



EXPERIMENTOS HIDRÁULICOS CONJUGADOS AO USO DE INDICADORES
DE DESEMPENHO APLICADOS À QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS EM
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

Monica Pertel

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Rio de Janeiro
Janeiro de 2014

EXPERIMENTOS HIDRÁULICOS CONJUGADOS AO USO DE INDICADORES
DE DESEMPENHO APLICADOS À QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS EM
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

Monica Pertel

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

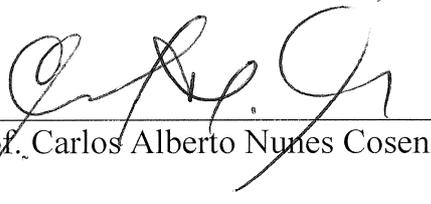
Examinada por:



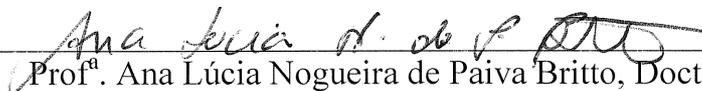
Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.



Prof. Webe João Mansur, Ph.D.



Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, Ph. D.



Prof^a. Ana Lúcia Nogueira de Paiva Britto, Docteur



Prof. Marcos von Sperling, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JANEIRO DE 2014

Pertel, Monica

Experimentos Hidráulicos Conjugados ao Uso de Indicadores de Desempenho Aplicados à Quantificação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água no Brasil / Monica Pertel. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XXI, 218 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Tese (Doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 148-164.

1. Cavaletes de Micromedição. 2. Rede de abastecimento de Água. 3. Indicadores de Desempenho. I. Azevedo, José Paulo Soares de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

*[...] Não podemos regressar ao
antigo, já queimamos nossos
navios; só nos resta ser
valentes, aconteça o que
acontecer. (Nietzsche)*

*Aos meus pais Osvaldo e Adelia
e ao meu irmão Marcos, com
todo meu carinho.*

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor José Paulo Soares de Azevedo, por toda ajuda, paciência e por sempre me incentivar para a vida acadêmica. Mais uma vez muito obrigada por tudo, sempre terei que lhe agradecer;

Ao meu orientador Professor Isaac Volschan Junior, idealizador desta tese e grande responsável por sua conclusão. Não há palavras suficientes para lhe agradecer;

Ao Professor Eduardo Pacheco Jordão, pelo convite para fazer o doutorado na UFRJ e por me receber de forma tão cordial no departamento. Para mim é uma honra trabalhar ao seu lado e lhe ter como amigo;

Aos professores Marcos Von Sperling, Carlos Alberto Nunes Cosenza, Ana Lúcia Nogueira de Paiva Britto e Webe João Mansur, pela pronta disponibilidade em participar da banca;

À Dra. Monica Pena, que não mediu esforços para ajudar no que foi preciso;

À Dra. Helena Alegre, pela grande ajuda com os indicadores, pelas sugestões de modificação e pela cordialidade em ler parte da tese;

Ao Professor Peter Batista Cheung pelas dicas, artigos enviados e pela importante colaboração na defesa da qualificação;

Ao engenheiro Edson Cruz, da MAGESTIC, pela doação das tubulações de PEAD para a parte experimental;

À Professora Elen Vasques Pacheco, que gentilmente permitiu a análise das tubulações no IMA – Instituto de Macromoléculas da UFRJ e, à Amanda Alves de Melo que coordenou as análises;

A todos os professores e funcionários do DRHIMA - Departamento de Recursos hídricos e Meio Ambiente, pela cordial acolhida e pela amizade ao longo desses quatro anos;

Aos alunos de iniciação científica Pedro de Sousa Garrido, Pedro Brancoli, Priscilla Dafne Shu Chan e Nabil El Mocayd, que de forma muito cordial me ajudaram nos experimentos no CESA, fizesse sol ou chuva;

Ao meu querido amigo Narumi Abe pelos artigos e por me ajudar esclarecendo diversas dúvidas angústias, principalmente no início deste projeto;

Ao meu grande amigo Renato Frasson, que mesmo distante, sempre esteve por perto me incentivando. Mais uma vez obrigada pela ajuda com a tradução;

À minha amiga Bruna Camila Pereira da Silva, pela importantíssima ajuda principalmente neste último semestre. Você foi, simplesmente, a melhor monitora;

Aos amigos que o Rio de Janeiro e a UFRJ me deram o privilégio de conhecer e conviver: Frank Pavan de Souza, William Cossich, Telma Teixeira, Daniel Minegatti, Marty Feldman, Moema Versiani Acselrad, Jacqueline Giori, Viviane Koppe, Julia Righi, Yasmim Ribeiro e Érica Leite. Vocês foram e são muito importantes pra mim;

Ao meu amigo Jorge Henrique Prodanoff, pelas importantes dicas para a tese, para a carreira e para a vida, e por me ajudar em momentos bem complicados;

À minha querida amiga Iene Christie Figueiredo, sua amizade é um dos maiores presentes que o doutorado me proporcionou;

Aos meus grandes amigos e companheiros de trabalho Paulo César Carvalho de Souza, Marcelo Barboza e Francisco Dell'Uomo, sem os quais tudo teria sido bem mais difícil e bem menos alegre. Devo boa parte desse trabalho a vocês e nenhuma palavra é capaz de expressar minha gratidão;

Aos meus pais, Osvaldo Pertel e Adelia Camata Pertel e ao meu irmão Marcos Pertel, por serem meu porto seguro, minha inspiração e por tudo o que sou, amo vocês;

A Deus por me dar força e coragem para começar cada dia.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

EXPERIMENTOS HIDRÁULICOS CONJUGADOS AO USO DE INDICADORES
DE DESEMPENHO APLICADOS À QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS EM
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

Monica Pertel

Janeiro/2014

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Programa: Engenharia Civil

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2013), do total de água produzida pelas companhias estaduais de saneamento em 2011, cerca de 40% foram perdidos na distribuição, entre perdas reais e aparentes. Índice extremamente elevado e que traz embutido consigo outras perdas, como energia, mão de obra e produtos químicos. Além disso, os montantes financeiros que também são perdidos poderiam ser investidos em melhorias dos ativos da companhia. Tendo como objetivo de estudo as perdas de água em sistemas de abastecimento, esta tese avalia, por meio de experimentos práticos, os volumes perdidos em dois pontos críticos do sistema, a saber: cavaletes de micromedição e tubulações da distribuição. Também foi avaliado o desempenho das companhias estaduais de saneamento quanto ao controle e a redução de perdas com base nos indicadores do SNIS. Sua principal contribuição foi discutir as perdas de água: (i) por meio da mensuração dos volumes perdidos; e (ii) pela busca de um *benchmarking* entre as companhias estaduais. Quanto aos volumes perdidos, concluiu-se que para os cavaletes de micromedição a simples falta da borracha de vedação do hidrômetro acarreta a perda de um grande volume de água, sendo a tubulação de ferro fundido aquela em que as perdas foram mais elevadas. Além disso, concluiu-se que o aumento da pressão contribui proporcionalmente com o aumento da vazão do vazamento para ambos os experimentos. No caso das companhias estaduais, verificou-se que apenas quatro se destacaram como as de melhor desempenho no universo de 22 avaliadas nos dez anos base.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

HYDRAULIC EXPERIMENTS ASSOCIATED WITH PERFORMANCE
INDICATORS APPLIED TO THE QUANTIFICATION OF LOSSES IN WATER
SUPPLY SYSTEMS IN BRAZIL

Monica Pertel

January/2014

Advisor: José Paulo Soares de Azevedo

Department: Civil Engineering

According to the 2013 report produced by the National Sanitation Information System (hereby referred to by its Brazilian acronym SNIS) 40% of the total amount of water treated by state sanitation companies in 2011 was lost during its distribution, either through real losses or due to apparent losses. This extremely high percentage loss also incurs in other costs, such as those associated with energy, labor, and chemical products employed in the treatment of the lost water. Moreover, the financial resources associated with these losses could, otherwise, be invested in improvements of the companies' systems. Aiming to study the losses in water distribution systems, the present dissertation evaluates, by means of practical experiments, the volumes of losses in two critical points of the system, namely: water service pipe and pipe networks. The present work's main contributions were: (i) the quantification of lost volumes and (ii) the identification of benchmarks against which the performance of the different state sanitation companies can be assessed. Regarding causes of losses in the water service pipe, the absence of a simple rubber gasket in the flow meter was the most significant cause, whereas in the pipe network, the cast iron pipes were the ones with the highest incidence of leakage. Furthermore, increased pressure in the systems yielded higher losses. Regarding the state sanitation companies, one can observe that only four had acceptable performance in a population of 22 evaluated during the course of 10 years.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivo geral	3
1.1.2	Objetivos específicos	3
1.2	Estruturação da Tese	3
2	Revisão Bibliográfica	5
2.1	Abastecimento de água no Brasil – Panorama geral	6
	Região Norte	11
	Nordeste	12
	Sudeste	12
	Sul	13
	Centro-Oeste	13
2.2	Perdas de água em sistemas de abastecimento	14
2.2.1	Detecção e Controle de Perdas em sistemas de abastecimento de água – Panorama no Brasil e no Mundo	19
2.2.2	Gestão Operacional do Sistema de Abastecimento Visando Redução e Controle de Perdas de Água	23
	Controle de pressão na rede	23
	Busca ativa por vazamentos	34
	Coeficiente de perdas: N1	44
2.2.3	A Busca pela Eficiência Hidráulica e Energética no Controle de Perdas	52
2.2.4	Uso de Ferramentas de Gestão Visando o Controle de Perdas Reais e Aparentes	59
2.3	Indicadores de Desempenho para Abastecimento de Água no Brasil e no Mundo	70
2.3.1	Indicadores de Desempenho para Abastecimento de Água no Brasil e no Mundo	71
	SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento	71
	Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento – PNQS	77
	IWA – International Water Association	77
	ADERASA - Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas	79
	OFWAT - Office of Water Services	80
	Six-Cities Group	81
	IBNET – The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities	83
	ISO 24.500 – Gestão e Avaliação dos Serviços de Água e Esgotamento Sanitário	84
3	Aspectos Metodológicos	86
3.1	Contextualização da pesquisa	86
3.2	Cavalete de micromedição	90
3.2.1	Aparato experimental	90
3.2.2	Delineamento experimental	92
3.3	Rede de distribuição de água	96
3.3.1	Aparato experimental	96
3.3.2	Delineamento experimental	98

3.4	Companhias Estaduais: indicadores de desempenho para o controle e redução de perdas_ _	103
4	<i>Resultados e Discussão</i>	107
4.1	Cavaletes de micromedição	107
4.2	Rede de distribuição de água	117
4.3	Companhias Estaduais: indicadores de desempenho para o controle e redução de perdas	125
5	<i>Conclusões e Recomendações</i>	144
6	<i>Referências</i>	148

Apêndice A: *Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011* 165

Apêndice B: *Estatística Descritiva Cavaletes de Micromedição para pressão de 15 a 30 m.c.a.*-----180

Apêndice C: *Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.*-----184

Apêndice D: *Volume de água perdido no cavalete de micromedição – incorreção de montagem/manutenção*-----187

Apêndice E: *Volume de água perdido no cavalete de micromedição – Pressão aplicada*-----189

Apêndice F: *Dados absolutos de perdas de água em tubulações do sistema de distribuição para todas as tubulações, diâmetros de furos e patamares de pressão*---199

Apêndice G: *Cálculo do benchmarking para os anos-base 2002 a 2009*-----
-----207

Apêndice H: *Tabelas completas para o benchmarking realizado em estratos populacionais para o ano de 2011*-----215

Lista de Figuras

Figura 1: Histórico do atendimento da população urbana com rede de água - IN023.	9
Figura 2: Representação espacial do índice médio de atendimento urbano por rede de água – indicador SNIS IN023.	10
Figura 3: Distribuição regional do indicador de atendimento urbano de água - IN023.	11
Figura 4: Tipos de vazamento.	17
Figura 5: Relação entre os limites técnicos e econômicos no custo total decorrente de perdas de água no sistema.	18
Figura 6: Representação espacial do índice de perdas na distribuição (IN049).	20
Figura 7: Série histórica do indicador perdas na distribuição - IN049.	21
Figura 8: Quantidade de trabalhos orais sobre perdas de água apresentados nos CBESA – Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.	22
Figura 9: Participações de países e pesquisadores nos encontros sobre perdas da IWA - <i>water loss conference</i> , além do número de artigos produzidos.	23
Figura 10: Ações de controle de perdas reais em sistemas de abastecimento de água.	25
Figura 11: Redução da pressão no ponto alto com a implantação da Zona Alta.	27
Figura 12: Esquema de válvula redutora de pressão de ação direta.	28
Figura 13: Relação entre pressão na rede e perdas no sistema.	33
Figura 14: Pressões máximas antes e após a operação das VRP's no município de Cariacica para os diferentes setores avaliados.	34
Figura 15: Haste de Escuta Mecânica.	35
Figura 16: Geofone.	35
Figura 17: Correlacionador de ruídos.	36
Figura 18: Perfil de VD após a instalação da VRP Pedro Osório Filho.	37
Figura 19: Decaimento nos valores do índice de perdas.	37
Figura 20: Balanço hídrico da empresa para o ano de 2009, com destaque para as perdas.	38
Figura 21: Balanço hídrico da empresa para o ano de 2010, com destaque para as perdas.	38
Figura 22: Método de inspeção SAHARA.	39
Figura 23: componentes da vazão mínima noturna.	41

