que entra no sistema pode ser comparado com o volume consumido ou perdido (AWWA, 2009). O Quadro 2.6 apresenta os componentes do balanço hídrico que devem ser estimados ou calculados, estes devem ser apresentados em volume e devem ser referentes a um mesmo período, normalmente o período de um ano. A soma dos volumes de cada coluna deve ser o mesmo.

Quadro 2.6: Balanço hídrico.

Água produzida		Volume que entrada no sistema		Água exportada		Consumo autorizado		Consumo Autorizado contabilizado		Água exportada contabilizada		Água contabilizada
								Consumo medido contabilizado				
								Consumo não medido contabilizado				
		Água distribuída		Consumo autorizado		Consumo Autorizado não contabilizado		Consumo medido não contabilizado		Água não contabilizada		Água não contabilizada
								Consumo medido e não contabilizado				
				Perdas de água		Perda aparente		Consumo não autorizado				
								Imprecisão dos medidores de consumidores				
								Erro no ciclo de coleta de dados				
						Perda real		Vazamentos na captação e adutoras				
								Vazamentos e transbordamentos de caixas d'água				
								Vazamentos nas ligações com os consumidores				
Água importada												

Fonte: AWWA (2009)

A elaboração do balanço hídrico depende de uma boa coleta de dados e para facilitar o estudo é recomendado que seja realizado para cada setor de medição. A qualidade do balanço hídrico depende da confiabilidade nos indicadores calculados,

que por sua vez dependem da qualidade dos dados disponíveis, sendo esta uma das maiores dificuldades em elaborar o balanço hídrico. Com os dados disponíveis é possível realizar o balanço hídrico através de um dos vários softwares gratuitos disponíveis, entre eles *AWWA Water Loss Control Committee's free Water Audit Software*. Através do balanço hídrico o volume de perdas anual atual pode ser estimado, uma vez calculado o volume total de perdas (volume que entra no sistema – consumo autorizado) e estimado o volume de perdas aparente calcula-se o volume de perdas reais (volume total de perdas – volume de perdas aparentes). O propósito do balanço hídrico não é apenas quantificar o volume de perdas totais, mas também identificar a procedência das mesmas, se aparentes ou reais, possibilitando a priorização de investimento pelas operadoras (MELATO, 2010).

2.4.2 Análise de componentes das perdas reais- Método “BABE” e “FAVAD”

A análise de componentes é a técnica utilizada para estimar o volume de perdas reais baseado na natureza do vazamento e na sua duração. Similarmente este método pode ser utilizado na modelagem de perdas aparentes baseando-se na natureza e duração das ocorrências.

O conceito “*BABE*” *Background and Burst Estimates* (referente à estimativa de volume de vazamentos por rupturas e indetectáveis) foi introduzido por Lambert em 1994. Segundo Lambert, (1994) o volume anual de perdas reais compreende a somatória de vários vazamentos, cada qual referente a uma vazão e duração diferentes que podem ser divididos em três categorias, vazamentos não detectáveis que ocorrem continuamente com pequenas vazões, vazamentos visíveis que ocorrem por um período relativamente curto com grandes vazões e os vazamentos não visíveis (detectáveis) em que a duração depende do controle de vazamentos ativo. “*BABE*” pode ser considerado um modelo estatístico que não tem como objetivo calcular o volume de perdas anuais, mas agrupar os eventos similares possibilitando uma estimativa estatística da ocorrência de um determinado vazamento no sistema.

Juntamente com *Background and Burst Estimates*, *BABE*, a teoria *Fixed and Variable Area discharge paths*, *FAVAD*, são teorias de grande importância que vem sendo utilizadas para estimar os benefícios do gerenciamento de pressão (GOMES; MARQUES; SOUSA, 2011). A pressão do sistema de abastecimento de água afeta diretamente o volume de água perdido através dos vazamentos. Até recentemente acreditava-se que a vazão perdida através de um vazamento variasse

com a raiz quadrada da pressão da rede. De acordo com AWWA (2009) a teoria FAVAD, desenvolvida em 1994 por J. May trouxe grande compreensão da relação entre a vazão dos vazamentos e a pressão na rede. Esta teoria leva em consideração o fato de alguns tipos de vazamentos seguirem caminhos de percolação diferentes dependendo do material da tubulação e da geometria do vazamento. Segundo Lambert, (2000) FAVAD pode ser utilizado para interpretar a relação entre variação de pressão e vazamentos, bem como para categorizar a relação entre pressão e alguns componentes de consumo.

Segundo a lei de conservação de energia a velocidade do jato de água através de um orifício varia com a pressão através da relação apresentada na Equação (1):

$$V = Cd\sqrt{2 * g * P} \quad (1)$$

Onde; V é a velocidade do jato; Cd é o coeficiente de forma; g é a aceleração da gravidade e P é a carga de pressão da rede.

No entanto Lambert (2000) aponta dois motivos pelos quais o valor do expoente “meio” desta relação pode variar no cálculo da velocidade dos vazamentos. O coeficiente de forma Cd , apesar de considerado constante, varia segundo as condições do escoamento, laminar, de transição ou turbulento. A classificação dos escoamentos é feita através do número adimensional de Reynolds; que é definido segundo a Equação (2). Para $Rey < 2300$ o escoamento é laminar, o escoamento é considerado de transição se $2300 < Rey < 4000$, e turbulento se $Rey > 4000$.

$$Rey = \frac{\rho.V.D}{\mu} \quad (2)$$

Onde; ρ é massa específica do fluido, V é a velocidade do fluido, D é o diâmetro da tubulação e μ é a viscosidade dinâmica do fluido.

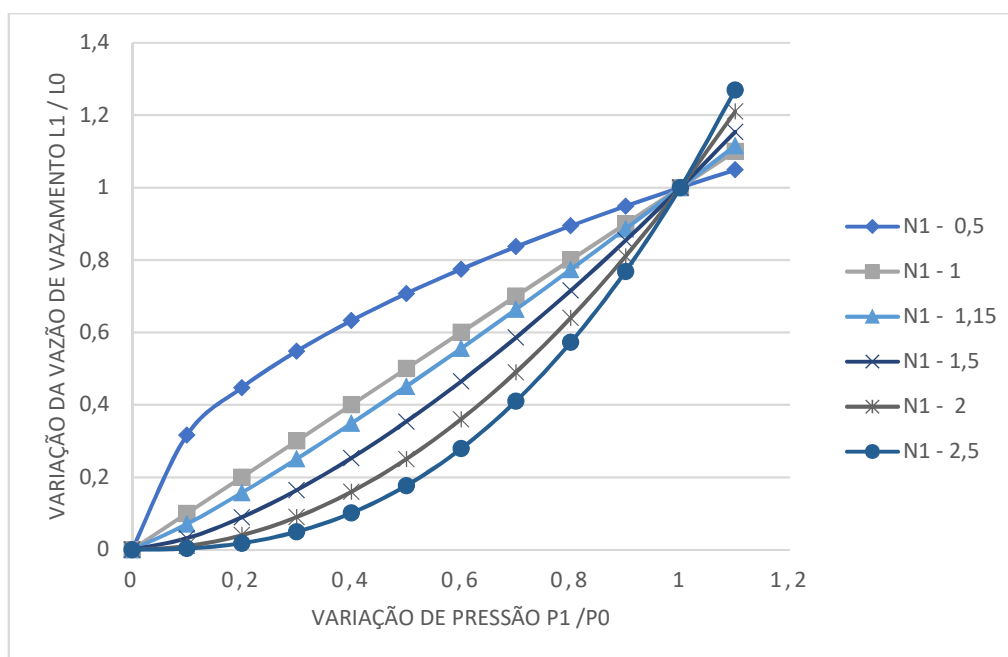
Lambert, (2000) apresenta um experimento realizado em tubo de cobre com vazamento de 1 mm de diâmetro onde foi observado que o valor do coeficiente de forma Cd aumenta rapidamente com o aumento do número de Reynolds, ou seja, quando o escoamento passa de laminar para turbulento. Vazamentos com pequenas vazões são ainda mais sensíveis às variações de pressão. O outro fator que contribui para a variação do expoente na equação da lei de conservação de energia são as áreas dos orifícios. De acordo com a lei da continuidade a vazão depende da velocidade bem como da área do orifício, em tubulações de materiais flexíveis a área

aumenta com o aumento de pressão. Assim, Lambert, (2000) propõe a Equação (3) para a relação entre a redução de pressão e a redução do volume dos vazamentos.

$$\frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N_1} \quad (3)$$

Onde; L_1 é o volume de perdas (do inglês *leakage*) por vazamento estimado após redução de pressão; L_0 é o volume de perdas por vazamento anterior a redução de pressão; P_1 é a pressão da rede após redução de pressão; P_0 é a pressão na rede anterior a redução de pressão; N_1 é o expoente de redução de vazamentos que pode variar de 0,5 a 2,5.

O valor do expoente N_1 é determinado de acordo com as características da rede em questão. Em geral expoente de 1,5 é utilizado para redes com tubulações composta predominantemente de material plástico e 0,5 para redes com tubulações de metal. Esta relação também é frequentemente apresentada de forma gráfica através da Figura 2.1.



Fonte: Lambert (2000).

Figura 2.1: Relação entre pressão e vazamento utilizando N_1 .

Thornton and Lambert (2005) apresentam a Equação (4), uma relação empírica, que possibilita estimar o expoente N_1 que pode ser aplicado para qualquer sistema utilizando “Infrastructure Leakage Index” ILI (que será abordado na seção 2.5 deste trabalho), Índice de Vazamento do Sistema, e a porcentagem de tubulações rígidas que compõem o sistema de abastecimento de água em questão.

$$N_1 = 1,5 - \left(1 - \frac{0,65}{ILI}\right) * \frac{p}{100} \quad (4)$$

Onde; N_1 é o expoente de redução de vazamentos; ILI é o *Infrastructure Leakage Index*; p é a porcentagem de tubulação rígida no setor.

Para sistemas de abastecimento onde os valores do ILI e p não são conhecidos impossibilitando a utilização desta equação é comum utilizar N_1 igual a 1,0. Para sistemas onde o material das tubulações é predominantemente rígido pode ser adotado N_1 igual a 0,5 e em sistemas onde as tubulações são predominantemente flexíveis N_1 igual a 1,5 (LAMBERT; FANTOZZI, 2010a).

Alguns trabalhos experimentais foram desenvolvidos para avaliar o coeficiente N_1 que relaciona a variação de pressão e a vazão de vazamentos. De Paola e Giugni, (2012) apresentam o resultado de um estudo experimental para investigar este parâmetro em tubulações de aço e de ferro dúctil. O experimento foi realizado através da simulação de vazamentos de diâmetros e formatos variáveis. Os resultados apontam para um expoente N_1 muito próximo a 0,5 mesmo para os vazamentos simulados de seção retangular, comprovando as expectativas para o coeficiente em sistemas com tubulações rígidas.

A teoria FAVAD com o expoente N_1 variando entre 0,5 e 1,5, podendo chegar a 2,5 é utilizada atualmente ao redor do mundo para estimar a redução do volume de vazamentos decorrente de uma determinada redução de pressão na rede de abastecimento. No entanto, segundo Gomes, Sousa e Sá Marques, (2013), não é fácil estimar, em situações reais, a relação entre a pressão e a vazão dos vazamentos existentes, visto que o expoente N_1 pode variar com o tipo de material das tubulações da rede e acaba sendo baseado em experiências de campo. Segundo os autores existe uma grande variação no benefício em reduzir a pressão em um determinado setor dependendo se N_1 for considerado 0,5 ou 2,5. Por tanto uma estimativa pobre do expoente pode levar a expectativas equivocadas com relação à redução do volume de vazamento.

O expoente N_1 pode ser calculado através do teste de campo chamado *step test* (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008). O teste é realizado durante a noite no período de menor consumo quando a pressão e a vazão estão estáveis. Durante o teste a pressão no setor é reduzida através do fechamento de registro de entrada, redução da pressão de saída na VRP ou ainda através da variação de rotação através de inversor de frequência em bombas como proposto por Ghidetti, (2013).

Considerando a vazão e a pressão inicial Q_0 e P_0 respectivamente e a vazão decorrente da redução de pressão e a pressão de teste Q_1 e P_1 é possível determinar o valor de N_1 . É recomendado que sejam realizados três testes sendo utilizado o valor médio de N_1 .

2.4.3 “*Bottom up*” - Vazões mínima noturna MNF

O método “*bottom up*”, “de baixo para cima”, consiste em validar os resultados obtidos no balanço hídrico do método “*top-down*” através de levantamentos de campo, como por exemplo para perda aparente, a validação é realizada através de análise do sistema de cobrança com o objetivo de identificar erros durante a manipulação dos dados, busca de dados discrepantes como por exemplo volumes muito pequenos ou muito grandes, aplicação de testes de precisão em uma amostra de medidores e levantamento de campo em locais onde exista suspeita de consumo não autorizado ou medidores vandalizados ou fraudulentos. Para perdas reais a validação mais utilizada é a análise da vazão mínima noturna, *Minimum night flow* (MNF) (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

O primeiro passo necessário para a análise de vazão mínima noturna é isolar as áreas do sistema de distribuição em distritos de medição e controle DMC (*District Metered Area, DMA*). Distritos de medição podem ter um ou mais pontos de entrada de água, porém todos os pontos devem ser monitorados através de medidores para que a vazão seja conhecida. Além do monitoramento da vazão de entrada também são monitoradas a pressão de entrada no setor e a pressão média. Os principais benefícios em dividir o sistema de abastecimento em distritos de medição é a possibilidade de gerenciar a pressão para que cada distrito possa operar com a menor pressão possível garantindo um bom funcionamento e a possibilidade de monitorar os vazamentos que não são visíveis através do MNF (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008). Souza Júnior, (2014) apresenta um estudo de caso onde foram implantados 30 DMCs no município de Bragança Paulista. Através da implantação dos DMCs foi possível realizar o balanço hídrico e determinar as ações de controle e redução de perdas para os DMCs com maiores perdas. O autor conclui que a divisão da rede de distribuição em DMCs possibilita direcionar as ações para as regiões com maiores perdas, permitindo obter resultados mais eficientes.

A estimativa de perdas reais através da análise da vazão mínima noturna, MNF, é realizada através do monitoramento da vazão consumida para cada distrito

de medição por um período determinado. Para áreas urbanas as horas de menor consumo ocorrem entre 2:00am e 4:00am. A vazão medida durante este período é composta por uma parcela de consumo; referente à utilização dos sanitários, máquinas de lavar programáveis vazamentos entre hidrômetros e caixas d'água etc., bem como o consumo de algumas indústrias e agriculturas que trabalham continuamente. Este consumo noturno legítimo pode ser estimado ou até mesmo medido em alguns consumidores e extrapolado para os demais. O volume de perdas reais pode então ser calculado subtraindo-se o consumo legítimo estimado da vazão mínima noturna medida para cada distrito de medição. Ghidetti, (2013) apresenta um estudo de caso em que as perdas reais são determinadas pelo método das vazões mínimas noturna, utilizando um programa desenvolvido por Allan Lambert e Julian Thornton para a companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, o autor conclui que o método é eficaz na determinação das perdas reais. O volume de perdas reais para cada distrito de medição calculado através da vazão mínima noturna serve para verificar o volume de perdas reais calculado inicialmente no balanço hídrico da análise *“top down”* (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

2.5 Indicadores de perda

Realizada a auditoria de perdas, os indicadores de desempenho podem ser calculados para avaliar a dimensão do problema sob aspectos econômico-financeiros, técnicos e ambientais segundo as recomendações da IWA (ALEGRE et al., 2005). Os indicadores de perdas retratam a condição do sistema de abastecimento e possibilitam a implantação de programas de gerenciamento de perdas bem como a comparação entre sistemas de abastecimento (TSUTIYA, 2006). Adotar um indicador de perdas é essencial para avaliar a eficiência do sistema de abastecimento e melhorar a qualidade do serviço. De acordo com a European Commission, (2015) cada indicador possui uma característica diferente e por tanto deve ser avaliado o mais apropriado para cada propósito. A seguir serão apresentados os principais indicadores de desempenhos econômico-financeiro e técnicos recomendados pela IWA. Indicadores econômico-financeiros são expressos pelo volume perdido total, ou seja, englobando perdas aparentes e perdas reais, os indicadores técnicos são expressos em relação ao volume de perdas reais ou em relação ao volume de perdas aparentes.

2.5.1 Indicadores econômico-financeiros de perdas

Índice percentual de águas não faturadas ou índice de perdas de faturamento

É um indicador financeiro de águas não faturadas apresentado em volume e pode ser calculado através da Equação (5). Este indicador apresenta a relação percentual entre o volume total perdido, englobando as perdas reais e aparentes, e o volume total produzido por ano, os valores podem ser reproduzidos diretamente do Balanço Hídrico.

$$IPF = \frac{Vol.Total Fornecido - Vol. Autorizado Medido - Vol. Não Autorizado Medido}{Volume Total Fornecido} \times 100\% \quad (5)$$

Este indicador proporciona uma visão geral da eficiência do sistema de abastecimento de água e é considerado um indicador básico. Baseado neste indicador é possível calcular o *indicador financeiro de águas não faturadas por custo*. Este é um indicador mais detalhado e recomendado pela IWA que apresenta a relação percentual do custo anual da água não faturada em relação ao custo anual de operação do sistema de abastecimento (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

2.5.2 Indicadores de perdas reais técnicas ou operacional

- Índice percentual de perdas na distribuição

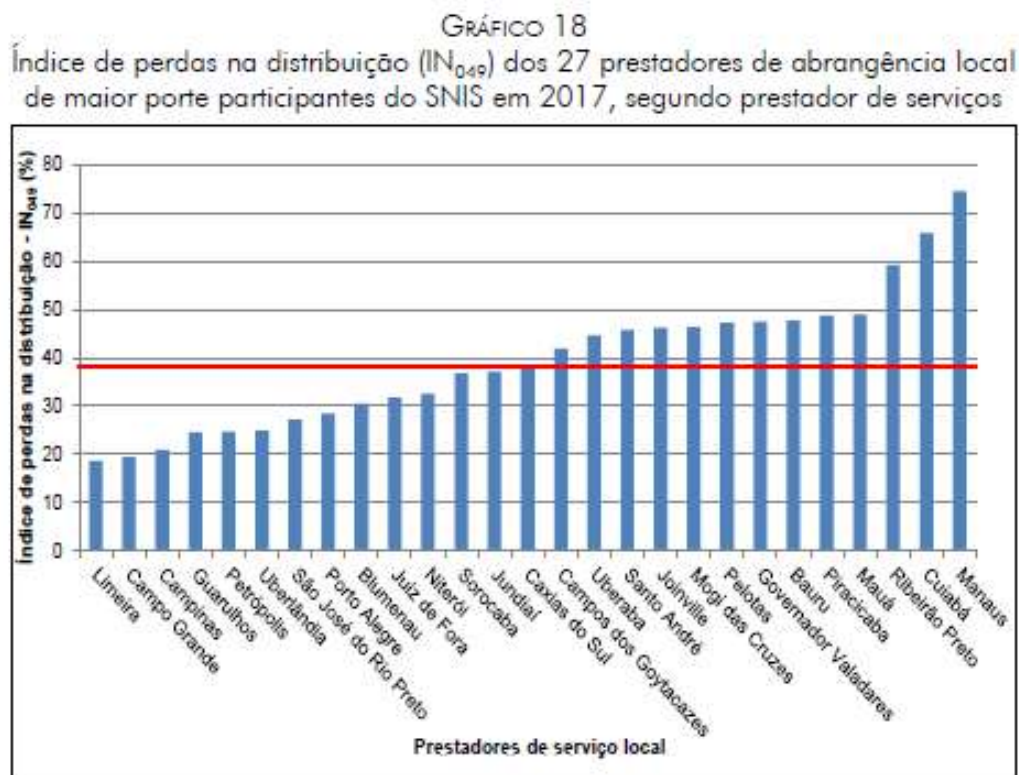
Este indicador, também percentual do volume, apresenta a relação entre o volume de perdas reais e o volume que entra no sistema de distribuição, que podem ser obtidos através dos volumes macromedidos e micromedidos, conforme a Equação (6).

$$IPD = \frac{Vol. Macromedido - Vol. Micromedido}{Volume Macromedido} \times 100\% \quad (6)$$

Este índice tem como função representar a ineficiência da utilização da água. É considerado pela IWA básico e inapropriado para medir a eficiência do gerenciamento de perdas reais no sistema de distribuição de água por sofrer influência da variação do consumo (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008). No caso, se o consumo reduzir mais do que o volume de vazamentos, a porcentagem subiria, apesar da redução dos dois volumes (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

No entanto, este índice ainda é muito utilizado no Brasil, o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNISS) do Ministério das Cidades utiliza este indicador para comparar o índice de perdas entre as diversas cidades do país. O

gráfico a seguir apresentado no “*Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto*” 2015 mostra o índice de perdas na distribuição para várias cidades do Brasil, a linha vermelha representa a média para o país que é de 38% (SNISS, 2017).



Fonte: (SNISS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2017).

Figura 2.2: Índice de perdas na distribuição de algumas cidades do Brasil.

- Índice Linear por comprimento de rede

Este é um indicador operacional de perdas reais que distribui as perdas reais ao longo da extensão da rede sendo recomendado para áreas com densidade de ramais inferiores a 20 ramais/Km (LIEMBERGER et al., 2007), ou seja, pouco urbanizadas. O índice linear relaciona o volume de perdas reais anuais com a extensão da rede conforme a Equação (7) (TSUTIYA, 2006).

$$IPR = \frac{\text{Volume Perdido Anual}}{(\text{extensão de rede} \times 365)} \text{ (m}^3/\text{km.dia)} \quad (7)$$

- Índice de Perda por ligações

Este é um indicador também operacional que distribui as perdas reais por ramais sendo recomendado para áreas com uma densidade de ramais superior a 20 ramais/Km (LIEMBERGER et al., 2007), ou seja, para setores em áreas urbanas e pode ser calculada através da Equação (8). (TSUTIYA, 2006)

$$IPL = \frac{\text{Volume Perdido Anual}}{(\text{N}^\circ \text{ ramais} \times 365)} \text{ (m}^3/\text{km.dia)} \quad (8)$$

Os indicadores operacionais, no entanto, não consideram a pressão da rede. Os indicadores por ligação e por ramal são considerados pela IWA indicadores de nível básico, ou seja, proporciona uma visão geração da eficiência do sistema de abastecimento de água. Sendo os mais apropriados indicadores básicos de perdas reais (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

- Índice de vazamentos na infraestrutura (ILI - *Infraestructure Leakage Index*).

Este indicador operacional de perdas reais é obtido através da relação entre o volume de perdas reais anual atual (CARL) e o volume de perdas reais anual inevitável (UARL) (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008). O indicador é um número adimensional calculado através da Equação (9), valores de ILI muito próximos de 1.0 indica bom controle de perdas.

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (9)$$

Onde, CARL é o volume de perdas real anual atual e UARL é o volume de perdas real anual inevitável.

Todo o sistema de abastecimento possui um volume de perdas considerado inevitáveis, por serem muito pequenas ou pelo alto custo do reparo. O volume de perdas reais inevitável anual, *UARL (Unavoidable Annual Real Loss)*, pode ser calculado através da Equação (10) apresentada por Lambert, Brown, Takizawa e Weimer (1999).

$$UARL(L/dia) = (18xL_m + 0,8xN_s + 25xL_p) x P \quad (10)$$

Onde, L_m é o comprimento da rede (Km); N_s é o número de conexões; L_p é o comprimento total do ramal (do limite da propriedade até o medidor); P é a pressão média em 24h (mca).

O *UARL* não é utilizado como meta para o volume de perdas a menos que a capacidade hídrica local seja crítica (LAMBERT, 2009), mas utilizado como referência para o cálculo do índice de vazamento da infraestrutura (ILI). Durante dez anos a equação foi utilizada por operadoras bem como questionada, no entanto, segundo Lambert (2009) a equação pode ser utilizada para sistemas de abastecimento cujo número de ligações somado a vinte vezes o comprimento da rede seja superior a 3000.

O ILI é um indicador relativamente novo considerado pela IWA um indicador detalhado e recomendado por representar o desempenho do gerenciamento sistema de abastecimento com as atuais condições de pressão do sistema (THORNTON;

STURM; KUNKEL, 2008). Este indicador é considerado apropriado na comparação de desempenho entre diferentes sistemas de abastecimento (VERMERSCH et al., 2016).

2.5.3 Indicadores de perdas aparentes técnico ou operacionais

Na primeira edição do Relatório de Indicadores de Desempenho publicado pela IWA, recomendava-se a utilização de indicadores para perdas aparentes com as mesmas unidades recomendadas para o consumo autorizado, $\text{m}^3/\text{ramal}/\text{ano}$. No entanto na segunda edição a recomendação foi alterada para porcentagem de água distribuída para sistemas de distribuição, e porcentagem do volume produzido para sistemas de abastecimento (VERMERSCH et al., 2016). Esta alteração trouxe de volta os problemas de utilizar a porcentagem de volume produzido ou distribuído como base para determinar os indicadores. Vermersch et al., (2016) sugerem que os indicadores em porcentagem da água distribuída e em porcentagem da água produzida não sejam utilizados visto que não são apropriados e recomenda a utilização dos seguintes indicadores técnicos de perda aparente.

- Índice de perdas aparentes por litros por ramal

Este índice de perda aparente relaciona o volume de perda aparente com a quantidade de ramais do sistema. Este indicador é considerado apropriado para acompanhar o desempenho de um sistema bem como determinar objetivos econômicos, não sendo apropriados para comparação de desempenho técnico e financeiro entre sistemas diferentes.

- Índice de perdas aparentes por litros por propriedade medida

Similarmente ao índice de perdas por ramal, este índice de perda aparente relaciona o volume de perda aparente com a quantidade de ligações. Este indicador também é considerado apropriado para acompanhar o desempenho de um sistema bem como determinar objetivos econômicos, não sendo apropriados para comparação de desempenho técnico e financeiro entre sistemas diferentes (VERMERSCH et al., 2016) (VERMERSCH et al., 2016) (VERMERSCH et al., 2016).

- Índice de perda aparente – ALI (*Apparent Losses Index*)

O conceito deste indicador foi apresentado recentemente por Vermersch et al., (2016). Desenvolvido baseado em parâmetros similares ao ILI, o índice de perda aparente também é um número adimensional. No entanto a determinação de uma equação para calcular a perda aparente anual inevitável (UAAL, *Unavoidable Annual*

Aparente Loss) foi considerada impraticável devido à variedade de componentes que influenciam o volume de perda aparente. Desta forma o conceito de *perda aparente anual inevitável* foi substituído pelo conceito de valor de *referência da perda aparente anual* (RAAL, *Reference Annual Aparent Loss*). Vermersch et al., (2016) recomendam utilizar 5% do consumo autorizado medido, excluindo o volume exportado, até que valores históricos possam ser demonstrados. Em países onde o abastecimento é indireto, através de caixa d'água, RAAL de 5% do consumo autorizado medido pode ser uma referência muito baixa. Uma vez que o valor de RAAL foi determinado e o valor perdas aparentes anuais atuais (CAAL, *Current Annual Aparent Loss*) determinado, através do balanço hídrico por exemplo, ALI pode ser calculado através da Equação (11):

$$ALI = \frac{CAAL}{RAAL} \quad (11)$$

Este conceito não pode ser aplicado em sistemas de abastecimento que não utilizam micromedidores em todos os pontos de consumo.

A vantagem de utilizar este indicador é a possibilidade de comparar o desempenho técnico entre sistemas diferentes. O indicador ALI é considerado apropriado para acompanhar o desempenho de um sistema bem como determinar seus objetivos econômicos. Porém, não é apropriado para comparação financeira entre sistemas diferentes. Para comparação do desempenho financeira entre diferentes sistemas, os componentes da perda aparente podem ser determinados através do valor do custo de venda da água.

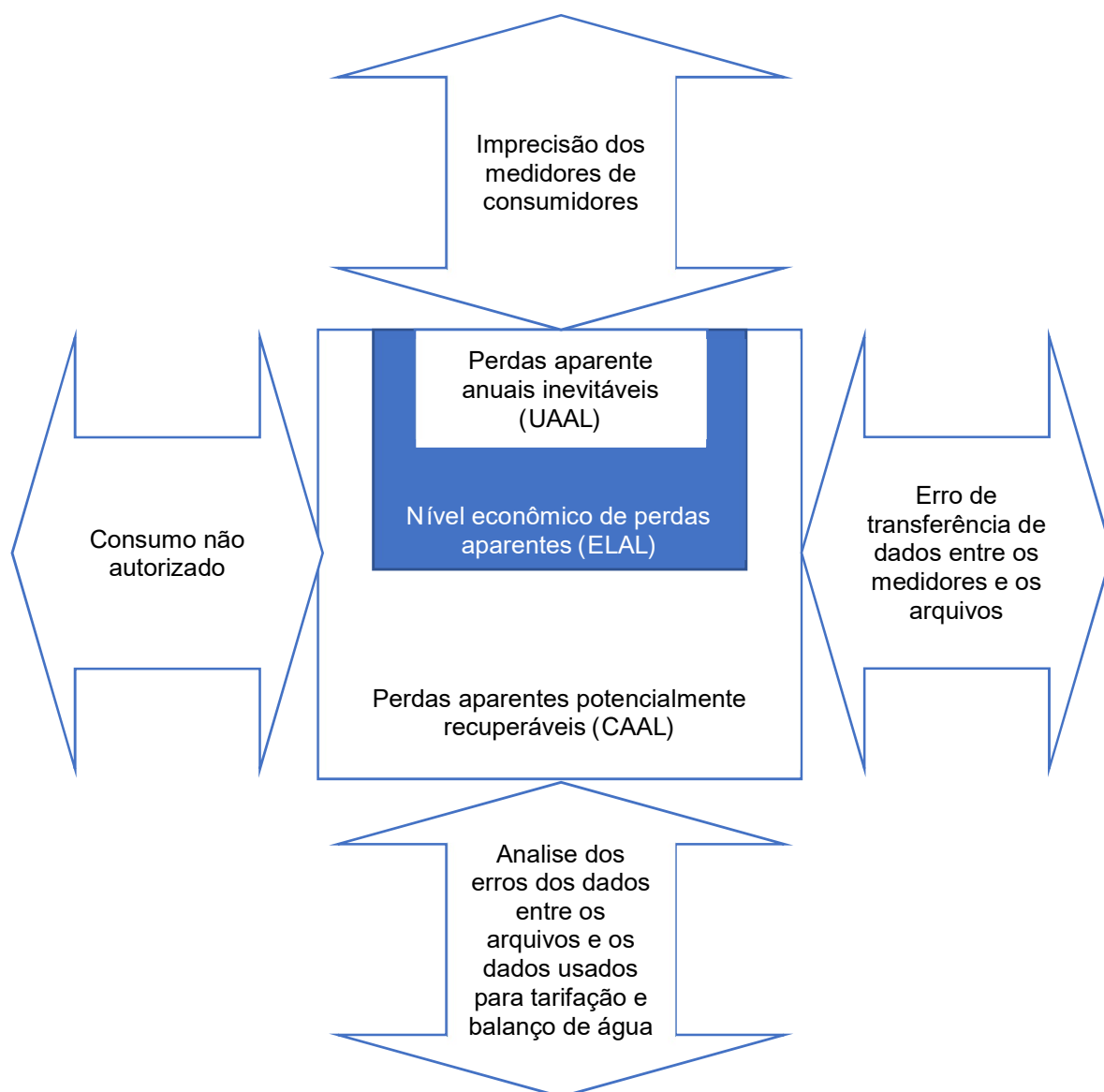
2.6 Controle e redução de perdas

Definidos os tipos de perdas e os métodos para identificar a procedência bem como as maneiras de quantificar os volumes perdidos em um determinado sistema de abastecimento, serão abordadas as maneiras de reduzir as perdas reais e aparentes, dando-se ênfase ao gerenciamento de pressão, onde este trabalho se insere.

2.6.1 Controle de perda aparente

De acordo com a AWWA (2009) a melhor maneira de planejar um programa de controle de perdas é baseado nos resultados de uma auditoria. A Figura 2.3 (RIZZO; CILIA, 2005 e AWWA, 2009) representa o conceito aplicado no controle de

perda aparente por operadoras ao redor do mundo. Ao centro a figura apresenta três níveis de perda aparente, o primeiro nível representa o volume de perda aparente atual, o segundo representa o volume de perda aparente considerado economicamente viável ELAL (*economic level of aparente losses*) e o terceiro representa o volume anual de perdas aparentes inevitáveis UAAL (*Unavoidable Annual Apparent Losses*). As quatro setas representam a maneira em que as perdas aparentes ocorrem. Segundo o autor, as setas indicam duas direções opostas representando o impacto na redução ou aumento no volume de perda aparente total que cada componente pode exercer.



Fonte: Adaptado de Rizzo e Cilia (2005).

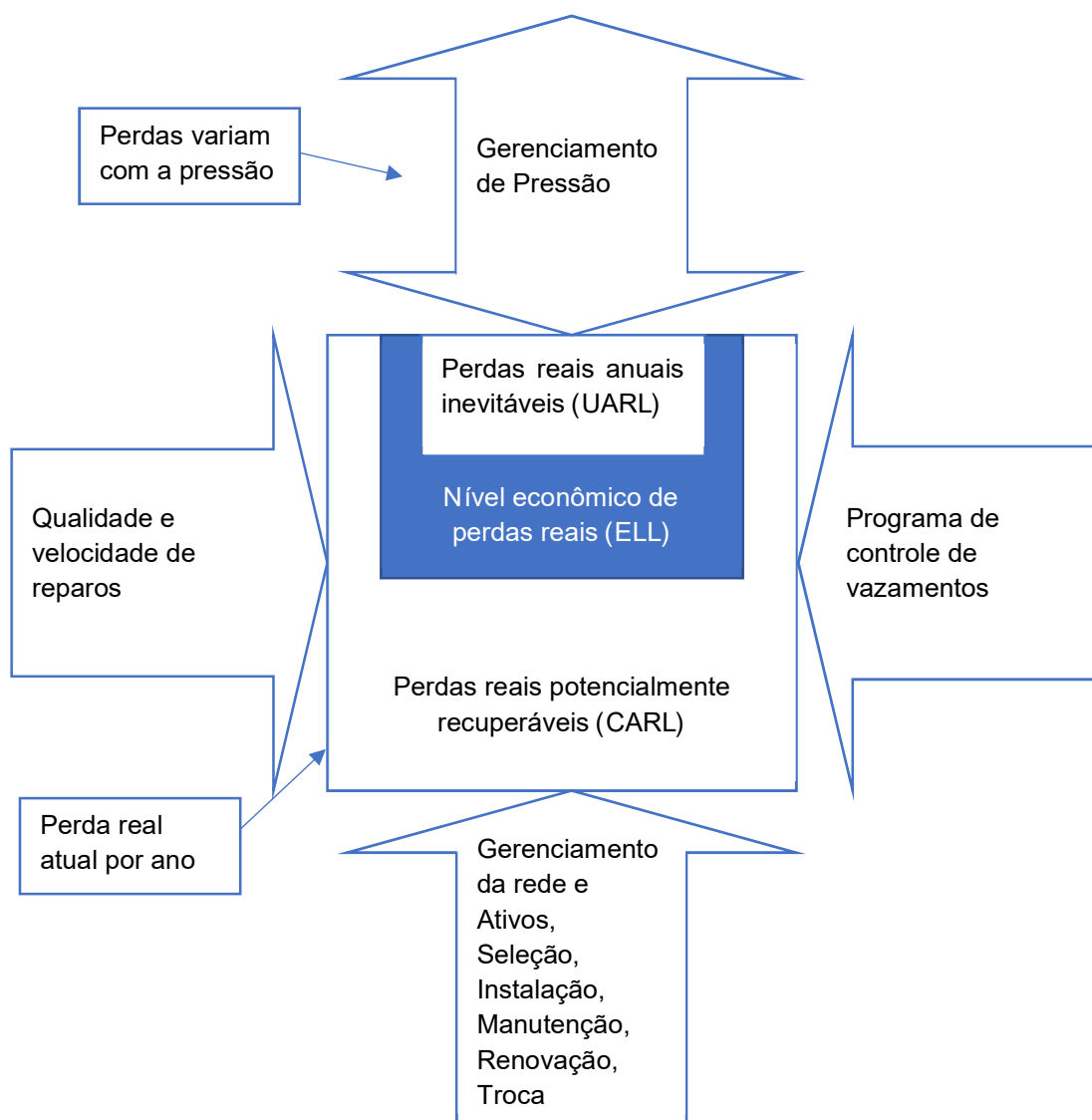
Figura 2.3: Os quatro pilares para o controle de perdas aparentes.

O controle de perdas aparentes inicia com uma estratégia de controle. O primeiro passo é realizar uma auditoria “*Bottom-up*” para confirmar o nível de perdas do sistema. A partir da auditoria é possível identificar o impacto financeiro e a integridade dos dados disponíveis, bem como identificar ações corretivas para combater os itens que mais impactam o volume de perdas, confirmar o custo-benefício das ações a serem adotadas, por fim um plano de ação para o controle de perdas pode ser elaborado. A auditoria “*Bottom-up*” é realizada após o balanço hídrico e envolve uma investigação detalhada do ciclo de aquisição de dados para identificação de anomalias nos dados, teste de precisão de uma amostra dos medidores instalados e investigação de locais onde o consumo não autorizado possa estar ocorrendo (AWWA, 2009).

2.6.2 Controle e redução de perdas reais

A Figura 2.4 (AWWA, 2009) representa os quatro pilares do controle de perdas reais que podem ser manipulados para contribuir na redução do volume de perdas reais. As setas indicam os quatro métodos principais de controle de perdas reais, sendo o gerenciamento de pressão um fator que pode impactar tanto no aumento quanto na diminuição do volume de perdas reais. Ao centro da figura três tipos de perda real são representados. O primeiro retângulo representa as perdas reais potencialmente recuperáveis ou perda real anual atual, *CARL* (*Current Annual Real Losses*), o segundo retângulo representa o volume de perdas economicamente viável que pode ser atingido com um programa de controle de perdas, *ELL* (*Economic Level of Real Loss*), o terceiro retângulo representa o volume de perda real inevitável, *UARL* (*Unavoidable Annual Real Losses*).

Do ponto de vista financeiro é fundamental estabelecer o nível econômico de perdas reais *ELL* (*Economic Level of Leakage*) para o sistema de abastecimento (MOLINOS-SENANTE; MOCHOLÍ-ARCE; SALA-GARRIDO, 2016), no entanto, o cálculo pode ser de difícil precisão. Islam e Babel, (2012) apresentam em seu trabalho um gráfico para estimar o valor de *ELL* de acordo com a variação de pressão e para diferentes custos de produção da água baseado em um estudo de caso. Os autores concluem que o custo da produção da água e a pressão em que o sistema opera afetam significativamente o valor do *ELL*. Na falta de dados suficientes para o cálculo de *ELL* é possível estabelecer uma meta a partir do valor do *ILI* (AWWA, 2009).



Fonte: Adaptado de AWWA(2009).

Figura 2.4: Quatro pilares para o controle de perdas reais.

Dentre os principais métodos de controle de perdas reais estão os programas de controle de vazamento, otimização de reparos, reabilitação e renovação da rede de distribuição e o gerenciamento de pressão. O programa de controle de vazamento consiste em identificar e quantificar os vazamentos existentes em um sistema de distribuição através de detecção de vazamentos utilizando equipamentos ultrassônicos bem como monitoramento de vazões em setores de abastecimento. A otimização de reparos refere-se a um programa de rápida resposta nos casos de rompimento e vazamentos, bem como reparos de qualidade evitando rompimentos recorrentes. Reabilitação e renovação da rede de distribuição é um programa de renovação da rede preventivo para evitar que vazamentos ocorram. E por fim o

gerenciamento de pressões que vem sendo muito utilizado ao redor do mundo por apresentar vários benefícios no controle de perdas como será abordado a seguir.

2.6.3 Gerenciamento de pressão

Segundo Lambert e Fantozzi, (2010b) o gerenciamento de pressão além de reduzir o volume de perdas reais também traz como benefício a diminuição da frequência de rompimentos, posterga a renovação da rede, aumenta a vida útil da rede, reduz a frequência da identificação e controle de vazamentos, reduz alguns componentes do consumo e melhora o abastecimento aos consumidores, uma vez que diminui a frequência de interrupções. Segundo os autores o gerenciamento de pressão vem sendo utilizado não somente no controle de perdas, como também uma maneira de controlar o consumo, promover a conservação hídrica e o gerenciamento dos equipamentos da rede. Dentre os métodos de gerenciamento de pressão mais implementados pode-se citar a setorização e a instalação de válvulas redutoras de pressão que serão abordados a seguir.

2.6.3.1 Setorização

As redes de abastecimento são divididas em setores de acordo com a faixa de pressão em que opera. Geralmente são criados dois setores a partir do reservatório, a zona baixa (com cotas topográficas distantes do reservatório) e a zona alta (com cotas topográficas próximas ao reservatório) (TSUTIYA, 2006). A zona baixa é alimentada pelo reservatório apoiado ou enterrado e as pressões são controladas pelo nível deste reservatório. A zona alta geralmente é alimentada por um reservatório elevado e as pressões são controladas pelo nível d'água na torre, no entanto tem-se tornado comum a utilização de *booster* para pressurizar a zona alta. Dependendo da topografia do setor está simples divisão em zona alta e zona baixa não é suficiente para garantir que as pressões estáticas máxima e dinâmica mínima se enquadrem dentro dos limites estabelecidos pela norma e subsetores controlados por VRPs são implantados ou até mesmo unidades de *boosters* instaladas ao longo da rede.

Motta (2010) apresenta em seu trabalho dois estudos de caso distintos, no primeiro foram efetivamente implantadas microzonas controladas por válvulas redutoras de pressão em um setor de abastecimento. No segundo caso foi realizado um estudo para subsetorização de um outro setor de abastecimento através de *software* de modelagem hidráulica. No caso da implantação de microzonas com pressão controlada por VRPs foi verificada redução de 13% nas vazões médias

fornecidas, no entanto 80% da zona alta era controlado por válvulas redutoras de pressão implicando em um grande desperdício de energia. Já no segundo estudo de caso a subsetorização se deu principalmente através de um melhor equilíbrio do plano piezométrico, de acordo com o modelo seria possível atingir 12% de redução da vazão fornecida apenas com a implantação de distritos de medição e controle (DMCs), desconsiderando as VRPs instaladas no setor.

Segundo Motta, (2010), não é possível afirmar qual a melhor solução, porém cada caso deve ser estudado. Em muitos setores a setorização adequada é o caminho mais viável para o controle de pressão e a utilização de VRPs deve ser restrita a casos particulares ao invés de serem considerada principal opção no controle de pressão. A alta pressão muitas vezes é proveniente da pressurização da rede através de estações de bombeamento ou *boosters*, a instalação de uma VRP nestes setores implica no desperdício da energia empregada para pressurizar a rede. De acordo com o autor o controle de perdas e a redução de consumo de energia devem caminhar juntos, sendo possível apenas com uma setorização bem planejada.

2.6.3.2 Válvulas redutoras de pressão

Válvulas redutoras de pressão (VRPs) “são equipamentos mecânicos operados hidraulicamente com circuito de comando hidráulico de operação automática instalados nas redes de distribuição de água com o objetivo de reduzir a pressão de um setor bem definido, localizado a jusante do ponto de instalação”(NTS 299 SABESP, 2016). O princípio de funcionamento das VRPs é baseado na introdução de uma perda de carga no escoamento proporcional a diminuição da pressão a montante da válvula (TSUTIYA, 2006). O controle de pressão em um setor de abastecimento através de VRPs é sem dúvidas uma maneira rápida e muitas vezes práticas de diminuir o volume dos vazamentos (GOMES; MARQUES; SOUSA, 2011).

As VRPs automáticas têm como princípio de funcionamento o controle hidráulico das aberturas dos dispositivos de passagem do fluxo de água. A utilização de controladores eletrônicos associados as VRPs ampliou as possibilidades de controle de saída, Tsutiya (2006) apresenta três situações operacionais que são utilizadas no controle das VRPs; de saída fixa, modulada pelo tempo e modulada pela vazão. Zaniboni, (2009) e Tsutiya (2006) apresentam as principais características de cada tipo de controle de pressão com utilização de VRP:

- VRP com pressão de saída fixa

Neste tipo de operação a pressão é controlada para uma região isolada alimentada por uma VRP. A pressão de saída é ajustada pela modificação de pressão da mola da válvula piloto, sob condição de máxima vazão a pressão do ponto crítico é mantida. Ainda segundo o autor neste modo de operação a pressão de saída é composta pelo nível mínimo de pressão de serviço requerido no ponto crítico, a diferença de cota entre a válvula e o ponto crítico e a perda de carga do sistema entre a VRP e o ponto crítico sob condições de vazão máxima de projeto. Segundo Tsutiya (2006), válvulas de saída fixa apresentam menor custo e são adequadas para subsetores com pequena perda de carga.

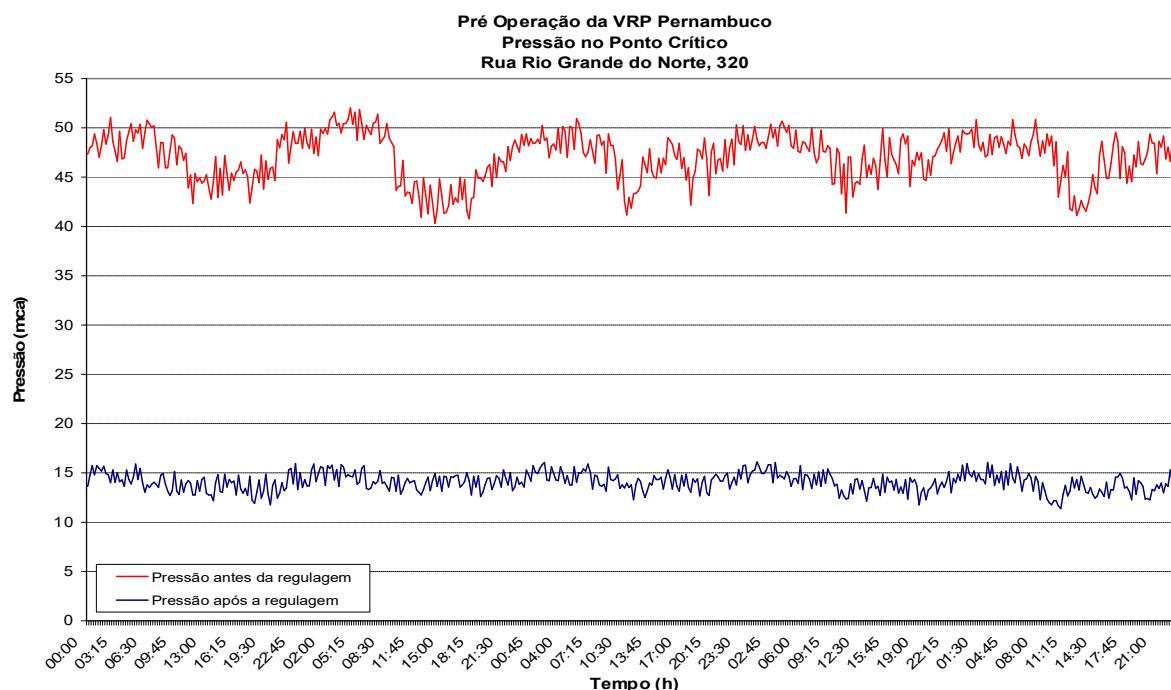
- VRP com controlador modulado de tempo

Nesta modulação a pressão de saída é variável e programada no controlador eletrônico em intervalos de tempo ao longo do dia. Podem ser definidos duas ou mais pressões para o setor que irão variar de acordo o horário determinado. As pressões maiores são definidas para os horários de pico de consumo e as pressões menores são definidas para os horários de baixo consumo. Segundo Tsutiya (2006), este tipo de válvula geralmente é utilizada em setores onde a perda de carga é alta e variações suaves da curva de consumo.

- VRP com controlador eletrônico modulado pela vazão

A utilização de moduladores eletrônico permitem saída de pressão variável da VRP. O controle de vazão é realizado por um programa inserido no controlador eletrônico juntamente com um medidor de vazão instalado em série com a VRP. Quando a vazão é elevada, nos horários de pico de consumo, a VRP trabalha totalmente aberta, praticamente sem introduzir perda de carga alguma no sistema. Quando a vazão é baixa, no período noturno, a VRP encontra-se com o maior fechamento introduzindo a maior perda de carga. Segundo Tsutiya (2006) este tipo de equipamento possui custo agregado mais elevado do que as demais formas de operação de VRPs, porém apresenta um elevado nível de flexibilidade operacional e regulação, sendo indicado para setores com elevadas perdas de carga.

A Figura 2.5 apresenta um gráfico da pressão de um setor de abastecimento com as pressões no ponto crítico do setor antes e depois da instalação de uma VRP de saída fixa.



Fonte: Dados de instalação de VRP fornecidos pela SABESP para o estudo de caso.

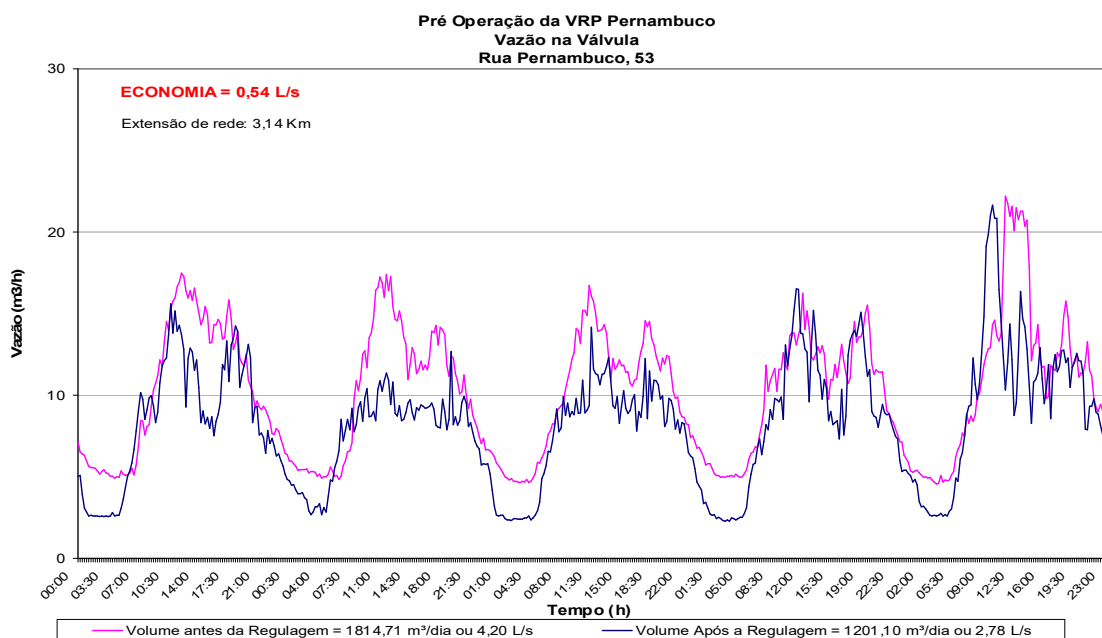
Figura 2.5: Gráfico da redução de pressão por uma VRP

No gráfico, a leitura de pressão correspondente a linha vermelha representa a pressão da rede a montante da VRP enquanto a linha azul representa a leitura de pressão a jusante da VRP. Neste caso é possível observar que antes da implantação da VRP a pressão no setor era aproximadamente 45 m.c.a. sendo reduzida para aproximadamente 15 m.c.a..

A Figura 2.6 apresenta a variação de vazão para um setor de abastecimento antes e depois da instalação de uma válvula redutora de pressão de saída fixa. É possível observar no gráfico a diminuição de vazão ao longo do período registrado, que de acordo com a Sabesp foi 0,54 l/s. A redução de vazão pode ser atribuída a redução de vazamentos bem como a redução do consumo dependente da pressão.

A utilização de válvulas redutoras de pressão (VRPs) vem sendo amplamente empregada no controle de pressões nas redes de abastecimento de água no Brasil e no mundo e vem se mostrando eficiente na redução de Perdas Reais. Uma alternativa à instalação de VRPs que vem sendo estudada é a utilização de bombas funcionando como turbina (BFTs) em rede de distribuição de água para o controle de pressão e geração de energia (LIMA, 2017). Esta alternativa parte do princípio de transformar a perda de carga que seria introduzida no sistema pela instalação de uma

VRP em energia elétrica. Segundo Lima (2017), as BFTs apresentam um resultado semelhante aos das VRPs principalmente quando bombas de rotação variadas são utilizadas, com a vantagem de gerar energia.



Fonte: Dados de instalação de VRP fornecidos pela SABESP para o estudo de caso.

Figura 2.6: Vazão em um setor de abastecimento antes e depois a redução de pressão.

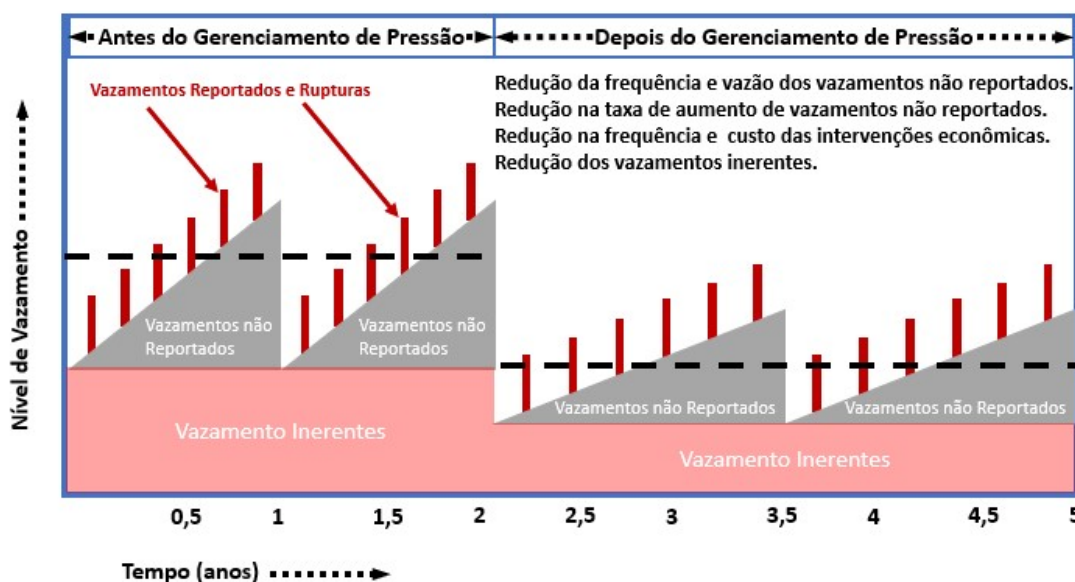
Hashemi et al. (2013) apresentam em seu trabalho uma outra alternativa para a redução de pressão para o controle de perdas através da utilização de programação do funcionamento das bombas de rotação variável. A metodologia proposta foi testada em dois estudos de casos. A vantagem desta alternativa é a redução no consumo de energia além da redução de pressão e consequentemente redução no volume de perdas

2.7 Efeitos da redução de pressão

Lambert e Fantozzi (2010b) apresentam o “estado da arte” sobre gerenciamento de pressão. Segundo os autores os benefícios da redução da pressão na rede vão além da redução do volume de perdas reais e as operadoras de sistemas de abastecimento precisam de ferramentas para prever estes benefícios para viabilizar economicamente o programa de gerenciamento de pressão. De acordo com Vicente et al. (2016) a relação entre a redução de pressão e a redução de volume das perdas reais, frequência de rompimentos, e redução de consumo são os três principais

objetivos das operadoras que introduzem o gerenciamento de pressão, portanto alguns trabalhos referentes a estes temas serão abordadas a seguir.

A redução de pressão na rede reduz as três formas de vazamento, reportados, não reportados e indetectáveis, Lambert e Fantozzi (2010b) representam a redução do volume de perdas através do diagrama apresentado na Figura 2.7. Segundo os autores os vazamentos indetectáveis são constantes no tempo, os vazamentos não reportados são representados de forma triangular, visto que os volumes aumentam com o passar do tempo e os vazamentos reportados, incluindo os rompimentos, sobrepõem os demais. O volume de vazamento médio anual é representado pela linha tracejada.



Fonte: traduzido de Lambert e Fantozzi, (2010b).

Figura 2.7: Influência do gerenciamento de pressão em componentes do “BABE” da perda real.

A teoria FAVAD, conforme abordado no item 2.4.2 deste trabalho, implica em utilizar um coeficiente N_1 na relação entre a variação de pressão e variação de vazão que corresponda as condições da rede em análise, podendo variar de 0,5 a 1,5 e em alguns casos podendo chegar a 2,5. O expoente N_1 pode também ser calculado, ou até mesmo estimado através de testes noturnos.

Outro importante benefício atribuído a redução de pressão na rede é a diminuição da frequência dos rompimentos. Pearson et al.(2005) baseados em dados de mais de 50 distritos de medição distribuídos em diversos países apresentam a tentativa de estabelecer uma relação empírica entre a redução de pressão na rede e

a redução da frequência de rompimentos. Os autores partem da hipótese que similarmente a relação estabelecida entre a variação de pressão e os vazamentos, os rompimentos variariam exponencialmente com a variação de pressão. No caso, o expoente N_2 relacionaria a frequência de rompimento com a pressão. Pearson et al. (2005) testaram algumas hipóteses para estabelecer uma relação para o cálculo de N_2 . Apesar da grande amplitude dos valores de N_2 encontrados, os autores apresentam as médias obtidas para cada hipótese como possíveis valores para N_2 .

Apesar da significativa diminuição na frequência dos rompimentos após a diminuição da pressão, FAVAD com um expoente de rompimento, N_2 não foi considerada apropriado para representar a relação entre a frequência de rompimentos e a diminuição de pressão. De acordo com Lambert e Fantozzi (2010b) outros fatores como as baixas temperaturas, recalque, sobre carga de veículos e a idade e condição das tubulações, combinados com a pressão elevada pode afetar a frequência de rompimentos.

De acordo com Lambert e Fantozzi (2010b), a redução de consumo também pode ser estimada através da teoria FAVAD, com consumo (C) variando com a pressão P^{N_3} . O coeficiente N_3 no entanto, seria dividido em duas parcelas referentes ao consumo interno (N_{3i}) e consumo externo (N_{3o}). Em sistemas com abastecimento direto, ou seja, sem caixa d'água residencial, alguns componentes do consumo interno são influenciados pela pressão (como chuveiros, torneiras e alguns tipos de descargas) os demais componentes são controlados pelo volume. O expoente de consumo N_3 depende das características do consumo (KOELLER; KLEIN, 2010). Um estudo de caso realizado na Austrália sugeriu que em média o expoente N_{3i} é de 0.04 para abastecimentos direto. Em setores onde o abastecimento é indireto, através de caixa d'água, N_{3i} é zero se todo o consumo interno é proveniente da caixa d'água. No entanto o consumo externo frequentemente é conectado diretamente na rede, sendo este influenciado pela variação de pressão. No mesmo estudo de caso realizado na Austrália foram avaliados valores de N_{3o} considerando alguns tipos de consumo como mangueiras, sprinklers para irrigação, mangueiras flexíveis para irrigação por gotejamento, piscinas (onde N_{3o} é zero) indicaram um valor de N_{3o} médio aproximado de 0,45. Os autores apresentam a relação da Equação (12) para a variação de consumo com a variação de pressão.

$$\% \text{ redução consumo} = 1 - OC\% \times (P_1/P_0)^{N_{3o}} - (1 - OC\%) \times (P_1/P_0)^{N_{3i}} \quad (12)$$

Onde; OC% é a porcentagem do consumo residencial externo (*outside consumption*), P_1 é a pressão na rede depois da redução de pressão, P_0 é a pressão antes da redução de pressão, N_{3o} é o coeficiente de redução de consumo externo, N_{3i} é o coeficiente de redução de consumo interno.

Uma vez estimado os coeficientes de redução de consumo interno (N_{3i}) e externo (N_{3o}), através desta equação é possível estimar a porcentagem na redução do consumo para qualquer combinação de redução de consumo e porcentagem de consumo externo em setores onde a instalação de válvulas redutoras de pressão está sendo programado. Os autores apresentam a tabela a seguir demonstrando as reduções esperadas considerando os coeficientes obtidos no estudo de caso da Austrália.

Tabela 2.1 Porcentagem de Redução de consumo em função da redução de pressão e porcentagem de consumo externo.

N _{3i}	0,04	N _{3o}	0,45								
Porcentagem de Redução do Consumo											
OC% P1\P0											
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,9	0,42	0,84	1,26	1,68	2,10	2,53	2,95	3,37	3,79	4,21	4,63
0,8	0,89	1,76	2,62	3,49	4,35	5,22	6,09	6,95	7,82	8,69	9,55
0,7	1,42	2,76	4,10	5,44	6,78	8,12	9,46	10,80	12,15	13,49	14,83
0,6	2,02	3,87	5,73	7,58	9,43	11,28	13,13	14,98	16,83	18,69	20,54
0,5	2,73	5,14	7,55	9,95	12,36	14,77	17,17	19,58	21,98	24,39	26,80
0,4	3,60	6,62	9,64	12,66	15,68	18,69	21,71	24,73	27,75	30,77	33,79
0,3	4,70	8,41	12,13	15,84	19,55	23,27	26,98	30,69	34,40	38,12	41,83

Fonte: (LAMBERT; FANTOZZI, 2010b)

De acordo com Meyer, Engelbrecht e Wright, (2009) a cidade do Cabo foi a primeira na África do Sul a implementar com sucesso um grande programa de gerenciamento de pressão. O programa foi implantado em quatro áreas da cidade entre 2001 e 2008 somando a economia de 13.4 milhões de m³ de água por ano, no entanto além da redução de pressão também foram implantados programas para a conscientização do consumo de água. Segundo os autores, programas de redução de

pressão não podem ser implantados em qualquer área, sendo essencial um estudo de viabilidade. O estudo deve incluir tipicamente, medição da pressão e vazão reais, previsão da economia de água esperada, análise do custo benefício da implantação da VRP (economia de água x custo da implantação), análise do impacto da redução de pressão no sistema de abastecimento e a determinação do local mais apropriado para a instalação da VRP. Segundo os autores quando implantado corretamente um programa de gerenciamento de pressão pode apresentar bons resultados e rápidos retorno. Outros benefícios da redução de pressão mencionados no trabalho são; a redução da frequência de rompimentos, a redução dos vazamentos nas instalações residenciais quando conectadas diretamente na rede, redução do consumo diário e maior durabilidade do sistema de abastecimento de água e instalações residenciais. Apesar do trabalho mencionar a redução do consumo como um dos benefícios da redução de pressão os autores não apresentam análise deste benefício. No entanto, para uma das áreas estudadas foi determinado a redução do volume de esgoto produzido, que pode ser atribuído ao programa de conscientização do consumo de água realizado concomitantemente ou ainda, parte pode ser atribuída a redução de pressão na rede.

Girard e Stewart, (2007) apresentam um estudo de caso realizado em um setor da cidade de Gold Coast na Austrália. Foram instaladas VRPs com objetivo de reduzir a demanda durante a crise hídrica entre 2001 e 2003. No distrito de medição selecionado foram instalados medidor de vazão e uma VRP modulada pela vazão. A demanda de água no setor foi gerenciada através de monitoramento de pressão e vazão, detector de vazamentos e controle de pressão e vazão. Também foram realizados teste de pressão zero para confirmar os pontos de abastecimentos do setor. O Monitoramento da vazão do sistema de abastecimento possibilitou determinar a demanda de uma área e monitoramento de rompimentos durante o monitoramento noturno. Após a instalação de VRP modulada pela vazão foi possível observar economia de água logo na primeira noite. Os autores também concluem que a frequência de rompimentos em adutoras e ligações reduziu em 90% e 80% respectivamente. Apesar de considerar a redução do consumo um benefício da redução de pressão os autores não apresentam como este benefício foi contabilizado, apresentando apenas a diminuição da vazão mínima noturna, que pode ser referente tanto a redução dos vazamentos invisíveis quanto a diminuição de consumo. Quanto

a redução de arrecadação, os autores acreditam que seriam compensadas pela economia no tratamento da água e redução dos rompimentos. Os autores concluem que os programas de redução de pressão apresentam o melhor custo benefício para ampliar a produção de água em um sistema de abastecimento de água.

Os diversos pontos de consumo de água em uma residência podem ser ligados diretamente a rede de abastecimento ou serem conectados em caixas d'água individuais. Geralmente em cidades, ou setores, onde o abastecimento através das redes é intermitente, residências possuem caixas d'água que armazenam para os períodos de desabastecimento da rede ou racionamento de água. No Brasil a maioria das moradias ainda possuem caixas d'água, no entanto muitos países como Inglaterra e Austrália as ligações são feitas diretamente às redes de abastecimento. O Quadro 2.7 apresenta os principais pontos de consumo de água em uma residência e relaciona para cada tipo de abastecimento o tipo de consumo.

Quadro 2.7 Principais pontos de abastecimento residencial e a influência da pressão

Principais pontos de consumo de água residencial	Tipo de abastecimento	
	Direto	Misto ou predominante indireto
Chuveiros	Pressão da rede	Pressão da caixa d'água
Vasos sanitários	Volumétrico	Volumétrico
Torneiras de pias de banheiros	Pressão da rede	Pressão da caixa d'água
Banheiras	Volumétrico	Volumétrico
Torneiras de pias de cozinhas	Pressão da rede	Pressão da caixa d'água
Torneiras de tanques externos	Pressão da rede	Pressão da caixa d'água ou pressão da rede
Maquinas de lavar pratos ou roupas	Volumétrico	Volumétrico
Piscinas	Volumétrico	Volumétrico
Torneiras de jardim	Pressão da rede	Pressão da rede

Fonte: O autor.

Segundo Gomes, Sousa e Sá Marques, (2013) mesmo em setores com abastecimento direto a redução de pressão afeta apenas os componentes que são dependentes da pressão. Alguns pontos de abastecimento não são influenciados pela pressão visto que o abastecimento é controlado pelo volume do ponto de consumo em questão (caso dos vasos sanitários, banheiras, maquinas de lavar roupas e lava pratos, banheiras e piscinas por exemplo). No Brasil é comum, mesmo nas residências

com abastecimento por caixas d'água, alguns pontos de abastecimento serem conectados diretamente às redes de abastecimento (como por exemplo as torneiras de jardim e torneiras de tanques de áreas externas).

Gomes, Sousa e Sá Marques, (2013) apresentam uma metodologia baseada nas recomendações da IWA para estimar os benefícios do gerenciamento de pressão utilizando modelo computacional. Na análise, os autores separam o consumo dependente da pressão (ex. chuveiros, torneiras de pias e torneiras de jardim) do consumo que independente da pressão (ex. descargas, caixa d'água, máquinas de lavar). Consideram o coeficiente de redução de vazamentos $N_1 = 1$ e o coeficiente de redução do consumo aplicado somente na parcela de consumo que varia com a pressão $N_2 = 0,5$ (ou N_3 utilizado por Lambert). Os autores aplicam a metodologia proposta em dois estudos de caso com setores fictícios. Como resultado em um dos setores a redução de pressão reduziu 8% dos vazamentos diários e 0,83% do consumo diário. O outro estudo de caso analisou a eficiência dos diferentes tipos de VRPs, sendo as VRPs moduladas pela pressão (ou pela vazão) a mais eficiente na diminuição dos volumes de vazamento, seguida das VRPs moduladas no tempo e por fim pela VRP de saída fixa. Os autores concluem que apesar da redução de consumo acarretar na redução da arrecadação, a redução de pressão pode levar a uma grande redução do volume de perdas, sendo assim considerada uma ferramenta essencial em programas voltados para a conservação hídrica. Quanto maior a redução de pressão maior os benefícios do gerenciamento de pressão.

Kanakoudis e Gonelas, (2014) apresenta dois estudos de caso realizados nas cidades da Grécia Kos e Kozani. Foram desenvolvidos modelos hidráulicos para cada cidade utilizando o software WaterGEMS com o objetivo de determinar a melhor solução para a redução de pressão em cinco setores de cada cidade. De acordo com os autores a redução de pressão reduz a parcela de consumo dependente da pressão e consequentemente retarda a expansão do sistema de abastecimento. Na modelagem, as demandas nos nós foram compostas por uma parcela referente as perdas indetectáveis e outra parcela referente ao consumo dependente da pressão. Os valores foram definidos por setores dependendo dos valores das perdas de cada um. Para a determinação da parcela do consumo que é dependente da pressão os autores apresentam porcentagens do consumo doméstico para os vários pontos de utilização, excluindo aqueles que são dependentes do volume e chegando a uma

porcentagem de 70% para consumo dependente da pressão. No modelo, a redução de pressão foi atingida "instalando" VRPs virtuais, onde foram criados cenários com válvulas de saída fixa e válvulas com timer interno. A redução de pressão foi implantada no modelo em 5 setores de cada cidade. Na cidade de Kos o resultado da modelagem apresentou aproximadamente 20% de redução do volume de demanda para os setores. Para a cidade de Kozani a redução foi de aproximadamente 25%. A concessionária da cidade de Kozani decidiu implantar duas válvulas redutoras de pressão com saída fixa conforme recomendado pelo estudo em dois setores. A redução de pressão foi realizada gradativamente nos dois setores durante 3 semanas, obtendo uma redução inesperada de 60% do volume de demanda para os setores em questão. O modelo hidráulico para cidade de Kozani inicialmente havia sido calibrado, porém não verificado. Baseados nos resultados de campo foram feitos ajustes no modelo com o objetivo de replicar os resultados encontrados. Para tanto a parcela da demanda dependente da pressão inserida no modelo foi alterada para 90%. O trabalho não deixa claro qual parcela deste aumento foi considerada proveniente das perdas indetectáveis ou da redução do consumo.

Segundo Koeller e Klein, (2010) o efeito de redução do consumo pode ser visto como uma desvantagem da redução de pressão, no entanto, também pode ser uma consequência positiva pois diminui o pico da demanda. Os autores apresentam uma avaliação das práticas de gerenciamento de pressão e sugerem que a redução de consumo deve ser considerada na composição do custo efetivo da implantação da redução de pressão, no entanto o estudo não apresenta evidências da redução de consumo. Os autores consideram apropriado desconsiderar o expoente referente ao consumo interno N_{3i} (proposto por Lambert), visto que este é inelástico e tende a zero mesmo em setores com abastecimento direto. Já para N_{3o} os autores sugerem utilizar 0,2 o que corresponde a 40% do consumo total sendo consumo externo. Este cenário seria equivalente a um sistema com abastecimento misto.

Awad, Kapelan e Savi, (2009) apresentam um modelo detalhado de custo para analisar os benefícios da implantação de programas de redução de pressão. O modelo proposto leva em consideração custos diretos e indiretos, particularmente os benefícios devido à redução do consumo dependente da pressão, redução no custo de busca por vazamentos, redução das reclamações de clientes e redução no consumo de energia. Também são considerados os benefícios da redução de

vazamentos, redução da frequência de rupturas, benefício na redução do controle de vazamentos, redução do contato com clientes, benefícios da economia indireta de água, benefício da economia indireta de energia e o custo anual da implantação e operação da VRP. O modelo foi aplicado em dois setores reais do Reino Unido utilizando modelos hidráulicos. Na composição do benefício da redução do consumo de água os autores consideram como benefício a redução da demanda a ser produzida e a redução na produção de esgoto como um benefício, a redução na arrecadação é computada como uma desvantagem. Os autores também consideram um valor único para o expoente N_3 , e não uma composição entre o expoente interno e externo, descartando a análise para abastecimento misto. Os autores concluem que em ambos os estudos de caso a economia com a introdução da redução de pressão pode ser verificada e a redução com a arrecadação é superada. O trabalho foi baseado em resultados de modelagem e evidências da redução do consumo não foram apresentadas no estudo.

Bamezai e Lessick, (2003) apresentam um estudo experimental realizado pela companhia de saneamento *Irvine Ranch Water District* em Santa Mônica na Califórnia. Os autores apresentam o resultado das análises da redução do consumo em dois setores onde foram instaladas VRPs e três setores onde não foram instaladas VRPs. No estudo foram consideradas as famílias residentes na mesma propriedade durante o período estudado, bem como as propriedades com maiores áreas externas. O estudo conclui que no setor onde a redução de pressão foi significativa (17.6%) houve uma redução de 1,9% no consumo. Segundo os autores, apesar da redução parecer pequena, quando considerada em uma grande área pode representar volumes significativos especialmente se existe escassez hídrica.

Galvão (2007) também apresenta um estudo experimental realizado em 27 setores controlados por VRPs a região metropolitana de São Paulo, o estudo analisou a variação de consumo para o mesmo período para 27 áreas não controladas por VRPs. Apesar de constatar uma diminuição no consumo durante o período analisado, o autor conclui que a instalação de VRPs não provoca redução significativa no consumo, visto que também foram observadas reduções no consumo nos setores sem a influência das VRPs. O autor atribui este fato às características de abastecimento indireto dos consumidores da região metropolitana de São Paulo e sugere que novos

estudos sejam realizados para analisar a influência da pressão em pontos abastecidos diretamente pela rede.

Apesar da reconhecida importância em entender o comportamento do consumo em função da pressão, e muitos autores terem utilizado a teoria FAVAD para relacionar a pressão com o consumo, de acordo com Vicente et al., (2016) existem poucos estudos experimentais que abordam este tema. O autor sugere cautela ao utilizar esta teoria visto que algumas abordagens diferem em relação ao desmembramento dos componentes da demanda. Alguns autores sugerem que quando a pressão na rede é inadequada o consumo varia independente da pressão, e somente quando a pressão é insuficiente o consumo depende do consumidor e da pressão do sistema. Alguns autores separam o consumo temporal como sendo dependente da vazão e consumo volumétrico independente da vazão. Giustolisi, Walski e Asce, (2012). consideram quatro componentes de demanda, baseados na forma de controle da vazão, controle humano, controle pelo volume, orifícios sem controle e vazamentos. Através da modelagem computacional os autores analisam o comportamento da demanda em regime permanente.

Segundo Vicente et al., (2016) a redução de consumo é o objetivo menos implementado em programas de gerenciamento de pressão, provavelmente por causa dos vários componentes da demanda e pela dificuldade em relacionar a variação de pressão e o consumo. Um dos maiores programas de gerenciamento de pressão foi implementado na Austrália durante a seca que atingiu a região sudeste do país entre 2001 e 2009 quando vários trabalhos foram publicados referentes ao gerenciamento de pressão. O objetivo dos programas eram não somente reduzir o volume de perdas reais e a frequência de rompimentos como também reduzir o consumo (GIRARD; STEWART, 2007) (VICENTE et al., 2016). De acordo com Girard e Stewart (2007) apesar desta redução de consumo impactar também na arrecadação, diminuiu também os gastos referente aos rompimentos, o custo do tratamento da água e o consumo de energia.