Figura 24: Gráfico de pressões no DMC – Distrito de Medição e Controle de pressões.....	42
Figura 25: Perdas totais em m ³ /ano.....	42
Figura 26: Vazões médias dos escoamentos por tipo de componente.....	44
Figura 27: Relação entre pressões e vazamentos.	46
Figura 28: Tensões em um tubo com avaria tipo orifício circular.	49
Figura 29: Influência da pressão na vazão do vazamento de um tubo de PVC – Simulação computacional demonstrando a influência das tensões.....	49
Figura 30: Tensões em um tubo com avaria tipo corte circunferencial.	49
Figura 31: Distribuição da pressão ao longo do uma fenda circunferencial e posterior deformação do corte.....	50
Figura 32: Tensões em um tubo com avaria tipo corte longitudinal.....	50
Figura 33: Distribuição da pressão ao longo de uma fenda longitudinal e posterior deformação do corte.....	50
Figura 34: Causas de arrebentamento de tubulações.....	52
Figura 35: Setorização do consumo de energia elétrica em 2011.	53
Figura 36: Figura: Perda média mensal de energia elétrica no 3º setor de abastecimento de água da região avaliada.....	54
Figura 37: Figura: Componentes intervenientes nos processos de controle e redução de perdas reais e aparentes e uso eficiente de energia elétrica.	55
Figura 38: Ações de controle para perdas aparentes.	61
Figura 39: Perfil das perdas na RMSP – Região Metropolitana de São Paulo.....	63
Figura 40: Estratégia resumida de implantação do PRODUZA.....	65
Figura 41: Incremento de VU - Volume Utilizado.....	66
Figura 42: Redução dos valores do índice de perdas de água.	67
Figura 43: Gráfico de Pareto considerando-se o total de vazamentos de ramal em plantas do Polo de Manutenção de Santana.....	68
Figura 44: Centro Experimental de Saneamento Ambiental - CESA/UFRJ.....	87
Figura 45: Vistas das instalações do SAU-CESA/UFRJ.....	88
Figura 46: Derivação dos quatro tramos da rede de distribuição, nomeados com as letras A, B, C e D.	89

Figura 47: Reservatório elevado tipo castelo d'água e <i>Booster</i> pressurizador <i>in line</i>	89
Figura 48: Fluxo de água pelo cavalete de micromedição, detalhamento para os medidores de pressão e vazão ao longo do fluxo.	90
Figura 49: Cavalete de micromedição com a indicação do posicionamento de frente e fundos.	91
Figura 50: Manômetro Digital localizado a montante e a jusante das unidades monitoradas.....	92
Figura 51: Medidor de vazão localizado a montante e a jusante das unidades monitoradas.....	92
Figura 52: Controladores de vazão instantânea para cada medidor de vazão.	92
Figura 53: Perda de água relacionada à incorreção de montagem no hidrômetro de um cavalete de micromedição.	93
Figura 54: Croqui do cavalete com os pontos de monitoramento e detalhamento em cm dos comprimentos de cada trecho do cavalete de micromedição.	94
Figura 55: Borracha de vedação entre as peças do hidrômetro e do cavalete de micromedição.	94
Figura 56: Esquema do aparato experimental relativo à rede de distribuição de água.	96
Figura 57: Detalhamento dos sistemas de controle de pressão e vazão para o monitoramento da rede de abastecimento.	97
Figura 58: Medidor de vazão tipo woltman instalado a montante e a jusante do sistema.....	97
Figura 59: Controladores de vazão instantânea relativos aos medidores de vazão.....	97
Figura 60: Manômetro digital instalado a montante e a jusante do sistema.....	98
Figura 61: Manômetro analógico instalado ao lado do furo na tubulação.	98
Figura 62: Sistema de pressurização PROCON série 3 utilizado a montante do aparato experimental, com destaque para a bomba pressurizadora.	98
Figura 63: Indicação das diversas perfurações feitas nas tubulações de PEAD, PVC PBA, PVC Vinilfer, respectivamente.	99
Figura 64: Brocas utilizadas no experimento para perfuração das tubulações de abastecimento de água.	100
Figura 65: Vazamento de água para o diâmetro de 0,8 mm na tubulação de PVC PBA.	101
Figura 66: Aparato desenvolvido para captação e medição da água perdida pelos furos.	102
Figura 67: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: sem fita tipo teflon.....	109
Figura 68: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no joelho A.....	109

Figura 69: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no joelho C.....	110
Figura 70: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no registro.	110
Figura 71: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no hidrômetro.....	111
Figura 72: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: sem borracha de vedação.	111
Figura 73: Volumes de água perdidos para todas as incorreções de montagem para o patamar de pressão 15 m.c.a.	114
Figura 74: Volumes de água perdidos para todas as incorreções de montagem para o patamar de pressão 30 m.c.a.	115
Figura 75: Volume de água perdido para a tubulação de PEAD para todos os patamares de pressão e diâmetros de furo.....	118
Figura 76: Volume de água perdido para a tubulação de PVC – PBA para todos os patamares de pressão e diâmetros de furo.....	118
Figura 77: Volume de água perdido para a tubulação de PVC – Vinilfer para todos os patamares de pressão e diâmetros de furo.	119
Figura 78: Volume de água perdido com a tubulação de Ferro Fundido para todos os patamares de pressão e diâmetros de furo.	119
Figura 79: valores do expoente de vazamento para a tubulação de PEAD.	122
Figura 80: valores do expoente de vazamento para a tubulação de PVC - PBA.....	123
Figura 81: valores do expoente de vazamento para a tubulação de PVC - Vinilfer.....	123
Figura 82: valores do expoente de vazamento para a tubulação de Ferro Fundido.....	124
Figura 83: Comparativo por classes de população para companhias que atendem ou não ao <i>benchmarking</i> para o indicador IN010.....	128
Figura 84: Comparativo por classes de população para companhias que atendem ou não ao <i>benchmarking</i> para o indicador IN013.....	128
Figura 85: Comparativo por classes de população para companhias que atendem ou não ao <i>benchmarking</i> para o indicador IN049.....	129
Figura 86: Comparativo por classes de população para companhias que atendem ou não ao <i>benchmarking</i> para o indicador IN051.....	129
Figura 87: Série histórica de desempenho de quatro companhias para o indicador de desempenho: IN010 – Micromedição.	138

Figura 88: Série histórica de desempenho de quatro companhias para o indicador de desempenho: IN013 – Perdas no Faturamento.....	138
Figura 89: Série histórica de desempenho de quatro companhias para o indicador de desempenho: IN049 – Perdas na Distribuição.	138
Figura 90: Série histórica de desempenho de quatro companhias para o indicador de desempenho: IN051 – Perdas por Ligação.....	139
Figura C1: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no joelho A.....	184
Figura C2: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no joelho B.....	184
Figura C3: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no joelho B.....	185
Figura C4: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no joelho C.....	185
Figura C5: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no registro.....	186
Figura C6: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no hidrômetro.....	186
Figura D1: Volumes de água perdidos para todas as incorreções de montagem para o patamar de pressão 20 m.c.a.....	187
Figura D2: Volumes de água perdidos para todas as incorreções de montagem para o patamar de pressão 25 m.c.a.....	188

Lista de tabelas

Tabela 1: Distribuição dos prestadores de serviço, segundo características do atendimento.....	8
Tabela 2: Distribuição dos prestadores de serviço, segundo organização jurídica e abrangência.	8
Tabela 3: Resultados obtidos com a aplicação da metodologia para o controle de perdas.	32
Tabela 4: Faixas de valores do expoente N1.....	47
Tabela 5: Análise comparativa de dados e indicadores na região de estudo.....	62
Tabela 6: Resultados da aplicação da metodologia MASPP.....	66
Tabela 7: Comparativo dos Dados de Pesquisa de Vazamento em Toda a Unidade de Negócio Norte as Sabesp antes e depois da Aplicação da Metodologia de Pareto.....	68
Tabela 8: Características de um indicador de desempenho.....	71
Tabela 9: Incorreções de montagem associadas a cada uma das peças do cavalete de micromedição avaliado para detecção do volume de água perdido.	95
Tabela 10: Companhias estaduais de saneamento básico e a relação entre a população atendida e o percentual de atendimento por serviços de distribuição de água em cada Estado.	103
Tabela 11: Indicadores Operacionais de água SNIS – definição e equação de cada indicador utilizado nesta pesquisa.....	104
Tabela 12: Volumes médios perdidos para todos os tipos de incorreção de montagem/manutenção nas faixas de pressão avaliadas.	108
Tabela 13: Cálculo teórico e experimental da perda de carga para o cavalete de micromedição.	116
Tabela 14: Média dos valores de perdas de água observados no monitoramento das tubulações de abastecimento para diferentes patamares de pressão.....	117
Tabela 15: Companhias Estaduais – Indicadores de Desempenho, municípios atendidos e valores de referência para o <i>benchmarking</i> para o ano-base de 2010.	126
Tabela 16: Diferença percentual entre os valores de mediana dos indicadores de operação avaliados para os grupos: “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i> ” e “Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência”.....	130
Tabela 17: Companhias Estaduais – Indicadores de Desempenho, municípios atendidos e valores de referência para o <i>benchmarking</i> para o ano base 2011.	131

Tabela 18: “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i> ” comparadas por meio da segregação dos dados baseada em estratos populacionais.....	134
Tabela 19: Valores de <i>benchmarking</i> e companhias estaduais selecionadas como as de melhor desempenho para os anos base de 2002 a 2011.....	137
Tabela A1: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2002.....	165
Tabela A2: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2003.....	167
Tabela A3: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2004.....	169
Tabela A4: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2005.....	170
Tabela A5: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2006.....	171
Tabela A6: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2007.....	173
Tabela A7: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2008.....	175
Tabela A8: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2009.....	177
Tabela A9: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2010.....	178
Tabela A10: Cenários para escolha dos valores de referência do <i>benchmarking</i> ano-base 2011.....	179
Tabela B1: Estatística Descritiva da média dos volumes perdidos nos cavaletes de micromedição “frente + fundos” para pressão de 15 m.c.a.....	180
Tabela B2: Estatística Descritiva da média dos volumes perdidos nos cavaletes de micromedição “frente + fundos” para pressão de 20 m.c.a.....	181
Tabela B3: Estatística Descritiva da média dos volumes perdidos nos cavaletes de micromedição “frente + fundos” para pressão de 25 m.c.a.....	182
Tabela B4: Estatística Descritiva da média dos volumes perdidos nos cavaletes de micromedição “frente + fundos” para pressão de 30 m.c.a.....	183

Tabela E1: Somatório de K para o cálculo de perdas de carga unitário por conexão...	189
Tabela E2: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 5 (m.c.a.).	189
Tabela E3: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 5 (m.c.a.).....	190
Tabela E4: Perda de carga total para pressão de 5 (m.c.a.).....	190
Tabela E5: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 15 (m.c.a.).....	191
Tabela E6: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 15 (m.c.a.).....	191
Tabela E7: Perda de carga total para pressão de 15 (m.c.a.).....	192
Tabela E8: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 20 (m.c.a.).....	193
Tabela E9: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 20 (m.c.a.).....	193
Tabela E10: Perda de carga total para pressão de 20 (m.c.a.).....	194
Tabela E11: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 25 (m.c.a.).....	195
Tabela E12: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 25 (m.c.a.).....	195
Tabela E13: Perda de carga total para pressão de 25 (m.c.a.).....	196
Tabela E14: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 30 (m.c.a.).....	197
Tabela E15: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 30 (m.c.a.).....	197
Tabela E16: Perda de carga total para pressão de 30 (m.c.a.).....	198
Tabela F1: Ensaio de perda de água em tubulação de PVC – PBA para diversos diâmetros de furos e patamares de pressão.....	199
Tabela F2: Ensaio de perda de água em tubulação de PEAD para diversos diâmetros de furos e patamares de pressão.....	201
Tabela F3: Ensaio de perda de água em tubulação de PVC – Vinilfer para diversos diâmetros de furos e patamares de pressão.....	203
Tabela F4: Ensaio de perda de água em tubulação de Ferro Fundido para diversos diâmetros de furos e patamares de pressão.....	205

Tabela G1: <i>Benchmarking</i> geral das 22 companhias para o ano-base 2002.....	207
Tabela G2: <i>Benchmarking</i> geral das 22 companhias para o ano-base 2003.....	208
Tabela G3: <i>Benchmarking</i> geral das 22 companhias para o ano-base 2004.....	209
Tabela G4: <i>Benchmarking</i> geral das 22 companhias para o ano-base 2005.....	210
Tabela G5: <i>Benchmarking</i> geral das 22 companhias para o ano-base 2006.....	211
Tabela G6: <i>Benchmarking</i> geral das 22 companhias para o ano-base 2007.....	212
Tabela G7: <i>Benchmarking</i> geral das 22 companhias para o ano-base 2008.....	213
Tabela G8: <i>Benchmarking</i> geral das 22 companhias para o ano-base 2009.....	214
Tabela H1: <i>Benchmarking</i> para concessionárias dividido em estratos populacionais para o estrato ≤ 20.000 habitantes.....	215
Tabela H2: <i>Benchmarking</i> para concessionárias dividido em estratos populacionais para o estrato $20.000 < x \leq 100.000$ habitantes.....	216
Tabela H3: <i>Benchmarking</i> para concessionárias dividido em estratos populacionais para o estrato $100.000 < x \leq 500.000$ habitantes.....	217
Tabela H4: <i>Benchmarking</i> para concessionárias dividido em estratos populacionais para o estrato > 500.000 habitantes.....	218

Lista de Quadros

Quadro 1: Componentes do balanço hídrico.	15
--	----

1 Introdução

A água é um dos mais importantes recursos naturais, cuja falta pode tornar-se fator limitante para o desenvolvimento agrícola, urbano e industrial. Sua disponibilidade é uma contínua preocupação em função, principalmente, do crescimento populacional, das incertezas a respeito dos fatores climáticos e da crescente poluição dos mananciais ainda disponíveis. Todos esses fatores têm exigido grandes esforços no âmbito técnico, organizacional e financeiro para atender a demanda por água de qualidade e o gerenciamento do esgoto gerado, resultando em uma preocupação que extrapola o âmbito nacional (CHRISTODOULOU, 2011).

Segundo Rai (2011), em 1950 cerca de 30% da população mundial vivia em áreas urbanas e hoje esse percentual é de cerca de 50%, com tendências a aumentar com o tempo, sendo que em determinadas áreas e regiões metropolitanas a percentagem é muito mais elevada. Devido a esse intenso crescimento, os sistemas de distribuição de água estão cada vez mais complexos, resultando em elevados gastos com a captação, produção de água tratada, distribuição e com a gestão e controle dos sistemas de distribuição (MISHRA, 2011).

Visando a promoção do uso racional da água e a preservação dos recursos hídricos destacam-se o controle e a redução de perdas de água no sistema. O controle de perdas permite a postergação de investimentos em ampliação dos sistemas de produção de água e contribui para melhor equacionar os investimentos para a universalização do acesso aos serviços (BRITTO, 2011).