Em seu trabalho, Vicente et al. (2016) concluem que a relação entre o volume dos vazamentos e a pressão envolve diversas abordagens, sendo o conceito FAVAD a base de muitos e vem sendo frequentemente utilizada. Apesar da relação entre a variação de pressão e rompimentos não ter sido estabelecida, a influência da pressão na frequência de rompimentos é reconhecida. Em relação a redução no

consumo, os autores consideram um objetivo crucial que pode ser obtido com o gerenciamento de pressão, principalmente em cenários de crise hídrica.

Em resumo, dos trabalhos apresentados sobre a redução do consumo, Lambert e Fantozzi (2010b) apresentam uma relação para estimar a redução no consumo após a redução de pressão na rede de abastecimento. Meyer, Engelbrecht e Wright, (2009) apresentam um estudo de caso na cidade do Cabo onde a redução de pressão foi implantada, similarmente, Girard e Stewart (2007) apresentam um estudo de caso na cidade de Gold Coast na Austrália, em que a redução do consumo é considerada um benefício da redução de pressão em ambos os trabalhos, no entanto não são apresentadas evidências da alteração do consumo.

Outros trabalhos, já utilizaram o conceito da relação entre a redução de pressão e a redução do consumo em modelos hidráulicos como Gomes, Sousa e Sá Marques, (2013) que apresentam uma metodologia para estimar os benefícios da redução de pressão através de modelagem hidráulica em setores fictícios. Kanakoudis e Gonelas (2014) também utilizam modelagem hidráulicas para estimar a redução de vazamentos e redução de consumo, porém aplicadas a setores reais das cidades de Kos e Kozani na Grécia. Awad, Kapelan e Savi (2009) também apresentam um modelo de custo detalhado para analisar os benefícios da redução de pressão. O modelo foi aplicado através de modelagem hidráulica em dois setores do Reino Unido.

Bamezai e Lessick (2003) e Galvão (2007) apresentam um estudo experimental baseados em dados de consumo. A redução de consumo foi observada no estudo apresentado por Bamezai e Lessick (2003) em um dos setores onde a redução de pressão foi significativa. Por outro lado, no trabalho apresentado por Galvão (2007) a redução de consumo não foi observada.

A maioria dos trabalhos utiliza o conceito da redução de consumo em modelos computacionais ou apresentam resultados de programas de redução de perdas implantados, em que apesar da redução no consumo ser considerada uma consequência, não são apresentadas evidências desta alteração, o que torna um estudo a partir de dados de reais ainda mais relevante.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo, foram propostos dois estudos de caso, onde seja possível analisar os dados de consumo antes e depois da implantação de válvulas redução de pressão para alguns setores de dois municípios. Após extensas negociações com as concessionárias de alguns municípios, foi obtido o consentimento dos municípios de Várzea Paulista, no estado de São Paulo, e de Palmas, no estado de Tocantins, para a disponibilização dos dados necessários para este estudo.

A concessionária do município de Várzea Paulista forneceu dados referentes a seis setores onde foram instaladas válvulas redutoras de pressão com registro de pelo menos 11 meses de consumo antes e depois da instalação da VRP. Apesar de terem sido disponibilizados dados de seis setores, para três deles não foi possível obter confirmação da data de início da operação da válvula e, portanto, estes não foram utilizados no estudo de caso. Não foram disponibilizadas informações em relação a troca de hidrômetros no período analisado. Também, foram selecionadas duas áreas próximas aos setores com VRPs para possibilitar a comparação da variação do consumo no mesmo período em setores onde não houve influência da redução de pressão.

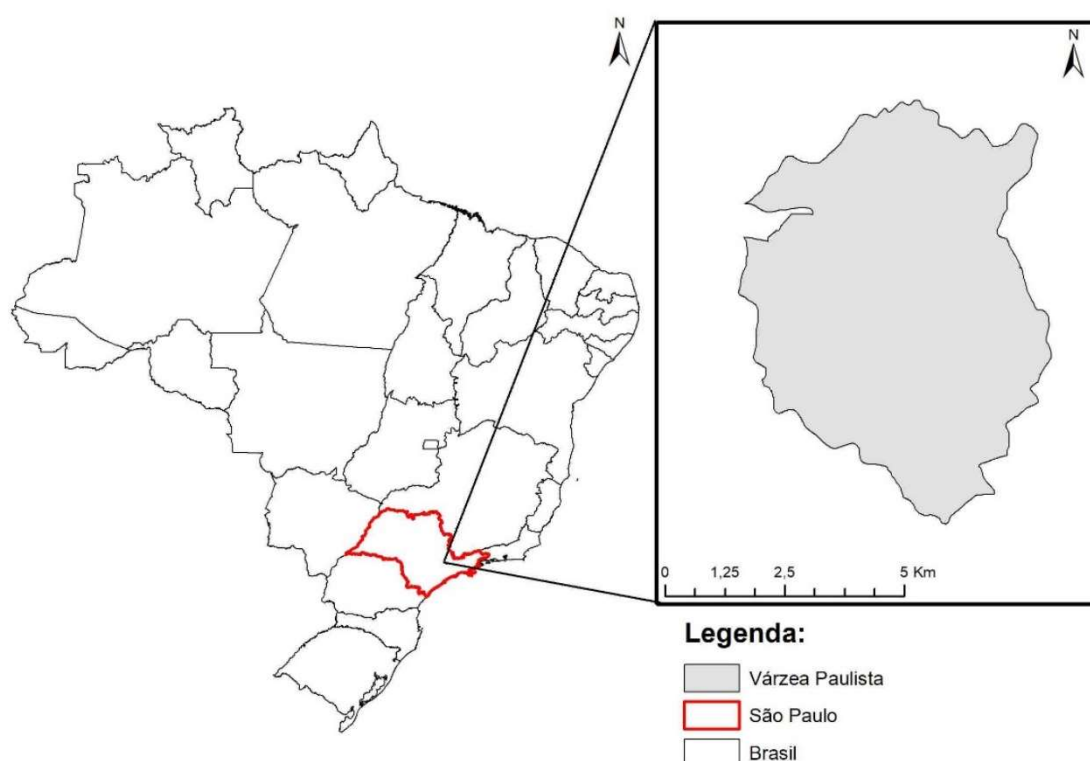
A concessionária do município de Palmas forneceu dados referentes a 12 setores com datas de instalação entre março de 2016 e outubro de 2018. Destes, foram selecionados quatro setores que dispunham de dados de consumo para pelo menos 11 meses antes e depois da instalação da VRP. Dentre os 12 setores fornecidos pela concessionária também foram selecionados quatro setores para comparação onde as VRPs foram instaladas apenas no segundo semestre de 2018 possibilitando utilizar os dados anteriores sem a influência da redução de pressão. Não foram disponibilizadas informações em relação a troca de hidrômetros no período analisado.

3.1 Caracterização do município de Várzea Paulista

Segundo o IBGE Cidades, o município de Várzea Paulista possui área territorial de 35,120 km² e uma população estimada para 2017 de 118.917 pessoas. A densidade demográfica em 2010 era de 3.049,14 hab/Km². O município possui 92,4% dos domicílios com esgotamento sanitário adequado, 45,9% de domicílios

urbanos em vias públicas com urbanização adequada (com bueiro, calçada, pavimentação e meio fio). O salário médio mensal dos trabalhadores formais em 2015 era de 3,2 salários mínimos. Em 2010, 33,2% da população possuíam rendimento nominal mensal per capita de até meio salário mínimo. O PIB per capita em 2015 era de R\$ 20.622,35. Ainda, segundo o IBGE, a média de moradores por domicílios no censo de 2010 era de 3,8 habitantes por moradia. Segundo os dados disponibilizados pela concessionária no Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) o consumo per capita na cidade é de 121 L/hab/dia.

Segundo a Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (EMPLASA) o município de Várzea Paulista está localizado na aglomeração urbana de Jundiaí (AUJ) que é formada pelos municípios de Cabreúva, Campo Limpo Paulista, Itupeva, Jarinu, Jundiaí, Louveira e Várzea Paulista. O mapa da Figura 3.1 apresenta a localização do município.



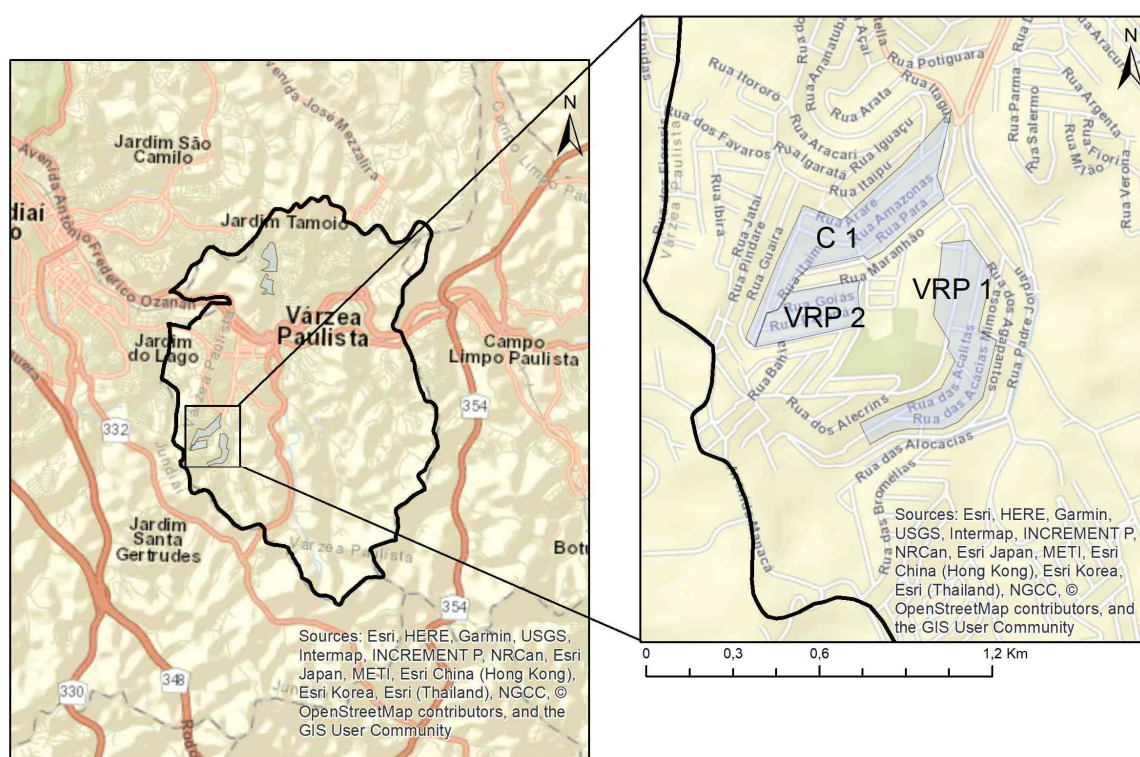
Fonte: Elaborado pelo autor baseado nos mapas disponíveis em (IBGE, 2018).

Figura 3.1 Localização do Município de Várzea Paulista. Latitude: 23° 12' 41" S Longitude: 46° 49' 42" W.

3.1.1 Caracterização dos setores de Várzea Paulista.

A concessionária disponibilizou os dados considerados suficientes dos setores denominados Alcalifas, Brauna e Óros. Duas áreas vizinhas que não tiveram a influência de VRPs foram selecionadas para comparação. As características e localização de cada setor serão apresentadas a seguir.

A Figura 3.2 apresenta a localização dos subsetores denominados pela concessionária VRP Alcalifas e VRP Pernambuco, que serão denominados ao longo deste trabalho de VRP1 e VRP2, respectivamente. O subsetor VRP1 possui 2,63 km de extensão de rede com diâmetro variando entre 50 e 75 mm predominantemente em PVC. É composto em sua maioria por imóveis residenciais com poucos pequenos comércios. A VRP de saída fixa foi implantada em 23.03.2010. A pressão no ponto crítico reduziu de 60 mca para 18 mca. A pressão a jusante da VRP reduziu de 63 mca para 30 mca.



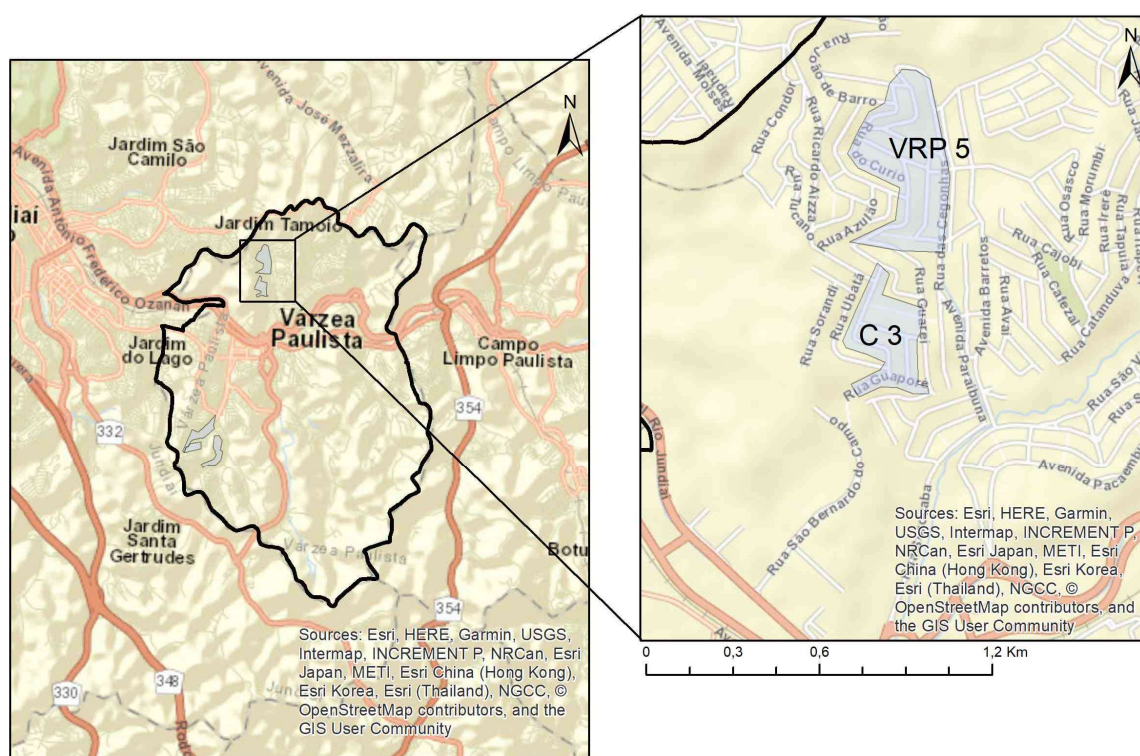
Fonte: Elaborado pelo autor utilizando fonte citada na figura.

Figura 3.2: Localização dos subsetores VRP 1 e 2 e setor de comparação C1.

O subsetor VRP2 apresenta 3,14 km de extensão de rede com diâmetros que variam entre 50 mm e 100 mm, na sua maioria em PVC, composto

predominantemente por imóveis com poucos e pequenos comércios. A VRP de saída fixa foi instalada no dia 23.03.10. A pressão no ponto crítico reduziu de 52 mca para 16 mca. A pressão a jusante da VRP reduziu de 45 mca para 21 mca. A região selecionada para comparação destes dois setores possui características de ocupação similares aos subsetores vizinhos onde a VRP foi instalada. Esta área foi denominada C1.

A Figura 3.3 apresenta a localização do subsetor Orós que será denominado VRP 5. O Subsetor apresenta 4,41 Km de rede com diâmetro variando ente 50mm e 200mm na sua maioria PVC, com predominância de imóveis residenciais com pouco pequenos comércios. A VRP de saída fixa foi implantada em 09.12.09. A pressão no ponto crítico foi reduzida de 50 mca para 31 mca. A pressão de jusante da VRP reduziu de 59mca para 38mca. A região selecionada para comparação com ocupação similar foi denominada C3. O Quadro 3.1 apresenta um resumo das informações sobre os setores.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando fonte citada na figura.

Figura 3.3: Localização do subsetor VRP5 e o setor de comparação C3.

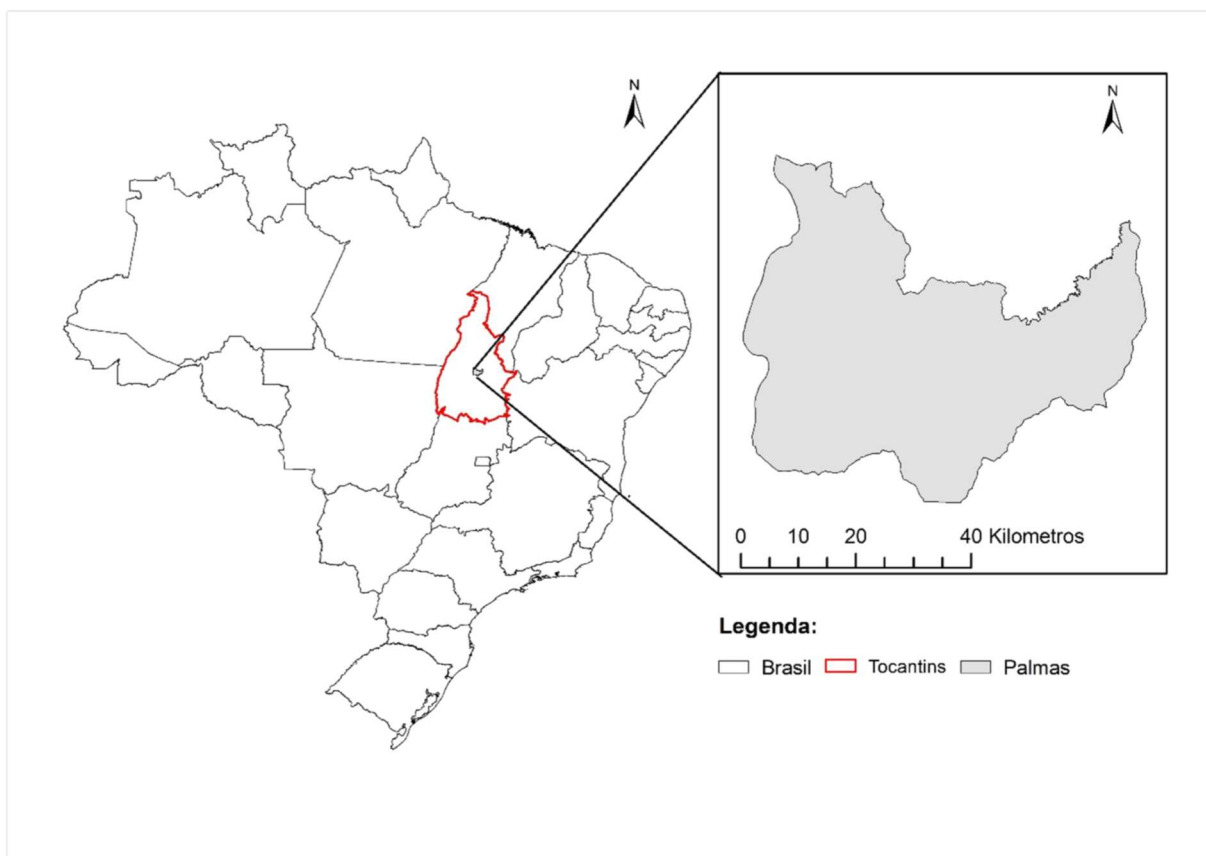
Quadro 3.1 Resumo das características dos setores com VRPs de Várzea Paulista.

Setor	Comp.	Diâmetro e material	Ocupação	Ligações	Data Instalação	Tipo de VRP	Redução no ponto crítico	Redução a Jusante
VRP1	2,63Km	50mm - 75mm PVC	Residencial	320	23.03.2010	Saída fixa	De 60mca para 18mca	De 63mca para 30mca
VRP2	3,14Km	50mm - 100mm PVC	Residencial	274	23.03.2010	Saída fixa	De 52mca para 16mca	De 45mca para 21mca
VRP5	4,41Km	50 - 200mm PVC	Residencial	335	09.12.2009	Saída fixa	De 50mca para 31mca	De 59mca para 38mca

3.2 Caracterização do município de Palmas

Segundo o IBGE Cidades (2017), o município de Palmas possui área territorial de 2.218,942Km² e uma população estimada para 2018 de 291.855 pessoas. A densidade demográfica em 2010 era de 102,90 hab/Km². De acordo com o Censo de 2010 o município possui 67,6% dos domicílios com esgotamento sanitário adequado, 31,30% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (com bueiro, calçada, pavimentação e meio fio). O salário médio mensal dos trabalhadores formais em 2016 era de 3,8 salários mínimos. Em 2010, 30% da população possuíam rendimento nominal mensal per capita de até meio salário mínimo. O PIB per capita em 2015 era de R\$27.135,06. Ainda, segundo o IBGE, a média de moradores por domicílios no Censo de 2010 era de 3,3 habitantes por moradia. Segundo a própria concessionária o consumo per capita na cidade é de 150 L/hab/dia.

Palmas é a capital do estado do Tocantins tendo sido planejada, foi criada em 1989 com o intuito de ser um polo de irradiação de desenvolvimento econômico e social do estado (IBGE, 2017). A Figura 3.5 apresenta a localização do município de Palmas.



Fonte: Elaborado pelo autor baseado nos mapas disponíveis em (IBGE, 2018)

Figura 3.4: Localização do município de Palmas. Latitude: $10^{\circ}11'4''$ S, Longitude: $48^{\circ}20'1''$ W.

3.2.1 Caracterização dos setores de Palmas

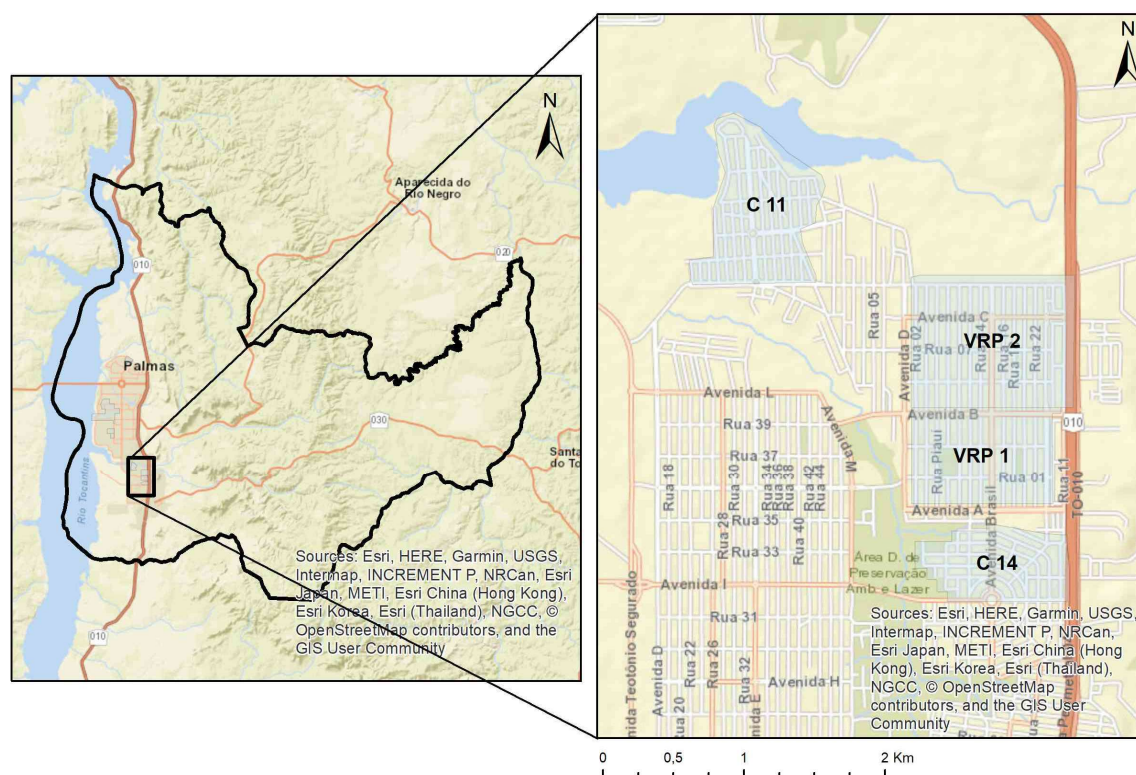
Dos dados disponibilizados pela concessionária, foram selecionados os setores identificados como VRP1, VRP2, VRP4, VRP5, por terem dados de consumo suficiente para o estudo. Os setores que serão utilizados como testemunha também foram apresentados pela concessionária com prefixos “VRP”, os prefixos foram alterados para facilitar a identificação para “C” (comparação) mantendo-se a numeração da concessionária, sendo estes C9, C10, C11 e C14.

Os dados recebidos incluem informação sobre a presença de reservatório e tamanho dos mesmos para cada consumidor. Os setores cadastrados com “0 litros” foram interpretados como residências sem reservatório e, portanto, com abastecimento diretamente da rede. Aqueles cadastrados com tamanho do reservatório em litros foram interpretados como residências com reservatórios e, portanto, com abastecimento indireto. Os setores cadastrados com outro tipo de informação foram considerados incertos, no entanto foram adicionados para efeito de

cálculos, aos setores com abastecimento indireto, visto ser este o cenário mais desfavorável.

O setor VRP1 apresenta ruas e residências bem arborizadas, com a presença de árvores frutíferas e áreas gramadas. As ruas são asfaltadas, existem vários lotes ainda não ocupados e várias novas construções. O setor apresenta ocupação predominantemente residencial com apenas 74 estabelecimentos comerciais. A rede de distribuição do setor VRP1 é de 200 mm de diâmetro sendo que o diâmetro da válvula é de 150 mm. A pressão de montante é de 35,4 mca e a pressão de ajuste da válvula é de 17 mca. A VRP foi instalada em janeiro de 2017. Possui 1208 ligações, sendo 34% destas com abastecimento direto, 65% com abastecimento indireto e apenas 1% considerado incerto. O setor C14 foi selecionada como testemunha deste setor e apresenta ocupação predominantemente residencial com ruas asfaltadas e arborizadas similarmente ao setor VRP1. O setor C14 também teve uma válvula redutora de pressão instalada, no entanto a data é posterior a fevereiro de 2017 não influenciando no período selecionado para este estudo.

O setor VRP2 apresenta ruas e residências bem arborizadas, com a presença de árvores frutíferas e áreas gramadas. As ruas são asfaltadas, e também existem vários lotes ainda não ocupados bem como novas construções. O setor apresenta ocupação predominantemente residencial com apenas 82 estabelecimentos comerciais. A rede de distribuição do setor VRP2 é de 200 mm de diâmetro sendo que o diâmetro da válvula é de 100 mm. A pressão de montante é de 47,9 mca e a pressão de ajuste da válvula é de 10 mca. A VRP foi instalada em janeiro de 2017. Possui 1880 ligações, sendo 36% destas por abastecimento direto, 63% por abastecimento indireto e apenas 1% considerado incerto. O setor C11 foi selecionado como testemunha deste setor e apresenta ocupação predominantemente residencial com apenas 29 comércios e uma ocupação industrial. As residências são mais homogêneas, as ruas são asfaltadas, porém menos arborizadas do que o setor VRP2, apresenta grande quantidade de lotes vazios e construções.

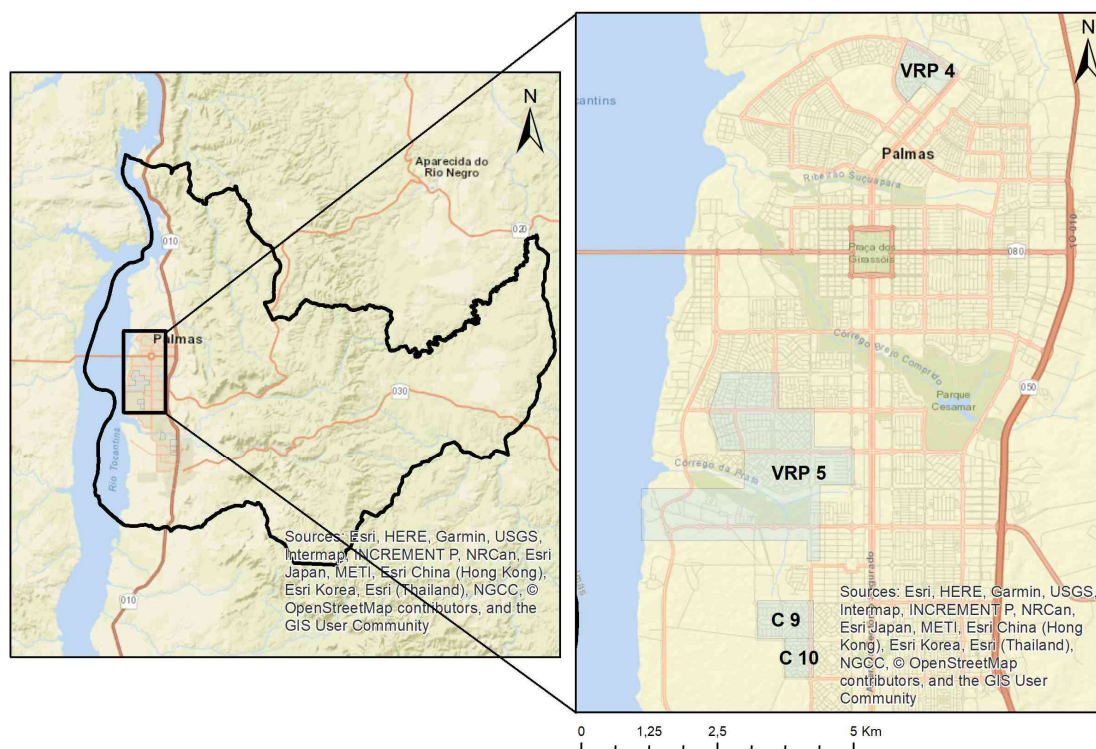


Fonte: Elaborado pelo autor utilizando fonte citada na figura.

Figura 3.5: Localização dos setores VRP1, VRP2, C14 e C11 em Palmas.

A rede de distribuição do setor VRP4 é de 250 mm de diâmetro sendo que o diâmetro da válvula é de 150 mm. A pressão de montante é de 20,87 mca e a pressão de ajuste da válvula é de 12,71 mca. O setor apresenta ocupação predominantemente residencial com apenas 82 estabelecimentos comerciais. A VRP foi instalada em janeiro de 2017. Com 1880 ligações, sendo 36% destas por abastecimento direto, 63% por abastecimento indireto e apenas 1% considerado incerto. O setor C10 foi selecionado para comparação, apesar de não estar localizado próximo ao setor VRP4, é o setor sem influência da VRP com dados disponíveis mais próximo.

O setor VRP5 apresenta a maior área e maior número de ligações do que todos os outros setores. De acordo com as informações fornecidas pela concessionária a rede de distribuição é de 300 mm e o diâmetro da válvula é de 250mm. A pressão de montante é de 47,5mca e a pressão de ajuste da válvula é de 30,89mca.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando fonte citada na figura.

Figura 3.6: Localização dos setores VRP4, VRP5, C9 e C10 em Palmas.

O setor apresenta ocupação predominante residencial com 15 ligações industriais e 73 comerciais. A VRP foi instalada em março de 2016. O setor apresenta 2995 ligações sendo 44% destas com abastecimento direto, 50% com abastecimento indireto e 6% considerado incerto. O setor selecionado para comparação foi o C9, apesar de ser bem menor é o setor mais próximo sem a influência da redução de pressão para o mesmo período com dados disponíveis.

O Quadro 3.2 apresenta um resumo das características dos setores de Palmas que estão sendo utilizados neste estudo de caso.

Quadro 3.2: Resumo das características dos setores de Palmas.

ID	Rede Ø	Ocupação	Ligações	Data de instalação	Tipo de abastecimento	Tipo de Válvula	P.Mont. Máx. (mca)	P. Ajuste (mca)
VRP 01	200 mm	Residencial (74 com.)	1208	Janeiro de 2017	34% direto 65% indireto 1% incerto	Saída fixa	35,4	17
VRP 02	200 mm	Residencial (82 com.)	1880	Janeiro de 2017	36% direto 63% indireto 1% incerto	Saída fixa	47,9	10
VRP 04	250 mm	Residencial (59 com.)	1359	Março de 2016	40% direto 57% indireto 3% incerto	Saída fixa	20,87	12,71
VRP 05	300 mm	Residencial (15 ind. 73 com.)	2995	Março de 2016	44% direto 50% indireto 6% incerto	Saída fixa	47,5	30,89
C9	150 mm	Residencial (14 com. 2 ind.)	899	Junho de 2018	30% direto 60% indireto 9% incerto	-	-	-
C10	100mm	Residencial (10 com. 1 ind.)	443	Junho de 2018	18% direto 79% indireto 2% incerto	-	-	-
C11	200mm	Residencial (29 com. 4 ind.)	757	Junho de 2018	52% direto 35% indireto 13% incerto	-	-	-
C14	150mm	Residencial (87 com. 1 ind.)	1095	Março de 2018	32% direto 67% indireto 1% incerto	-	-	-

3.3 Dados e seleção das amostras

Os dados referentes ao município de Várzea Paulista foram disponibilizados pela concessionária em planilhas de Excel contendo informação de consumo agrupados por mês. A partir das plantas dos subsetores disponibilizadas pela concessionária foi possível levantar a população de interesse, os endereços correspondentes a cada área onde foram instaladas VRPs. Os dados para esta população foram organizados por subsetor de abastecimento ou setor de comparação. Para cada setor foram separados dados referentes a 11 meses de consumo antes da instalação da VRP e 11 meses de consumo depois, de acordo com a data de início de operação de cada válvula.

Os dados referentes ao município de Palmas foram disponibilizados pela concessionária em arquivos no formato Shapes do software ArcGIS já separados para o período de 11 meses de consumo antes da instalação da VRP e 11 meses de consumo depois, de acordo com a data de início de operação de cada válvula.

Uma vez selecionada a população a ser estudada foram definidos critérios para a seleção da amostra para cada setor:

- Foram desconsiderados consumos nulos;

- Foram desconsiderados consumos discrepantes muito superiores à média dos meses anteriores para o mesmo consumidor por serem considerados possíveis erros de leitura;
- Grandes consumidores como escolas, postos de gasolina e os poucos comércios foram incluídos nas médias;
- Foram selecionados dados de consumo referente a 11 meses antes da instalação da VRP e 11 meses após. O mês de instalação da VRP foi desconsiderado da amostra visto que este consumo corresponde apenas a parte do mês com a pressão reduzida.

Inicialmente foi proposto considerar os dados de consumo válidos aqueles superiores ao consumo unitário (um habitante por residência com consumo per capita médio do município), no entanto não houve diferença significativa do consumo médio considerando todos os consumos e o consumo médio considerando apenas consumos superiores aos unitários; portanto foram considerados todos os consumos diferentes de zero.

Neste estudo, a diferença entre a média do consumo anterior e a média do consumo posterior à instalação da VRP é a variável independente, o consumo antes e depois para um mesmo consumidor são considerados dependentes. A variável de controle são os meses do ano, visto que o volume consumido é afetado pela sazonalidade. Existem outras variáveis (intervenientes) que podem influenciar o consumo, no entanto, não podem ser controladas, como por exemplo o consumo pode diminuir devido a conscientização da escassez de água ou aumentar caso a média de ocupação por domicílio aumente devido a mudança do número de ocupantes.

3.4 Análises e cenários propostos

A primeira análise dos dados será realizada para avaliar a porcentagem de consumidores em cada setor que apresentou alguma variação de consumo no período estudado. Para tanto, foi considerada a média de consumo de 11 meses antes e 11 meses após a instalação da VRP por consumidor. O resultado apresentado de forma gráfica, identifica para cada setor a porcentagem de consumidores que reduziram o consumo neste período, aumentaram, não alteraram ou ainda aqueles em que o consumo é zero para o período de antes ou depois, ou ambos.

Após esta análise inicial dos dados foram propostos três cenários para estudar a variação do consumo. No primeiro cenário será analisada a diferença de consumo referente aos 11 meses antes da instalação da VRP e 11 meses depois. Este cenário (Cenário 1) apresenta um longo período de dados como vantagem, no entanto, visto que o período é longo existe uma possibilidade maior do consumo ter sido alterado devido a mudança de hábitos dos consumidores, ou até mesmo mudança na ocupação impactando o consumo. Este cenário possibilita identificar o impacto da redução de pressão no consumo para o período de um ano, caso este exista.

No segundo cenário será analisada a diferença de consumo entre o mês anterior a instalação da VRP e o mês posterior a instalação da VRP. Neste cenário (Cenário 2), a possibilidade de o consumo ter sido alterado devido alterações de hábitos ou mudança são menores, no entanto os meses do ano comparados não serão os mesmos possibilitando uma variação de consumo devido a sazonalidade ou alterações pontuais devido a viagens e períodos de férias. Este cenário, no entanto, foi considerado relevante visto que a comparação direta do mês anterior e posterior por vezes, pode ser utilizada como referência após a redução de pressão, no entanto não necessariamente refletir a situação real.

No terceiro cenário será analisada a diferença de consumo referente a seis meses posteriores a instalação da VRP e o período equivalente do ano anterior a instalação da VRP. Neste cenário (Cenário 3) a seleção dos mesmos meses do ano evita a variação de consumo sazonal, apesar de apresentar um período reduzido de dados apresenta menor possibilidade dos hábitos e ocupação terem mudado em comparação com o Cenário 1. Possibilita avaliar se é possível identificar a redução de consumo após um período relativamente mais curto.

No entanto, apesar desta análise inicial possibilitar identificar a tendência da variação de consumo nos setores estudados, não é suficiente para afirmar se houve aumento ou redução de consumo sem antes analisar a dispersão dos dados da amostra e realizar um teste de hipótese. A análise de dispersão dos dados e teste de hipótese descritos nos itens 3.5 e 3.6 também serão avaliados para os três cenários propostos.

3.5 Análise de dispersão dos dados

A análise de dispersão dos dados de consumo de cada setor será realizada através de gráficos de *boxplots*, elaborados conforme descrito no Anexo A, que é uma ferramenta que vem sendo muito utilizada (KRZYWINSKI; ALTMAN, 2014). A variável aleatória discreta neste caso, será a *diferença* entre a média de consumo antes e depois da instalação da VRP para cada residência do setor em questão. A análise de dispersão dos dados através do *boxplots* possibilitará determinar os *outliers* que representam variações de consumo fora dos valores esperados. As observações de diferenças extremas indicam variações de consumo que podem representar diversas situações particulares como vazamentos internos, troca de hidrômetros durante o período estudado, mudança de consumidor no período estudado, mudança dos hábitos do mesmo consumidor, erros de leitura ou, ainda, consumidores que não apresentam um padrão de consumo definido como, por exemplo, estabelecimentos comerciais, entre outras.

Utilizando a equação (12) proposta por Lambert e Fantozzi (2010b) para a previsão da porcentagem de redução de consumo em relação a redução de pressão na rede, foram calculadas as porcentagens de redução de consumo esperadas para setores com abastecimento misto, ou seja, consumo interno proveniente de caixa d'água e consumo externo direto da rede. Para tanto o valor do coeficiente correspondente ao consumo interno foi considerado igual a zero ($N_{3i}=0$), e o coeficiente correspondente ao consumo externo foi considerado $N_{3o}=0,45$ como recomendado pela literatura. As porcentagens obtidas estão apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.1: Porcentagens de redução de consumo esperada para setores com abastecimento misto, onde N_{3i} é igual a zero.

N _{3i}	0,00	N _{3o}	0,45								
Porcentagem de Redução do Consumo											
OC% P1\PO											
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,9	0,0	0,46	0,93	1,39	1,85	2,32	2,78	3,24	3,70	4,17	4,63
0,8	0,0	0,96	1,91	2,87	3,82	4,78	5,73	6,69	7,64	8,60	9,55
0,7	0,0	1,48	2,97	4,45	5,93	7,41	8,90	10,38	11,86	13,35	14,83
0,6	0,0	2,05	4,11	6,16	8,21	10,27	12,32	14,38	16,43	18,48	20,54
0,5	0,0	2,68	5,36	8,04	10,72	13,40	16,08	18,76	21,44	24,12	26,80
0,4	0,0	3,38	6,76	10,14	13,52	16,89	20,27	23,65	27,03	30,41	33,79
0,3	0,0	4,18	8,37	12,55	16,73	20,91	25,10	29,28	33,46	37,65	41,83

Como a ocupação dos setores é predominantemente residencial, é estimado que as faixas de consumo mensal estejam entre 10 m³ e 30 m³, desta forma a redução de consumo esperada para este tipo de consumo pode ser estimada para diferentes porcentagens de consumo externo conforme apresenta a Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Redução de consumo esperada de acordo com a redução de pressão por faixa de consumo segundo a Equação(12) proposta por Lambert e Fantozzi (2010b).

Faixas de consumo	Redução de pressão	Redução de consumo esperada em m ³		
	P1/P0	Con. Ext 10%	Con. Ext 20%	Con. Ext 30%
10 m ³	0,8	0,10	0,19	0,29
	0,6	0,21	0,41	0,62
	0,4	0,34	0,68	1,01
15 m ³	0,8	0,14	0,29	0,43
	0,6	0,31	0,62	0,92
	0,4	0,51	1,01	1,52
20 m ³	0,8	0,19	0,38	0,57
	0,6	0,41	0,82	1,23
	0,4	0,68	1,35	2,03
30 m ³	0,8	0,29	0,57	0,86
	0,6	0,62	1,23	1,85
	0,4	1,01	2,03	3,04

É possível observar que, de acordo com a variação de consumo esperado devido à redução de pressão é da ordem de 0,1 a 3 m³. As variações excessivas (*outliers* moderados e extremos) são consequência de alterações do consumo que não podem ser determinadas neste trabalho e por isso serão excluídas da amostra para a realização do teste de hipótese.

3.6 Teste de hipótese

Testes de hipótese são aplicados quando o objetivo é decidir entre duas afirmações contrárias. No teste de hipóteses são formuladas duas afirmações contraditórias sobre um mesmo parâmetro, a hipótese nula (H_0) e a hipótese alternativa (H_a). A hipótese nula será descartada somente se a evidência da amostra sugerir que H_0 é falsa, neste caso H_a é considerada verdadeira. Neste estudo, para cada consumidor (indivíduo da população) existem duas observações. As variáveis a serem analisadas são consideradas aleatórias discretas, no entanto dependentes entre si, visto que a média antes da instalação da VRP e médias após a instalação da VRP se referem a um mesmo consumidor. Desta forma o teste de hipótese t pareado foi considerado o mais adequado pois considera a diferença entre as diferentes observações como variável. Os conceitos do método estatísticos empregado neste trabalho estão apresentados no Anexo A.

No teste de hipótese serão considerados o consumo médio antes da instalação da VRP como sendo as variáveis X_n e o consumo médio após a instalação da VRP as variáveis Y_n para cada consumidor de um dado setor. De forma que X_n e Y_n são dependentes entre si, visto que se referem a um mesmo consumidor. A diferença de consumo antes e após a instalação da VRP D_n será determinada para cada consumidor de um dado setor de forma que os resultados negativos representam a diminuição do consumo, ou seja, $D_n = Y_n - X_n$. Levando em consideração as variáveis descritas e os conceitos estatísticos apresentados no Anexo A, os seguintes passos devem ser seguidos para a aplicação do teste de hipótese:

1. A média μ_d é igual a diferença populacional das médias de consumo após instalação da VRP e consumo antes da instalação da VRP ($\mu_y - \mu_x$);
2. A média $\bar{d}$ é a média amostral das diferenças (D_n) antes e depois de cada consumidor de um determinado setor;

3. O desvio padrão S_D é referente as diferenças (D_i s) de consumo antes e depois de cada consumidor do setor;
4. A hipótese nula é que não existe variação de consumo, ou seja, $H_0: \mu_d = 0$;
5. A hipótese alternativa é que existe variação de consumo, ou seja, $H_a: \mu_d \neq 0$;
6. O valor de t observado pode ser calculado através da Equação (16) definida no Anexo A deste trabalho:

$$t = \frac{\bar{d} - \Delta_0}{s_D / \sqrt{n}} \quad (16)$$

7. Onde, $\bar{d}$ é a média amostral, Δ_0 é a hipótese H_0 , S_D é o desvio padrão das diferenças D_i s e n é o número de dados
8. Escolher um nível de significância α , neste caso significância de 0,05, ou seja, assumir que existe 5% de chance de rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira (erro tipo 1, ver Anexo A);
9. Determinar o t crítico através da tabela da distribuição t para os dois extremos do intervalo de confiança (IC) visto que o teste apropriado é o bicaudal;
10. Através do valor de t calculado determinar o P valor e comparar com o nível de significância α , caso P valor seja menor que α , H_0 deve ser rejeitada no nível α escolhido, caso P valor seja maior do que α , H_0 não pode ser rejeitado no nível α . O P valor também chamado de significância observada é o menor nível em que os dados são significativos (ver Anexo A).

O teste será realizado para cada um dos setores onde VRPs foram instaladas e nos setores de comparação onde não foram instaladas VRPs, e será repetido para cada um dos três cenários propostos.

4 ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos das análises e cenários propostos para os setores de Várzea Paulista e os setores de Palmas.

4.1 Análises e cenários

Após a seleção da amostra, as variáveis (diferenças) para cada cenário foram determinadas e baseadas nestas diferenças foram realizadas as análises iniciais dos dados. Esta análise inicial, apresenta resultados obtidos apenas da comparação direta das diferenças das médias de consumo sem a utilização de métodos estatísticos. Muitas vezes, esta é a maneira como os dados são comparados pelos operadores, mas não necessariamente apresenta resultados estatisticamente significativos.

4.1.1 Setores de Várzea Paulista

O gráfico da Figura 4.1 apresenta o resultado da análise geral dos dados considerando a diferença das médias de 11 meses antes e 11 meses depois da instalação da VRP.

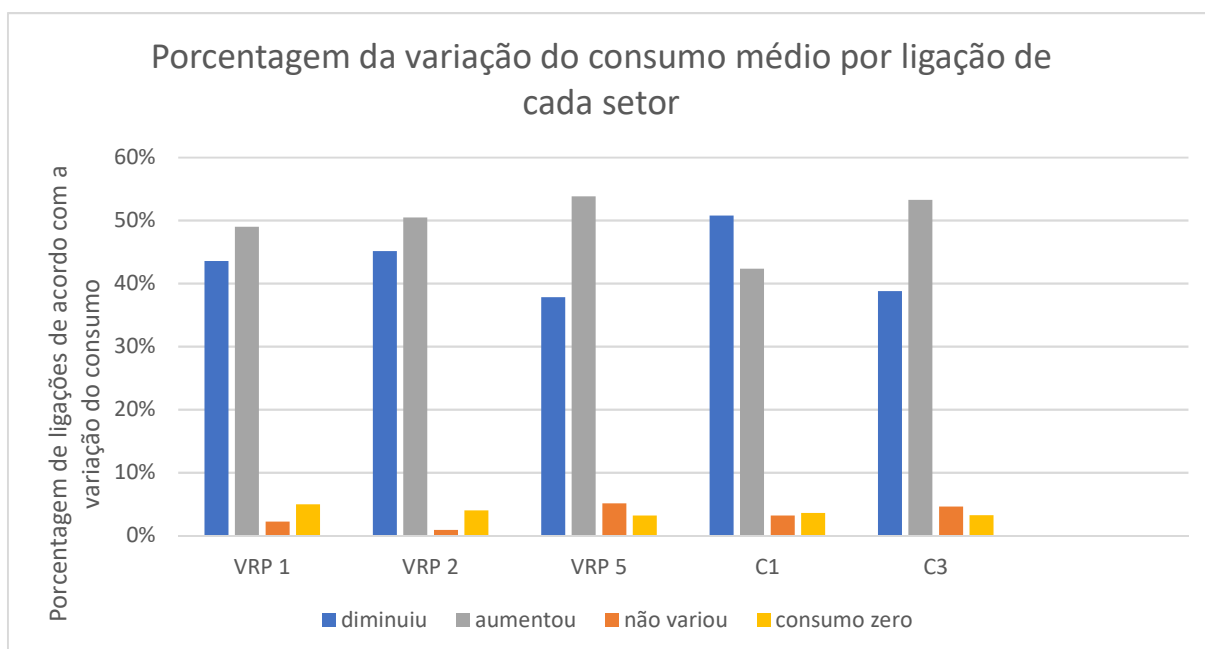


Figura 4.1: Porcentagem de variação de consumo para cada setor de Várzea Paulista.

É possível observar na Figura 4.1 que o setor C1 apresenta uma maioria de ligações com diminuição de consumo neste período, nos demais setores a maioria

das ligações aumentaram o consumo no período considerado. O gráfico também apresenta a porcentagem de ligações onde a diferença da média de consumo antes e depois não alterou, e a porcentagem de ligações do setor que não apresentam dados de consumo para o período estudado (consumo zero).

O gráfico da Figura 4.2 apresenta a comparação das médias de consumo antes e depois da instalação das VRPs para o Cenário 1. A figura também apresenta a relação (P_1/P_0) entre a pressão após a instalação da VRP (P_1) e a pressão antes da instalação da VRP (P_0) aplicada em cada setor. Esta relação é apresentada como referência, uma vez que, de acordo com a Equação (12), quanto maior a redução de pressão, maior será a porcentagem de redução de consumo esperada. É possível observar que os setores VRP1, VRP2, VRP5, e C3 apresentam um leve aumento de consumo no período de 11 meses. Apenas o setor C1 apresentou uma pequena diminuição de consumo.

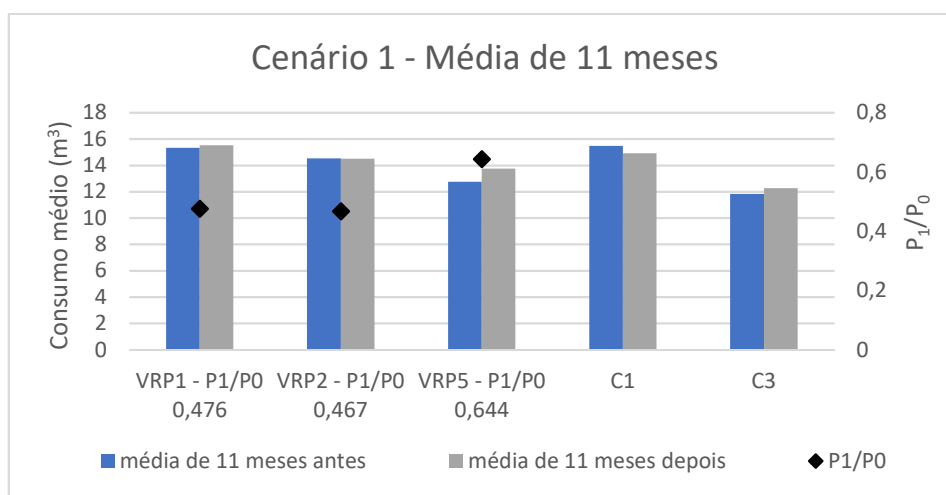


Figura 4.2: Comparação da variação de consumo entre as médias de 11 meses antes e depois da instalação da VRP para os setores de Várzea Paulista.

O gráfico da Figura 4.3 apresenta a comparação de consumo para o Cenário 2 e a relação (P_1/P_0). É possível observar que a variação de consumo foi pequena, os setores VRP2, VRP5, C1 e C3 apresentam, uma pequena diminuição no consumo.

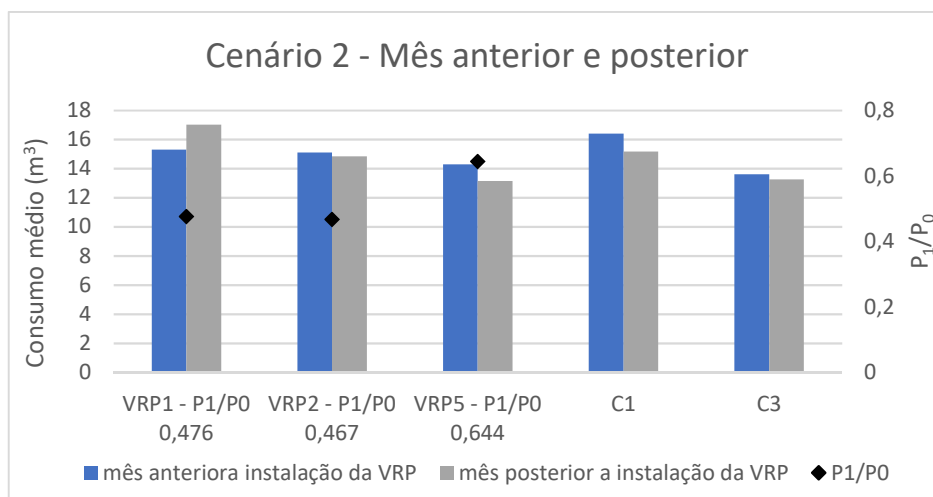


Figura 4.3: Comparação da variação de consumo entre os meses anterior e posterior a instalação da VRP.

O gráfico da Figura 4.4 apresenta a comparação de consumo para o Cenário 3 e a relação (P_1/P_0). É possível observar pouca variação de consumo, a maioria dos setores apresentam um leve aumento no consumo, apenas o setor C1 apresentou uma pequena diminuição no consumo para o período considerado.

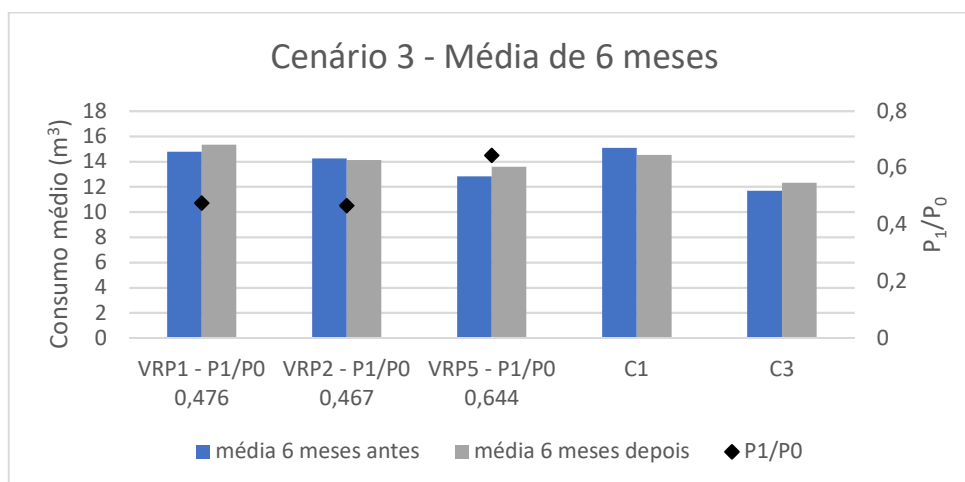


Figura 4.4: Comparação da variação de consumo entre as médias de 6 meses antes e depois da instalação da VRP.

Em todos os cenários de Várzea Paulista analisados foi observada pouca variação de consumo, sendo que a maioria dos setores apresentam um leve aumento no consumo. Não é possível identificar uma tendência para a diminuição do consumo após a redução de pressão dos setores VRP1, VRP2 e VRP5 através da análise dos dados. O setor C1 é o único que apresentou uma pequena redução de consumo em todos os cenários estudados, no entanto, neste setor não houve redução de pressão.

4.1.2 Setores de Palmas

O gráfico da Figura 4.5 apresenta o resultado da análise geral dos dados considerando a diferença das médias de 11 meses antes e 11 meses depois da instalação da VRP. Esta análise foi realizada considerando todas as ligações do setor.

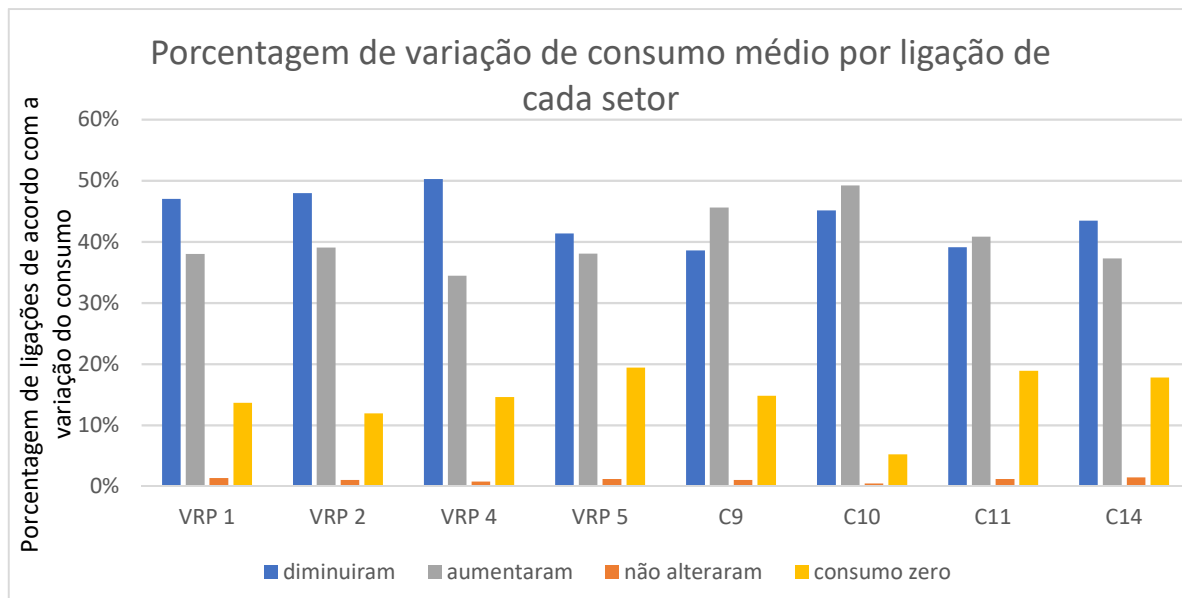


Figura 4.5: Porcentagem de variação de consumo para cada setor de Palmas.

É possível observar que nos setores onde houve redução de pressão, VRP1, VRP2, VRP4 e VRP5, uma maior porcentagem de ligações apresentaram diminuição de consumo no período analisado. Já para os setores onde não houve redução de pressão C9, C10 e C11 uma maior porcentagem de ligações apresentaram aumento de consumo no período em questão, apenas o setor C14 apresentou maior porcentagem de ligações com diminuição de consumo. O gráfico também apresenta a porcentagem de ligações onde a diferença da média de consumo antes e depois não alterou, e a porcentagem de ligações do setor que não apresentam dados de consumo para o período estudado (consumo zero).

O gráfico da Figura 4.6 apresenta a comparação das médias de consumo antes e depois da instalação das VRPs para o Cenário 1, para cada setor, bem como a relação (P_1/P_0) como referência. Nos setores onde a redução de pressão foi implantada (VRP1, VRP2, VRP4 e VRP5) todos apresentam redução de consumo para o período estudado. Nos setores onde a redução de pressão não foi implantada apenas o setor C14 apresentou redução de consumo para o período, os demais setores não variaram ou apresentam pequeno aumento de consumo.

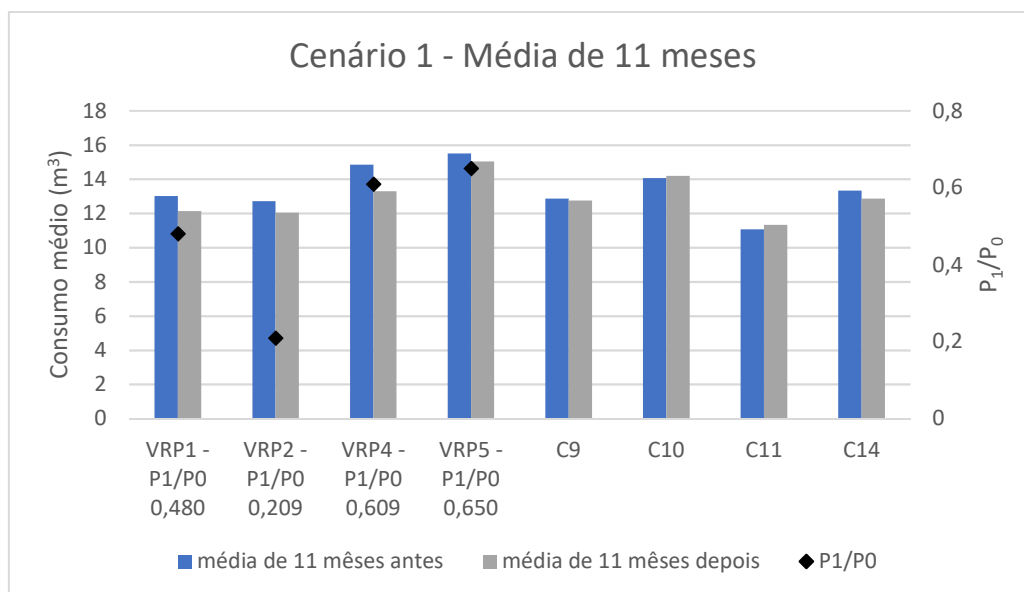


Figura 4.6: Comparação da variação de consumo entre as médias de 11 meses antes e depois da instalação da VRP para os setores de Palmas.

A Figura 4.7 apresenta o resultado da análise geral para o Cenário 2. Nos setores VRP1, VRP2 e VRP4 onde a redução de pressão foi implantada a redução de consumo pode ser observada para o período considerado.

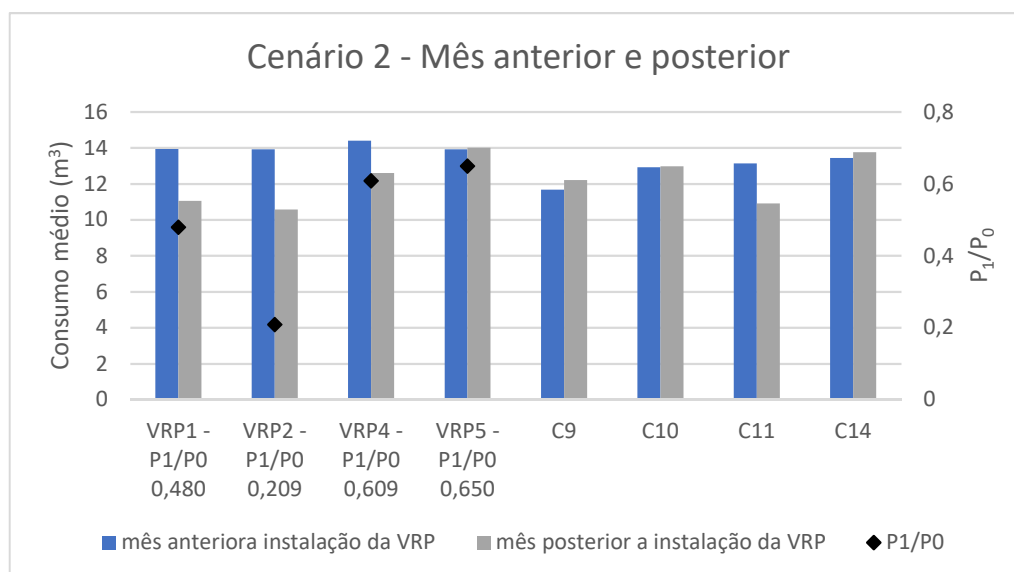


Figura 4.7: Comparação da variação de consumo entre os meses anteriores e posteriores a instalação da VRP para os setores de Palmas.

Dos setores onde a redução de pressão foi implantada apenas o setor VRP5 não apresentou redução de consumo para este cenário. Nos setores onde a redução de pressão não foi implantada apenas o setor C11 apresentou redução de consumo para o período, os demais setores não variaram ou apresentam pequeno aumento de consumo para o período.

A Figura 4.8 apresenta o resultado da análise geral para o Cenário 3. A redução de consumo pode ser observada em todos os setores onde a redução de pressão foi implantada. Nos setores onde a redução de pressão não foi implantada apenas o setor C11 apresentou aumento de consumo para o período, os demais setores apresentam uma pequena diminuição de consumo para o período.

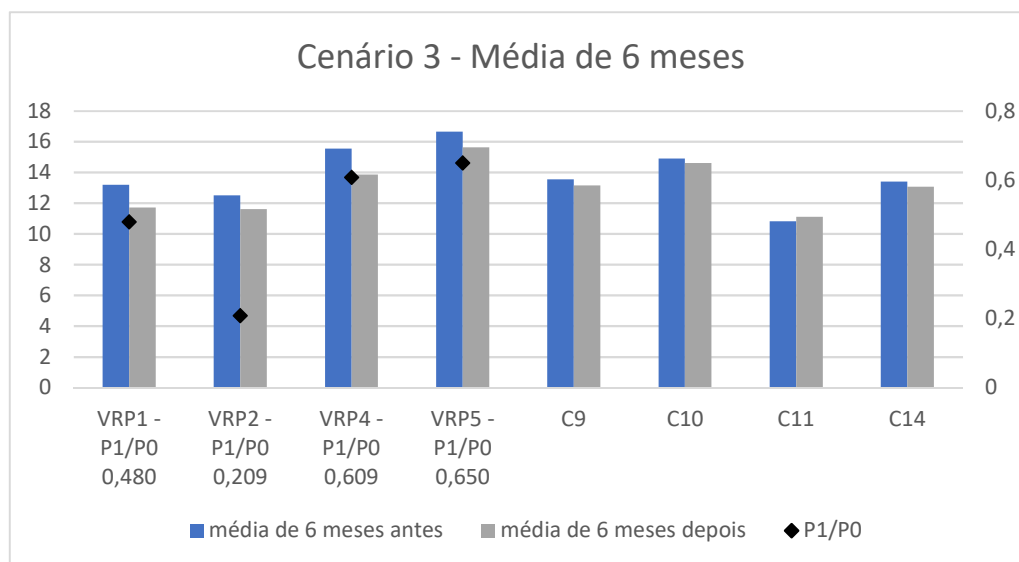


Figura 4.8 Comparação da variação de consumo entre as médias de 6 meses antes e depois da instalação da VRP para os setores de Palmas.

Foi possível identificar uma tendência para a diminuição do consumo após a redução de pressão dos setores analisados de Palmas em todos os cenários. As análises até aqui foram realizadas com todos os dados disponíveis para cada setor, sendo retirados das médias apenas as ligações com média de consumo zero para o período. Apesar de apresentar uma visão geral dos dados disponíveis, esta análise não considera a dispersão dos dados e não apresenta significado estatístico. A seguir serão apresentados os resultados da dispersão dos dados.

4.2 Resultados da análise de dispersão dos dados.

Após seleção das amostras, a determinação das diferenças (variáveis) para cada cenário e, realizada a análise inicial dos dados, foram elaborados os *boxplots* para cada setor e cenário. Os *boxplots* apresentando a análise de dispersão dos dados foram elaborados no ambiente *Spider*, utilizando o *Matplotlib*, que é uma biblioteca de gráficos para a linguagem de programação *Python*. Os dados para cada cenário foram importados diretamente do Microsoft Excel.

Os resultados são apresentados em forma gráfica e através de tabelas de resultados para cada cenário. As tabelas apresentam os valores das dispersões entre os quartis (f_s), valor máximo, valores dos quartis, os limites superiores e inferiores e valor mínimo, determinados conforme apresentado no Anexo A deste trabalho. As tabelas também apresentam o número de ligações de cada setor, a quantidade de dados que foram considerados válidos após a seleção da amostra, a quantidade de dados que foram identificados como outliers superiores e inferiores e pôr fim a quantidade de dados que serão utilizados no teste de hipótese para cada setor. Apesar da finalidade de elaborar os *boxplots* dos dados é de apenas observar a dispersão dos dados e identificar dados outliers, a observação dos gráficos possibilita obter uma indicação de como os dados para um determinado setor se apresentam, em relação a mediana.

4.2.1 Boxplots para os setores de Várzea Paulista

A Figura 4.9 apresenta o *boxplot* com *outliers* para o Cenário 1 de todos os setores analisados de Várzea Paulista.

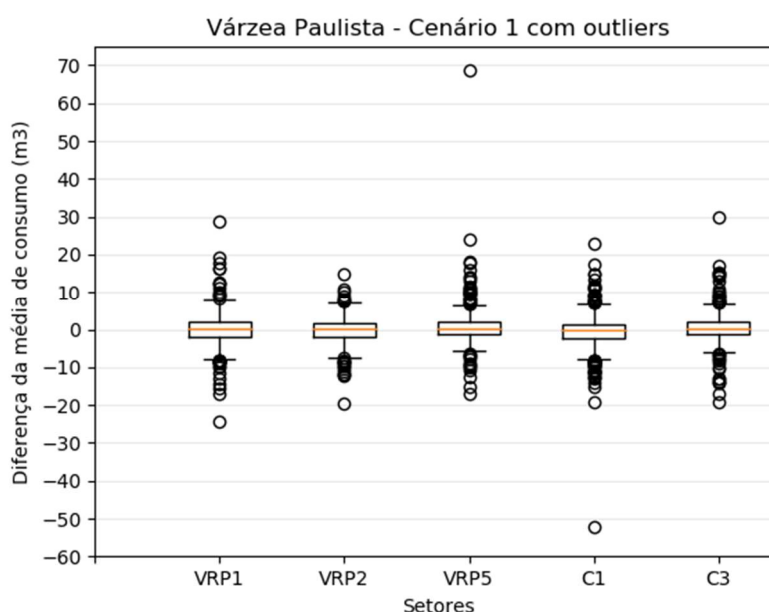


Figura 4.9: Boxplot com outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 1.

No gráfico da Figura 4.9, é possível observar a grande dispersão dos dados dos setores visto que para todos os setores foram identificados vários dados que são *outliers*. A grande dispersão dos dados aponta para uma distribuição que não é normal, no entanto as amostras para todos os setores são consideradas grandes

(superiores a 30 dados) e, portanto, a normalidade não é necessária para a aplicação do teste de hipóteses conforme abordado no Anexo A.

A tabela 4.1 apresenta os resultados da análise da dispersão dos dados em números. Como resultado, os valores maiores do que os limites superiores e menores do que os limites inferiores serão eliminados da amostra de dados que serão utilizados no teste de hipótese por serem *outliers*.

Tabela 4.1: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Várzea Paulista – Cenário 1.

	VRP1	VRP2	VRP5	C1	C3
f_s	4,045	3,68	3,09	3,720	3,27
Máximo	28,73	15,03	68,73	22,73	29,73
Limite superior	7,91	7,01	6,55	6,91	6,64
Terceiro quartil	2,09	1,82	2	1,36	2,00
Mediana	0,09	0,18	0,27	-0,225	0,27
Primeiro quartil	-1,96	-1,86	-1,09	-2,36	-1,27
Limite inferior	-7,79	-7,36	-5,55	-7,91	-6,09
Mínimo	-24,27	-19,45	-17	-52,09	-19,36
Número de ligações no setor	327	319	312	497	366
Número de dados válidos	311	308	302	480	354
Número de <i>outliers</i> positivo	14	8	25	22	21
Número de <i>outliers</i> negativo	16	14	13	28	16
Número de dados para teste	281	286	264	430	317

A grande dispersão dos dados dificulta analisar os dados visualmente através dos gráficos de *boxplots* com *outliers*. A Figura 4.10 apresenta a dispersão dos dados já com os valores *outliers* retirados das amostras. No gráfico, a linha laranja representa as medianas, é possível observar que para os setores VRP1 e VRP2 a distribuição aparenta estar equilibrada com medianas em torno de zero. Os setores VRP5 e C3 apresentam mediana ligeiramente superior a zero e o quartil superior também ligeiramente maior do que o inferior, indicando um possível aumento do consumo para estes setores. O setor C1 apresenta a mediana ligeiramente inferior a zero, e o quartil inferior maior do que o superior, indicando uma possível diminuição do consumo para este setor. O *boxplot* com *outlier* e a tabela de resultados foram apresentados para o Cenário 1 como exemplo, para os demais cenários serão apresentados apenas os gráficos dos *boxplots* sem *outliers*, as tabelas e *boxplot* com *outliers* encontra-se no Anexo B.

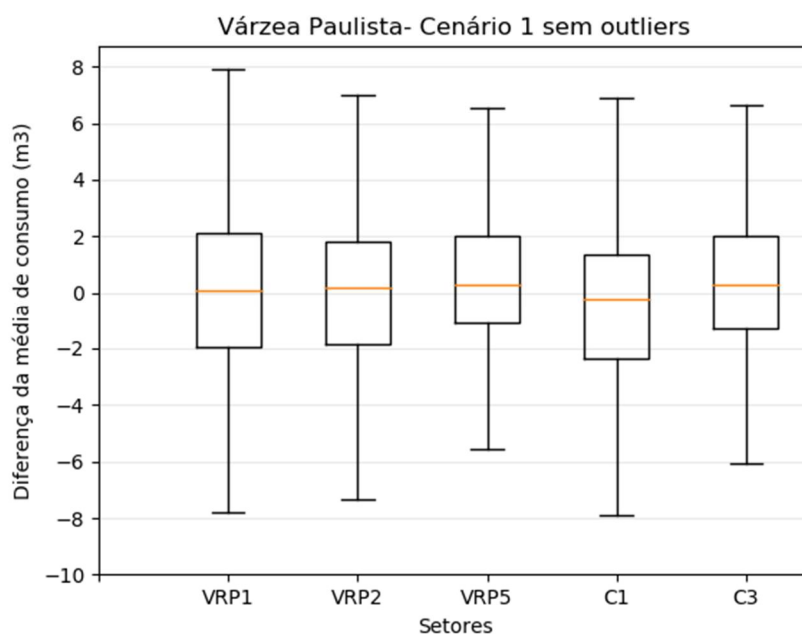


Figura 4.10: Boxplot sem outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 1.

A Figura 4.11 apresenta os *boxplots* para os setores de Várzea Paulista no Cenário 2 sem os dados outliers.

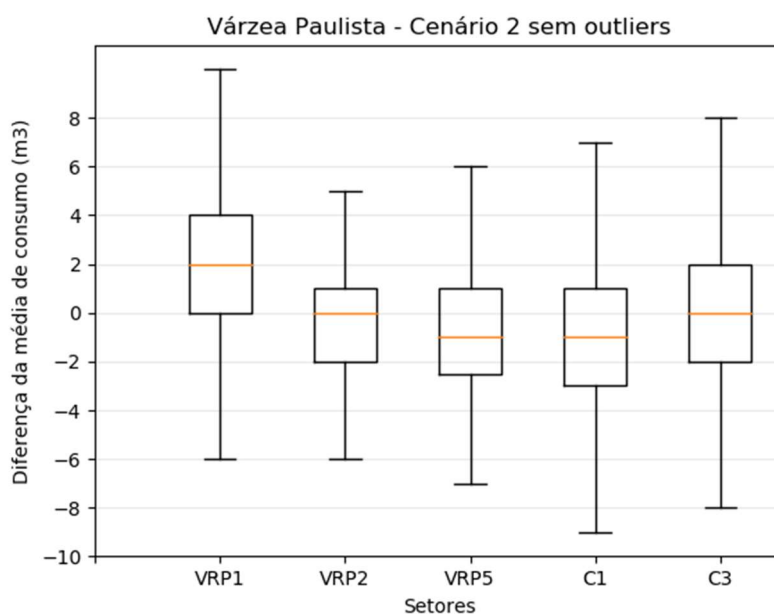


Figura 4.11: Boxplot sem outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 2.