O Brasil apresentou para o ano de 2011 um índice de cobertura com rede de abastecimento urbano de 93%. Somente as companhias estaduais de saneamento são responsáveis pelo atendimento de 71,9% dos municípios brasileiros, correspondendo a um percentual de 73,6% da população urbana residente no ano de 2011, segundo dados do último SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2013). Ainda segundo o SNIS, do total de água produzida por essas companhias estaduais de saneamento em 2011, cerca de 40% foram perdidos na distribuição, entre perdas reais e aparentes.

As perdas reais são devido a diversos tipos de vazamentos no sistema enquanto as aparentes originam-se de ligações clandestinas e hidrômetros defeituosos ou alterados (Alegre *et al.*, 2005). Segundo Marcka (2004) e Tsutiya (2006), a maior quantidade de ocorrências de perdas de água está

nos ramais prediais, com valores entre 70 e 90%. Melato (2007) relata que na Região Metropolitana de São Paulo cerca de 50% dos vazamentos ocorrem neste ponto do sistema. Em termos de volume perdido, segundo os autores, destacam-se as tubulações do sistema de distribuição. Ressalta-se que apenas o número de ocorrências de perdas não é suficiente para uma efetiva gestão e controle de perdas; o conhecimento dos volumes perdidos é de fundamental importância.

Observa-se pelos dados abordados que a gestão operacional e de manutenção dos sistemas de saneamento no país carece, em geral, de maior atenção e dedicação por parte das concessionárias, uma vez que a gestão é usualmente preterida em relação aos investimentos dedicados à ampliação da capacidade hidráulica dos sistemas ou de sua abrangência de cobertura.

Este trabalho pretende contribuir com os estudos de controle e redução de perdas em sistemas de abastecimento de água. Especificamente, visa estabelecer os volumes de água perdidos em cavalete de micromedição e em tubulações da rede de distribuição sujeitos a diferentes tipos de avarias e diferentes patamares de pressão. Além disso, com base em uma seleção de indicadores de desempenho operacional de sistemas de abastecimento de água, o presente estudo objetiva definir, dentre 22 das 27 companhias estaduais de saneamento, aquelas que possam ser consideradas como *benchmarking* para a prestação de serviços no Brasil, tendo como base de avaliação os indicadores de desempenho relacionados ao controle de perdas do SNIS. Os ensaios experimentais foram realizados no Simulador de Águas Urbanas do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro (SAU-CESA/UFRJ).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Verificar, por meio de experimentos hidráulicos, os volumes de água perdidos devido a falhas em cavaletes de micromedição e em tubulações do sistema de abastecimento de água, conjugados à busca pelo melhor desempenho na prestação dos serviços realizados pelas companhias estaduais, com base nos indicadores de perdas do SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

1.1.2 Objetivos específicos

Quantificar experimentalmente, em unidade de simulação, as vazões de perda física de água que ocorrem em cavaletes de micromedição, quando sujeitos a irregularidades de montagem de sua estrutura e a variações de pressão.

Quantificar experimentalmente, em unidades de simulação, as vazões de perda física de água que ocorrem em tubulações que servem a rede de distribuição, quando sujeitas a vazamentos em sua estrutura, através de aberturas de diferentes tamanhos, e a variações de pressão.

Caracterizar a qualidade da prestação dos serviços de abastecimento de água no Brasil no que diz respeito às perdas de água, com base em indicadores de desempenho da base do SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

1.2 Estruturação da Tese

Além da presente introdução (Capítulo 1), esta tese é construída em cinco capítulos. O Capítulo 2 (Revisão Bibliográfica) aborda os desafios da gestão de perdas de água no Brasil, dando ênfase às perdas reais de água e aos indicadores de desempenho relacionados às perdas. Para as perdas reais foram avaliados diversos trabalhos desenvolvidos por pesquisadores no Brasil e no mundo e abordados nos congressos técnicos da ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental e da IWA - *International Water Association*. Já os indicadores de desempenho relacionados às perdas de água foram abordados juntamente com as principais agências que monitoram o desempenho de seus prestadores no Brasil e no mundo, com destaque em termos nacionais para o SNIS e internacionais para a IWA.

Ao longo do Capítulo 3 são apresentadas as bases metodológicas do trabalho, subdividas em três partes: primeiramente são apresentados os aparatos experimentais e os delineamentos desenvolvidos para mensurar os volumes de perdas reais no cavalete de micromedição; em seguida, a mesma análise pode ser vista para as tubulações do sistema de distribuição de água; e finalmente, são expostos os critérios utilizados para a definição das companhias estaduais de melhor desempenho na prestação dos serviços de abastecimento de água, consideradas como *benchmarking* neste estudo.

Os resultados obtidos com esta pesquisa são apresentados e discutidos no Capítulo 4. Novamente o capítulo foi estruturado em três partes, a saber: volumes perdidos no cavalete de micromedição; volumes perdidos nas tubulações de distribuição; e análise do desempenho das companhias estaduais de saneamento ao longo de 10 anos de dados.

Finalmente, o Capítulo 5 detalha as conclusões gerais da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros que busquem soluções para a detecção e controle de perdas de água nos sistemas de abastecimento e para a melhoria da prestação dos serviços de abastecimento de água no Brasil.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo está dividido em três diferentes sessões. Inicialmente realizou-se um panorama do sistema de abastecimento de água no Brasil, levando-se em consideração as variações do indicador de atendimento urbano de água (IN023) do SNIS ao longo de 16 anos de coleta de dados. Também é apresentado um breve histórico sobre a criação das CESBs – Companhias Estaduais de Saneamento Básico e a prestação de serviços feita por essas companhias no país.

Em seguida, são mostrados alguns conceitos gerais sobre perdas de água em sistemas de abastecimento. A média brasileira de perdas de água é de aproximadamente 40% (incluindo perdas reais e aparentes), mas em algumas empresas de saneamento essas perdas superam 60%. O elevado índice de perdas de água reduz o faturamento das empresas e, conseqüentemente, sua capacidade de investir e obter financiamentos. Nesta etapa também foi realizada uma extensa busca bibliográfica sobre as principais pesquisas relativas às perdas de água no Brasil e no mundo, por meio do levantamento de artigos publicados em congressos da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), da *International Water Association* (IWA) e de artigos de periódicos nacionais e internacionais. O foco desta pesquisa foram as perdas reais de água, com destaque para a gestão da qualidade dos sistemas de abastecimento e o controle operacional da rede de distribuição, com o desenvolvimento de programas e uso de *softwares* para o controle da rede.

Por fim são apresentados os indicadores de desempenho para abastecimento de água, destacando-se os indicadores relacionados às perdas de água no sistema e as principais instituições que desenvolvem e trabalham tais indicadores no Brasil e no mundo. Os indicadores são utilizados com o intuito de melhorar a gestão dos sistemas e proporcionar um atendimento mais eficiente e seguro para os consumidores e mais sustentável para o prestador, em termos de operação e manutenção. Ao final, são identificados aqueles indicadores considerados para o desenvolvimento desta pesquisa.

2.1 Abastecimento de água no Brasil – Panorama geral

O sistema de abastecimento de água trata-se de uma das prioridades do meio urbano, visto que a necessidade de água de qualidade e em quantidade suficiente é de suma importância para manutenção da saúde da população e para o atendimento industrial. Em face da importância que um sistema adequado de abastecimento tem na qualidade de vida da população, cada vez mais esforços são somados para alcançar um elevado padrão nos sistemas. Um exemplo disso é o PLANSAB, Plano Nacional de Saneamento Básico - aprovado pelo Governo Federal em dezembro de 2013, que juntamente com a lei de saneamento nº 11.445 de 5 de Janeiro de 2007 buscam a universalização dos serviços de saneamento no país (ABES, 2013).

No Brasil, os serviços de água e esgoto podem ser realizados por diferentes tipos de prestadores de abrangência: Regional, Microrregional e Local, sendo que muitas vezes o prestador local é representado pela própria prefeitura municipal. O acompanhamento dos serviços de saneamento e resíduos sólidos no país é realizado pelo Ministério das Cidades por meio do SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. O SNIS é a base nacional de dados sobre o setor de saneamento, contendo informações relativas a uma série histórica de 17 anos, e atualizada em 2013 para dados referentes ao ano-base 2011.

Quando avaliado o desempenho ambiental dos prestadores, considera-se, no caso do abastecimento de água e do esgotamento sanitário, a capacidade do prestador de atuar no sentido da promoção do uso racional da água e da preservação dos recursos hídricos. É reconhecido que a promoção do uso racional da água, através do controle de perdas, permite postergar investimentos em ampliação dos sistemas de produção e melhor equacionar investimentos para a generalização do acesso aos serviços (BRITTO, 2011).

Na década de 70 o Brasil passou a ser predominantemente urbano, com 56% dos 93 milhões de brasileiros vivendo nas cidades, fato que acelerou a necessidade de investimentos e iniciativas no setor de saneamento, bem precário até então.

Nesse período apenas 11,8 milhões - 12,6% dos habitantes – contavam com serviços públicos de abastecimento de água e 6 milhões - 6,4% - com sistemas de esgotamento sanitário, concentrados precariamente nas cidades de maior porte (ARRETCHE, 2012).

Devido à necessidade de expansão do sistema, em pleno período militar e sob o comando do PLANASA – Plano Nacional de Saneamento, com gestão do BNH - Banco Nacional de Habitação e financiamento do FGTS – Fundo de Garantia do Tempo de Serviço, surge o Sistema Nacional de Saneamento, complementado pelas Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs) então criadas.

As CESBs, criadas pelo PLANASA, eram responsáveis pela construção, operação e manutenção dos sistemas de saneamento. Trata-se de empresas de economia mista, onde na maior parte dos casos, o Estado é o acionista majoritário. O grande objetivo do PLANASA com a criação das CESBs foi centralizar a gestão dos serviços e minimizar problemas oriundos de políticas locais (BRITTO, 2011). Para a operação foi necessária a concessão municipal por meio de contratos, uma vez que a Constituição Federal atribuiu a competência aos municípios. Como a concessão não foi obrigatória, alguns municípios se mantiveram efetivamente autônomos.

Em 1980, por meio de incentivos e economia favorável, 42% da população - cerca de 50 milhões de brasileiros - contava com sistemas de água. A cobertura de esgotamento sanitário à época, assim como nos dias de hoje, ainda era bem defasada se comparada à cobertura de água: apenas 17,5 milhões de pessoas contavam com a rede. Segundo Arretche (2012) privilegiou-se o sistema de água, pois estes representam menores custos e propiciam retornos mais rápidos através de tarifas.

A gestão das CESBs foi muito criticada na década de 90, principalmente por ser uma estrutura fechada à participação dos municípios, sem transparência e participação local, em um período no qual muito se falava em descentralização de políticas públicas (BRITTO, 2012).

Com o passar dos anos novas políticas, legislações e instituições surgem no âmbito das questões ambientais, como a Política Nacional de Recursos Hídricos em 1997 – Lei nº 9.433, instituindo também o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos; a criação da ANA – Agência Nacional das Águas em 2002; e em 2007, a promulgação da Lei nº 11.445 que estabelece as diretrizes nacionais sobre saneamento básico.

A Lei nº 11.445 de 2007 surge com o intuito de descentralização, buscando uma maior aproximação com os municípios e, conseqüentemente, mudanças no quadro ainda de centralização das CESBs.

Atualmente, de acordo com a classificação do SNIS relativa aos prestadores de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, o Brasil apresenta 27 prestadores de abrangência regional – notadamente as companhias estaduais, seis microrregionais e 1.139 locais, sendo essas todas responsáveis pelo abastecimento de 93% da população urbana no ano de 2011. Pelas Tabelas 1 e 2 é possível observar, para o ano-base 2011, a distribuição dos prestadores de serviço segundo as características do atendimento e segundo a organização jurídica, respectivamente.

Tabela 1: Distribuição dos prestadores de serviço, segundo características do atendimento.

Prestador de Serviços		Municípios Atendidos	População Urbana Atendida
Abrangência	Quantidade	Água	Água
Regional	27	4.002	119.491.001
Microrregional	6	18	647.085
Local	1.139	936	40.131.832
Brasil	1.172	4.956	160.269.918

Fonte: SNIS (2013).

Tabela 2: Distribuição dos prestadores de serviço, segundo organização jurídica e abrangência.

Abrangência	Natureza Jurídica					
	Administração Direta	Autarquia	Sociedade de Economia Mista	Empresa Pública	Empresa Privada	Organização Social
Regional	0	1	24	1	1	0
Microrregional	0	3	0	0	3	0
Local	673	342	10	4	57	3
Brasil	673	342	34	5	61	3

Fonte: SNIS (2013).

Considerando os números globais de população atendida, a situação do abastecimento de água no Brasil pode ser descrita como razoavelmente boa. Segundo o SNIS (2013), para o ano de 2011 os índices médios nacionais de atendimento por rede de água, considerando população urbana e rural (indicador IN055), foram de 82,4%. Quando considerada somente a população urbana (indicador IN023), esse índice sobe para mais de 90,0%.

É importante ressaltar que o crescimento urbano sem planejamento compromete toda a eficiência de um sistema de abastecimento e de esgotamento sanitário, visto que há necessidade de adequar o sistema ao crescimento. Rai (2011), em estudo realizado sobre o gerenciamento de água no território Nacional de Deli, mostra como é difícil essa adequação em uma megacidade - a segunda maior cidade da Índia. Segundo o mesmo autor, a demanda de água no período de 2005-2006 foi estimada em 4.382 milhões de litros por dia, porém foram fornecidos nesse mesmo período apenas 2.958 milhões de litros por dia.

No Brasil a oferta de água ao longo do tempo não tem mostrado significativa variação, conforme dados dos últimos 17 anos de coleta de dados do SNIS (1995 a 2011), com média percentual de atendimento da população urbana na ordem de 92,6%. A série histórica do índice de atendimento urbano com rede de abastecimento (IN023) para todos os prestadores pode ser observada na Figura 1. Vale ressaltar que se optou por utilizar o atendimento à população urbana pelo fato de o SNIS explicitar o resultado para população total (IN055) apenas de 2005 em diante.