Observando a Figura 4.11, observa-se que o setor VRP 1 apresenta mediana superior a zero indicando que provavelmente a média de consumo aumentou no período em questão. O setor VRP2 apresenta mediana em torno de zero e quartil

inferior maior do que o quartil superior, indicando uma possível diminuição no consumo. Os setores VRP5 e C1 apresentam mediana inferior a zero, também indicando uma possível diminuição no consumo para estes setores. O setor C3 apresenta a mediana em torno de zero com quartis superior e inferior equilibrados, indicando que o consumo não alterou neste setor para o período.

A Figura 4.12 apresenta os *boxplots* sem outliers para este cenário. Pelo gráfico é possível observar que os setores VRP 1 e VRP5 apresentam as medianas ligeiramente acima de zero e quartil superior ligeiramente maior do que o inferior, indicando que provavelmente houve um pequeno aumento do consumo neste setor para o período considerado. Os setores VRP2, C1 e C3 apresentam medianas próximas a zero e pequenas variações nos quartis superiores e inferiores, indicando pouca variação do consumo no período.

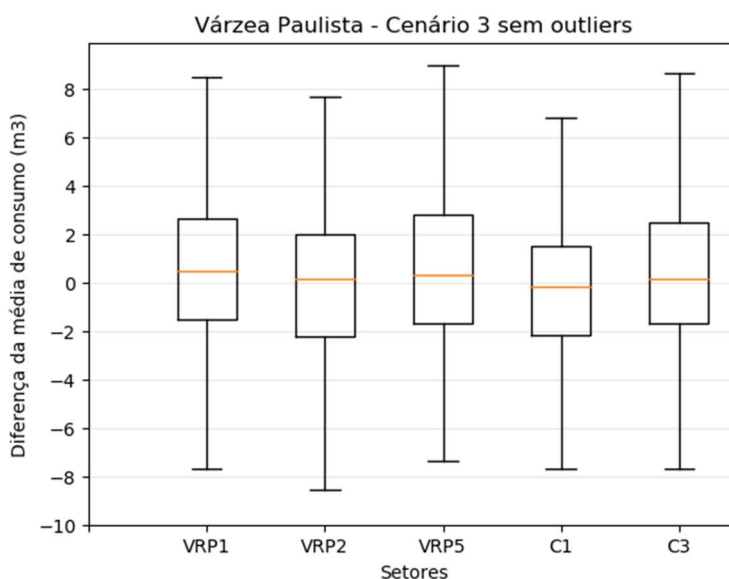


Figura 4.12: Boxplot sem outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 3.

4.2.2 Boxplots para os setores de Palmas

Como as ligações dos setores estudados de Palmas possuem informação sobre o tipo de abastecimento, se através de caixa d'água ou não, a análise dos cenários foi dividida em três. A primeira análise considera todas as ligações dos setores, a segunda considera apenas as ligações diretas e a terceira considera apenas as ligações com abastecimento indireto. Os gráficos *boxplots* com *outliers* e tabelas de resultados estão apresentados no Anexo B.

A Figura 4.13 apresenta o *boxplot* para o Cenário 1 para todas as ligações válidas dos setores. Observando o gráfico é possível observar que os setores VRP1, VRP2, VRP4 apresentam a mediana ligeiramente menor do que zero e quartil inferior maior que o quartil superior indicando uma possível diminuição do consumo para este período. Os setores VRP5 e C14 apresentam mediana próximo a zero, porém com quartil inferior ligeiramente maior que o quartil superior. Os setores C9, C10, C11 apresentam mediana próximo a zero e quartil superior ligeiramente maior do que o quartil inferior, indicando um possível aumento no consumo.

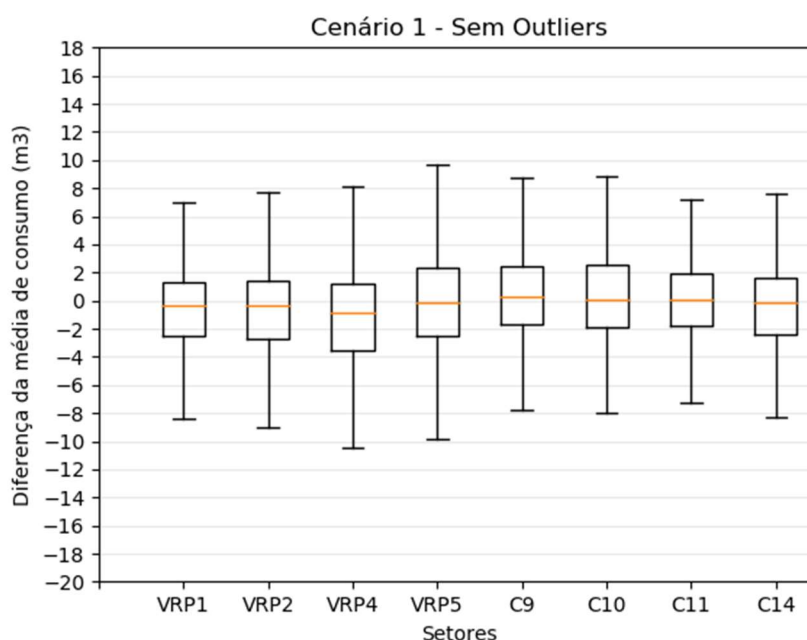


Figura 4.13:Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 1 todas as ligações.

A Figura 4.14 apresenta o *boxplot* para o Cenário 1, sem outliers para as ligações com abastecimento direto da rede.

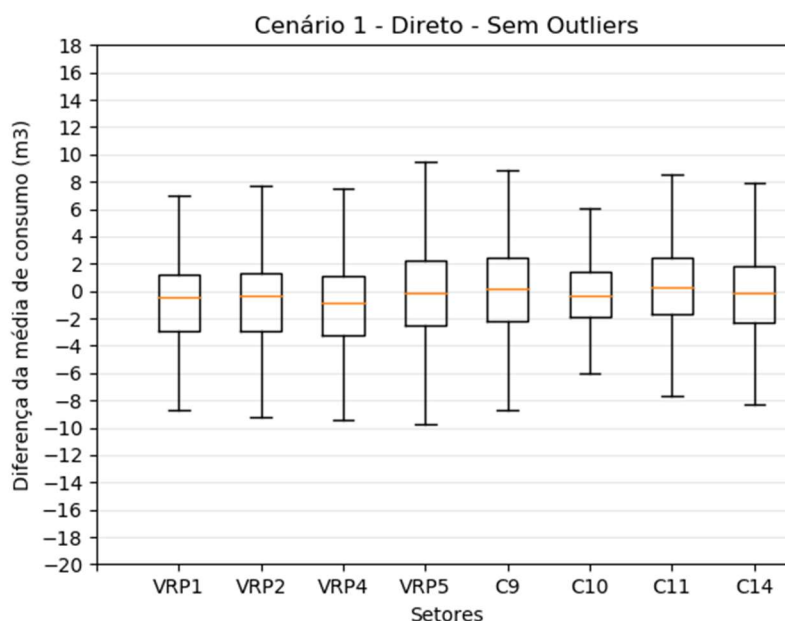


Figura 4.14: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 1 considerando apenas as ligações diretas.

Similarmente a análise feita para todos os dados, na Figura 4.14 é possível observar que os setores VRP1, VRP2 e VRP4 apresentam mediana ligeiramente inferior a zero com quartis inferiores maiores do que os superiores. Os setores VRP5 e C14 apresentam mediana próximo a zero, porém com quartil inferior ligeiramente maior que o quartil superior indicando uma possível diminuição do consumo. Os setores C9, C10, C11 apresentam mediana próximo a zero e quartil superior ligeiramente maior do que o quartil inferior, indicando um possível aumento no consumo.

A Figura 4.15 apresenta o *boxplot* para o Cenário 1, sem outliers para as ligações com abastecimento indireto, através de caixa d'água. Similarmente a análise feita para todos os dados, os setores VRP1, VRP2 e VRP4 apresentam mediana ligeiramente inferior a zero com quartis inferiores maiores do que os superiores. Os setores VRP5 e C14 apresentam mediana próximo a zero, porém com quartil inferior ligeiramente maior que o quartil superior indicando uma possível diminuição do consumo. Os setores C9, C10, C11 apresentam mediana próximo a zero e quartil superior ligeiramente maior do que o quartil inferior, indicando um possível aumento no consumo.

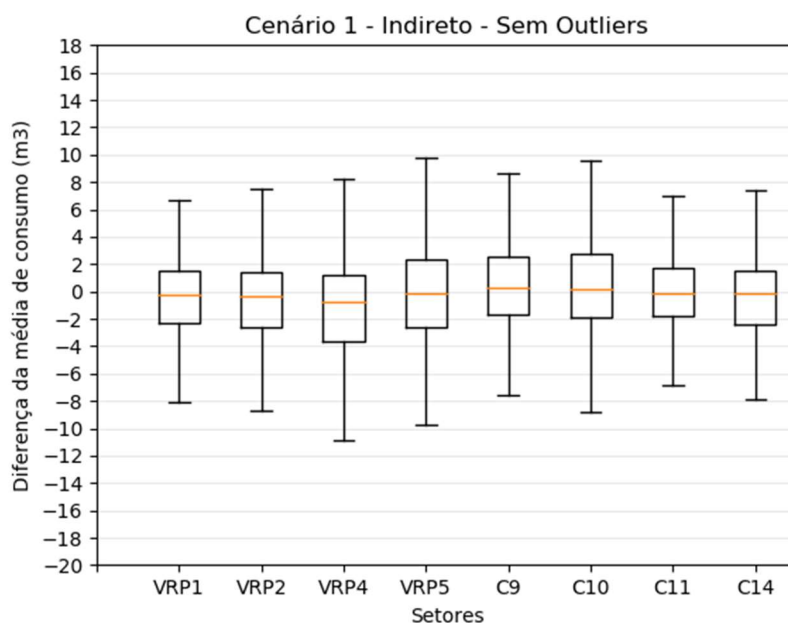


Figura 4.15: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 1 considerando apenas as ligações indiretas (através de caixa d'água).

A Figura 4.16 apresenta o *boxplot* para o Cenário 2 considerando todas as ligações. Os setores VRP 1, VRP2, VRP4 e C11 apresentam mediana inferior a zero e a maioria dos dados entre quartis menor do que zero, indicando uma possível diminuição do consumo. O setor VRP5, C9 e C14 apresentam mediana zero com os quartis superiores maiores do que os inferiores indicando um possível aumento de consumo no período. O setor C10 apresentam mediana zero e quartis equilibrados.

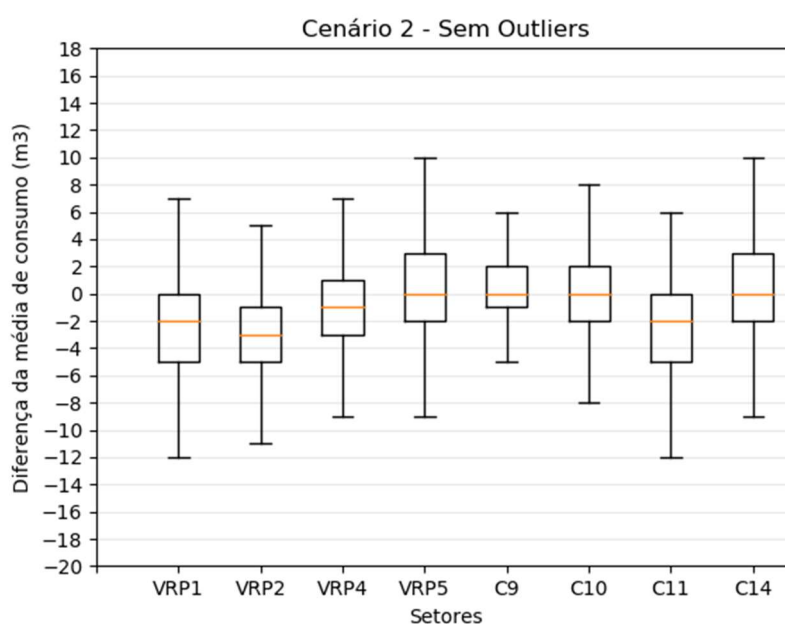


Figura 4.16: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 2 considerando todas as ligações

A Figura 4.17 apresenta o *boxplot* para o Cenário 2 considerando as ligações diretas. Os setores VRP 1, VRP2, VRP4 e C11 apresentam mediana inferior a zero e a maioria dos dados entre quartis menor do que zero indicando uma possível diminuição do consumo. Os setores VRP5, C9, C10 e C14 apresentam mediana zero com os quartis superiores maiores do que os inferiores indicando um possível aumento de consumo.

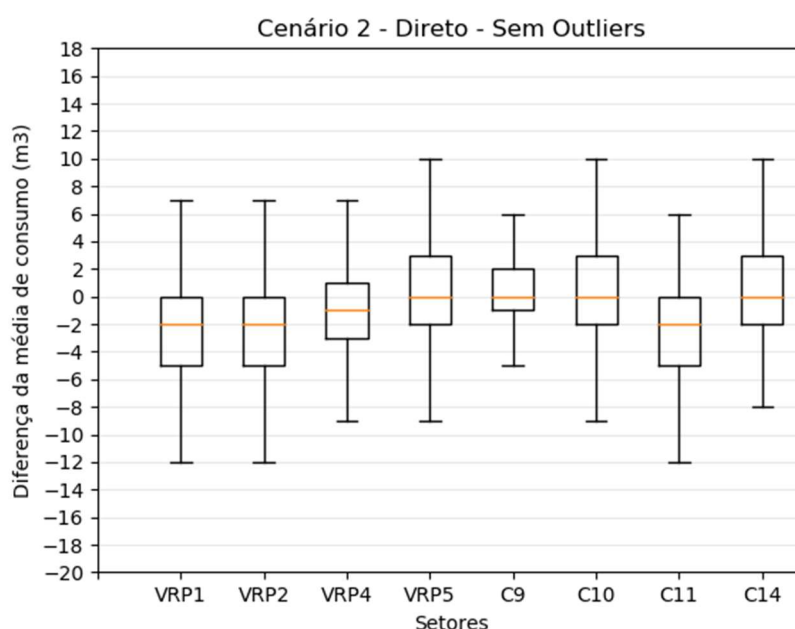


Figura 4.17: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 2 considerando apenas as ligações diretas.

A Figura 4.18 apresenta o *boxplot* para o Cenário 2 considerando as ligações indiretas. Os setores VRP 1, VRP2, VRP4 e C11 apresentam mediana inferior a zero e a maioria dos dados entre quartis menor do que zero indicando uma possível diminuição do consumo. O setor VRP5 apresenta mediana zero com quartil superiores maior do que o inferior indicando um possível aumento de consumo no período. O Setor C9 apresenta mediana superior a zero e a maioria dos dados entre quartis superiores a zero indicando um possível aumento de consumo no período. Os setores C10 e C14 apresentam mediana igual a zero e quartis superior e inferior equilibrados indicando que possivelmente o consumo não alterou no período considerado.

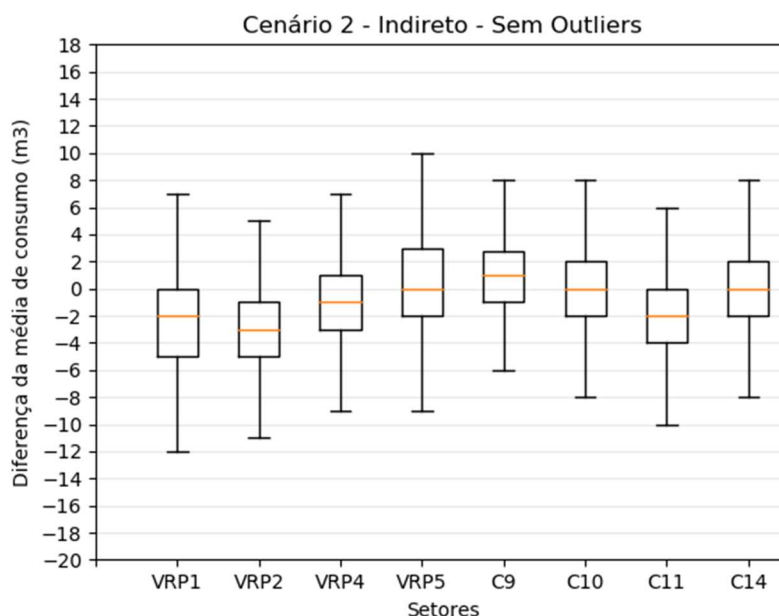


Figura 4.18: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 2 considerando apenas as ligações indiretas (através de caixa d'água).

A Figura 4.19 apresenta o *boxplot* para o Cenário 3 considerando todos os dados válidos para os setores.

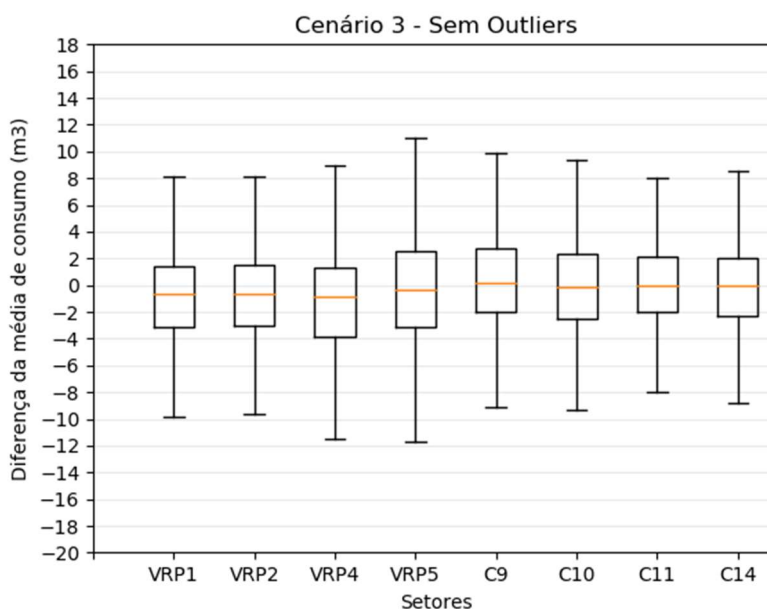


Figura 4.19: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 3 considerando todas as ligações.

Para os setores VRP1, VRP2, VRP4 e VRP5 as medianas são inferiores a zero com quartis inferiores maiores do que os superiores indicando uma possível

diminuição do consumo no período. Para os setores onde redução de pressão não foi aplicada as medianas são próximas a zero com quartis equilibrados, indicando que possivelmente não houve redução de consumo no período.

A Figura 4.20 apresenta o *boxplot* para o Cenário 3 considerando apenas as conexões diretas para os setores.

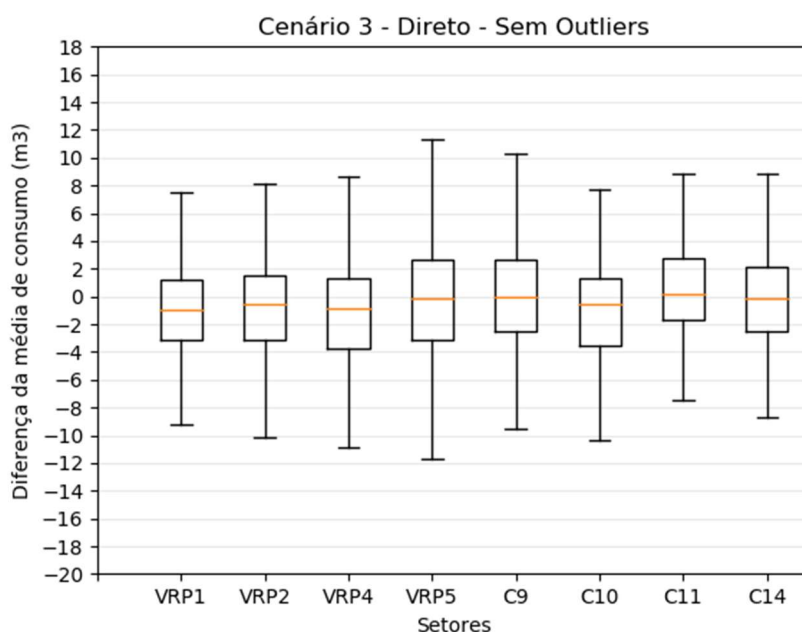


Figura 4.20: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 3 considerando apenas as ligações diretas.

Na Figura 4.20 é possível observar que para os setores VRP1, VRP2 e VRP4 as medianas são inferiores a zero com quartis inferiores maiores do que os superiores indicando uma possível diminuição do consumo no período. O setor VRP5 apresenta a mediana próximo a zero com quartil inferior ligeiramente maior. Para os setores onde redução de pressão não foi aplicada apenas o C10 apresenta mediana inferior a zero e quartil inferior maior, indicando uma possível diminuição no consumo. Os setores C9, C11 e C14 apresentam medianas são próximas a zero com quartis equilibrados ou quartil superior maior do que o inferior, indicando que possivelmente não houve redução de consumo no período, ou o consumo aumentou.

Os resultados da análise de dispersão dos dados de ligações indiretas apresentados na Figura 4.21 são similares aos resultados para a análise feita para todo o setor. Os setores VRP1, VRP2, VRP4, VRP5, apresentando medianas inferiores a zero e quartis inferiores maiores, indicando uma possível diminuição do

consumo no período. Os setores onde não houve alteração de pressão apresentam mediana próxima a zero com quartis equilibrados ou quartil superior maior do que o inferior, possivelmente indicando um aumento de consumo no período, ou que o consumo permaneceu o mesmo.

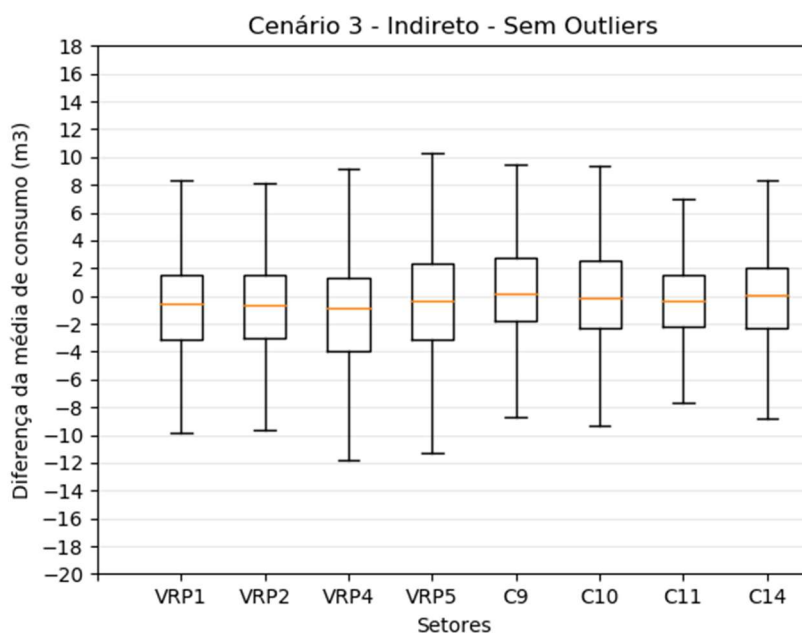


Figura 4.21: Boxplot para os setores de Palmas sem outliers – Cenário 3 considerando apenas as ligações indiretas (através de caixa d'água).

Através da análise de dispersão dos dados foi possível observar como os dados de cada setor estão distribuídos em relação a mediana do setor, bem como identificar os dados *outliers*. No entanto, apesar da análise visual apresentar a tendência de médias de consumo superiores ou inferiores a mediana, não é possível concluir se a média de consumo aumentou ou diminuiu. Porém, a análise possibilita identificar dados *outliers* que não serão considerados no teste de hipóteses.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados da aplicação do teste de hipótese

A aplicação do teste de hipótese foi realizada em planilha do Excel e confirmado utilizando o Minitab® Statistical Software (2010) os resultados estão apresentados em tabelas. O Minitab® Statistical Software apresenta uma ferramenta que auxilia na aplicação do teste de hipótese, uma vez selecionados os dados de entrada e o nível de significância (α) o software apresenta três relatórios referentes as análises realizadas, cartão de relatório, relatório de diagnóstico e um relatório resumo.

O cartão de relatório apresentado na Figura 5.1 mostra um cartão relatório, que apresenta uma visão geral dos dados inseridos que serão utilizados na análise.

Teste t Pareado para a Média de depois e antes		
Cartão de Relatório		
Verificar	Status	Descrição
Dados Atípicos		Algumas das diferenças pareadas são atípicas quando comparadas às outras. Como os dados atípicos podem ter uma forte influência nos resultados, você deve tentar identificar a causa de sua natureza atípica. Esses pontos estão marcados em vermelho no Relatório de Diagnóstico. Você pode passar o cursor sobre um ponto ou usar o recurso da Função Brush do Minitab para identificar a linha da worksheet. Corrija quaisquer erros de entrada de dados ou medições. Considere remover os dados que estão associados a causas especiais e repetir a análise.
Normalidade		Como o tamanho amostral é de, no mínimo, 20, a normalidade não é um problema. O teste é exato com dados não-normais quando os tamanhos amostrais são grandes o suficiente.
Tamanho da Amostra		A amostra é suficiente para detectar a diferença entre as médias.

Figura 5.1: Exemplo do Cartão Relatório gerado pelo Minitab® Statistical Software para o setor VRP1 de Palmas para todas as ligações.

O cartão relatório apresenta uma análise dos dados atípicos, que são equivalentes aos *outliers*. Apesar dos outliers terem sido retirados da amostra antes do teste de hipóteses, uma vez alterado o número de dados, nova mediana e novas dispersões entre quartis são determinadas, então, o software considera nesta análise uma nova dispersão de dados. Uma análise com relação à normalidade dos dados

também é apresentada, neste estudo, como as amostras sempre são maiores do que 20 a normalidade não é um problema e o resultado é exato mesmo com dados não normais. Por fim é apresentada uma análise com relação ao tamanho da amostra. Quando o teste apresenta tamanho suficiente o poder da amostra é considerado suficiente e o risco de não rejeitar a hipótese nula quando ela é falsa é minimizado (chance de cometer um erro do tipo II), conforme apresentado no Anexo A. O poder da amostra é função do tamanho da amostra, do desvio padrão, do nível de significância (α) e de uma determinada diferença, neste caso, a diferença de $0,5\text{m}^3$ foi considerado, baseado nos valores esperados apresentados na Tabela 3.2. Em algumas análises, o poder não foi considerado suficiente para detectar esta diferença entre as médias, uma maneira de aumentar o poder seria aumentar o tamanho da amostra, no entanto não seria possível aumentar o tamanho da amostra visto que todas as ligações com dados validos de cada setor foram consideradas na amostra.

A figura 5.2 apresenta o Relatório de Diagnósticos onde os dados pareados são apresentados de forma gráfica e as diferenças chamadas atípicas (*outliers*) são identificadas e também apresenta o poder da amostra selecionada e a diferença observada.

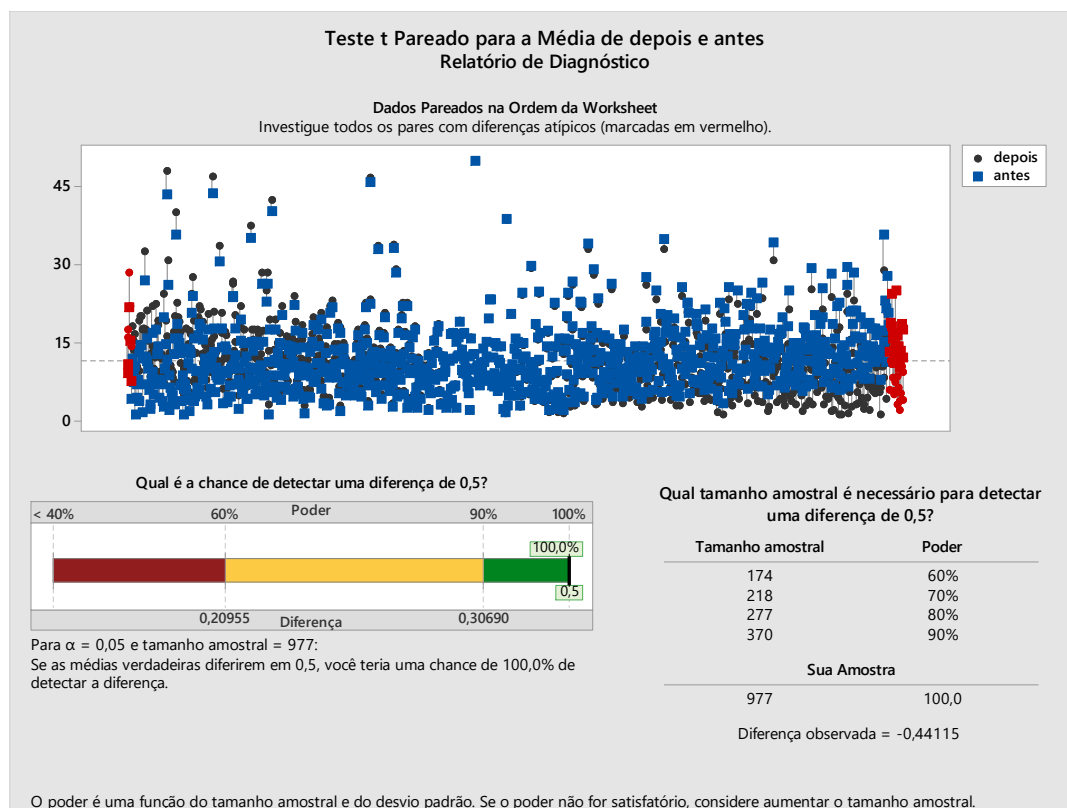


Figura 5.2: Exemplo do Relatório de Diagnóstico gerado pelo Minitab® Statistical Software para o setor VRP1 de Palmas para todas as ligações.

No caso do setor VRP1 de Palmas aqui apresentado a amostra de 977 dados teria uma chance de 100% de detectar uma diferença de $0,5\text{m}^3$ e uma diferença de $-0,441\text{m}^3$ foi observada.

Por fim, a Figura 5.3 apresenta o Relatório Resumo elaborado pelo software onde são apresentados os resultados do teste de hipóteses. Além de apresentar os resultados da análise estatística das diferenças pareadas e de cada amostra, o Relatório Resumo também apresenta o resultado do teste de hipótese, histograma da distribuição das diferenças, intervalo de confiança e comentários que auxiliam na interpretação dos resultados.

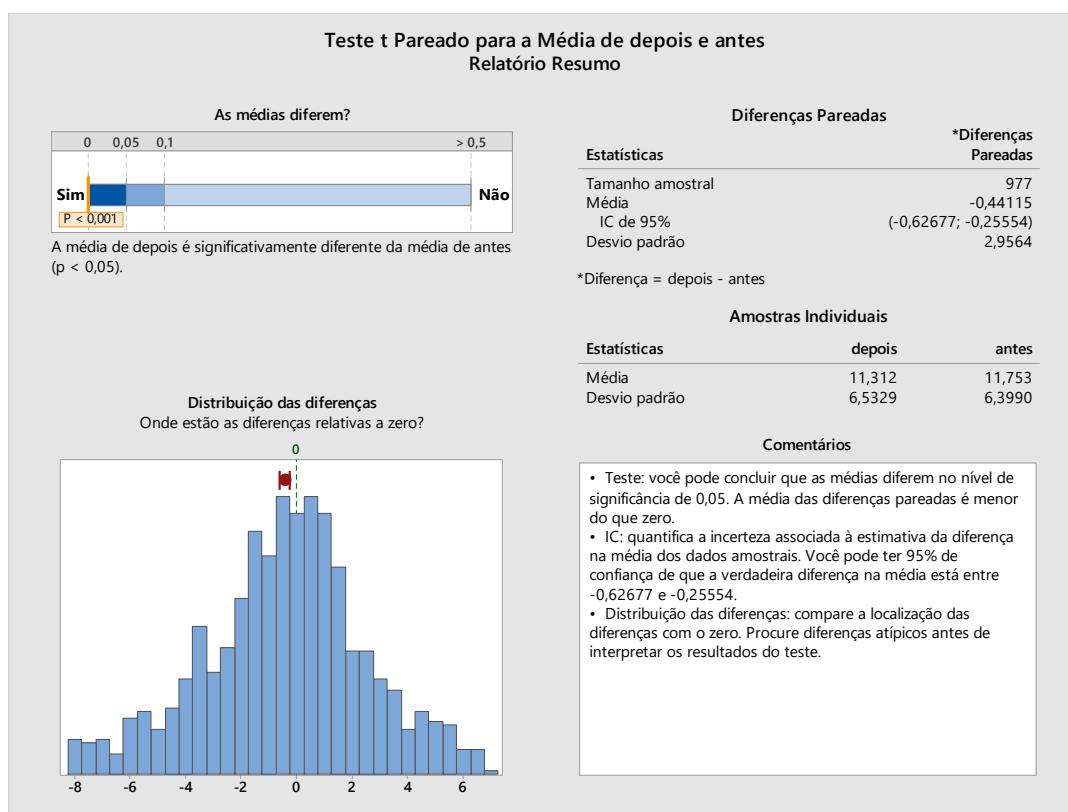


Figura 5.3: Exemplo do Relatório Resumo gerado pelo Minitab® Statistical Software para o setor VRP1 de Palmas para todas as ligações.

O teste de hipótese foi realizado desta forma para cada setor e cada cenário, os parâmetros utilizados e resultados foram agrupados em tabelas para cada setor. A Tabela 5.1, apresentada como exemplo, contém os parâmetros e resultados referentes ao setor VRP1 de Palmas considerando todas as ligações (diretas e indiretas). As demais tabelas para os demais setores e respectivos cenários estão apresentadas no Anexo C.

A Tabela 5.1 apresenta a média amostral ($\bar{d}$) e desvio padrão (S_d) calculados para a amostra através de planilha do Excel e pelo Minitab® Statistical Software. A quantidade de dados é equivalente ao número de dados após a retirada dos *outliers* da amostra. O valor de t foi calculado utilizando a Equação (16) do Anexo A. O P valor é tabelado em função do t calculado e do grau de liberdade (ν), no entanto foram utilizados os valores de P valor apresentados pelo Minitab® Statistical Software por serem mais precisos. Uma vez determinado o P valor, este pode ser comparado com o nível de significância (α), que neste caso foi estipulado 95% e, portanto, $\alpha=0,05$, esta comparação possibilita a conclusão do teste de hipótese aplicado. Conforme a Equação (20) do Anexo A, quando o P valor é menor do que α a hipótese H_0 deve ser rejeitada, neste caso, se a média amostral é menor que zero, significa que a média diminuiu, caso a média seja maior que zero significa que a média aumentou. Conforme a Equação (21) apresentada no Anexo A, quando o P valor é maior do que α não é possível rejeitar a hipótese H_0 . O valor de t para o nível de significância escolhido é tabelada em função do grau de liberdade da amostra e o valor de α e foram obtidos em Devore, (2006), e o Minitab® Statistical Software utiliza os mesmos valores. Por fim o intervalo de confiança pode ser calculado utilizando o valor de t para o nível de significância através da Equação (22) do Anexo A.

Tabela 5.1: Exemplo do resultado do teste de hipóteses. A tabela apresenta os resultados para os três cenários para o setor VRP 1 de Palmas considerando todas as ligações.

VRP 1 total	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral ($\bar{d}$)	-0,441	-2,469	-0,783
Desvio padrão (S_d)	2,958	3,211	3,413
Quantidade de dados (n)	977	899	944
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-4,659	-22,796	-7,045
P valor (tabelado)	0	0	0
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,000<0,05	0,000<0,05	0,000<0,05
Conclusão	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95% (IC)	(-0,626; -0,255)	(-2,681; -2,256)	(-1,000-0,565)

5.1.1 Resultados para os setores de Várzea Paulista

Os resultados dos testes de Hipóteses realizados para os setores de Várzea Paulista para cada cenário estão apresentados na Tabela 5.2. Para facilitar a visualização da tabela de resultados, testes de hipóteses que a média diminuiu estão apresentados em vermelho, aqueles que a média aumentou estão apresentados em azul, e aqueles que a hipótese H_0 não pode ser rejeitada estão apresentados em preto.

Observando os resultados do teste de hipóteses realizados para os setores de Várzea Paulista para o Cenário 1, é possível concluir que não houve redução do consumo quando comparada à média de 11 meses de consumo antes da instalação da VRP e a média de consumo de 11 meses de consumo após a instalação da VRP em nenhum dos setores estudados. Os setores VRP1 e VRP2 não apresentaram variação significativa no consumo, enquanto para o setor VRP5 o consumo aumentou. Já para os setores que não tiveram VRP instalada, o setor C1 que serve de comparação para os setores VRP1 e VRP2 apresentou diminuição no consumo para os mesmos períodos, enquanto o setor C3, que serve de comparação para o setor VRP5 apresentou aumento no consumo.

Tabela 5.2: Resultados dos testes de hipóteses para os setores de Várzea Paulista.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VRP1	Não é possível rejeitar H_0	Rejeitar H_0 , a média aumentou	Rejeitar H_0 , a média aumentou
Poder (0,5m³)	Intermediária (69,8%)	Intermediária (65,7%)	Intermediária (69,8%)
Diferença (m³)	0,177	1,967	0,561
VRP2	Não é possível rejeitar H_0	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Não é possível rejeitar H_0
Poder (0,5 m³)	Intermediária (65,9%)	Intermediária (72,3%)	Baixo (57,6%)
Diferença (m³)	0,225	-0,348	0,058
VRP5	Rejeitar H_0 , a média aumentou	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média aumentou
Poder (0,5 m³)	Intermediária (80,6%)	Intermediária (71,5%)	Baixa (54,5%)
Diferença (m³)	0,291	-0,726	0,560
C 1	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Não é possível rejeitar H_0
Poder (0,5 m³)	Suficiente (93,2%)	Intermediária (79,5%)	Intermediária (88,9%)
Diferença (m³)	-0,374	-1,088	-0,195
C3	Rejeitar H_0 , a média aumentou	Não é possível rejeitar H_0	Rejeitar H_0 , a média aumentou
Poder (0,5 m³)	Suficiente (94,8%)	Intermediária (78%)	Intermediária (80,3%)
Diferença (m³)	0,373	-0,096	0,467

Os resultados para o Cenário 2 apresentam um aumento de consumo para o setor VRP1 e uma diminuição para os setores VRP2 e VRP5. No entanto, o setor C1 que não sofreu impacto na redução de pressão neste período também apresentou diminuição do consumo quando considerado o consumo do mês anterior à instalação da VRP e mês posterior, enquanto o setor C3 não apresentou alteração do consumo para o período estudado neste cenário. Já para o Cenário 3 nenhum dos setores apresentaram diminuição de consumo quando comparadas as médias de consumo de seis meses após a instalação da VRP e os meses equivalentes anterior a instalação da VRP. O setor VRP1 e VRP5 apresentaram aumento de consumo enquanto o setor VRP2 não apresentou alteração no consumo para o período. Dentre os setores onde a pressão não foi alterada, e setor C1 não apresentou variação de consumo enquanto o setor C5 apresentou aumento do consumo.

A função poder foi determinada pelo Minitab® Statistical Software considerando uma diferença de $0,5\text{m}^3$. Quando o poder é considerado suficiente, a chance de não rejeitar a hipótese nula, quando ela é falsa, é menor (erro tipo II, ver Anexo A). A maioria dos cenários para cada um dos setores apresenta poder intermediário para detectar uma diferença de $0,5\text{m}^3$ apenas os setores C1 e C3 apresentaram poder considerado suficiente para o Cenário 1, e o setor VRP2 poder considerado baixo para o cenário 3. Segundo Minitab® Statistical Software, não existe problema quando o poder não é considerado suficiente se uma diferença é detectada, no entanto se o poder não é suficiente quando a diferença não foi detectada, pode ser que exista uma diferença, no entanto o tamanho da amostra não é suficiente para detectá-la. Ou seja, analisando a Tabela 5.2, existe maior chance de cometer um erro do tipo II nos testes de Várzea Paulista onde não foi possível rejeitar a hipótese zero, uma vez que estes apresentam poder insuficiente. Da análise dos resultados para os setores de Várzea Paulista, não é possível identificar diminuição do consumo nos setores onde VRPs foram instaladas para os Cenários 1 e 3, sendo que para o Cenário 1 a redução de consumo foi observada apenas para o setor C1 onde a redução de pressão não foi implantada. Para o Cenário 3 não foi observada a redução na média de consumo para nenhum dos setores. Já para o Cenário 2 a redução de consumo foi observada para os setores VRP2, VRP5 e C1, ou seja, houve redução mesmo no setor sem fluência da VRP para este cenário.

5.1.2 Resultado para os setores de Palmas

Os resultados dos testes de Hipóteses realizados para os setores de Palmas para cada cenário estão apresentados nas Tabela 5.3 – 5.5. Para os setores de Palmas, os testes foram aplicados considerando as ligações de consumidores com ligações diretas e indiretas, apenas as diretas e apenas as indiretas.

A Tabela 5.3 apresenta os resultados dos testes de hipóteses para os setores de Palmas considerando todos os consumidores. Para o Cenário 1 é possível observar que a média de consumo diminuiu para os setores VRP1, VRP2 e VRP4, já para o setor VRP5, não foi possível rejeitar H_0 apesar do consumo ter apresentado uma pequena diminuição. O setor de comparação C9 (comparação para o setor VRP5) aumentou a média de consumo no período, enquanto os setores C14, C11 e C10 (comparação para VRP1, VRP2 e VRP4 respectivamente) não apresentaram diferença significativa para o teste. Considerando o Cenário 2 os resultados mostram uma diminuição do consumo para os setores VRP1, VRP2 e VRP4, no entanto para o setor VRP5 a média aumentou. Já os setores onde a redução de pressão não foi implantada o consumo aumentou para os setores C9 e C14, não houve variação significativa para o setor C10 e o consumo diminuiu para o setor C11. Para o Cenário 3, todos os setores onde a redução de consumo foi implantada (VRP1, VRP2, VRP4 e VRP5) apresentaram redução no consumo. Dentre os setores onde a redução da pressão não foi implantada, o setor C9 apresentou aumento de consumo. Os demais setores, C10, C11 e C14 não apresentaram diferença significativa.

Com relação a função poder, a maioria dos cenários para os diferentes setores foram consideradas suficientes. Apenas o setor C10 apresentou poder insuficiente para todos os cenários em que a diferença não foi observada (maior chance de cometer erro tipo II para este setor). O setor C11 apresentou poder insuficiente para o Cenário 2, no entanto a diferença foi observada e a média diminuiu.

Foi possível observar redução no consumo para os setores VRP1, VRP2 e VRP4 para o Cenário 1 e 2 enquanto para o Cenário 3 foi possível observar a redução de consumo para todos os setores onde VRPs foram instaladas (VRP1, VRP2, VRP4 e VRP5). Os setores de comparação C10, C11 e C14 não apresentaram diferença no consumo para os Cenário 1 e 3 enquanto o setor C9 apresentou aumento de consumo. Para o Cenário 2 os setores de comparação, os setores C9 e C14 apresentaram

aumento de consumo, o setor C10 não apresentou aumento de consumo enquanto o setor C11 apresentou diminuição.

Tabela 5.3: Resultado dos testes de hipótese para os setores de Palmas considerando ligações diretas e indiretas.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VRP1 total	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Suficiente (100%)	Suficiente (99,8%)	Suficiente (99,4%)
Diferença (m³)	-0,441	-2,469	-0,783
VRP2 total	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Suficiente (100%)	Suficiente (100%)	Suficiente (100%)
Diferença (m³)	-0,56	-2,741	-0,66
VRP4 total	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Suficiente (99,9%)	Suficiente (100%)	Suficiente (98,7%)
Diferença (m³)	-0,898	-0,752	-1,047
VRP 5 total	Não é possível rejeitar H0, Suficiente	Rejeitar H0, a média aumentou	Rejeitar H0, a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	(100%)	Suficiente (100%)	Suficiente (99,9%)
Diferença (m³)	-0,126	0,251	-0,306
C9 total	Rejeitar H0, a média aumentou	Rejeitar H0, a média aumentou	Rejeitar H0, a média aumentou
Poder (0,5 m³)	Suficiente (98,5%)	Suficiente (99,9%)	Suficiente (93,1%)
Diferença (m³)	0,374	0,369	0,319
C10 total	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0
Poder (0,5 m³)	Intermediário (83,6%)	Intermediário (88,7%)	Intermediário (75%)
Diferença (m³)	0,186	0,19	-0,047
C11 total	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média diminuiu	Não é possível rejeitar H0
Poder (0,5 m³)	Suficiente (98,5%)	Intermediário (84,6%)	Suficiente (95,5%)
Diferença (m³)	0,111	-2,384	-0,026
C14 total	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média aumentou	Não é possível rejeitar H0
Poder (0,5 m³)	Suficiente (99,7%)	Suficiente (94%)	Suficiente (98,6%)
Diferença (m³)	-0,175	0,441	-0,133

A Tabela 5.4 apresenta os resultados para os mesmos setores, considerando apenas os consumidores com abastecimento direto.

Tabela 5.4: Resultado dos testes de hipótese para os setores de Palmas considerando apenas consumidores com ligações diretas.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VRP1 direto	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Intermediário (84%)	Intermediário (66,2%)	Intermediário (72,8%)
Diferença (m³)	-0,69	-2,598	-0,809
VRP2 direto	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Suficiente (93%)	Intermediário (89,9%)	Intermediário (87,2%)
Diferença (m³)	-0,688	-2,559	-0,781
VRP4 direto	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Intermediário (89,4%)	Suficiente (90,6%)	Intermediário (78,5%)
Diferença (m³)	-0,836	-0,894	-1,055
VRP5 direto	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média aumentou	Não é possível rejeitar H0
Poder (0,5 m³)	Suficiente (98,9%)	Suficiente (97,7%)	Suficiente (93,3%)
Diferença (m³)	-0,081	0,29	-0,178
C9 direto	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0
Poder (0,5 m³)	Baixo (57,6%)	Intermediário (81%)	Baixo (43,7%)
Diferença (m³)	0,217	0,257	0,181
C10 direto	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0
Poder (0,5 m³)	Baixo (48,3%)	Baixo (26,1%)	Baixo (22,5%)
Diferença (m³)	-0,199	0,516	-0,891
C11 direto	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média diminuiu	Não é possível rejeitar H0
Poder (0,5 m³)	Intermediário (79,4%)	Baixo (55,3%)	Intermediário (73,4%)
Diferença (m³)	0,187	-2,64	0,255
C14 direto	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média aumentou	Não é possível rejeitar H0
Poder (0,5 m³)	Intermediário (73,3%)	Baixo (53,1%)	Intermediário (61,1%)
Diferença (m³)	-0,178	0,715	-0,208

Considerando apenas os consumidores com abastecimento direto os resultados são similares, apenas os setores VRP5 e C9 apresentaram resultados diferentes. Para o Cenário 3, o setor VRP5 não apresenta diferença de consumo significativa. Para o setor C9, a diferença não foi observada para os três cenários. Com relação a função poder a maioria apresentou resultados intermediários ou baixos

quando considerada a redução de $0,5\text{m}^3$, visto que os tamanhos das amostras são menores. Independente do cenário, os setores VRP1, VRP2 e VRP4 apresentam redução no consumo e, portanto, o poder considerado intermediário, não influencia o resultado. Já os setores C9, C10, C11 e C14 onde a função poder foi considerada baixa, ou intermediária, existe maior chance de cometer um erro do tipo II, visto que não foi possível descartar H_0 . É importante notar que, em alguns casos, mesmo as diferenças sendo negativas, não é possível rejeitar a hipótese H_0 , isso se deve ao baixo poder da amostra ou a pequena variação no consumo observada.

Dos setores onde foram instaladas VRPs foi possível observar a redução de consumo considerando apenas os consumidores diretos para os setores VRP1, VRP2 e VRP4 para todos os cenários. O setor VRP5 não apresentou redução no consumo para nenhum cenário. Dos setores onde não foram instaladas VRPs para os Cenários 1 e 2 a redução de consumo não foi observada, enquanto para o Cenário 2 o resultado é variado com o setor C11 apresentando diminuição no consumo e o setor C14 aumento.

A Tabela 5.5 apresenta os resultados para os setores considerando apenas os consumidores com abastecimento indireto. Considerando os resultados apenas para os consumidores com ligações indiretas os resultados são exatamente os mesmos quando considerado o setor todo. Os setores onde a redução de pressão foi implantada, VRP1, VRP2 e VRP4 apresentaram redução de consumo para todos os cenários. O setor VRP5 apresentou redução no consumo apenas para o Cenário 3. Já os setores onde a redução de pressão não foi implantada apresentam o setor C9 apresenta aumento de consumo para todos os cenários, o setor C10 não apresenta diferença de consumo para nenhum dos cenários. O setor C11 apresentou diminuição de consumo para o cenário 2 enquanto o setor C14 apresentou aumento no consumo para o mesmo cenário.

Com relação a função poder as amostras foram consideradas suficientes para os setores VRP1, VRP2, VRP4 e VRP5 para todos os cenários. Os demais setores apresentam poder intermediário para alguns cenários onde não foi possível identificar diferença no consumo sendo assim maior a possibilidade de cometer um erro do tipo II.

Tabela 5.5: Resultado dos testes de hipótese para os setores de Palmas considerando apenas consumidores com ligações indiretas

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VRP1 indireto	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Suficiente (99,2%)	Suficiente (95,2%)	Suficiente (95,9%)
Diferença (m³)	-0,327	-2,32	-0,73
VRP2 indireto	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Suficiente (99,9%)	Suficiente (99,6%)	Suficiente (99,4%)
Diferença (m³)	-0,491	-2,765	-0,672
VRP4 indireto	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Suficiente (97%)	Suficiente (99,4%)	Intermediário (88,3%)
Diferença (m³)	-1,038	-0,659	-1,043
VRP 5 indireto	Não é possível rejeitar H ₀	Rejeitar H ₀ , a média aumentou	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu
Poder (0,5 m³)	Suficiente (99,8%)	Suficiente (99,6%)	Suficiente (97,9%)
Diferença (m³)	-0,138	0,221	-0,424
C9 indireto	Rejeitar H ₀ , a média aumentou	Rejeitar H ₀ , a média aumentou	Rejeitar H ₀ , a média aumentou
Poder (0,5 m³)	Suficiente (93,5%)	Suficiente (94,8%)	Intermediária (83,8%)
Diferença (m³)	0,438	0,658	0,397
C10 indireto	Não é possível rejeitar H ₀	Não é possível rejeitar H ₀	Não é possível rejeitar H ₀
Poder (0,5 m³)	Intermediário (72,8%)	Intermediário (81,6%)	Intermediário (67,3%)
Diferença (m³)	0,321	0,181	0,073
C11 indireto	Não é possível rejeitar H ₀	Rejeitar H ₀ , a média diminuiu	Não é possível rejeitar H ₀
Poder (0,5 m³)	Intermediário (82,2%)	Intermediário (60,5%)	Intermediário (76,1%)
Diferença (m³)	0,032	-2	-0,36
C14 indireto	Não é possível rejeitar H ₀	Rejeitar H ₀ , a média aumentou	Não é possível rejeitar H ₀
Poder (0,5 m³)	Suficiente (97,7%)	Intermediário (88,3%)	Suficiente (93,7%)
Diferença (m³)	-0,200	0,346	-0,099

De uma forma geral foi possível constatar que o Cenário 2 proposto não apresentou resultados homogêneos para este estudo de caso, visto que apresenta redução e aumento de consumo tanto para setores com VRP como para os setores sem VRP. É possível concluir que a comparação do mês anterior a instalação da VRP

com o mês posterior não necessariamente representa o impacto da redução de pressão no setor, podem refletir apenas variação sazonal.

5.2 Relação proposta por Lambert e Fantozzi

Conforme abordado no item 2.7 da revisão bibliográfica Lambert e Fantozzi (2010) relacionaram a variação de pressão na rede com a variação no consumo através da Equação (12). A Tabela 5.6 apresenta a redução de consumo esperada calculada através desta equação. Foi considerada apenas a parcela de consumo externo com o coeficiente $N_3=0,45$, para as reduções de pressão reais (P_1/P_0) dos setores de Várzea Paulista. A tabela apresenta as pressões de montante e pressão de ajuste da VRP para cada setor e apresenta a variação de consumo para porcentagens de consumo externo variando de 0% a 100%.

Tabela 5.6: Redução de consumo esperada considerando apenas consumo externo para os setores de Várzea Paulista.

		VRP 01	VRP 02	VRP 05
Pressão Montante (mca)		63	45	59
Pressão ajuste(mca)		30	21	38
P_1/P_0		0,476	0,467	0,644
% de consumo externo (%OC)	0%	0,00%	0,00%	0,00%
	10%	2,84%	2,90%	1,80%
	20%	5,68%	5,81%	3,59%
	30%	8,52%	8,71%	5,39%
	40%	11,35%	11,61%	7,18%
	50%	14,19%	14,52%	8,98%
	60%	17,03%	17,42%	10,78%
	70%	19,87%	20,32%	12,57%
	80%	22,71%	23,23%	14,37%
	90%	25,55%	26,13%	16,17%
	100%	28,39%	29,03%	17,96%

Apesar deste trabalho não contemplar a identificação da porcentagem do consumo externo nos setores estudados, estima-se que esteja entre 0% e 30% considerando os abastecimentos indiretos. A Tabela 5.7 apresenta a variação de consumo observada para os períodos analisados. De acordo com os testes de hipótese aplicado não houve diminuição significativa no consumo, e de fato o consumo aumentou, apenas os setores VRP2 e VRP5 apresentaram diminuição no consumo

para o Cenário 2. Para os setores de Várzea Paulista não foi possível identificar a relação proposta por Lambert e Fantozzi.

Tabela 5.7: Variação de consumo observada para os setores de Várzea Paulista (os valores negativos indicam aumento de consumo).

Setor	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VRP 01	-1,20%	-13,96%	-4,02%
VRP 02	-1,59%	2,07%	-0,20%
VRP 05	-2,34%	5,48%	-4,62%

A Tabela 5.8 apresenta a redução de consumo esperada calculada através da mesma equação também considerando apenas a parcela de consumo externo com o coeficiente $N_3=0,45$, para as reduções de pressão reais (P_1/P_0) dos setores de Palmas.

Tabela 5.8: Redução de consumo esperada para os setores de Palmas

		VRP 01	VRP 02	VRP 04	VRP 05
Pressão Montante (mca)		35,4	47,9	20,87	47,5
Pressão ajuste (mca)		17	10	12,71	30,89
P_1/P_0		0,480	0,209	0,609	0,650
% de consumo externo (%OC)	0%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	10%	2,81%	5,06%	2,00%	1,76%
	20%	5,62%	10,12%	4,00%	3,52%
	30%	8,43%	15,18%	6,00%	5,28%
	40%	11,25%	20,23%	8,00%	7,04%
	50%	14,06%	25,29%	10,00%	8,80%
	60%	16,87%	30,35%	12,00%	10,56%
	70%	19,68%	35,41%	14,00%	12,32%
	80%	22,49%	40,47%	16,00%	14,08%
	90%	25,30%	45,53%	18,00%	15,84%
	100%	28,11%	50,59%	20,00%	17,60%

É possível observar para o setor VRP5 é esperada a menor redução no consumo quando considerada a mesma porcentagem de consumo externo por apresentar a maior relação P_1/P_2 . Já para o setor VRP2 é esperado a maior redução de consumo. A Tabela 5.9 apresenta a variação de consumo observada para os períodos analisados considerando todos os consumidores.

Tabela 5.9: Variação de consumo observada para os setores de Palmas considerando os consumidores com abastecimento direto e indireto (os valores negativos indicam aumento de consumo)

Setor	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VRP 01	3,75%	19,82%	6,64%
VRP 02	4,72%	21,45%	5,63%
VRP 04	6,90%	6,19%	7,69%
VRP 05	0,88%	-1,95%	2%

Considerando apenas os setores que apresentaram diminuição no consumo, de acordo com o teste de hipótese, para os Cenários 1 e 3, é possível observar que as variações para cada setor são correspondentes aos valores esperados apresentados na Tabela 4.9 para consumo externo maiores que 0% e menores que 40%. Para o Cenário 2 as porcentagens de variação do consumo apontam para consumos externos em torno de 70% para o setor VRP1 e maior do que 40% para o setor VRP2 e aumento de consumo para o setor VRP5, o que aponta para a influência da sazonalidade deste cenário frente aos resultados mais homogêneos dos demais.

Interpolando os resultados das Tabelas 5.8 e 5.9 foram estimadas as porcentagens de consumo externo para os setores VRP1, VRP2 e VRP4 considerando os resultados do Cenário1. Apesar do setor VRP5 apresentar diminuição de consumo, esta não foi considerada estatisticamente significativa para este cenário, por tanto não foi estimada a porcentagem de consumo externo para este setor. Os resultados estão apresentados nas Figuras 5.4 – 5.6. Para o setor VRP1 a porcentagem de consumo externo foi estimada em 13,3%, para o setor VRP2 a porcentagem foi estimada em 9,3% e para o setor VRP4 34,5%.

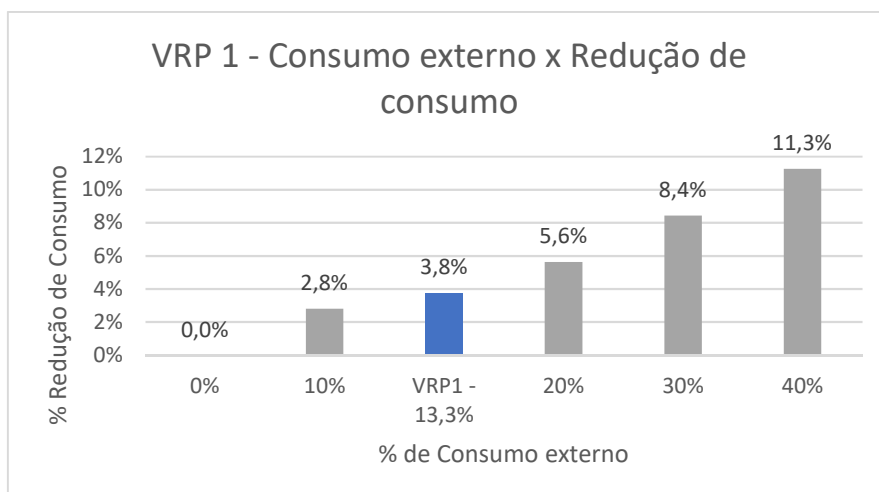


Figura 5.4: Estimativa do consumo externo para o setor VRP1 de Palmas considerando o Cenário1.

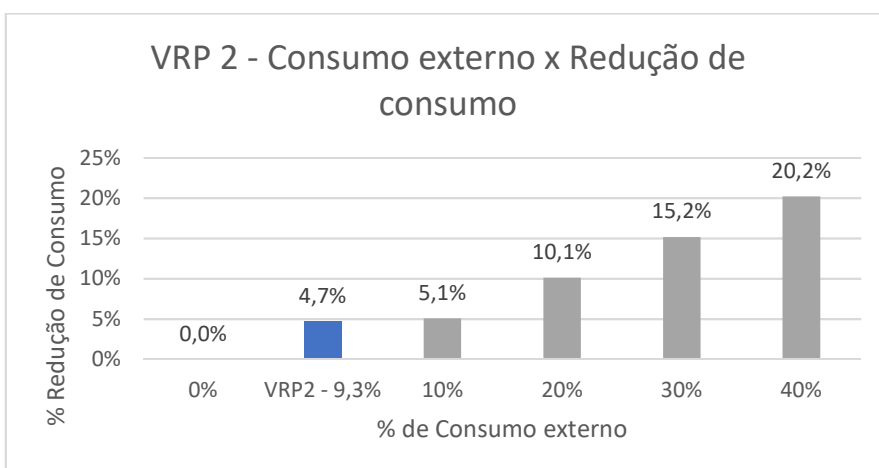


Figura 5.5: Estimativa do consumo externo para o setor VRP2 de Palmas considerando o Cenário1.

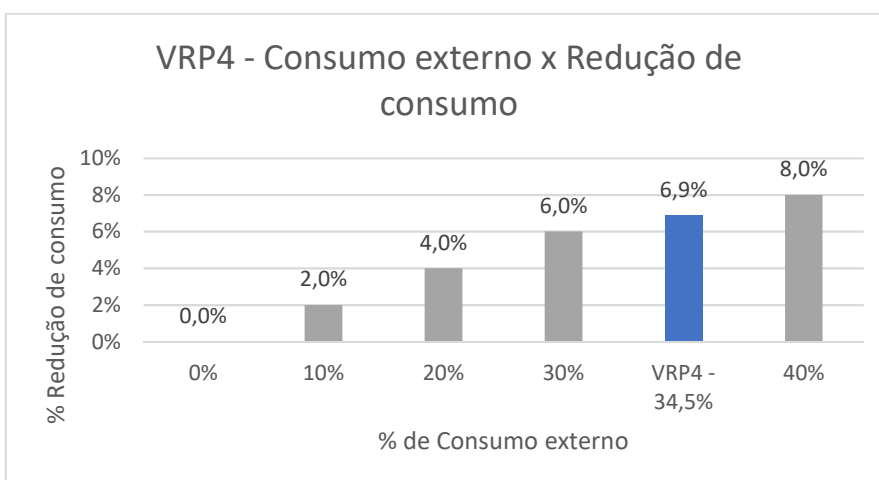


Figura 5.6: Estimativa do consumo externo para o setor VRP4 de Palmas considerando o Cenário1.

6 CONCLUSÕES

A redução de pressão em redes de abastecimento de água vem sendo muito utilizada ao redor do mundo por apresentar vários benefícios no controle de perdas. Um dos benefícios, do ponto de vista da sustentabilidade, é a possível redução de algumas parcelas do consumo. No entanto, esta redução de consumo pode reduzir a arrecadação das concessionárias. Este trabalho apresentou dois estudos de caso, dos municípios de Várzea Paulista e Palmas, onde foram avaliados o consumo de setores que sofreram redução de pressão com o objetivo de relacionar a redução de pressão com uma possível redução de consumo.

No município de Várzea Paulista, SP, foram avaliados três setores onde a redução de pressão foi implantada e dois setores onde a pressão não foi alterada. Foram propostos três cenários para avaliar a variação de consumo; Cenário 1 onde foram comparadas as médias de consumo de onze meses antes e onze meses depois a instalação da válvula redutora de pressão, Cenário 2 onde foram comparados o consumo do mês anterior a instalação da válvula e o mês posterior e, por fim, o Cenário 3 onde são comparadas as médias de consumo de seis meses após a instalação da válvula redutora de pressão e o consumo dos meses equivalentes antes da redução de pressão. De acordo com o teste de hipótese aplicado, nenhum dos setores de Várzea Paulista onde foram implantadas VRPs apresentou redução de consumo significativa para os Cenários 1 e 3 propostos. Já para o Cenário 2 os setores VRP2, VRP5 e C1 apresentam diminuição de consumo. No entanto, para este cenário também não é possível atribuir a redução de consumo à redução de pressão, pois o setor VRP1, onde a redução de pressão foi implantada, apresentou aumento no consumo, enquanto o setor C1, onde não houve variação de pressão, apresentou diminuição no consumo. De forma geral é possível afirmar, com base nos estudos realizados, que não foi possível identificar a diminuição do consumo em nenhum dos cenários estudados para Várzea Paulista, e também não foi possível verificar a validade da relação redução de pressão / redução de consumo conforme proposta por Lambert e Fantozzi (2010).

Para o município de Palmas, TO, foram avaliados quatro setores onde a redução de pressão foi implantada e quatro setores sem a influência de válvulas redutoras de pressão. Também foram propostos três cenários. No entanto, uma vez

que o banco de dados apresenta informação com relação a presença de reservatório nas residências, estes cenários foram avaliados considerando três situações distintas: todos os consumidores, somente os consumidores com abastecimento direto e por fim, apenas os consumidores com abastecimento indireto.

Considerando todos os consumidores ou apenas os consumidores com ligação indireta os resultados dos testes de hipótese são exatamente os mesmos. Os setores VRP1, VRP2 e VRP4 apresentaram redução no consumo para todos os cenários propostos, enquanto os setores de comparação C10, C11 e C14 não apresentaram diferença no consumo para todos os cenários. O setor VRP5 é o único que apresentou resultado variado para cada um dos cenários avaliados, apresentando redução de consumo apenas para o Cenário 3. O setor de comparação C9 apresenta aumento de consumo para todos os cenários. Quando considerados apenas os consumidores com abastecimento direto o resultado para os setores VRP1, VRP2, VRP4, C10, C11 e C14, são os mesmos. No entanto, o setor VRP5 não apresenta diminuição de consumo significativa para o Cenário 3.

Considerando o Cenário 1 para os setores de Palmas estudados, após a redução de pressão, o consumo diminuiu $0,441 \text{ m}^3/\text{ligação}/\text{mês}$, $0,560 \text{ m}^3/\text{ligação}/\text{mês}$ e $0,898 \text{ m}^3/\text{ligação}/\text{mês}$ para os setores VRP1, VRP2 e VRP4 respectivamente. Apesar do consumo para o setor VRP5 ter diminuído $0,126 \text{ m}^3/\text{ligação}/\text{mês}$, esta não foi considerada significativa.

Com relação aos cenários utilizados neste estudo, o Cenário 2 proposto não apresentou resultados homogêneos. Neste cenário a comparação foi realizada entre o mês anterior a instalação da VRP e o mês posterior. A variação de consumo neste caso não necessariamente representa o impacto da redução de pressão no setor, mas pode refletir apenas variação sazonal, não sendo recomendada para avaliar o impacto da redução de pressão na redução de consumo.

Já em relação a análise inicial dos dados, onde gráficos são apresentados com a comparação direta da média de consumo anterior e posterior a redução de pressão, apesar de não terem significado estatístico, apresentaram resultados compatíveis com os obtidos através do teste de hipótese. Desta forma, podem servir de ponto de partida e auxiliar em tomadas de decisão para uma análise mais detalhada do impacto da redução do consumo devido à redução de pressão em um determinado setor.

De acordo com os resultados apresentados para os estudos de caso, é possível concluir que a redução de pressão da rede de abastecimento em um setor com abastecimento predominantemente misto pode reduzir o consumo médio. O estudo mostrou que o consumo dos setores de Várzea Paulista não apresentou redução de consumo, porém os setores de Palmas apresentaram redução de consumo, possivelmente consequência do tipo de consumo externo praticado nos setores de Palmas. A redução no consumo não depende apenas da porcentagem de redução da pressão, sendo relevante estimar a porcentagem de consumo externo para possibilitar estimar a redução no consumo.

Apesar da redução de pressão não necessariamente impactar o consumo de todos os setores estudados onde o abastecimento é predominantemente misto, esta redução pôde ser observada nos setores estudados do município de Palmas. Sendo assim, neste município houve economia de água, e possivelmente redução da arrecadação. Para o município de Palmas onde a redução de consumo foi observada a equação proposta por Lambert e Fantozzi (2010) apresentou validade para estimar as porcentagens de redução de consumo. No mais, a análise dos dados e o teste de hipótese aplicado se mostraram adequados para avaliar a relação entre a redução de pressão e a redução do consumo.

Com base nas conclusões e considerações, pode-se recomendar como trabalhos futuros, a ampliação do estudo de setores em outros municípios, estabelecimento de novos coeficientes onde há a redução de consumo, até estabelecer uma ampla metodologia, além do estudo da porcentagem do consumo externo em setores onde a redução do consumo foi observada.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, H. et al. **Controle De Perdas De Água Em Sistemas De Adução E Distribuição**, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9104 - Medição de vazão de fluidos em condutos fechados - Métodos para avaliação de desempenho de medidores de vazão eletromagnéticos para líquidos**Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5167 -1, Medição de vazão de fluidos por dispositivos de pressão diferencial, inserido em condutos forçados de seção transversal circular Parte 1: Princípios e requisitos gerais**Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16043: 2012 Medição de vazão de água em contudos fechados em carga - Medidores de água potável fria e quente. Parte 1 - Especificações**Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO3966 - Medição de vazão em condutos fechados — Método velocimétrico utilizando tubos de Pitot estático**Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16198 -Medição de vazão de fl uidos em condutos fechados — Métodos usando medidor de vazão ultrassônico por tempo de trânsito — Diretrizes gerais de seleção, instalação e uso**Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NRB 12218 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - procedimento**. Rio de Janeiro: [s.n.].

AWAD, H.; KAPELAN, Z.; SAVI, D. **Analysis of PressureManagement Economis in Water Distribution Systems**. (ASCE, Ed.)10th Annual Water Distribution Systems Analysis Conf. **Anais...**Kruger National Park, South Africa: 2009

AWWA, A. W. W. A.-. **Water audits and control programs**. Third ed. [s.l.] American Water Works Association, 2009.

BAMEZAI, A.; LESSICK, D. **Is System Pressure Reduction a Valuable Water Conservation Tool ? Preliminary Evidence From the Irvine Ranch Water District**, 2003.

COELHO, A. C. **Medição de Água e Controle de Perdas**. primeira ed. [s.l.] Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 1983.

DE PAOLA, F.; GIUGNI, M. Leakages and pressure relation: An experimental research. **Drinking Water Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 59–65, 2012.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. Sexta ed. [s.l.] Cengage, 2006.

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S/A. **No Title**. Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/AUJ>>. Acesso em: 20 ago. 2005.

EUROPEAN COMMISSION. **EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM** Europeia Union Publications Office, , 2015.

GALVÃO, J. R. B. **Avaliação da relação pressão x consumo, em áreas controladas por válvulas redutoras de pressão (VRPs). Estudo de caso: Rede de distribuição de água da região metropolitana de São Paulo**. [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2007.

GHIDETTI, A. J. **Eficácia Do Método Das Vazões Mínimas Noturnas Para Diagnosticar As Perdas De Água**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, 2013.

GIRARD, M.; STEWART, R. A. Implementation of Pressure and Leakage Management Strategies on the Gold Coast, Australia: Case Study. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 133, n. 3, p. 210–217, 2007.

GIUSTOLISI, O.; WALSKI, T. M.; ASCE, F. Demand Components in Water Distribution Network Analysis. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 138, n. August, p. 356–367, 2012.

GOMES, R.; MARQUES, A. S.; SOUSA, J. Estimation of the benefits yielded by pressure management in water distribution systems. **Urban Water Journal**, v. 8, n. 2, p. 65–77, 2011.

GOMES, R.; SOUSA, J.; SÁ MARQUES, A. The influence of pressure / leakage relationships from existing leaks in the benefits yielded by pressure management. **Water Utility Journal**, v. 5, p. 25–32, 2013.

GULARTE, C. B. **Um Estudo sobre a Submedição em Hidrômetros para Aplicação no Controle de Perdas Aparentes**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

HASHEMI, S. S.; TABESH, M.; ATAEEKIA, B. Scheduling and operating costs in water distribution networks. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management**, v. 166, n. 8, 2013.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNBS 2008**. Rio de Janeiro: [s.n.].

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>>. Acesso em: 17 out 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Portal de mapas do IBGE**. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, N. E Q. I. **Regulamento Técnico Metrológico a que se Refere a Portaria Inmetro Nr 246 de 17 de Outubro de 2000**, 2000.

INTERNATION ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. **ISO 4064-1:2014 : Water meters for cold potable water and hot water - Part 1: Metrological and technical requirements** Geneva, Switzerland, 2014.

ISLAM, M. S.; BABEL, M. S. Economic Analysis of Leakage in the Bangkok Water Distribution System. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 139, n. April, p. 172, 2012.

JHONSON, E. H., VERMERSCH, M. **Guidance Notes on Apparent Losses and Other Non-Revenue Consumption**. IWA Water Loss Conference,. **Anais...Brazil**: 2010

KANAKOUDIS, V.; GONELAS, K. **Applying pressure management to reduce water**

losses in two greek cities' WDSs: Expectations, problems, results and revisions.

Procedia Engineering. **Anais...ELSEVIER**, 2014

KOELLER, J.; KLEIN, G. **Evaluation of Potential Best Management Practices - Tankless Water Heaters, Report**. [s.l.] California Urban Water Conservation Council, 2010.

KRZYWINSKI, M.; ALTMAN, N. Visualizing samples with box plots. **Nature Publishing Group**, v. 11, n. 2, p. 119–120, 2014.

LAMBERT, A. O, BROWN, T.G, TAKIZAWA, M., WEIMER, D. A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems. **IWA / Aqua**, n. Ili, p. 1–15, 1999.

LAMBERT, A. Accouting for Losses: The Burst and Background Concept. **Institute of Water and Environment Jornal**, p. 10, 1994.

LAMBERT, A. **What do we know about pressure: leakage relationships in ditribution systems?** IWA Conference, “System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management”. **Anais...**Brno, Republica Checa: IWA, 2000

LAMBERT, A.; FANTOZZI, M. Recent Developments in Application of?Bursts and Background Estimates?Concepts for Leakage Management. **Water and Environment Journal**, v. 10, p. 100–104, 2010a.

LAMBERT, A. O. Ten Years Experience in Using the UARL Formula to Calculate Infrastructure Leakage Index. **Proceedings of Water Loss 2009 South Africa**, n. April, p. 189–196, 2009.

LAMBERT, A. O.; FANTOZZI, M. Recent Developments in Pressure Management **Proceedings of the IWA International Specialised Conference “Water Loss 2010”**, 2010b.

LIEMBERGER, R. et al. Water Loss Performance Indicators. **Proceedings of the IWA International Specialised Conference Water Loss 2007**, p. 148–160, 2007.

LIMA, G. M. **Geração de Energia e Controle de Pressão em Redes de Abastecimento de Água Utilizando Bombas Funcionando como Turbina**
Geração de Energia e Controle de Pressão em Redes de Abastecimento de Água Utilizando Bombas Funcionando como Turbina. [s.l: s.n.].

MARTIM, A. L. S. S. **Avaliação Do Desempenho De Um Medidor De Vazão Eletromagnético Em Situações Práticas Reais De Instalação.** [s.l: s.n.].

MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de são paulo.** [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2010.

MEYER, N.; ENGELBRECHT, M.; WRIGHT, D. **Large scale pressure management implementation in the City of Cape Town.** Proc., IWA Int. Specialized Conf. Water Loss 2009,. **Anais...**Hague, the Netherlands: IWA, 2009

MOLINOS-SENANTE, M.; MOCHOLÍ-ARCE, M.; SALA-GARRIDO, R. Estimating the environmental and resource costs of leakage in water distribution systems: A shadow price approach. **Science of the Total Environment**, v. 568, p. 180–188, 2016.

MOTTA, R. G. DA. Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público. **Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária**, p. 176, 2010.

NETO, A. et al. **Manual de Hidráulica.** oitava ed. [s.l.] Edgard Blucher Ltda, 1998.

NTS 299 SABESP. **Norma Técnica SABESP NTS 299 - Válvula Redutora de Pressão Tipo Globo DN50 a600**, 2016.

PACHECO, J. R. B. DE M. **Perdas em Sistemas de Abastecimento Público de Água uma Nova Abordagem com Base na Telemedição de Consumos Domésticos.** [s.l: s.n.].

PEARSON, D. et al. Searching for N2: How does Pressure Reduction Reduce Burst Frequency? **Proceedings of the IWA Specialised Conference Leakage 2005**, p. 1–14, 2005.