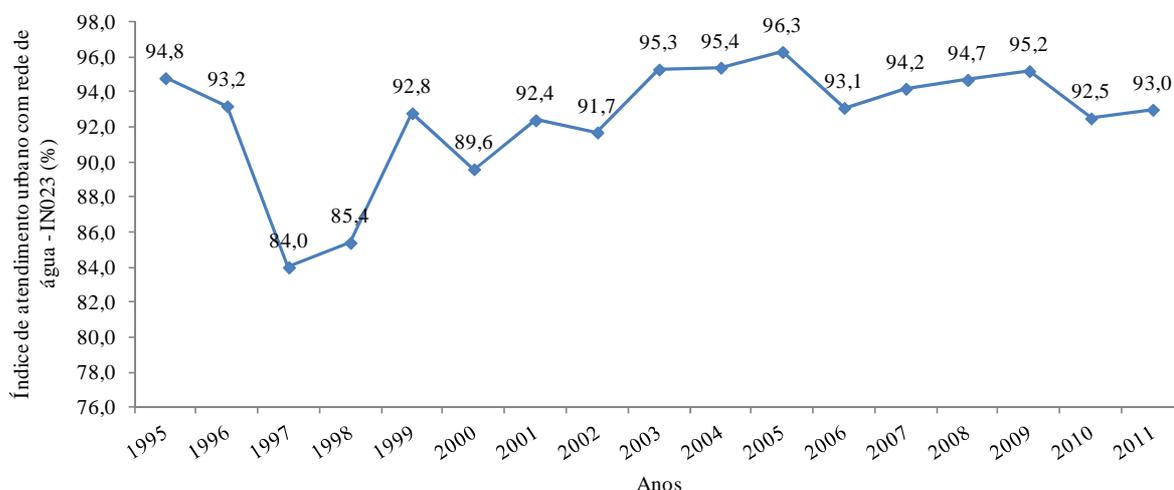


Figura 1: Histórico do atendimento da população urbana com rede de água - IN023.
Fonte: Elaboração própria, dados SNIS (vários anos).

Vale ressaltar que os dados do SNIS são informados pelas próprias companhias de abastecimento, esse motivo pode explicar a grande variação do indicador observada na Figura 1.

A busca pela universalização dos serviços prevista pelo PLANSAB leva em consideração a ampliação do número de famílias atendidas por rede de água. Diferente da informação

inferida pela observação da Figura 1, o percentual de atendimento no Brasil, quando avaliado de forma regional, permite observar que o índice de atendimento ainda é desigual, conforme Figura 2 e no gráfico da Figura 3. Em ambos é possível verificar que os índices de atendimento de alguns estados do Norte são baixos quando comparados aos índices de outros estados da federação.

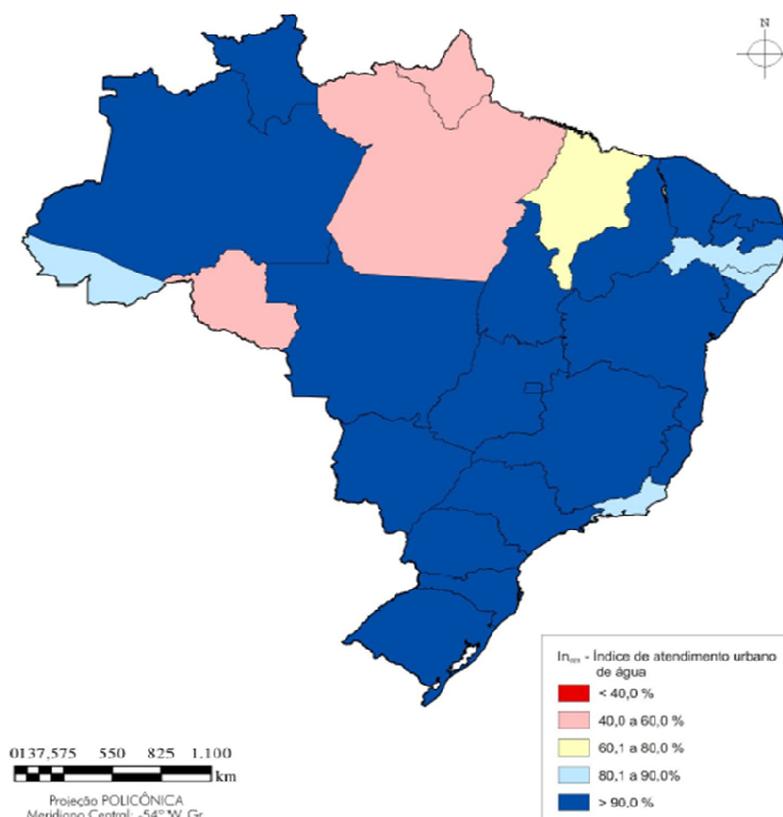


Figura 2: Representação espacial do índice médio de atendimento urbano por rede de água – indicador SNIS IN023.
Fonte: SNIS (2013).

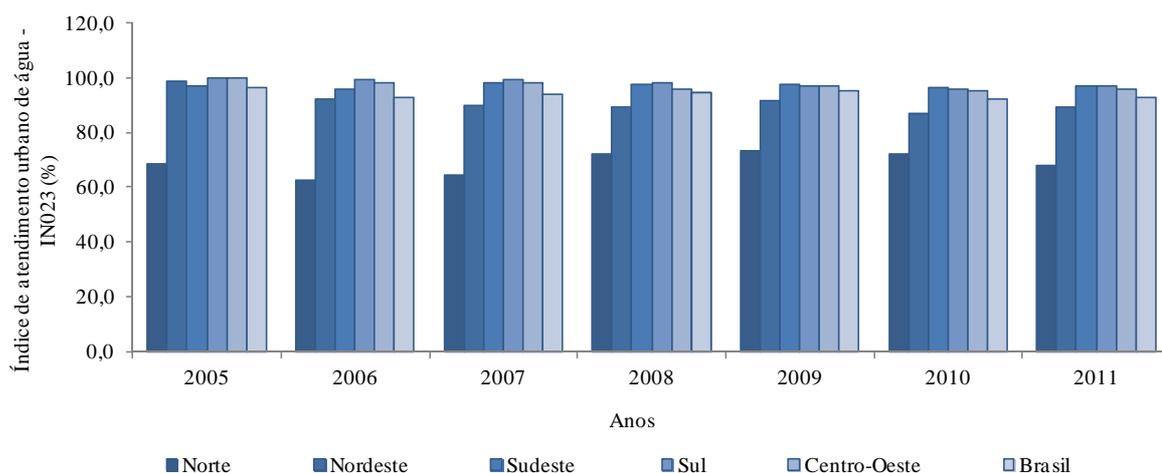


Figura 3: Distribuição regional do indicador de atendimento urbano de água - IN023.
 Fonte: Elaboração própria, dados SNIS (vários anos).

O Brasil apresenta grandes diferenças entre suas cinco regiões, tanto em termos de relevo e hidrografia quanto em relação à ocupação. Destacam-se as regiões Norte e Centro-Oeste em relação à disponibilidade hídrica, embora sejam as regiões menos povoadas do país, respectivamente com 15 milhões no Norte e pouco mais de 14 milhões de habitantes no Centro-Oeste.

A população brasileira se estabelece de forma concentrada na Região Sudeste, com 80,3 milhões de habitantes; o Nordeste abriga 53,1 milhões de habitantes; e o Sul acolhe 27,3 milhões. A irregularidade na distribuição da população fica evidente quando alguns dados populacionais de regiões ou estados são analisados. Somente o estado de São Paulo concentra cerca de 41 milhões de habitantes, sendo superior ao contingente populacional das regiões Centro-Oeste e Norte juntas.

Nas cinco regiões brasileiras este estudo considerou para avaliação apenas os prestadores de abrangência regional, convencionalmente chamados de companhias regionais. Por esse motivo, as explicações e argumentações realizadas doravante serão basicamente sobre tais prestadores.

Região Norte

A região Norte, embora apresente os maiores índices pluviométricos do país e possua grandes mananciais, tem indicadores de saneamento que não apresentam uma condição de destaque. Sete companhias estaduais concentram a prestação de serviços de saneamento nos municípios

da região, a saber: CAERD, DEPASA/DEAS, CAEMA, CAER, COSANPA, CAESA e SANEATINS.

Em 2011, segundo dados das empresas que prestaram informações ao SNIS, 67,9% da população urbana dos municípios da Região Norte era atendida por serviços de água, o pior índice de atendimento do país. Situação ainda mais crítica é encontrada no serviço de coleta de esgoto; apenas 11,8% da população total dos municípios possui coleta e, desse total coletado, apenas 12,7% possui tratamento adequado.

Quando comparada às demais regiões do país, a região Norte é a que mais utiliza água proveniente de poço ou nascente para suprir suas necessidades. Segundo Paim (2011), isso se deve ao fato de a implantação de redes ser prejudicada pelo grande número de comunidades com habitações muito esparsas.

Nordeste

A região Nordeste ainda hoje mostra os resultados de uma urbanização tardia, desigual e acelerada, que somada às condições geográfico-ambientais, contribuiu para o panorama de precariedade de prestação de serviços de saneamento básico na região (BRITTO, 2011). Assim como na região Norte, no Nordeste também predomina a concessão dos serviços às companhias estaduais. São elas: CAEMA, AGESPISA, CAGECE, CAERN, COMPESA, CAGEPA, CASAL, DESO e EMBASA.

Embora marcada pelas secas que costumam afligir grande parte do seu território, a Região Nordeste apresenta indicadores de saneamento (atendimento de água, principalmente) bem melhores do que os verificados na Região Norte. Segundo dados do último ano-base do SNIS (2011), 89,4% da população urbana da região Nordeste foi atendida com rede de água e 28,4% com rede de esgoto, sendo que desse total 30,1% recebeu tratamento adequado.

Ressalta-se que algumas unidades das concessionárias CASAL e CAGECE foram premiadas nos anos de 2010, 2011 e 2012 pelo PNQS – Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento.

Sudeste

Região mais rica e urbanizada do país, o Sudeste tem muito mais acesso aos serviços de saneamento básico do que a média nacional. Nela, as companhias estaduais estão, na média, em

melhor situação financeira e com maior capacidade de realização de investimentos (VALOR ECONÔMICO, 2006).

Trata-se da região mais populosa do país, com 42,1% da população brasileira, e abriga as metrópoles mais importantes e populosas: São Paulo (SP), Belo Horizonte (MG) e Rio de Janeiro (RJ).

Na região há quatro concessionárias estaduais responsáveis por 96,7% do atendimento urbano de água e 78,8% de esgotamento sanitário, a saber: COPASA, CESAN, CEDAE e SABESP.

Ressalta-se que três das quatro companhias - COPASA, SABESP e CESAN - apresentaram unidades premiadas pelo PNQS nos anos de 2010, 2011 e 2012. A COPASA foi a que recebeu o maior número de prêmios nos três anos.

Sul

Composta por apenas três estados é a menor região em superfície territorial. No entanto, apresenta uma população (14,4%) quase duas vezes maior que as das regiões Norte (8,3%) e Centro-Oeste (7,4%).

No Sul há três empresas públicas, constituídas como sociedades de economia mista e administradas pelos estados, a saber: SANEPAR, CASAN e CORSAN, que atendem a 96,8% da população urbana com rede de água e a 42% dessa população com esgotamento sanitário. Trata-se do segundo melhor percentual do país em termos de abastecimento de água.

Assim como nas regiões Nordeste e Sudeste, a SANEPAR destaca-se entre as prestadoras pelo recebimento de prêmios do PNQS nos anos de 2010, 2011 e 2012.

Centro-Oeste

Embora seja composta por apenas três estados e a região menos populosa, com pouco mais de 14 milhões de habitantes, trata-se da segunda maior região do Brasil em extensão de território. Segundo levantamento do IBGE 2010 para o último censo, a região apresentou a segunda maior taxa média anual de crescimento populacional (1,91%) perdendo apenas para a região Norte com taxa média de 2,09%.

Esse crescimento acelerado, somado à expansão desordenada dos centros urbanos, tem levado ao comprometimento da qualidade da água, além de uma diversidade de conflitos entre seus

usuários, embora se trate da segunda maior região em abundância de recursos hídricos do país.

Semelhante às regiões anteriores, a concessão dos serviços de abastecimento e esgotamento é das companhias estaduais: SANESUL, SANEAGO e CAESB.

Mesmo com os problemas relacionados à gestão dos recursos hídricos, a região possui o segundo melhor percentual de atendimento da população urbana com rede de água (96%) e rede de coleta de esgoto (52%). Em relação ao esgoto tratado destaca-se como a melhor região do país, com 44% de tratamento.

2.2 Perdas de água em sistemas de abastecimento

As perdas nos sistemas de abastecimento de água podem ser classificadas em duas distintas categorias (Alegre *et al.*, 2004):

As perdas “físicas” ou reais, quando o volume de água disponibilizado (VD) no sistema de distribuição pelas operadoras de água não é utilizado pelos clientes, sendo perdido antes de chegar às unidades de consumo, e

As perdas “não físicas” ou aparentes, quando o volume utilizado (VU) não é devidamente computado nas unidades de consumo, sendo cobrado de forma inadequada, configurando as perdas comerciais de água.

Os termos perda “física” e “não física” estão sendo substituídos pelos termos reais e aparentes pela literatura técnica.

Durante muito tempo a avaliação das perdas de água era feita de forma individual por cada país e até mesmo dentro das companhias em um mesmo país. Tal fato trazia grandes transtornos para comparações dos sistemas e para a discussão de termos e indicadores. Em 1996, devido ao não entendimento mundial sobre a nomenclatura e terminologias de perdas de água, a IWA – *International Water Association* reuniu especialistas de todo o mundo na chamada *Task Force* e no ano de 2000 foi publicada a terminologia padrão no *The Blue Pages*. O manual de boas práticas (*Performance Indicator for Water Supply Services*) foi criado com o intuito de produzir um padrão internacional de cálculo do balanço hídrico, sendo

uma das principais ferramentas utilizadas nas empresas de saneamento em todo o mundo para avaliação da qualidade dos sistemas (ALEGRE *et al.*, 2004).

Na matriz de balanço hídrico os dois tipos de perdas são inseridos, perfazendo o conjunto de perdas aparentes e o de perdas reais.

Detalhes do consumo e os componentes do balanço hídrico podem ser visualizados no Quadro 1, no qual está indicada a terminologia recomendada para o cálculo do balanço hídrico de uma ou mais partes de um sistema de abastecimento de água. O cálculo do balanço hídrico deverá ser realizado antes de se calcular qualquer indicador de desempenho.

Quadro 1: Componentes do balanço hídrico.

Volume de água que entra no sistema (m ³ /ano)	Consumo autorizado (m ³ /ano)	Consumo autorizado faturado (m ³ /ano)	Consumo faturado medido (m ³ /ano)	Água faturada (m ³ /ano)	
			Consumo faturado não medido (m ³ /ano)		
	Perdas de água (m ³ /ano)	Consumo autorizado não faturado (m ³ /ano)		Consumo não faturado medido (m ³ /ano)	Água não faturada (m ³ /ano)
				Consumo não faturado não medido (m ³ /ano)	
		Perda aparente (m ³ /ano)		Uso não autorizado (m ³ /ano)	
			Erros de medição (m ³ /ano)		
	Perda real (m ³ /ano)	Vazamentos (m ³ /ano)			

Fonte: Adaptado de Alegre *et al.*, (2004).

Para facilitar o entendimento dos cálculos são necessárias algumas definições sobre a tabela de balanço hídrico:

- Consumo autorizado, medido e faturado: É o volume devidamente medido pelo sistema de micromediação e contabilizado pela concessionária;

- Consumo autorizado, não medido e faturado (estimado): Trata-se do volume de água consumido por famílias de baixa renda onde não há hidrometração;
- Consumo autorizado, medido e não faturado: Água utilizada para usos internos da concessionária, como limpeza de áreas e lavagem de filtros. Refere-se também aos extravios de contas por problemas no cadastro comercial e ao não pagamento das contas por parte dos consumidores;
- Consumo autorizado, não medido e não faturado: Volumes usados em hidrantes para combate a incêndios, volume acima da cota consumido por famílias de baixa renda sem hidrometração;
- Consumo não autorizado, perdas aparentes: Caracterizado pelas fraudes nos hidrômetros e “gatos” nos ramais prediais;
- Consumo não autorizado, erros nos medidores: Problemas de calibração e de instalação dos medidores;
- Consumo não autorizado, perdas reais: Vazamentos no sistema de distribuição.

As perdas reais foram consideradas pela AWWA – *American Water Works Association* como o principal tipo de perdas no manual de práticas de abastecimento de água – M36 (AWWA, 2009). Podendo ser visíveis, não visíveis mensuráveis e não visíveis inerentes ao sistema. Segundo Lambert (1994), para propósitos de análise os vazamentos podem ser classificados em:

Vazamentos devido a rompimentos – vazões significativas. A duração desse tipo de vazamento pode ser pequena quando o vazamento é visível. No entanto, se for invisível, a duração pode ser de meses ou anos.

Vazamentos inerentes (*Background losses*) – vazões muito baixas (individualmente). Representam o somatório de pequenos vazamentos de válvulas, juntas, medidores e outros pontos do sistema.

Tal diferenciação do vazamento irá interferir diretamente na seleção de ações para busca e correção das perdas. De forma geral, segundo Tardelli (2006), os vazamentos ou perdas reais podem ser detalhados da seguinte maneira e conforme Figura 4:

- Vazamentos visíveis: Afloram à superfície e, geralmente, representam grandes vazões;
- Vazamentos não visíveis e detectáveis: São vazamentos com vazão moderada, não afloram à superfície e podem ser detectados por métodos acústicos;
- Vazamentos não visíveis e não detectáveis - inerentes: Não aflorantes, constituem vazões muito pequenas e não são detectáveis por métodos acústicos.



Figura 4: Tipos de vazamento.
 Fonte: Elaboração Própria (2013).

Visando identificar os três tipos de vazamentos por meio da vazão mínima noturna e do controle do sistema, Lambert (1994) desenvolveu um programa comercial, BABE – *Bursts and Background Estimate*.

Segundo AWWA (2009), BABE foi a primeira abordagem objetiva e não empírica sobre os componentes do sistema de distribuição associados às perdas, permitindo assim um planejamento mais racional e uma gestão estratégica para o controle de perdas. O modelo avalia separadamente os três tipos de perdas quanto à localização, tempo de reparo e a qualidade de resposta de cada um dos vazamentos (PENA, 2010).

A abordagem econômica para cada tipo de perda é diferente. Sobre as perdas reais recaem os custos de produção e distribuição da água, e sobre as perdas aparentes, os custos de venda da água no varejo, acrescidos dos eventuais custos da coleta de esgotos. No caso do Brasil, deve-se destacar o consumo não faturado e não medido ocorrido em regiões periurbanas, pois trata-se de um volume significativo nas metrópoles brasileiras.

Pela definição dos vazamentos inerentes pode-se afirmar que nunca haverá perda zero em um sistema de abastecimento, por mais bem implantado e operado que seja. Essa conclusão foi definida pela IWA como limite técnico para os volumes de perdas. Trata-se do volume mínimo, definido pelo alcance das tecnologias de busca. Volumes menores que esse não são detectados.

Outro limite é o econômico, a partir do qual se gasta mais para reduzir as perdas do que o valor intrínseco dos volumes recuperados (varia de cidade para cidade, em função das disponibilidades hídricas, custos de produção, etc.). Pela Figura 5 pode-se observar a relação entre os dois limites.

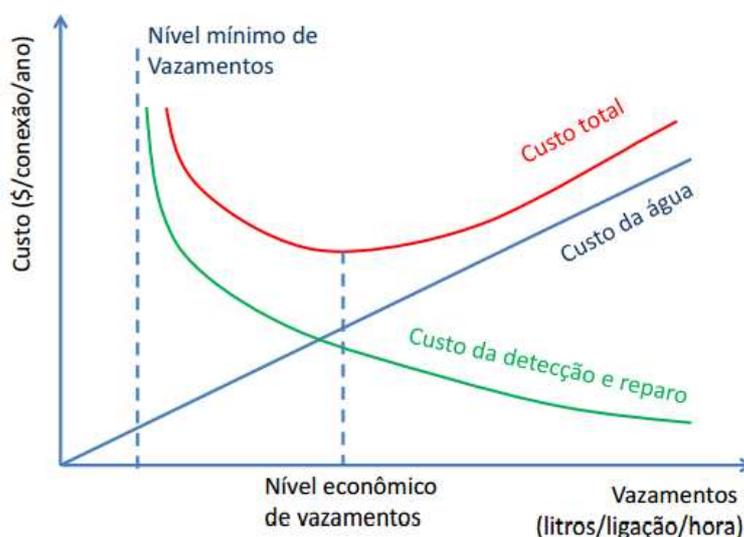


Figura 5: Relação entre os limites técnicos e econômicos no custo total decorrente de perdas de água no sistema.

Fonte: ABES (2013).

A relação entre controle de perdas e o limite econômico das companhias para executá-lo é discutido por Trow e Tooms (2012), Contreras e Hurtado (2012) e Wyatt (2012). Os autores questionam os custos das atividades de gerenciamento de pressão e controle ativo de

vazamentos (detecção e reparo) para a empresa. Wyatt (2012) também propõe um modelo que calcula o nível financeiramente ideal para o combate às perdas.

O objetivo é gerenciar perdas com o melhor custo-benefício, visto que qualquer empresa precisa trabalhar dentro de orçamentos. O controle de perdas pode ser oneroso, sendo necessário estabelecer um equilíbrio entre os custos econômicos e os benefícios resultantes das ações de controle.

Segundo Gomes *et al.*, (2007) as concessionárias não devem se orgulhar por “cobrar pouco” pela água, visto que se a água não vale nada, o combate às perdas tende a não valer nada também. Ressaltam, porém, que o valor a ser cobrado só será justificado se as medidas de controle e redução forem compromissos irrefutáveis.

2.2.1 Detecção e Controle de Perdas em sistemas de abastecimento de água – Panorama no Brasil e no Mundo

As questões sobre conservação e uso racional de água estão cada vez mais presentes nas discussões técnicas nos meio acadêmicos com pesquisas, no âmbito das concessionárias de saneamento por meio de ações e projetos de melhoria e no meio político com as leis e normas de controle. Um exemplo são as modificações impostas pela Lei 12.862 de 2013 que estabelece diretrizes nacionais para o Saneamento Básico, com o objetivo de incentivar a economia no consumo de água. Esta nova legislação altera os artigos 2º, 48, e 49 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 que passam a vigorar acrescidos dos seguintes incisos, a saber:

Art. 2º Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

XIII - adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água.

Art. 48. A União, no estabelecimento de sua política de saneamento básico, observará as seguintes diretrizes:

XII - estímulo ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos e métodos economizadores de água.

Art. 49. São objetivos da Política Federal de Saneamento Básico:

XI - incentivar a adoção de equipamentos sanitários que contribuam para a redução do consumo de água;

XII - promover educação ambiental voltada para a economia de água pelos usuários. (Lei 12.862, 2013).

Segundo dados do SNIS para a média nacional dos índices de perdas na distribuição (IN049), que incluem perdas reais e aparentes, o Brasil apresenta níveis próximos de 40% nos últimos oito anos. Mesmo percebendo-se uma sutil queda nos últimos anos, os índices são alarmantes, conforme se pode observar na Figura 6 e o gráfico da Figura 7.

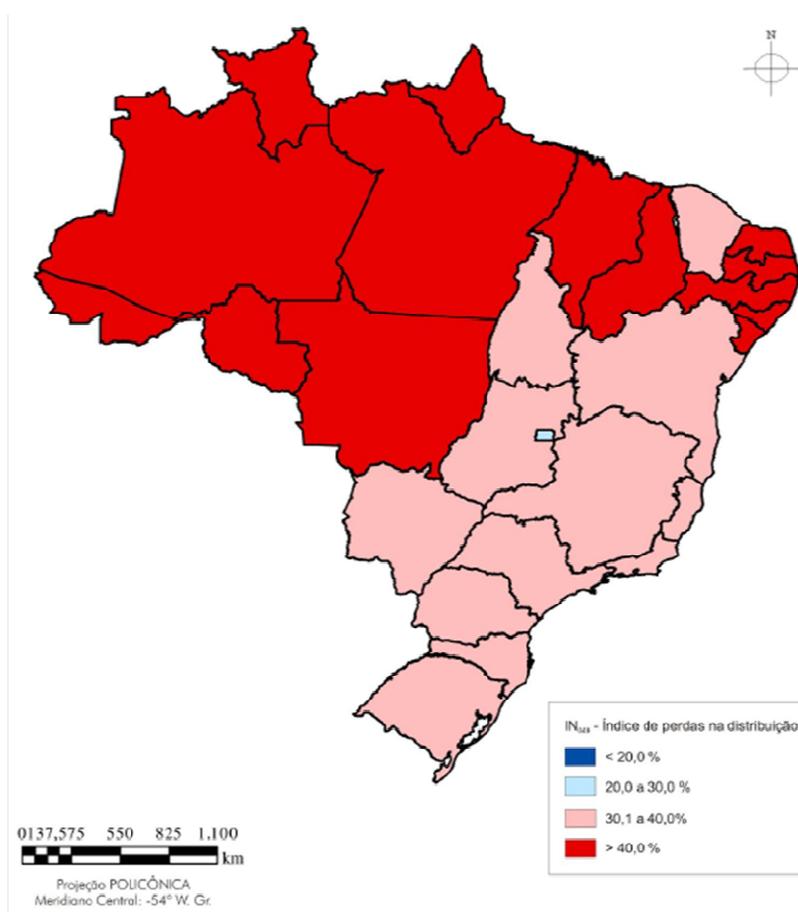


Figura 6: Representação espacial do índice de perdas na distribuição (IN049).
Fonte: SNIS (2013).

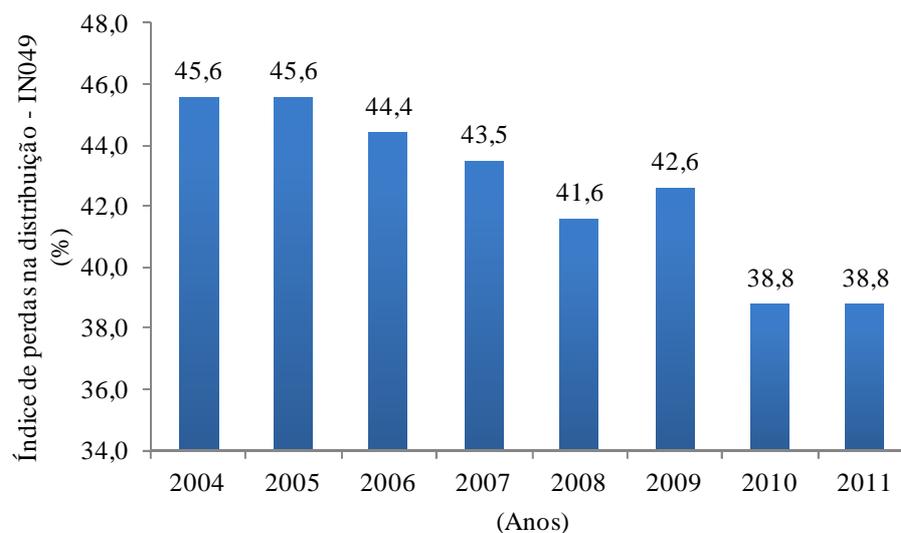


Figura 7: Série histórica do indicador perdas na distribuição - IN049.

Fonte: Elaboração própria, dados SNIS (vários anos).

Inferese da observação das Figuras 6 e 7 que nenhum estado brasileiro apresenta valores do índice de perdas na distribuição menores que 20%. Ao contrário disso, mais da metade dos estados apresentaram para o ano-base 2011 valores superiores a 40%, demonstrando a necessidade não só de investimentos na melhoria do setor, mas de pesquisas para melhoria tecnológica de busca, detecção e correção de vazamentos e controle de perdas aparentes.

Inúmeros são os trabalhos realizados no Brasil para o controle e detecção de perdas, e boa parte desses estudos é apresentada em congressos realizados no Brasil pela ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Os eventos acontecem a cada dois anos, em diferentes estados do país. Na Figura 8 pode-se verificar o número de trabalhos sobre perdas de água apresentados nos últimos sete congressos da ABES.