PEREIRA, L. G. **Avaliação da Submedição de Água em Edificações Residenciais Unifamiliares: O Caso das Unidades de Interesse Social Localizadas em Campinas.** [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2007.

RIZZO, A.; CILIA, J. Quantifying meter under-registration caused by the ball valves of roof tanks (for indirect plumbing systems). **Leakage 2005 - Conference Proceedings**, p. 1–12, 2005.

SNISS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos de 2017**. [s.l.] Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 2017.

SOUZA JÚNIOR, J. DO C. DE. Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água. p. 182, 2014.

STATE COLLEGE. **Minitab 18 Statistical Software** State College, , 2010.

THORNTON, J.; LAMBERT, A. Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. ... **of IWA Special Conference'Leakage**, p. 1–10, 2005.

THORNTON, J.; LAMBERT, A. O. Pressure Management Extends Infrastructure Life and Reduces Unnecessary Energy Costs. **Proceedings of the IWA International Specialised Conference: Water Loss 2007**, p. 1–10, 2007.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. **Water Loss Control**. Second ed. [s.l.] McGraw Hill, 2008.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. Quarta ed. [s.l.] Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

UN-HABITAT. **UN-HABITAT Global Activities Report 2015: Increasing Synergy for Greater National Ownership** UNON Publishing Services Section, , 2015.

VERMERSCH, M. et al. Guidance notes on apparent losses and water loss reduction planning. n. September, p. 77, 2016.

VICENTE, D. J. et al. Pressure Management in Water Distribution Systems: Current Status, Proposals, and Future Trends. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n. 2, p. 04015061, 2016.

ZANIBONI, N. **Equipamentos e Metodologias para o Controle e redução de Perdas Reais em Sistemas de Sbastecimento de Água**, 2009.

ANEXO A

1 Métodos estatísticos

Os conceitos e métodos estatísticos fornecem meios de obter compreensão de comportamentos de um determinado fenômeno. Através da estatística, é possível tomar decisões onde existem incertezas e variações (DEVORE, 2006). A seguir serão apresentados os métodos de análise de dados e o teste de hipótese que serão utilizados neste trabalho que possibilitam a tomada de decisão quanto a diminuição do consumo relacionada à redução de pressão.

1.1 Análise dos dados

Na estatística descritiva existem duas maneiras de representar um conjunto de dados, através de técnicas visuais e através de medidas numéricas. As técnicas visuais incluem diagramas de caule e folha, histogramas, diagramas de dispersão, gráficos de barras, gráficos de pizza etc., são ferramentas utilizadas para obter impressões iniciais da amostra. As medidas numéricas, que incluem medidas de localização e de dispersão, apresentam uma análise mais formal da amostra possibilitando caracterizar o conjunto de dados e obter informações da amostra em estudo. As medidas numéricas de localização incluem a média amostral, a mediana amostral, os quartis, percentis etc. As medidas numéricas de dispersão incluem a amplitude, variância amostral, desvio padrão amostral (DEVORE, 2006).

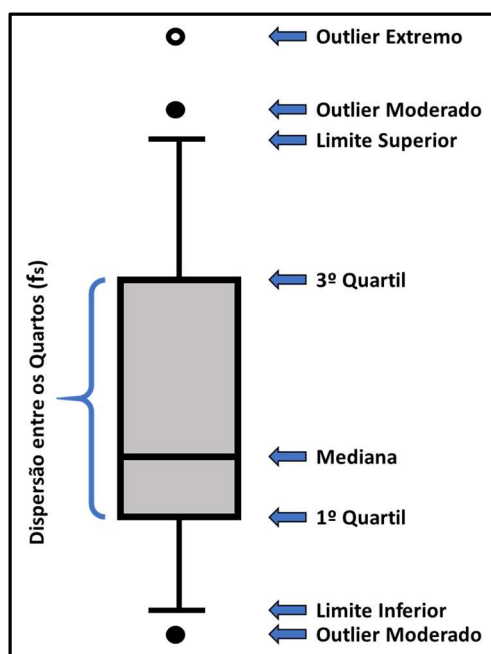
No entanto, analisar a amostra apenas pela média e desvio padrão fornece informações parciais sobre o conjunto de dados. Uma ferramenta muito eficiente e que vem sendo muito utilizada e recomendada como o melhor método visual para representar a dispersão de dados são *boxplots* (KRZYWINSKI; ALTMAN, 2014). Através do *boxplots* é possível identificar não somente o centro da amostra e a dispersão dos dados, como também a extensão e natureza dos desvios e identificar as observações da amostra que se encontram distantes da maior parte dos dados, os chamados *outliers*.

Para determinar o *boxplot* de cada conjunto de dados é necessário ordenar as (n) observações da menor para a maior. Desta maneira é possível determinar a

mediana que divide a amostra em duas partes, a metade superior e a metade inferior. Caso a quantidade de dados da amostra seja ímpar a mediana deve fazer parte das duas metades de dados (DEVORE, 2006). O quarto inferior será a mediana da metade inferior e o quarto superior será a mediana da metade superior. A dispersão entre os quartos é denominada f_s e pode ser determinada através da Equação (13):

$$f_s = \text{Quarto superior} - \text{Quarto inferior} \quad (13)$$

As observações com mais de $1,5f_s$ de distância do quarto mais próximo são consideradas *outliers*. Observações situadas entre $1,5f_s$ e $3f_s$ são consideradas *outliers* moderados. Observações que distam mais do que $3f_s$ são consideradas *outliers* extremos. Uma vez identificados os dados da amostra que são *outliers* moderados e extremos é possível tomar a decisão de excluir estes dados da amostra ou não. Muitos procedimentos inferenciais supõem uma distribuição normal, a presença de vários *outliers* moderados ou até mesmo a presença de poucos *outliers* extremos indica que a amostra não segue esta distribuição (DEVORE, 2006). O diagrama da Figura A.1 apresenta a forma gráfica do *boxplot*.



Fonte: Adaptado de Devore (2006).

Figura A.1: Representação gráfica de um *boxplot*.

O *boxplot* se caracteriza por uma caixa, onde a linha inferior representa o primeiro quartil (Q_1) ou seja representa os 25 percentis da amostra. A linha no meio da caixa representa a mediana e é equivalente a 50 percentis da amostra ou o

segundo quartil (Q_2) e pôr fim a linha superior da caixa é o terceiro quartil (Q_3) ou quartil superior que corresponde ao 75 percentil da amostra. As linhas verticais fora da caixa são os “bigodes” (whiskers) que se estende até $1,5f_s$ da extremidade do *boxplot*. Por fim os pontos externos representam os dados outliers.

1.2 Teste de hipótese (Devore,2006)

Em estatística, quando o objetivo é decidir entre duas afirmações contrárias sobre um mesmo parâmetro são utilizados métodos de inferência estatística chamados de teste de hipótese. Uma hipótese estatística é uma afirmação sobre o valor de um único parâmetro, valores de vários parâmetros ou ainda sobre a forma de distribuição. No teste de hipóteses são formuladas duas afirmações, sendo que uma delas seja favorecida, a chamada hipótese nula (H_0), e a outra, hipótese alternativa (H_a). A hipótese nula será descartada somente se a evidência da amostra sugerir que H_0 é falsa, neste caso H_a é considerada verdadeira. A hipótese nula sempre será definida como uma expressão de igualdade.

Tendo em vista a natureza dos dados onde existe apenas um conjunto de n indivíduos, e duas observações são realizadas sobre cada indivíduo, resultando em um pareamento dos dados, o teste de hipótese mais apropriado é o chamado teste t pareado.

De acordo com Devore (2006), no teste t pareado os valores de cada par de dados não são independentes entre si, no entanto, como os pares são independentes entre si as diferenças D_{is} são independentes. Considerando $D = X - Y$, onde X é a observação antes e Y é a observação depois do mesmo indivíduo então a diferença esperada pode ser determinada através da Equação (14):

$$\mu_D = E(X - Y) = E(X) - E(Y) = \mu_1 - \mu_2 \quad (14)$$

Onde, μ_D é a média das diferenças, $E(X - Y)$ é o valor esperado da diferença entre X e Y , $E(X)$ é o valor esperado de X , $E(Y)$ é o valor esperado de Y , μ_1 é a média de X e μ_2 é a média de Y .

Desta forma, a hipótese pode ser expressa como uma hipótese sobre a diferença média μ_D . Para testar a hipótese sobre $\mu_1 - \mu_2$ quando os dados são pareados, calculam-se as diferenças $D_1, D_2, \dots, D_n$ e o teste t de uma amostra sobre a diferença pode ser aplicado.

Segundo Devore (2006) a distribuição de probabilidade t não possui uma distribuição normal padronizada quando n é pequeno. Enquanto uma distribuição normal é determinada pelos parâmetros de média e desvio padrão, a distribuição t é determinada apenas pelo grau de liberdade da distribuição (abreviado por gl) representado por ν . O grau de liberdade é o número de variáveis observadas menos um ($n-1$). As curvas da distribuição t , apesar de também apresentarem um formato de sino e estarem centradas em 0 são mais dispersas do que a curva normal padronizada. À medida que o grau de liberdade ν aumenta a sequência das curvas se aproxima da curva normal padronizada. Para $\nu = \infty$ (maior que 120) a curva t é a curva normal padronizada. Os valores críticos da distribuição t são tabelados em função do grau de liberdade ν e o nível de significância α . Ao realizar um teste de hipóteses dois erros são possíveis, visto que testes de hipóteses não podem ser 100% corretos. A probabilidade do erro do tipo 1 ocorrer é α que é o nível de significância escolhido, normalmente α é 0,01, 0,05 ou 0,10. A escolha de um nível de significância de 0,05 por exemplo, implica em assumir que existe 5% de chance de concluir que existe uma diferença entre as amostras, quando na verdade não existe diferença entre elas, ou seja, 5% de chance de rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira. Utilizar valor de α menor, implicaria em uma menor probabilidade em detectar uma diferença, caso ela exista.

Já o erro tipo 2 implica em não rejeitar a hipótese nula quando esta é falsa, a probabilidade de cometer este erro é β que é dependente do poder do teste, para assegurar que o teste tem poder adequado é necessário garantir que o tamanho da amostra é suficiente para identificar uma determinada diferença. Quando o poder é suficiente menor a chance de cometer um erro tipo 2.

No teste t pareado a hipótese nula, que sempre será expressa por uma igualdade, é elaborada sobre a diferença populacional das médias, conforme a Equação (15):

$$H_0: \mu_D = \Delta_0 \quad (15)$$

Onde, $\mu_D = \mu_1 - \mu_2$ é igual a diferença populacional das médias da primeira e segunda observação enquanto $D = X - Y$ é a diferença entre a primeira e a segunda observação dentro de um par de dados.

O valor da estatística de teste t é dado pela seguinte Equação (16):

$$t = \frac{\bar{d} - \Delta_0}{s_D / \sqrt{n}} \quad (16)$$

Onde, $\bar{d}$ é a média amostral, Δ_0 é a hipótese H_0 , SD é o desvio padrão das diferenças Dis e n é o número de dados.

As hipóteses alternativas podem ser expressas pelas equações (17), (18) e (19):

Hipótese	Região de rejeição	
Alternativa		
$H_a: \mu_D > \Delta_0$	$t \geq t_{\alpha, n-1}$	(17)
$H_a: \mu_D < \Delta_0$	$t \leq t_{\alpha, n-1}$	(18)
$H_a: \mu_D \neq \Delta_0$	Tanto $t \geq t_{\alpha/2, n-1}$ como $t \leq -t_{\alpha/2, n-1}$	(19)

Uma forma de apresentar o resultado da análise do teste de hipóteses é apenas concluir se a hipótese nula foi rejeitada no nível de significância especificado. No entanto, este tipo de conclusão seria inadequado pois não oferece informações suficientes sobre o valor calculado da estatística. O P valor, ou nível de significância observado, transmite muitas informações sobre a força da evidência contra H_0 em qualquer nível de α específico. Para um α especificado a região de rejeição é encontrada um valor crítico ou valores que incluam a área de cauda α , que pode ser superior, inferior ou ainda bicaudal na curva de distribuição de probabilidade. Este menor α é o valor crítico.

$$P \text{ valor} \leq \alpha \Rightarrow \text{rejeição de } H_0 \text{ no nível } \alpha \quad (20)$$

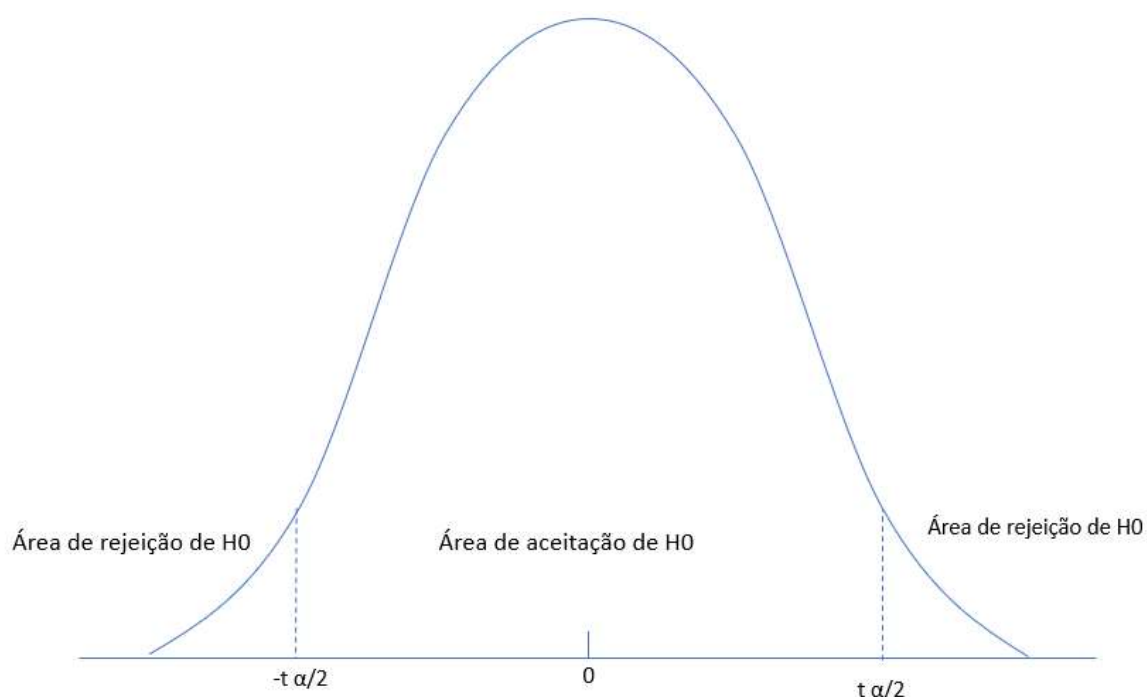
$$P \text{ valor} > \alpha \Rightarrow \text{não - rejeição de } H_0 \text{ no nível } \alpha \quad (21)$$

O P valor também chamado de significância observada é o menor nível em que os dados são significativos. O P valor para um teste t é a área de uma curva t de acordo com o tipo de teste apropriado, teste de curva superior, teste de curva inferior ou teste de bicaudal. A Figura A.2 representa o teste de curva bicaudal, a área entre $-t_{\alpha/2}$ e $t_{\alpha/2}$ corresponde à área de aceitação da hipótese zero. No caso de testes monocaudal, o IC resultaria da conversão do sinal apropriado e da substituição de $t_{\alpha/2}$ por t_α .

O intervalo de confiança IC para uma um teste t pareado bicaudal de média μ_D é dada pela Equação (22)

$$\bar{d} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \cdot S_D / \sqrt{n} \quad (22)$$

Onde, $\bar{d}$ é a média amostral e S_D é o desvio padrão das diferenças d_i s, n é o número de dados.



Fonte: Adaptado de Devore (2006).

Figura A.2: Teste de curva bicaudal.

Quando o número da amostra n é pequeno, a validade do intervalo requer que a distribuição das diferenças seja pelo menos aproximadamente normal. No entanto, para amostras grandes, o *Teorema do Limite Central* (TLC) garante que o intervalo z seja válido sem qualquer restrição na distribuição das diferenças. Segundo Devore (2006) amostras com n superior a 30 são consideradas grandes, já o “Minitab Statistical Software”, [s.d.] considera amostras grandes aquelas superiores a 20.

ANEXO B

Tabela B.1: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Várzea Paulista – Cenário 2

	VRP1	VRP2	VRP5	C1	C3
f_s	4,00	3,00	3,50	4,000	4,00
Máximo	26,00	83	22,00	44	24,00
Limite superior	10,00	5,00	6,00	7	8,00
Terceiro quartil	4,00	1	1,00	1	2,00
Mediana	2,00	0	-1	-1	0,00
Primeiro quartil	0,00	-2	-2,50	-3	-2,00
Limite inferior	-6,00	-6	-7	-9	-8,00
Mínimo	-78,00	-17	-92	-42	-47,00
Número de ligações no setor	327	319	312	497	366
Número de dados válidos	299	292	295	484	345
Número de <i>outliers</i> positivo	12	17	9	9	21
Número de <i>outliers</i> negativo	13	19	12	19	22
Número de dados para teste	274	256	274	456	302

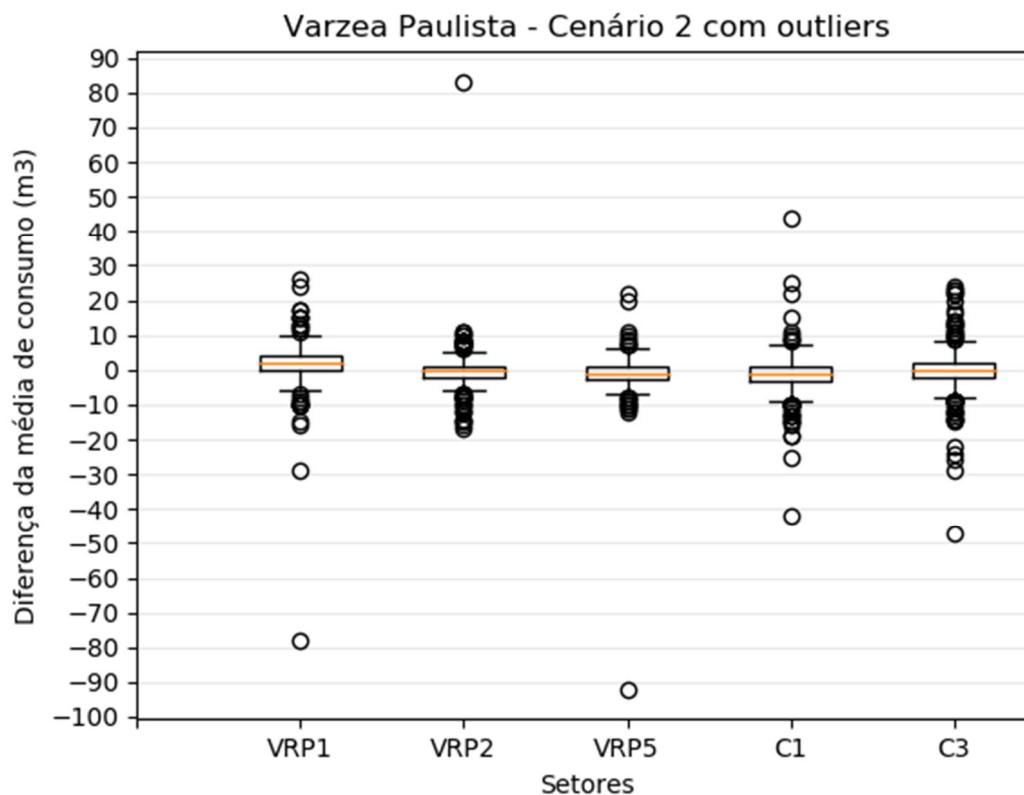


Figura B.1: Boxplot com outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 2

Tabela B.2: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Várzea Paulista – Cenário 3

	VRP1	VRP2	VRP5	C1	C3
f_s	4,17	4,2	4,50	3,670	4,17
Máximo	29,67	25,87	28,00	32,5	52,83
Limite superior	8,50	7,67	9,00	6,83	8,67
Terceiro quartil	2,67	2	2,83	1,5	2,50
Mediana	0,50	0,17	0,33	-0,17	0,17
Primeiro quartil	-1,50	-2,2	-1,67	-2,17	-1,67
Limite inferior	-7,67	-8,5	-7,33	-7,67	-7,67
Mínimo	-35,83	-20,17	-31,17	-96,5	-22,67
Número de ligações no setor	327	319	312	497	366
Número de dados válidos	308	303	301	301	354
Número de <i>outliers</i> positivo	17	10	17	17	21
Número de <i>outliers</i> negativo	19	16	12	12	14
Número de dados para teste	272	277	272	272	319

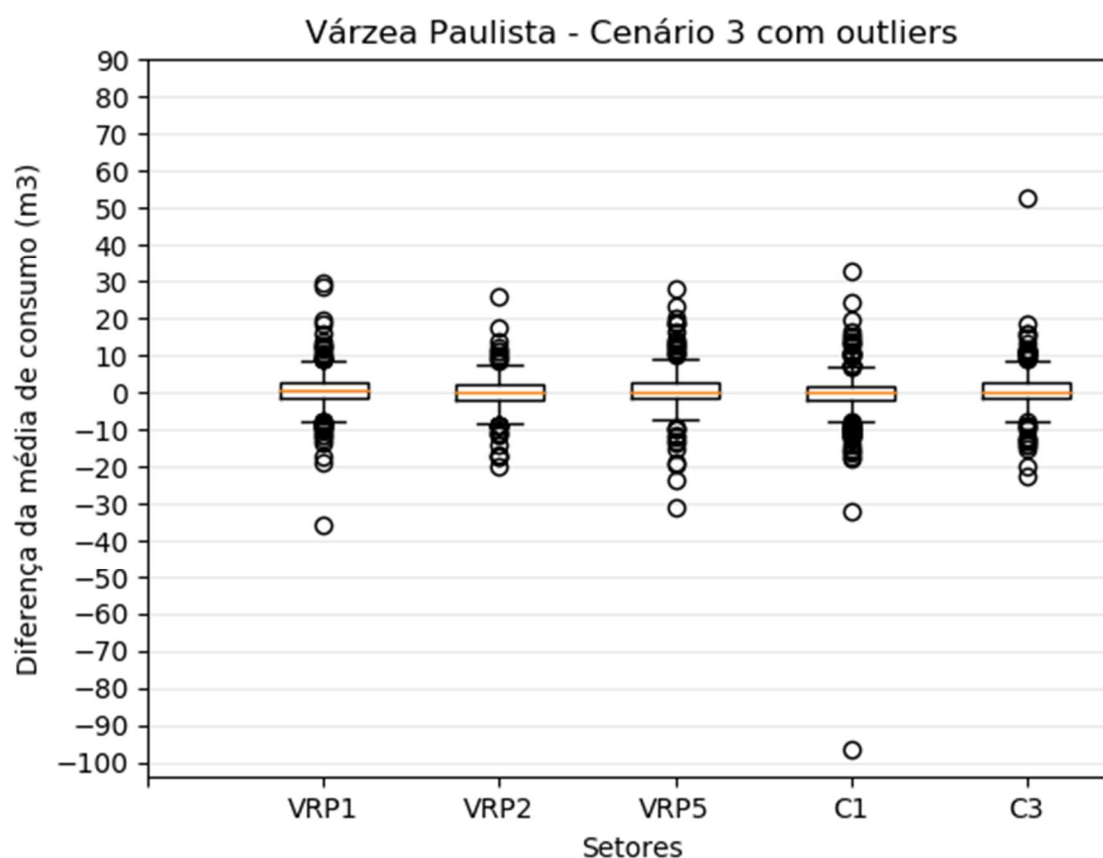


Figura B.2: Boxplot com outliers para os setores de Várzea Paulista – Cenário 3

Tabela B.3: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Palmas – Cenário 1 considerando todos as ligações.

	VRP1	VRP2	VRP4	VRP5	C9	C10	C11	C14
Fs	3,90	4,18	4,68	4,91	4,2	4,46	3,68	4,02
Máximo	16,36	40,27	59,18	67,09	32,18	18,36	19,73	60,00
Limite superior	7,00	7,68	8,13	9,65	8,74	8,82	7,15	7,59
Terceiro quartil	1,36	1,45	1,18	2,36	2,47	2,55	1,91	1,66
Mediana	-0,36	-0,36	-0,82	-0,13	0,27	0,09	0,075	-0,16
Primeiro quartil	-2,54	-2,73	-3,5	-2,55	-1,73	-1,91	-1,77	-2,36
Limite inferior	-8,36	-9,00	-10,45	-9,82	-7,82	-8,00	-7,25	-8,33
Mínimo	-35,36	-41,64	-93,04	-114,45	-145,62	-57,78	-39	-28,22
Número de ligações no setor	1208	1880	1359	2995	899	443	757	1095
Número de dados válidos	1043	1655	1161	2414	766	420	614	900
Número de outliers positivo	22	50	38	95	36	15	33	18
Número de outliers negativo	45	65	75	102	34	12	24	40
Número de dados para teste	976	1540	1048	2217	696	393	557	842

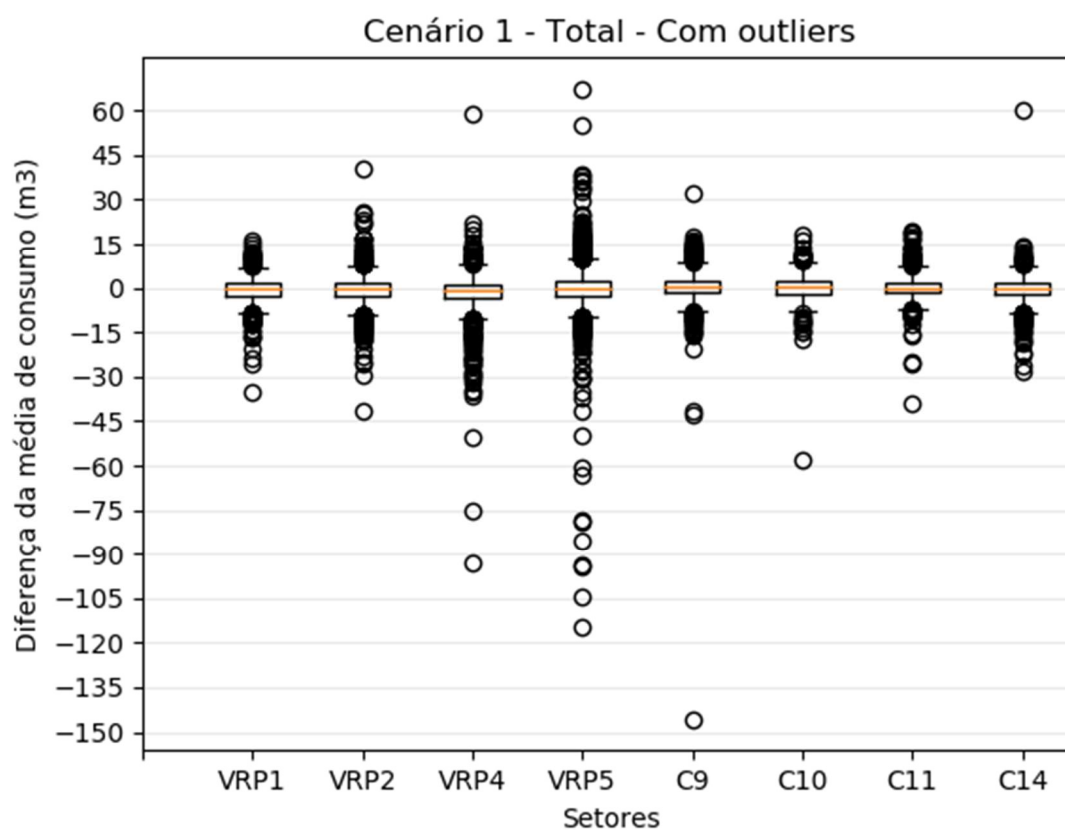


Figura B.3: Boxplot com outliers para os setores de Palmas – Cenário 1 considerando todas as ligações.

Tabela B.4: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Palmas – Cenário 1 considerando apenas as ligações diretas.

	VRP1	VRP2	VRP4	VRP5	C9	C10	C11	C14
fs	4,09	4,27	4,30	4,82	4,65	3,2575	4,09	4,09
Máximo	11,7	24,88	20,00	38,42	32,18	13,91	19,73	60,00
Limite superior	7	7,73	7,49	9,42	8,82	6,06	8,56	7,87
Terceiro quartil	1,18	1,36	1,06	2,27	2,45	1,3925	2,45	1,82
Mediana	-0,44	-0,32	-0,82	-0,18	0,18	-0,33	0,27	-0,15
Primeiro quartil	-2,91	-2,91	-3,24	-2,55	-2,2	-1,865	-1,64	-2,27
Limite inferior	-8,71	-9,2	-9,45	-9,73	-8,73	-6	-7,68	-8,27
Mínimo	-35,36	-29,52	-31,73	-104,61	-145,62	-12,45	-39,00	-17,27
Número de ligações no setor	367	677	546	1321	273	82	393	346
Número de dados válidos	349	577	449	1049	225	74	337	278
Número de outliers positivo	7	15	17	42	10	4	19	6
Número de outliers negativo	12	22	28	45	9	6	12	9
Número de dados para teste	330	540	404	962	206	64	306	263

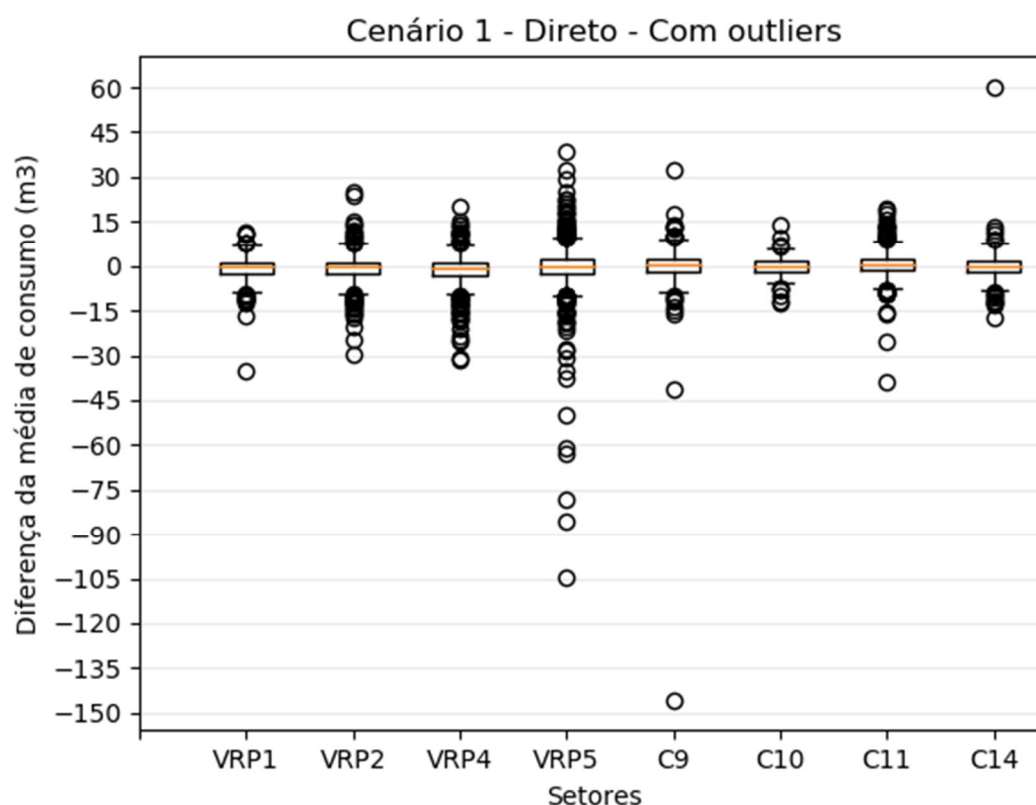


Figura B.4: Boxplot com outliers para os setores de Palmas – Cenário 1 considerando apenas as ligações diretas.

Tabela B.5: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Palmas – Cenário 1 considerando apenas as ligações indiretas (através de caixa d'água).

	VRP1	VRP2	VRP4	VRP5	C9	C10	C11	C14
fs	3,88	4,09	4,87	4,93	4,14	4,64	3,55	3,93
Máximo	16,36	40,27	59,18	67,09	16,18	18,36	18,84	14,13
Limite superior	6,64	7,52	8,27	9,73	8,63	9,55	6,98	7,41
Terceiro quartil	1,55	1,45	1,23	2,36	2,50	2,73	1,73	1,53
Mediana	-0,27	-0,36	-0,76	-0,09	0,27	0,18	-0,18	-0,18
Primeiro quartil	-2,33	-2,64	-3,64	-2,57	-1,64	-1,91	-1,82	-2,40
Limite inferior	-8,09	-8,73	-10,82	-9,73	-7,55	-8,80	-6,83	-7,90
Mínimo	-25,55	-41,64	-93,04	-114,05	-68,03	-57,78	-25,91	-28,22
Número de ligações no setor	839	1202	813	1674	626	361	364	749
Número de dados válidos	694	1078	712	1364	541	346	277	622
Número de outliers positivo	16	36	25	53	25	11	11	15
Número de outliers negativo	33	44	44	59	24	8	9	32
Número de dados para teste	645	998	643	1252	492	327	257	575

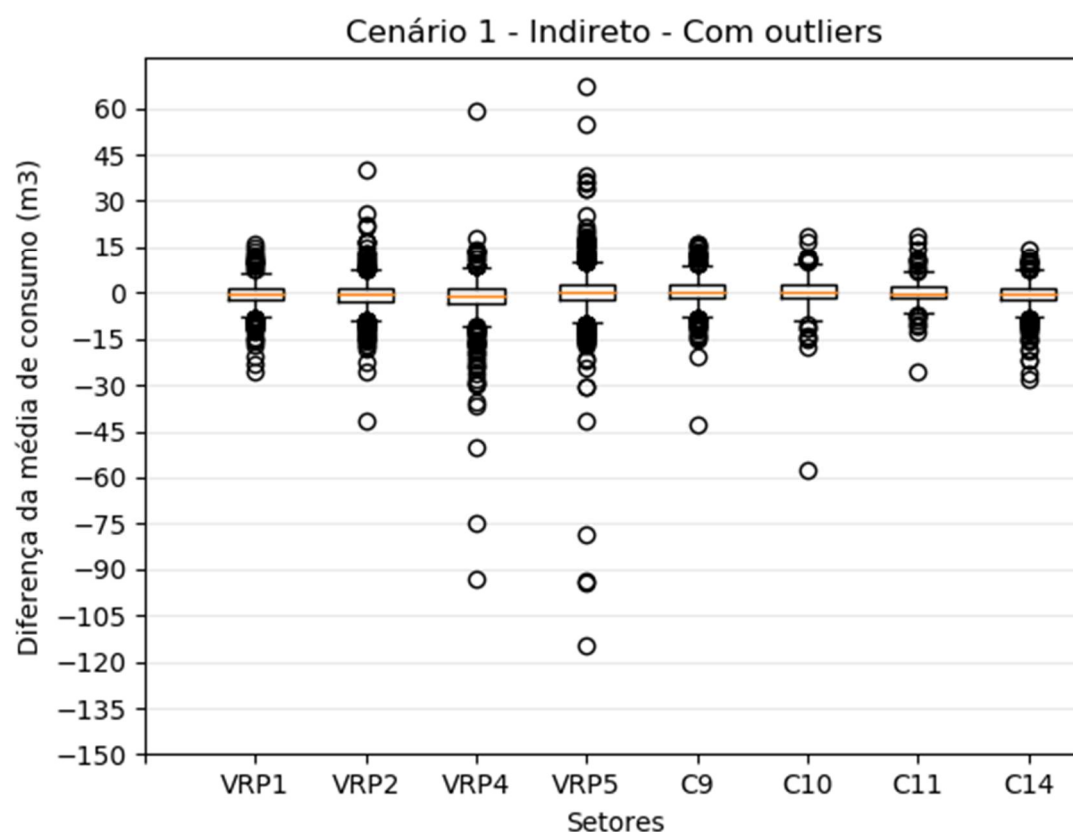


Figura B.5: Boxplot com outliers para os setores de Palmas – Cenário 1 considerando apenas as ligações indiretas.

Tabela B.6: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Palmas – Cenário 2 considerando todas as ligações.