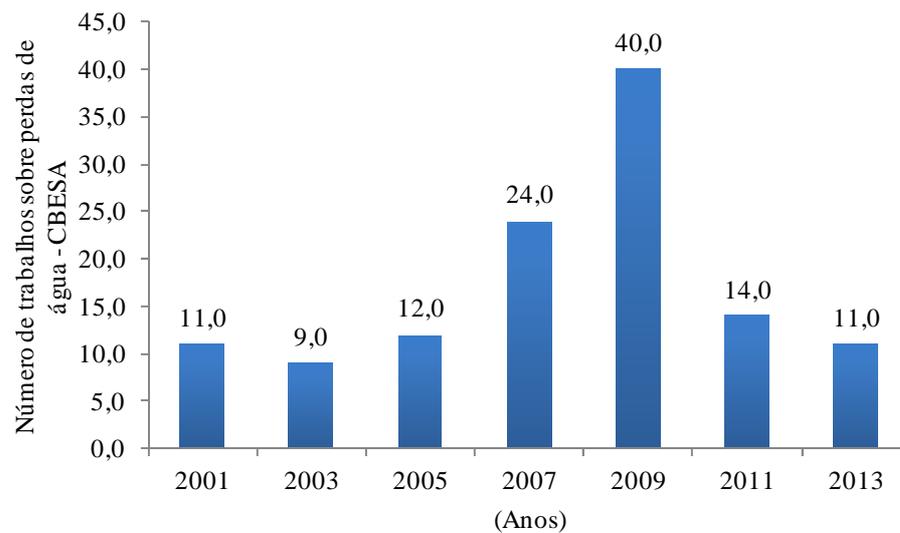


Figura 8: Quantidade de trabalhos orais sobre perdas de água apresentados nos CBESA – Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Fonte: Anais dos CBESAs (2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011 e 2013).

Com relação aos estudos internacionais, merecem destaque as conferências promovidas pela IWA sobre perdas de água - *water loss conference* - realizadas com intervalos de um a dois anos em diversas cidades do mundo, para tratar dos temas relacionados a perdas e controle de perdas de água, a saber: 2002 em Limassol, Chipre; 2005 Halifax, Nova Escócia; 2007 Bucareste, Romênia; 2009 Cidade do Cabo, África do Sul; 2010 São Paulo, Brasil; 2012 Manila, Filipinas e para 2014 Viena, Áustria. Em 2012 houve uma conferência semelhante em Ferrara na Itália, promovida pelo grupo *Water Loss Europe*. Pelo gráfico da Figura 9 é possível observar o número crescente de países, pesquisadores e artigos enviados às conferências.

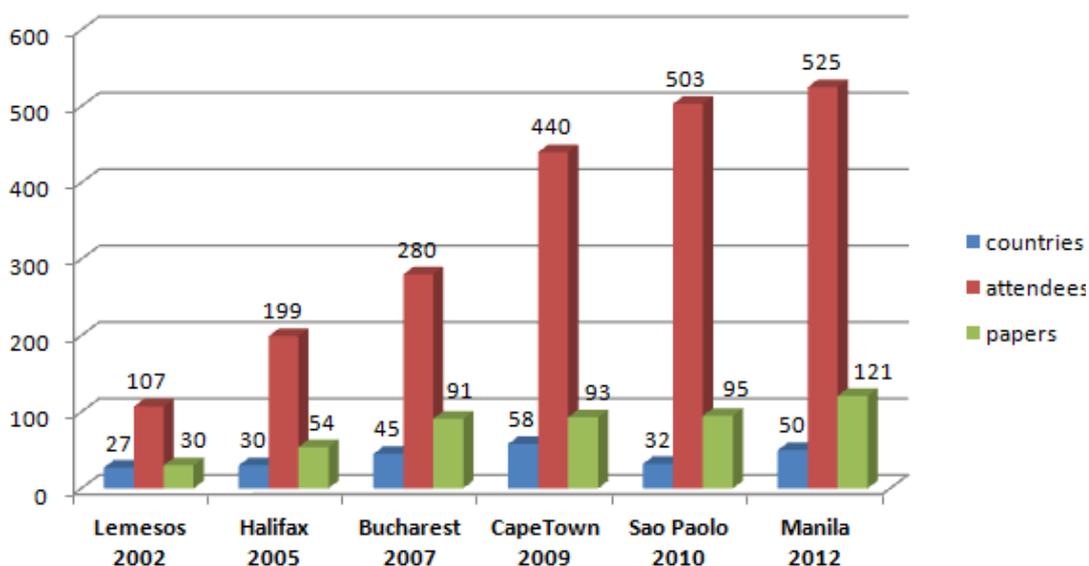


Figura 9: Participações de países e pesquisadores nos encontros sobre perdas da IWA - *water loss conference*, além do número de artigos produzidos.

Fonte: Fantozzi (2012).

Nesta pesquisa serão destacados alguns dos trabalhos apresentados nos últimos sete congressos da ABES (2001 a 2013) e no último *water loss conference* que aconteceu em Manila no ano de 2012. É oportuno ressaltar que para facilitar a organização deste trabalho o assunto “perdas de água” foi dividido segundo três diferentes frentes de controle, a saber: controle operacional da rede de distribuição, gestão da qualidade dos sistemas de abastecimento e desenvolvimento de programas e uso de *softwares* para o controle da rede.

2.2.2 Gestão Operacional do Sistema de Abastecimento Visando Redução e Controle de Perdas de Água

Controle de pressão na rede

Há uma tendência de se imaginar que as perdas ocorrem apenas no sistema de distribuição. No entanto, há perdas em todas as etapas do tratamento, como vazamentos em tubulações, equipamentos e estruturas, por extravasamento de reservatórios e canais, água utilizada em processos operacionais de lavagem de filtros e limpeza de decantadores e descargas em redes de adução e distribuição.

A diminuição de perdas permite minimizar os custos de produção, enquanto a diminuição de perdas aparentes permite um aumento de receita tarifária e uma consequente melhoria na prestação dos serviços.

Na fase de projeto e construção de sistemas de abastecimento é imprescindível o estabelecimento de medidas preventivas de controle de perdas, que de acordo com Marcka, (2004) devem contemplar medidas como:

- Uma boa concepção do sistema, considerando os dispositivos de controle operacional;
- Qualidade de tubulações, equipamentos e dispositivos utilizados;
- Instalação de dispositivos de controle como registros, medidores, válvulas e outros;
- Elaboração de um cadastro da rede;
- Realização de testes pré-operacionais de ajuste do sistema.

Alguns fatores como o estado da tubulação, material utilizado, sua idade, pressão na rede, adequada execução da obra e instalação de dispositivos protetores são fundamentais para um bom funcionamento e são exatamente esses fatores os mais observados em estudos de controle de perdas.

O controle de pressão é fundamental para a redução de perdas reais em um sistema de abastecimento de água, pois a pressão é um dos principais fatores que influenciam o número de vazamentos e a vazão dos mesmos. É necessário minimizar as pressões do sistema e a faixa de duração de grandes pressões e assegurar padrões necessários ao atendimento dos consumidores. Devido a esses e a outros fatores é que se pode observar o controle de pressão presente para todos os tipos de vazamento (Figura 10).

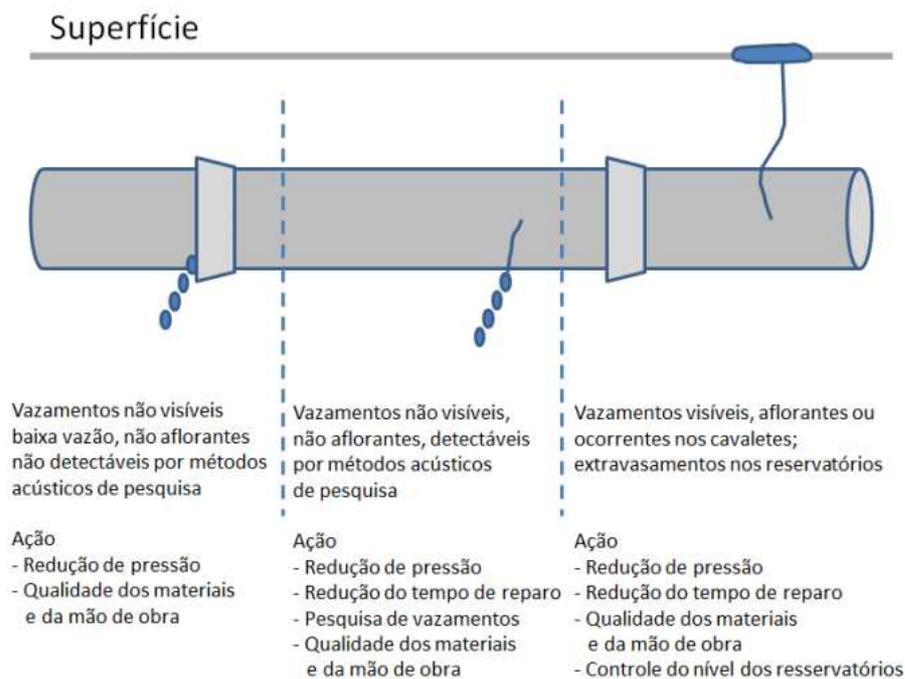


Figura 10: Ações de controle de perdas reais em sistemas de abastecimento de água.
Fonte: Tsutiya (2006).

Para um melhor controle de pressões nas redes de distribuição é importante que o sistema seja setorizado por áreas. Essas áreas podem ser definidas pela cota do nível de água de um reservatório, pela cota piezométrica resultante de uma elevatória ou de um *booster*, ou ainda de válvulas redutoras de pressão (VRP's). Surgem assim, os subsetores que são bem mais fáceis de controlar.

Além da pressão pode-se afirmar que as causas mais cogitadas para as perdas de água nas redes distribuidoras e ramais prediais de acordo com (RAJANI e KLEINER, 2001; MARCKA, 2004; MCKENZIE *et al.*; 2004; TARDELLI, 2006; AWWA, 2009) são:

- Os materiais e o estado das tubulações;
- A idade das tubulações;
- Pressões externas – tráfego;
- O assentamento das tubulações e o tipo de solo;
- A localização do hidrômetro na rede;

- A alimentação da rede através de bombeamento direto;
- Os transientes hidráulicos;
- A ausência de válvulas ventosas;
- O comprimento total da tubulação;
- Os efeitos do tráfego;
- Qualidade dos reparos;
- A proporção de relatos de novos vazamentos e do tempo de reparo.

Thomaz (2011) relata que as perdas de água ocorrem 40% a mais nas áreas que têm pressões superiores a 60 m.c.a.. Oliveira (2009) descreve a importância da setorização como um fator para a redução de perdas em estudo realizado na cidade de Poços de Caldas - MG, na qual o índice de perdas físicas foi reduzido de 44,58% para 41,80% com a instalação de macromedidores monitorados por telemetria. Todos os valores registrados por estes equipamentos chegam a uma central de monitoramento e, por comparação com a micromedição, obtêm-se índices de perdas que determinam quais os setores devem ser reestruturados para que as perdas sejam minimizadas. Koral e Dziuba (2012) descrevem situação muito semelhante para a cidade de Bytom na Polônia. Os autores sugerem a setorização, redução e estabilização da pressão como a chave para a diminuição e o controle de perdas nos sistemas de abastecimento.

Lambert e Thornton (2012) falam sobre os benefícios de controlar a pressão em sistemas de abastecimento de água: redução de arrebentamentos e conseqüentemente dos vazamentos. Tais resultados foram comprovados no trabalho de Viegas (2001). Na cidade de Santa Maria – RS, os crescentes rompimentos em tubulações de fibro cimento foram solucionados com a implantação de válvulas redutoras de pressão (VIEGAS, 2001). A vazão total diária nos setores monitorados reduziu de 321,10 L/s em 1999 para 271,04 L/s em 2001; a mesma redução foi observada na vazão noturna de 156,20 L/s para 92,49 L/s nos mesmos anos. O mesmo foi observado por Braghiroli *et al.*, (2001); Padula e Denapoli (2001); Abreu *et al.*, (2009); Carrera *et al.*, (2009) e Galvão e Zahed (2012) em Unidades de Negócios da SABESP, onde houve economias com a instalação de VRPs – Válvulas redutoras de pressão,

na ordem de 952,43 L/s. A redução da pressão também pode ser observada na Figura 11 com dados do monitoramento de Abreu *et al.*, (2009). Controle de rompimento de tubulações em setor de topografia acidentada também foi retratado por Silva *et al.*, (2013) em um trabalho da EMBASA para a região metropolitana, assim como nos trabalhos anteriores houve uma redução de 20% no Volume Disponibilizado – VD e de 62% no indicador de perdas.

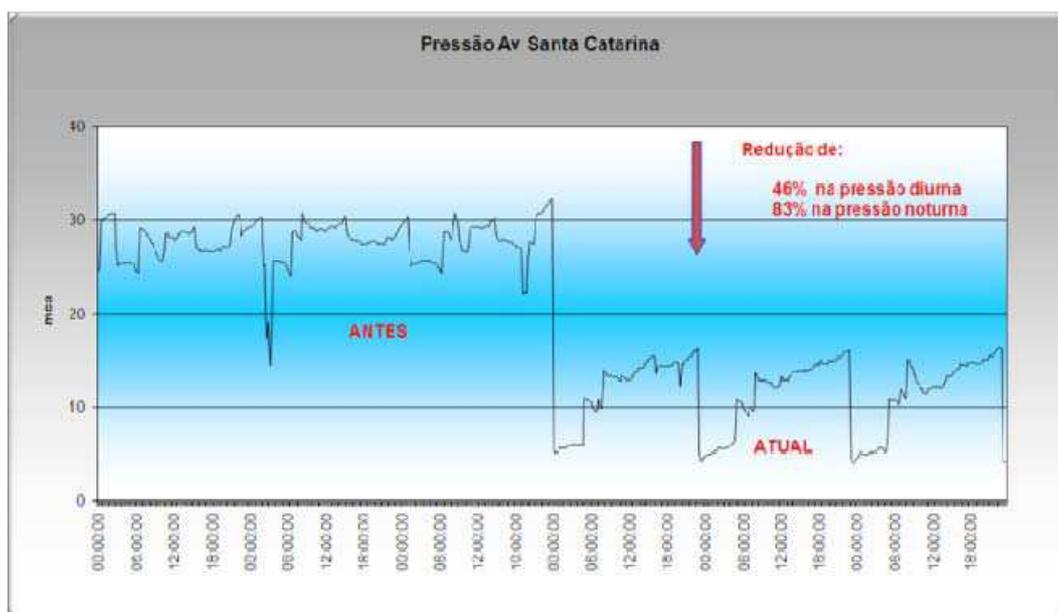


Figura 11: Redução da pressão no ponto alto com a implantação da Zona Alta
Fonte: Abreu *et al.*, (2009).