	VRP1	VRP2	VRP4	VRP5	C9	C10	C11	C14
fs	5	4	4	5	3	4	5	5
Máximo	89	30	33	78	26	24	16	28
Limite superior	7	5	7	10	6	8	6	10
Terceiro quartil	0	-1	1	3	2	2	0	3
Mediana	-2	-3	-1	0	0	0	-2	0
Primeiro quartil	-5	-5	-3	-2	-1	-2	-5	-2
Limite inferior	-12	-11	-9	-9	-5	-8	-12	-9
Mínimo	-84	-112	-218	-55	-43	-31	-28	-55
Número de ligações no setor	1208	1880	1359	2995	899	443	757	1095
Número de dados válidos	969	1499	1094	2183	706	395	445	696
Número de outliers positivo	23	41	36	95	58	24	7	15
Número de outliers negativo	47	75	89	110	39	24	16	19
Número de dados para teste	899	1383	969	1978	609	347	422	662

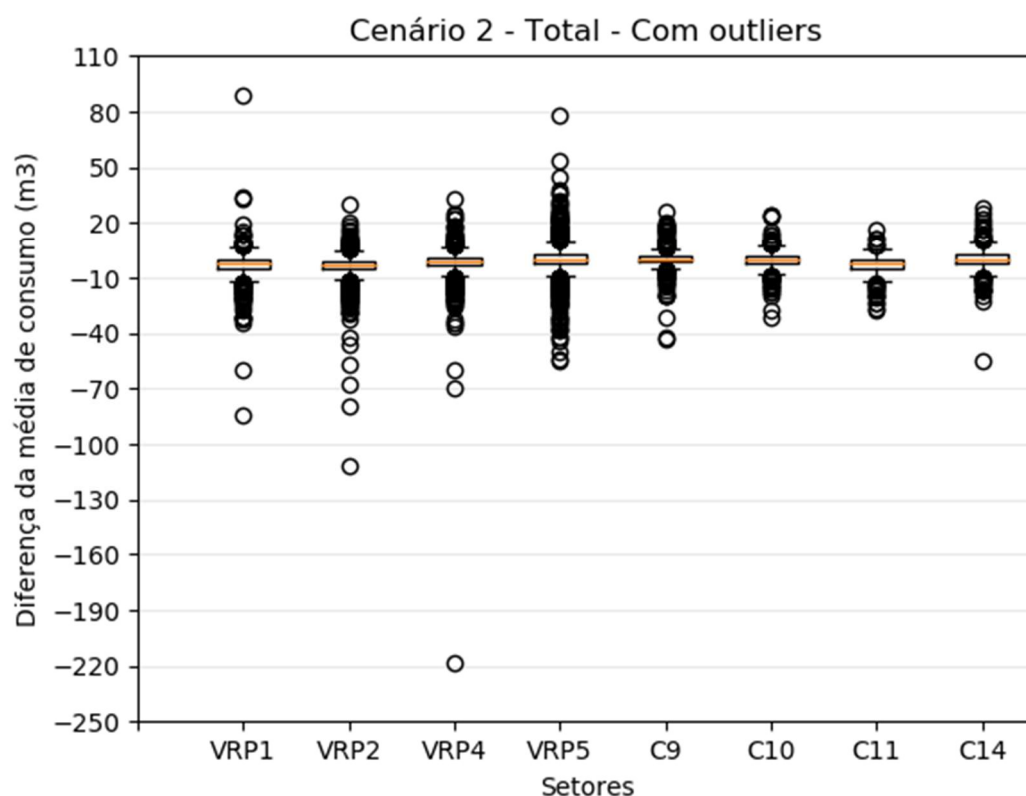


Figura B.6: Boxplot com outliers para os setores de Palmas – Cenário 2 considerando todas as ligações.

Tabela B.7: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Palmas – Cenário 2 considerando apenas as ligações diretas.

	VRP1	VRP2	VRP4	VRP5	C9	C10	C11	C14
fs	5	5	4	5	3	5	5	5
Máximo	33	20	25	54	20	14	10	28
Limite superior	7	7	7	10	6	10	6	10
Terceiro quartil	0	0	1	3	2	3	0	3
Mediana	-2	-2	-1	0	0	0	-2	0
Primeiro quartil	-5	-5	-3	-2	-1	-2	-5	-2
Limite inferior	-12	-12	-9	-9	-5	-9	-12	-8
Mínimo	-34	-57	-24	-54	-20	-20	-28	-20
Número de ligações no setor	367	677	546	1321	273	82	393	346
Número de dados válidos	320	518	419	945	208	69	253	214
Número de outliers positivo	8	10	12	42	11	2	3	6
Número de outliers negativo	11	30	21	42	10	3	11	8
Número de dados para teste	301	478	386	861	187	64	239	200

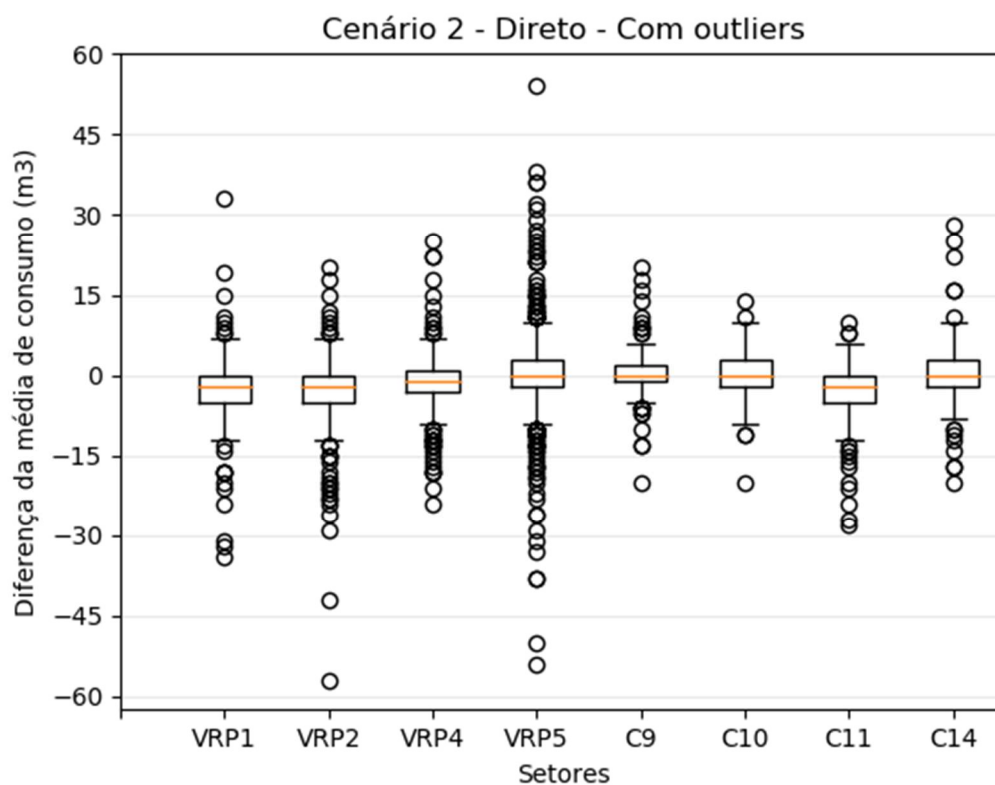


Figura B.7: Boxplot com outliers para os setores de Palmas – Cenário 2 considerando as ligações diretas.

Tabela B.8: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Palmas – Cenário 2 considerando apenas as ligações indiretas (através de caixa d'água).

	VRP1	VRP2	VRP4	VRP5	C9	C10	C11	C14
fs	5	4	4	5	3,75	4	4	4
Máximo	89	30	33	78	26	24	16	20
Limite superior	7	5	7	10	8	8	6	8
Terceiro quartil	0	-1	1	3	2,75	2	0	2
Mediana	-2	-3	-1	0	1	0	-2	0
Primeiro quartil	-5	-5	-3	-2	-1	-2	-4	-2
Limite inferior	-12	-11	-9	-9	-6	-8	-10	-8
Mínimo	-84	-112	-218	-55	-43	-31	-24	-55
Número de ligações no setor	839	1202	813	1674	626	361	364	749
Número de dados válidos	649	980	674	1238	498	326	192	482
Número de outliers positivo	15	24	24	53	24	19	4	17
Número de outliers negativo	36	45	67	68	21	20	6	20
Número de dados para teste	598	911	583	1117	453	287	182	445

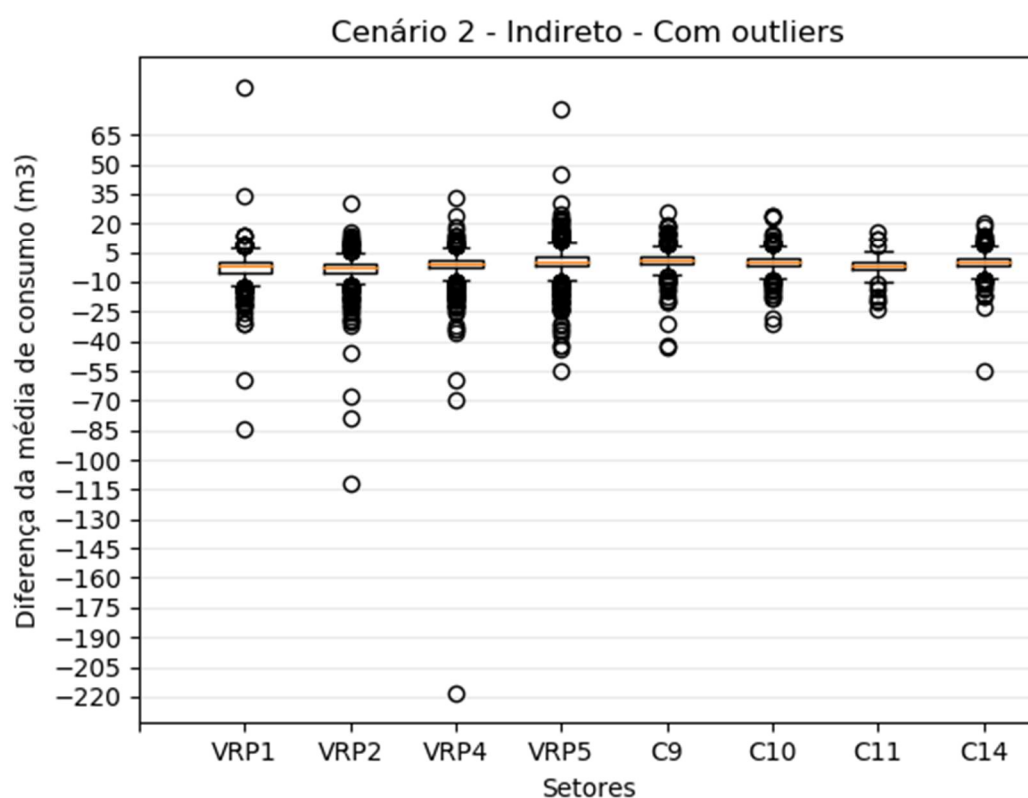


Figura B.8: Boxplot com outliers para os setores de Palmas – Cenário 2 considerando as ligações indiretas.

Tabela B.9: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Palmas – Cenário 3 considerando todas as ligações.

	VRP1	VRP2	VRP4	VRP5	C9	C10	C11	C14
fs	4,57	4,50	5,16	5,67	4,75	4,83	4,13	4,42
Máximo	30,67	36,50	107,33	60,33	23,27	22,50	25,17	21,67
Limite superior	8,17	8,17	9,00	11,00	9,83	9,33	8,00	8,58
Terceiro quartil	1,40	1,50	1,33	2,50	2,75	2,33	2,17	2,07
Mediana	-0,67	-0,60	-0,83	-0,33	0,13	-0,17	0,00	0,00
Primeiro quartil	-3,17	-3,00	-3,83	-3,17	-2,00	-2,50	-1,96	-2,35
Limite inferior	-9,83	-9,67	-11,50	-11,67	-9,10	-9,33	-8,00	-8,77
Mínimo	-383,17	-74,50	-99,50	-372,67	-234,27	-51,83	-34,67	-36,67
Número de ligações no setor	1208	1880	1359	2995	899	443	757	1095
Número de dados válidos	1020	1605	1094	2244	735	414	558	857
Número de outliers positivo	26	57	36	84	34	13	32	23
Número de outliers negativo	50	79	89	104	29	18	17	30
Número de dados para teste	944	1469	969	2056	672	383	509	804

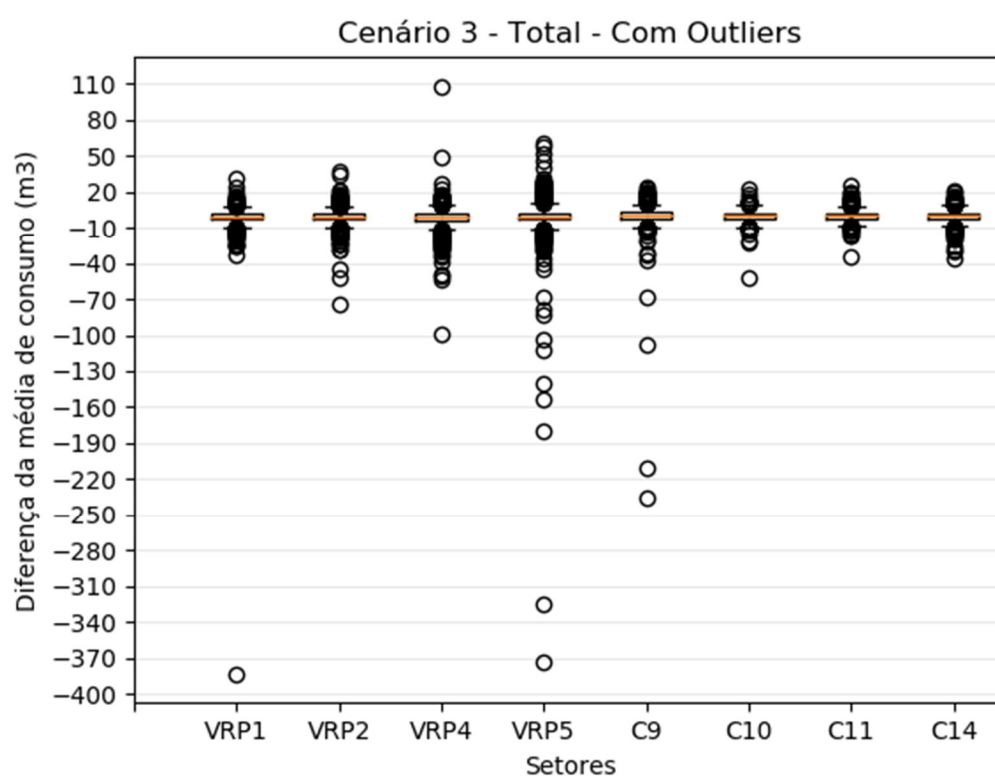


Figura B.9: Boxplot com outliers para os setores de Palmas – Cenário 3 considerando todas as ligações.

Tabela B.10: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Palmas – Cenário 3 considerando apenas as ligações diretas

	VRP1	VRP2	VRP4	VRP5	C9	C10	C11	C14
fs	4,34	4,67	5,09	5,805	5,145	4,83	4,40	4,695
Máximo	23,4	21,5	22,33	51,83	23,27	10,17	25,17	21,67
Limite superior	7,5	8,17	8,67	11,33	10,33	7,67	8,83	8,83
Terceiro quartil	1,17	1,5	1,33	2,635	2,645	1,33	2,73	2,17
Mediana	-1	-0,5	-0,83	-0,17	0	-0,5	0,23	-0,17
Primeiro quartil	-3,17	-3,17	-3,76	-3,17	-2,5	-3,5	-1,67	-2,525
Limite inferior	-9,2	-10,17	-10,83	-11,67	-9,5	-10,33	-7,50	-8,75
Mínimo	-26,67	-28,67	-53,83	-372,67	-210,93	-12,83	-16,67	-15,83
Número de ligações no setor	367	677	546	1321	273	82	393	346
Número de dados válidos	343	561	435	1031	216	73	308	264
Número de outliers positivo	9	18	17	47	9	2	17	7
Número de outliers negativo	20	21	26	38	9	2	6	7
Número de dados para teste	314	522	392	946	198	69	285	250

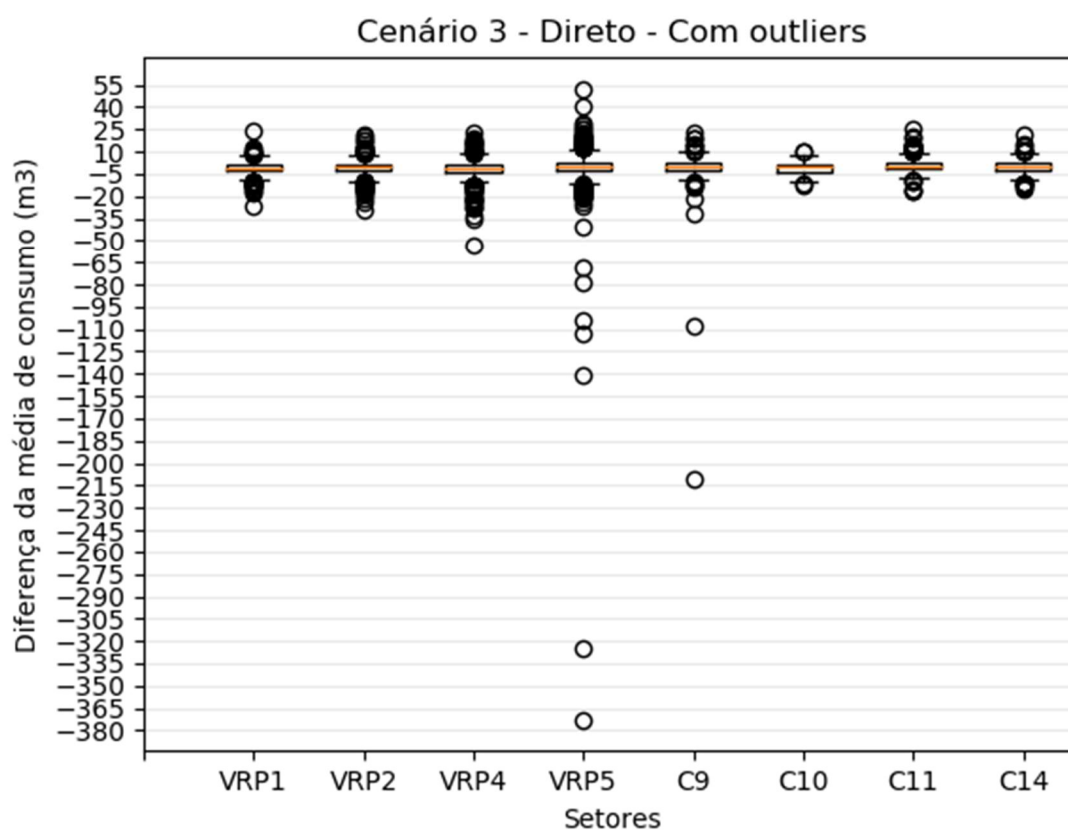


Figura B.10: Boxplot com outliers para os setores de Palmas – Cenário 3 considerando apenas as ligações diretas.

Tabela B.11: Resultado da análise de dispersão de dados para os setores de Palmas – Cenário 3 considerando apenas as ligações indiretas (através de caixa d'água).

	VRP1	VRP2	VRP4	VRP5	C9	C10	C11	C14
fs	4,67	4,5	5,33	5,5	4,58	4,83	3,67	4,33
Máximo	30,67	36,5	107,33	60,33	22	22,5	17,33	18,83
Limite superior	8,33	8,17	9,17	10,33	9,5	9,33	7	8,3
Terceiro quartil	1,5	1,5	1,33	2,33	2,75	2,5	1,5	2
Mediana	-0,5	-0,67	-0,83	-0,33	0,17	-0,17	-0,33	0,08
Primeiro quartil	-3,17	-3	-4,00	-3,17	-1,83	-2,33	-2,17	-2,33
Limite inferior	-9,83	-9,67	-11,83	-11,33	-8,67	-9,33	-7,67	-8,77
Mínimo	-383,17	-74,5	-99,50	-180	-234,92	-51,83	-34,67	-36,67
Número de ligações no setor	839	1202	813	1674	626	361	364	749
Número de dados válidos	677	1044	687	1213	519	341	250	593
Número de outliers positivo	16	39	19	49	25	11	16	16
Número de outliers negativo	32	50	40	59	21	14	12	23
Número de dados para teste	629	955	628	1105	473	316	222	554

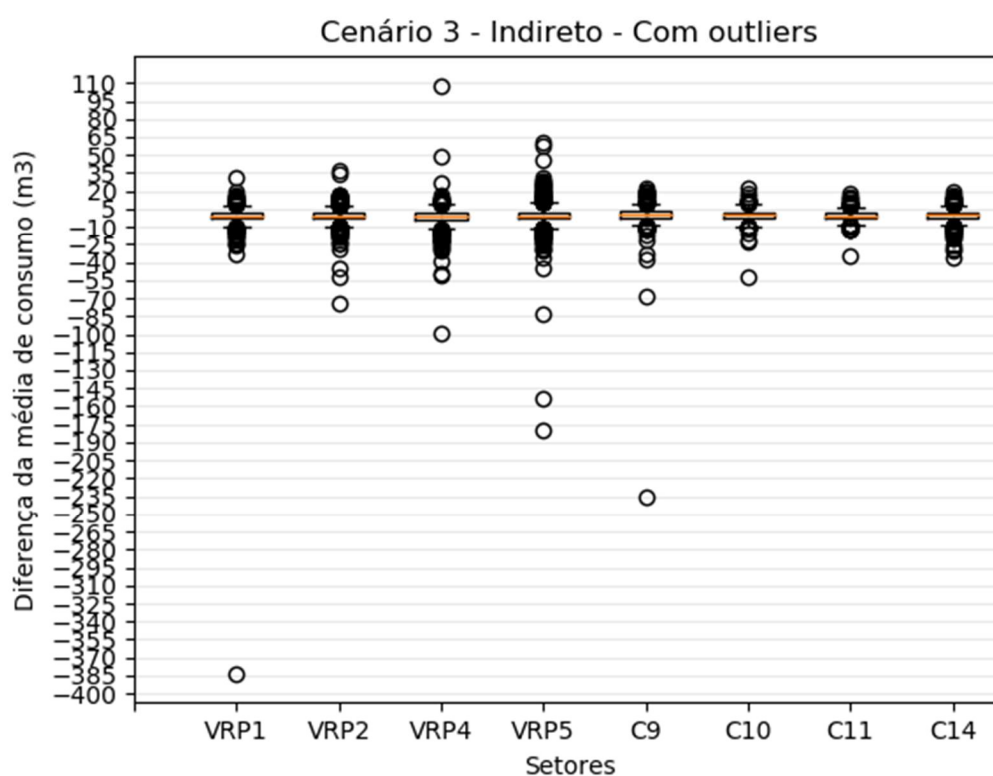


Figura B.11: Boxplot com outliers para os setores de Palmas – Cenário 3 considerando apenas as ligações indiretas.

ANEXO C

Tabela C.1: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 1 de Várzea Paulista.

VRP 1	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,177	1,967	0,561
Desvio padrão (Sd)	2,997	3,046	3,241
Quantidade de dados (n)	281	274	272
$\Delta 0$	0,000	0,000	0,000
t (calculado)	0,992	10,691	2,857
P valor (tabelado)	0,322	0,000	0,005
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,322 > 0,05	0,000 < 0,05	0,005 < 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H_0	Rejeitar H_0 , a média aumentou	Rejeitar H_0 , a média aumentou
t tabelado 95%	1,960	1,960	1,960
Intervalo de confiança 95%	(-0,173; 0,528)	(1,605; 2,329)	(0,175; 0,948)

Tabela C.2: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 2 de Várzea Paulista

VRP 2	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,225	-0,348	0,058
Desvio padrão (Sd)	2,815	2,508	2,925
Quantidade de dados (n)	286	256	277
$\Delta 0$	0,000	0,000	0,000
t (calculado)	1,353	-2,218	0,329
P valor (tabelado)	0,177	0,027	0,748
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,177 > 0,05	0,027 < 0,05	0,748 > 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H_0	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Não é possível rejeitar H_0
t tabelado 95%	1,960	1,960	1,960
Intervalo de confiança 95%	(-0,101; 0,551)	(-0,655; -0,040)	(-0,287; 0,411)

Tabela C.3: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 5 de Várzea Paulista

VRP 5	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,291	-0,726	0,560
Desvio padrão (Sd)	2,346	2,618	3,050
Quantidade de dados (n)	264	274	272
$\Delta 0$	0,000	0,000	0,000
t (calculado)	2,015	-4,593	3,028
P valor (tabelado)	0,045	0,000	0,003
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,045<0,05	0,000<0,05	0,003<0,05
Conclusão	Rejeitar H_0 , porém a média aumentou	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , porém a média aumentou
t tabelado 95%	1,960	1,960	1,960
Intervalo de confiança 95%	(0,008; 0,574)	(-1,036; -0,416)	(0,198; 0,923)

Tabela C.4: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C1 de Várzea Paulista

C 1	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,374	-1,088	-0,195
Desvio padrão (Sd)	2,533	3,129	2,710
Quantidade de dados (n)	430	456	427
$\Delta 0$	0,000	0,000	0,000
t (calculado)	-3,060	-7,423	-1,488
P valor (tabelado)	0,002	0	0,137
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,002< 0,05	0,00< 0,05	0,137>0,05
Conclusão	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Não é possível rejeitar H_0
t tabelado 95%	1,960	1,960	1,960
Intervalo de confiança 95%	(-0,613; -0,134)	(-1,375; -0,801)	(-0,452; 0,062)

Tabela C.5: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 2 de Várzea Paulista

C3	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,373	-0,096	0,467
Desvio padrão (Sd)	2,478	3,171	3,168
Quantidade de dados (n)	317	302	319
$\Delta 0$	0,000	0,000	0,000
t (calculado)	2,683	-0,526	2,631
P valor (tabelado)	0,008	0,599	0,009
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,008<0,05	0,599>0,05	0,009<0,05
Conclusão	Rejeitar H_0 , a média aumentou	Não é possível rejeitar H_0	Rejeitar H_0 , a média aumentou
t tabelado 95%	1,960	1,960	1,960
Intervalo de confiança 95%	(0,101; 0,646)	(-0,454; 0,262)	(0,119; 0,814)

Tabela C.6: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 1 de Palmas considerando todas as ligações.

VRP 1 total	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,441	-2,469	-0,783
Desvio padrão (Sd)	2,958	3,211	3,413
Quantidade de dados (n)	977	899	944
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-4,659	-22,796	-7,045
P valor (tabelado)	0	0	0
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,000<0,05	0,000<0,05	0,000<0,05
Conclusão	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,626; -0,255)	(-2,681; -2,256)	(-1,000;-0,565)

Tabela C.7: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 1 de Palmas considerando as ligações com abastecimento direto.

VRP 1 direto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,69	-2,598	-0,809
Desvio padrão (Sd)	3,064	3,635	3,44
Quantidade de dados (n)	330	301	314
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-4,072	-12,399	-4,167
P valor (tabelado)	0	0	0
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,00<0,05	0,00<0,05	0,00<0,05
Conclusão	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-1,017; -0,356)	(-3,009; -2,187)	(-1,190; -0,428)

Tabela C.8: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 1 de Palmas considerando as ligações com abastecimento indireto.

VRP 1 indireto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,327	-2,32	-0,73
Desvio padrão (Sd)	2,888	3,366	3,387
Quantidade de dados (n)	645	598	629
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-2,88	-16,85	-5,371
P valor (tabelado)	1,96	1,96	1,96
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,004	0	0
Conclusão	0,004<0,05	0,000<0,05	0,000<0,05
t tabelado 95%	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
Intervalo de confiança 95%	(-0,550; -0,105)	(-2,589; -2,050)	(-0,990; -0,461)

Tabela C.9: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 2 de Palmas considerando todas as ligações.

VRP 2 total	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,56	-2,741	-0,66
Desvio padrão (Sd)	3,207	3,242	3,467
Quantidade de dados (n)	1540	1383	1469
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-6,858	-31,442	-7,294
P valor (tabelado)	0	0	0
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,000<0,05	0,000<0,05	0,000<0,05
Conclusão	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,721; -0,400)	(-2,912; -2,570)	(-0,837; -0,483)

Tabela C.10: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 2 de Palmas considerando as ligações diretas.

VRP 2 direto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,688	-2,559	-0,781
Desvio padrão (Sd)	3,379	3,371	3,685
Quantidade de dados (n)	540	478	522
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-4,733	-16,592	-4,846
P valor (tabelado)	0	0	0
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,000<0,05	0,000<0,05	0,000<0,05
Conclusão	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,973; -0,403)	(-2,861; -2,256)	(-1,098; -0,465)

Tabela C.11: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 2 de Palmas considerando as ligações indiretas.

VRP 2 indireto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,491	-2,765	-0,672
Desvio padrão (Sd)	3,091	3,26	3,437
Quantidade de dados (n)	998	911	955
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-5,019	-25,597	-6,041
P valor (tabelado)	0	0	0
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,000<0,05	0,000<0,05	0,000<0,05
Conclusão	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,683; -0,299)	(-2,977; -2,553)	(-0,890; -0,454)

Tabela C.12: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 4 de Palmas considerando todas as ligações.

VRP 4 total	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,898	-0,752	-1,047
Desvio padrão (Sd)	3,245	2,822	3,805
Quantidade de dados (n)	1048	969	1018
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-8,959	-8,298	-8,78
P valor (tabelado)	0	0	0
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,000<0,05	0,000<0,05	0,000<0,05
Conclusão	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Rejeitar H_0 , a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-1,094; -0,702)	(-0,930; -0,575)	(-1,281; -0,813)

Tabela C.13: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 4 de Palmas considerando as ligações diretas.

VRP 4 direto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,836	-0,894	-1,055
Desvio padrão (Sd)	3,127	2,989	3,592
Quantidade de dados (n)	404	386	392
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-5,372	-5,876	-5,815
P valor (tabelado)	0	0	0
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,000<0,05	0,000<0,05	0,000<0,05
Conclusão	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-1,141; -0,531)	(-1,192; -0,596)	(-1,410; -0,699)

Tabela C.14: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 4 de Palmas considerando as ligações indiretas.

VRP 4 indireto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-1,038	-0,659	-1,043
Desvio padrão (Sd)	3,317	2,705	3,973
Quantidade de dados (n)	643	583	628
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-7,937	-5,879	-6,578
P valor (tabelado)	0	0	0
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,000<0,05	0,000<0,05	0,000<0,05
Conclusão	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu	Rejeitar H0, a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-1,295; -0,782)	(-0,878; -0,439)	(-1,354; -0,732)

Tabela C.15: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 5 de Palmas considerando todas as ligações.

VRP 5 total	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,126	0,251	-0,306
Desvio padrão (Sd)	3,659	3,661	4,322
Quantidade de dados (n)	2217	1978	2056
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-1,628	3,052	-3,211
P valor (tabelado)	0,104	0,002	0,001
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,104 > 0,05	0,002 < 0,05	0,001 < 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média aumentou	Rejeitar H0, a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,279; 0,026)	(0,090; 0,413)	(-0,493; -0,119)

Tabela C.16: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 5 de Palmas considerando as ligações diretas.

VRP 5 direto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,081	0,29	-0,178
Desvio padrão (Sd)	3,654	3,704	4,447
Quantidade de dados (n)	962	861	946
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-0,686	2,3	-1,231
P valor (tabelado)	0,493	0,022	0,219
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,493 > 0,05	0,022 < 0,05	0,219 > 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média aumentou	Não é possível rejeitar H0
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,312; 0,150)	(0,043; 0,538)	(-0,461; 0,105)

Tabela C.17: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor VRP 5 de Palmas considerando as ligações indiretas.

VRP 5 indireto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,138	0,221	-0,424
Desvio padrão (Sd)	3,638	3,63	4,156
Quantidade de dados (n)	1252	1117	1105
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-1,345	2,036	-3,395
P valor (tabelado)	0,179	0,042	0,001
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,179 > 0,05	0,042 < 0,05	0,001 < 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H_0 ,	Rejeitar H_0 , a média aumentou	Rejeitar H_0 , a média diminuiu
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,340; 0,063)	(0,008; 0,434)	(-0,669; -0,179)

Tabela C.18: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 9 de Palmas considerando todas as ligações.

C 9 total	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,374	0,369	0,319
Desvio padrão (Sd)	3,193	2,445	3,758
Quantidade de dados (n)	696	609	672
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	3,09	3,729	2,199
P valor (tabelado)	0,002	0	0,028
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,002 < 0,05	0,000 < 0,05	0,028 < 0,05
Conclusão	Rejeitar H_0 , a média aumentou	Rejeitar H_0 , a média aumentou	Rejeitar H_0 , a média aumentou
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(0,137; 0,611)	(0,175; 0,564)	(0,035; 0,603)

Tabela C.19: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 9 de Palmas considerando as ligações diretas.

C 9 direto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,217	0,257	0,181
Desvio padrão (Sd)	3,318	2,398	3,905
Quantidade de dados (n)	206	187	198
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	0,937	1,464	0,653
P valor (tabelado)	0,35	0,145	0,514
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,35>0,05	0,145>0,05	0,514>0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,237; 0,670)	(-0,087; 0,600)	(-0,363; 0,725)

Tabela C.20: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 9 de Palmas considerando as ligações indiretas.

C 9 indireto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,438	0,658	0,397
Desvio padrão (Sd)	3,183	2,965	3,683
Quantidade de dados (n)	492	453	473
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	3,055	4,722	2,346
P valor (tabelado)	0,002	0	0,019
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,002<0,05	0,000<0,05	0,019<0,05
Conclusão	Rejeitar H ₀ , a média aumentou	Rejeitar H ₀ , a média aumentou	Rejeitar H ₀ , a média aumentou
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(0,157; 0,720)	(0,385; 0,931)	(0,065; 0,729)

Tabela C.21: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 10 de Palmas considerando todas as ligações.

C 10 total	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,186	0,19	-0,047
Desvio padrão (Sd)	3,365	2,931	3,704
Quantidade de dados (n)	393	347	383
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	1,097	1,209	-0,246
P valor (tabelado)	0,273	0,227	0,806
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,273>0,05	0,227>0,05	0,806>0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,147; 0,519)	(-0,118; 0,499)	(-0,418; 0,324)

Tabela C.22: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 10 de Palmas considerando as ligações diretas.

C 10 direto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,199	0,516	-0,891
Desvio padrão (Sd)	2,465	3,59	4,087
Quantidade de dados (n)	64	64	69
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-0,646	1,149	-1,812
P valor (tabelado)	0,521	0,255	0,074
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,521>0,05	0,255>0,05	0,074>0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0	Não é possível rejeitar H0
t tabelado 95%	2	2	2
Intervalo de confiança 95%	(-0,815; 0,417)	(-0,382; 1,413)	(-1,875; 0,093)

Tabela C.23: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 10 de Palmas considerando as ligações indiretas.

C 10 indireto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,321	0,181	0,073
Desvio padrão (Sd)	3,51	2,95	3,679
Quantidade de dados (n)	327	287	316
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	1,654	1,041	0,354
P valor (tabelado)	0,099	0,299	0,724
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,099 > 0,05	0,299 > 0,05	0,724 > 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H_0	Não é possível rejeitar H_0	Não é possível rejeitar H_0
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,059; 0,702)	(-0,160; 0,522)	(-0,332; 0,479)

Tabela C.24: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 11 de Palmas considerando todas as ligações.

C 11 total	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,111	-2,384	-0,026
Desvio padrão (Sd)	2,861	3,441	3,076
Quantidade de dados (n)	557	422	509
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	0,912	-14,233	-0,189
P valor (tabelado)	0,362	0	0,85
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,362 > 0,05	0,000 < 0,05	0,850 > 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H_0	Rejeitar H_0 , a média diminuiu	Não é possível rejeitar H_0
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,127; 0,348)	(-2,712; -2,056)	(-0,293; 0,241)

Tabela C.23: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 11 de Palmas considerando as ligações diretas.

C 11 direto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,187	-2,64	0,255
Desvio padrão (Sd)	3,134	3,68	3,253
Quantidade de dados (n)	306	239	285
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	1,044	-11,091	1,322
P valor (tabelado)	0,297	0	0,187
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,297>0,05	0,000<0,05	0,187>0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média diminuiu	Não é possível rejeitar H0
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,164; 0,538)	(-3,107; -2,174)	(-0,123; 0,632)

Tabela C.24: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 11 de Palmas considerando as ligações indiretas.

C 11 indireto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	0,032	-2	-0,36
Desvio padrão (Sd)	2,769	3,014	2,7785
Quantidade de dados (n)	257	182	222
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	0,185	-8,953	-1,951
P valor (tabelado)	0,853	0	0,052
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,853>0,05	0,000<0,05	0,052>0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média diminuiu	Não é possível rejeitar H0
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,307; 0,371)	(-2,438; -1,562)	(-0,729; 0,002)

Tabela C.25: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 14 de Palmas considerando todas as ligações.

C 14 total	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,175	0,441	-0,133
Desvio padrão (Sd)	3,102	3,651	3,408
Quantidade de dados (n)	842	662	804
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-1,634	3,109	-1,109
P valor (tabelado)	0,103	0,002	0,268
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,103 > 0,05	0,002 < 0,05	0,268 > 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média aumentou	Não é possível rejeitar H0
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,384; 0,035)	(0,163; 0,719)	(-0,369; 0,102)

Tabela C.26: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 14 de Palmas considerando as ligações diretas.

C 14 direto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,178	0,715	-0,208
Desvio padrão (Sd)	3,128	3,452	3,512
Quantidade de dados (n)	263	200	250
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-0,923	2,93	-0,939
P valor (tabelado)	0,357	0,004	0,349
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,357 > 0,05	0,004 < 0,05	0,349 > 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H0	Rejeitar H0, a média aumentou	Não é possível rejeitar H0
t tabelado 95%	1,96	1,96	1,96
Intervalo de confiança 95%	(-0,556; 0,200)	(0,237; 1,193)	(-0,644; 0,227)

Tabela C.27: Resultado do teste de hipóteses para os três cenários para o setor C 14 de Palmas considerando as ligações indiretas.

C 14 indireto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Média Amostral (d)	-0,200	0,346	-0,099
Desvio padrão (Sd)	3,032	3,342	3,363
Quantidade de dados (n)	575	445	554
$\Delta 0$	0	0	0
t (calculado)	-1,580	2,184	-0,693
P valor (tabelado)	0,115	0,029	0,489
Comparação de P-valor com α (0,05)	0,115 > 0,05	0,029 < 0,05	0,489 > 0,05
Conclusão	Não é possível rejeitar H_0	Rejeitar H_0 , a média aumentou	Não é possível rejeitar H_0
t tabelado 95%	1,960	1,960	1,960
Intervalo de confiança 95%	(-0,448; 0,048)	(0,036; 0,657)	(-0,379; 0,181)