A instalação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP's) possibilita que a pressão seja estabilizada o que diminui a fadiga das tubulações e proporciona uma redução do número de vazamentos, contribuindo, portanto com a redução das perdas reais do sistema de abastecimento (TSUTIYA, 2006).

A válvula redutora de pressão (VRP) é um dispositivo mecânico que permite reduzir, automaticamente, uma pressão variável de montante a uma pressão estável de jusante. Essas válvulas podem ter um controle previamente regulado, ou seja, garantem uma pressão de jusante pré-estabelecida. É o caso de válvulas com controle mecânico, ou então no caso de válvulas de controle eletrônico. A regulagem da pressão é feita por programas pré-estabelecidos, que permitem um controle de vazões e pressões ao longo do dia (Figura 12).

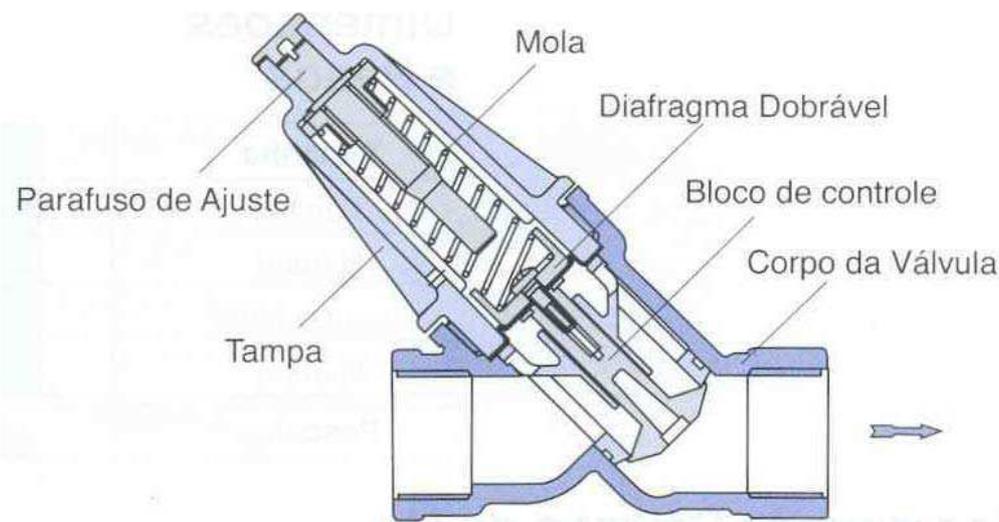


Figura 12: Esquema de válvula redutora de pressão de ação direta.
 Fonte: Guia Prático de Controle de Pressões (2007).

Heimann *et al.*, (2012) e Reshef (2012) discutem a dificuldade das concessionárias na escolha da válvula, principalmente quando se trata de setores complexos, como os de baixa pressão. Os autores destacam que a escolha do tipo de válvula depende de fatores como tamanho do sistema, custos de implantação e manutenção, previsão de economia de água gerada e consequências da redução da pressão para a área. Gimson *et al.*, (2012) tratam do aumento de desempenho das válvulas. Segundo os autores, seguir as recomendações no momento da instalação é fundamental, tais como respeitar os comprimentos de tubulação livre antes e após a VRP, construir e manter o acesso à VRP, visto que exigirá manutenções futuras e possíveis ajustes elétricos, e treinar os operadores responsáveis pela manutenção e operação das válvulas.

É possível quantificar previamente as reduções de perdas esperadas por meio de reduções de pressões e, com isso, avaliar economicamente o retorno dos investimentos a realizar para se atingir os objetivos. Para exemplificar, a instalação de uma válvula redutora de pressão, dimensionada para reduzir as cargas em 60% (por exemplo, de 100 m.c.a para 40 m.c.a), em um setor com perdas conhecidas de 50%, proporcionará uma redução de 37% nas perdas existentes, as quais passarão de 50% para 31,5%, com uma redução efetiva de 18,5% (YOSHIMOTO *et al.*; 1999). O controle de pressão possibilita segundo o autor:

- Reduzir o volume perdido em vazamentos, economizando recursos de água e custos associados;
- Reduzir a frequência de arrebentamentos de tubulações e consequentes danos que têm reparos onerosos, minimizando também as interrupções de fornecimento e os perigos causados ao público usuário de ruas e estradas;
- Prover um serviço com pressões mais estabilizadas ao consumidor, diminuindo a ocorrência de danos às instalações internas dos usuários até a caixa d'água (tubulações, registros e bóias).

Além das altas pressões, outro problema é a oscilação da pressão na rede de distribuição. Esses eventos podem causar fraturas, rupturas e fadiga em tubulações, expulsão de juntas de vedação, flexão e movimentação de tubos.

Antes de dar continuidade é necessário o esclarecimento do conceito de FCI - Fator de Condição de Infraestrutura.

O FCI é um número adimensional que relaciona as menores perdas inerentes de um sistema ao valor de perdas inevitáveis nos padrões estabelecidos pela IWA.

$FCI = \text{Menor perda aparentes} / \text{perda inerente da IWA}$

O fator FCI, a exemplo do N1, também deve ser determinado experimentalmente. A área escolhida deve ser representativa no sistema em estudo. Não deve ter menos que 200 ramais nem mais que 500 e não deve compreender uma área maior que 5 km de rede.

Para se executar este teste, todas as ligações devem ser fechadas, por isso o inconveniente de ser executada em grandes áreas. A área deve estar confinada, e de preferência ser controlada por VRP.

O teste, apesar de parecer relativamente simples, deve ser cercado de todos os cuidados, pois todas as variáveis devem ser controladas.

A IWA define como referência (tabelados) os valores abaixo relacionados, obtidos a uma pressão de 50 m.c.a..

Perdas em redes = 20 litros por km/h;

Perdas em ferrules = 1,25 litros por ramal/h;

Perdas em ramais = 0,50 litros por ramal/h.

Segundo a IWA, quanto mais próximo o FCI = 1 melhor será a rede de distribuição e menores as perdas inerentes. O cálculo do FCI pode ser realizado conforme equação abaixo:

$$FCI = \frac{(Q \text{ teste}) * 24}{((Q_{vre} * 24/1000) * L \text{ rede} * (P/50)N1) + ((Q_{vra} * 24/1000) * N^{\circ} \text{ lig} * (P/50) N1)}$$

Onde,

Q teste = vazão do teste (m³/hora);

Q vre = vazão de vazamentos em rede (valor tabelado IWA);

Q vra = vazão de vazamentos em ramal (valor tabelado IWA);

L rede = comprimento de rede (km);

P = Pressão média na área (m.c.a.);

N1 = conforme teste realizado na área;

Nº lig = (Número de ligações da área).

Esse fator foi objeto de estudo de Costa (2009a) em duas zonas sujeitas a diferentes pressões em SP e controladas por VRP's. As zonas foram geofonadas e pesquisadas com correlacionador de ruídos e os vazamentos não visíveis detectáveis foram corrigidos para assegurar que somente os inerentes seriam objeto de pesquisa. Para a realização do teste todas as ligações foram fechadas e com uma hora de teste verificou-se a perda de 3,81 m³, valor este atribuído aos vazamentos inerentes (não visível e não detectável) e um FCI de 7,53. Na segunda zona o valor da perda inerente foi de 0,960 m³/h e um FCI de 12,79. Os valores encontrados estão bem acima dos preconizados pela IWA, que devem estar próximos de um (1). O autor relata ainda a importância do indicador como ferramenta de referência para a tomada de decisões. Segundo o mesmo, quando os vazamentos são detectados e reparados deve ser realizado um constante acompanhamento da área, principalmente quando a infraestrutura em questão já está comprometida – caso do artigo em questão. Para essas regiões é bem comum, segundo o autor, que ocorram novos vazamentos em um curto espaço

de tempo devido ao aumento das pressões estáticas na área causado pela diminuição da vazão que antes era consumida pelos vazamentos. Ainda segundo o autor, o controle efetivo neste caso é crucial e deve-se a um eficiente sistema de macromedições, sem o qual pode haver demora no retorno dos dados e uma conseqüente perda considerável de água.

Os pesquisadores Guimarães *et al.*, (2009) da concessionária estadual mineira COPASA, avaliaram o impacto de ações para o controle de pressão na distribuição de água de Ribeirão das Neves, Região Metropolitana de Belo Horizonte, onde foram avaliados 179 km de rede e 15,6 mil ligações de água.

Os autores avaliaram o Fator de Pesquisa – FP obtido pela relação entre a vazão mínima noturna e a vazão média diária. Segundo Favero e Dib (1981) este fator é sempre menor ou igual a 1 e quanto maior o seu valor, maior será o potencial de vazamentos de uma área. De forma geral, se FP for maior que 0,30, o setor em estudo contém vazamentos economicamente detectáveis.

Também foi utilizado pelos autores o indicador de vazamentos na infraestrutura, calculado pela relação entre as perdas reais que ocorrem no sistema e as perdas mínimas inevitáveis que deveriam ocorrer nesse sistema. Expressa, dessa forma, o quanto um determinado sistema está próximo ou distante de uma possível condição ideal da sua infraestrutura. Cabe ressaltar que segundo Gonçalves e Alvim (2007) tal metodologia não está padronizada para uso no Brasil.

Os resultados obtidos com as ações realizadas podem ser observados na Tabela 3, na qual os autores listam as cinco zonas avaliadas e os indicadores de pressão, quantidade de vazamentos, índice de infraestrutura e o fator de pesquisa.

Tabela 3: Resultados obtidos com a aplicação da metodologia para o controle de perdas.

ZA	ZP	INDICADORES											
		PRESSÃO MÉDIA (m.c.a.)			QUANTIDADE DE VAZAMENTO (un/mês)			ÍNDICE DE VAZ. NA INFRA-ESTRUT. (vaz/km)			FATOR DE PESQUISA		
		antes	depois	% red	antes	depois	% red	antes	depois	% red	antes	depois	% red
12	01	125	45	64	59	10	83,0	2,05	0,65	68,3	-	0,22	-
	02	74	54	27	21	13	38,0	1,96	1,21	38,3	-	0,17	-
	03	66	46	30,3	36	17	52,7	1,05	0,49	53,3	-	0,31	-
	04	81	42	48,2	92	35	61,9	1,15	0,42	63,5	-	0,39	-
	05	107	43	59,8	43	26	39,5	1,29	0,74	42,6	0,45	0,26	42,2
	TOTAL				251	101	60,0	7,50	3,51	53,0			

Fonte: Guimarães *et al.*, (2009).

Os autores consideraram os resultados satisfatórios, destacando a redução da pressão nas zonas de pesquisa a patamares abaixo de 54 m.c.a., a obtenção do FP menor ou igual a 0,30 na maioria das zonas e a redução observada no índice de vazamentos de infraestrutura.

Em um trabalho que faz uma grande reflexão sobre as perdas reais no Brasil, Gomes *et al.*, (2007) buscam compreender mecanismos que condicionam as perdas e assim contribuir para um melhor esclarecimento do assunto e para uma gestão mais eficiente. Em um balanço histórico do controle de perdas no país os autores remetem à década de 80, período em que a ênfase era dada ao controle de vazamentos. Nessa época objetivava-se desenvolver meios para o combate rápido de vazamentos aparentes. O erro observado pelos autores é que na época havia um grande descomprometimento com o controle de pressões na rede. Tal ênfase ao controle de pressões só foi dado na década de 90, período em que o assunto foi mais estudado no mundo todo.

Os autores sugerem uma releitura da NBR 12218/94 da ABNT - “Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público” no que tange aos valores de pressões estáticas e dinâmicas nas redes. O item 5.4.1 “A pressão estática máxima nas tubulações

distribuidoras deve ser de 500 kPa, e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa” passaria a ser lido “*A pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser a menor possível e nunca superior a 500 kPa, e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa*”. Para os autores esta redação daria maior ênfase à importância do controle de pressões na redução das perdas reais. Tal influência pode ser observada pelo gráfico da Figura 13, nos resultados dos trabalhos já citados e na pesquisa seguinte realizada por Anecchini *et al.*, (2007) .

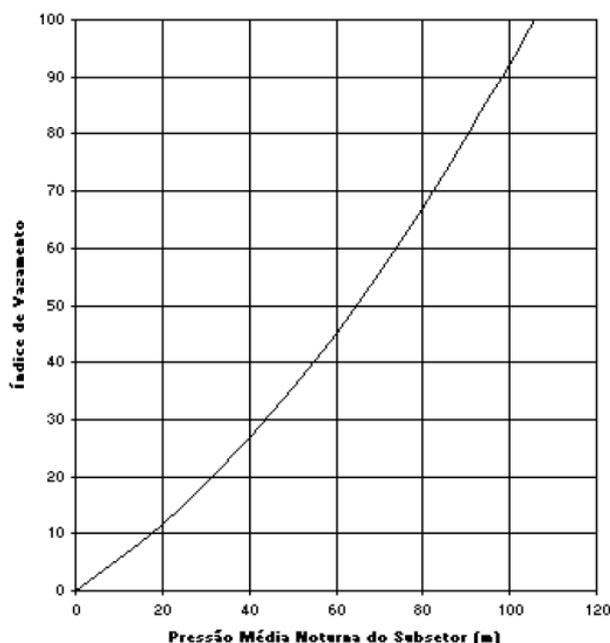


Figura 13: Relação entre pressão na rede e perdas no sistema.
Fonte: Yoshimoto *et al.*, (1999) - DTA – D1

Buscando o controle de pressões na Região Metropolitana de Vitória - ES com vista à diminuição das perdas de água da concessionária do Espírito Santo - CESAN em trabalho realizado pelos pesquisadores Anecchini *et al.*, (2007) foi apresentado o comportamento de setores controlados por VRP's. Segundo os autores a instalação de VRP's em alguns setores possibilitou a recuperação de 1.112,28 m³/dia. O resultado das ações pode ser observado no gráfico da Figura 14.

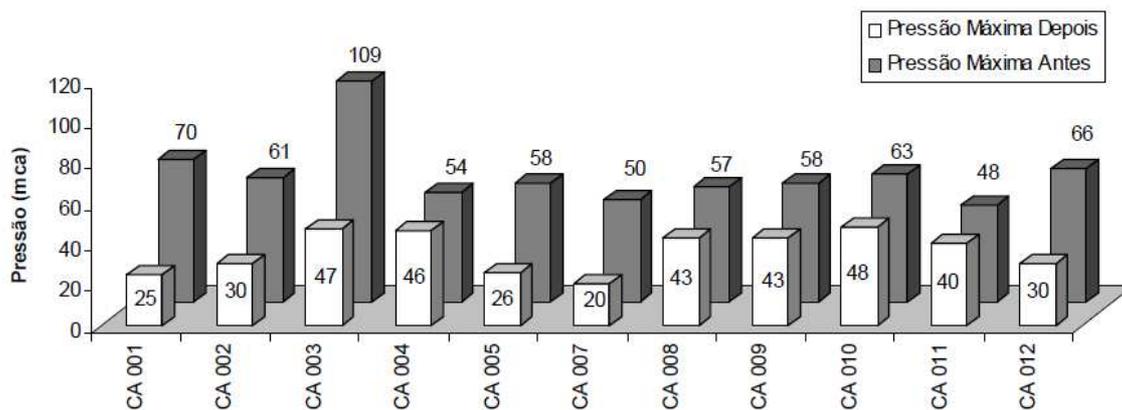


Figura 14: Pressões máximas antes e após a operação das VRP's no município de Cariacica para os diferentes setores avaliados.

Fonte: Anecchini *et al.*, (2007).

Busca ativa por vazamentos

Buscando controlar os sistemas de abastecimento e diminuir as perdas em Unidade de Negócios da SABESP, Freitas e Gonzalez (2009); Oliveira *et al.*, (2011); Prisiaznij *et al.*, (2009); Soares *et al.*, (2012) utilizaram a metodologia da busca ativa de vazamentos para definir os setores onde posteriormente seriam instaladas as VRPs com foco na redução de perdas e estabilização dos sistemas. Segundo Sturm e Kunkel (2012) a maioria dos serviços públicos de abastecimento de água no mundo inteiro emprega somente o controle reativo, reparando apenas os vazamentos relatados. Enquanto os vazamentos não-visíveis continuam a crescer.

A solução para tal fato é a metodologia para o controle ativo de vazamentos - pesquisa de vazamentos não-visíveis realizada através de métodos acústicos de detecção. O controle ativo se opõe ao controle passivo, que consiste na atividade de reparar os vazamentos apenas quando se tornam visíveis. O princípio básico da detecção acústica é ouvir o ruído do vazamento. Para isso são utilizados, principalmente, equipamentos como:

- Haste de escuta: composto de um amplificador mecânico ou eletrônico, acoplado a uma barra metálica (Figura 15), destinada a captar ruídos de vazamentos em acessórios da rede de distribuição de água como cavaletes, registros, hidrantes dentre outros. A haste não localiza o vazamento, apenas indica a existência de um nas proximidades;



Figura 15: Haste de Escuta Mecânica.

Fonte: Gonçalves e Alvim (2007).

- Geofone: pode ser eletrônico ou mecânico. O geofone eletrônico (Figura 16) é um detector acústico de vazamentos composto de sensor, amplificador, fones de ouvido e filtros de ruídos, destinado a identificar os ruídos de vazamentos a partir da superfície do solo ou em contato com acessórios da rede. Identificam os ruídos e as vibrações produzidos pelos líquidos pressurizados que escampam da tubulação por algum tipo de avaria;

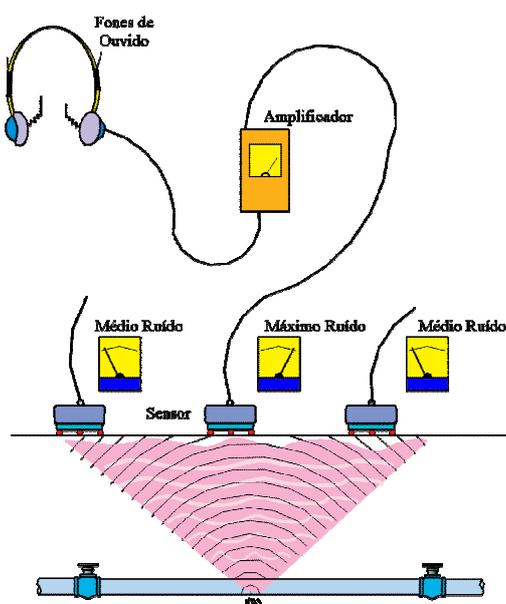


Figura 16: Geofone.

Fonte: Tsutiya (2006).

- Correlacionador de ruídos: trata-se de um equipamento acústico, composto de uma unidade processadora, de um pré-amplificador e de sensores (Figura 17), e serve para identificar a posição do vazamento entre dois pontos determinados de uma tubulação. Via rádio ou outra conexão os sensores transmitem os ruídos para um processador central que faz a correlação dos ruídos e que consegue calcular com uma precisão de poucos centímetros o local exato dos vazamentos. Esse equipamento é mais sofisticado, sendo normalmente utilizado para encontrar vazamentos em trechos onde o uso do geofone é difícil ou para confirmar algum apontamento do geofone.

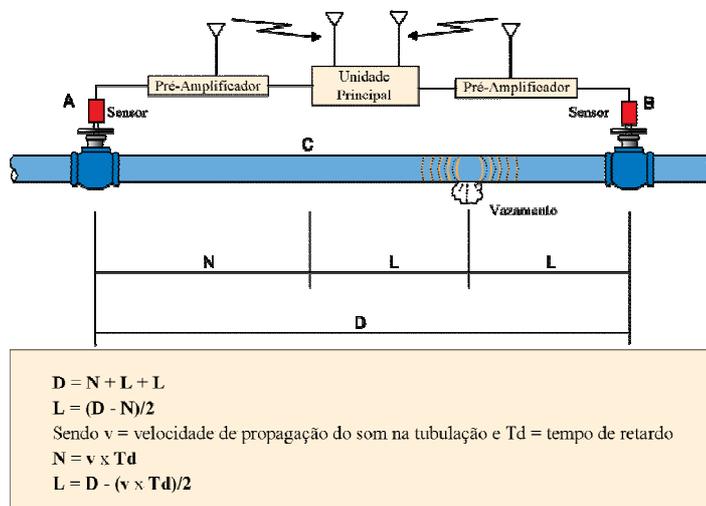


Figura 17: Correlacionador de ruídos.
 Fonte: Tsutiya (2006).

Freitas e Gonzalez (2009); Prisiaznij *et al.*, (2009) e Oliveira *et al.*, (2011) utilizaram o geofonamento. Os autores buscavam, dentre diversos objetivos, a redução de VD e a diminuição dos indicadores de perdas de água. Pelos gráficos das Figuras 18 e 19 pode-se verificar que a diminuição de VD alcançada com a busca ativa foi mantida com instalação da VRP e os indicadores de perdas de água (L/lig./dia) alcançaram patamares menores aos observados antes da pesquisa em todas as áreas avaliadas, respectivamente.

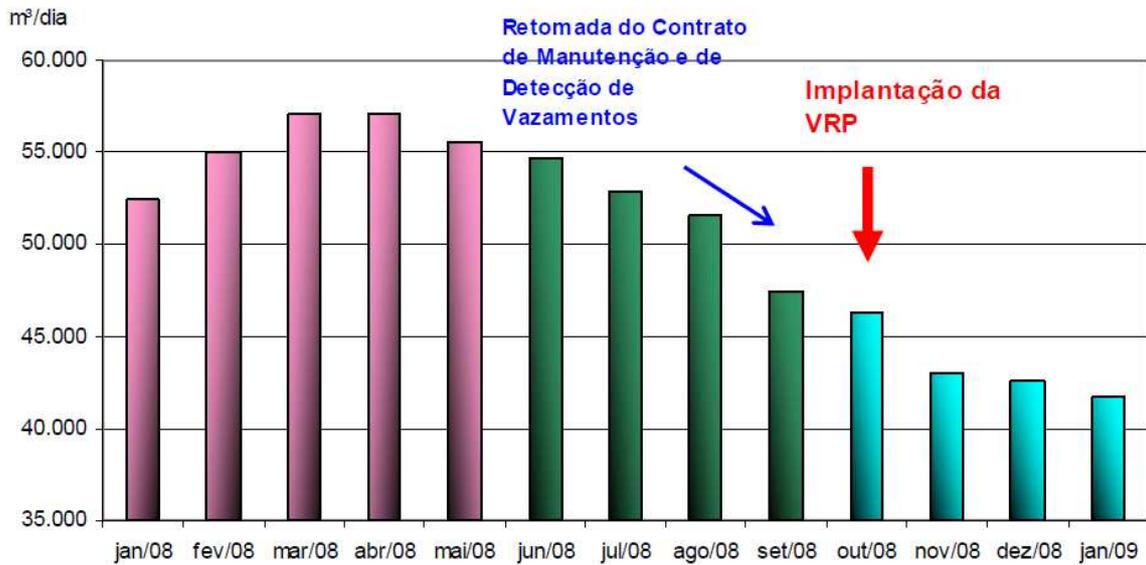


Figura 18: Perfil de VD após a instalação da VRP Pedro Osório Filho.
 Fonte: Freitas e Gonzalez (2009).

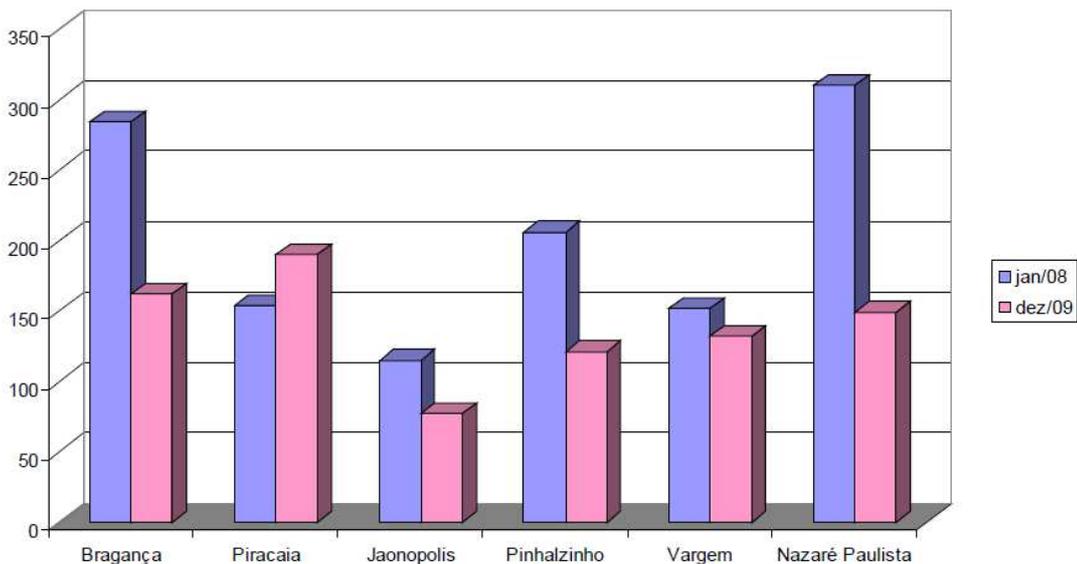


Figura 19: Decaimento nos valores do índice de perdas.
 Fonte: Oliveira *et al.*, (2011).

Soares *et al.*, (2012) relatam experiências da concessionária com a terceirização da manutenção de redes. A concessionária viu seu histórico de melhorias em controle de perdas ser comprometido pela ineficiência da empresa contratada, notadamente no ano de 2010 conforme Figuras 20 e 21.

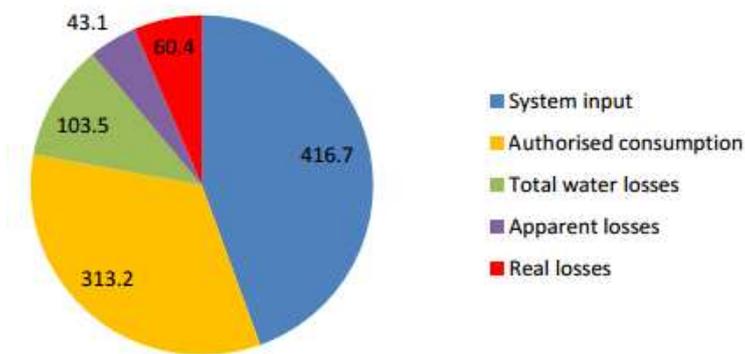


Figura 20: Balanço hídrico da empresa para o ano de 2009, com destaque para as perdas.

Fonte: Soares *et al.*, (2012).

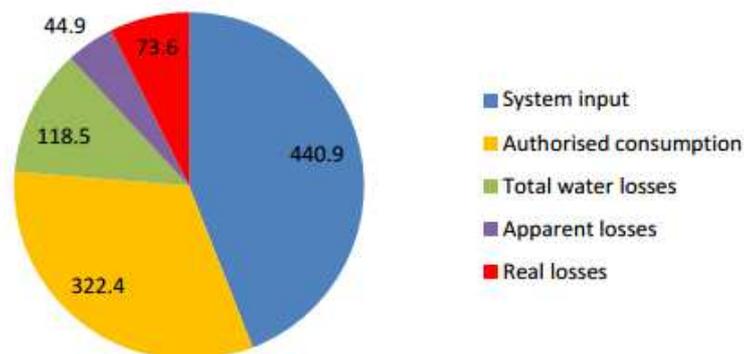


Figura 21: Balanço hídrico da empresa para o ano de 2010, com destaque para as perdas.

Fonte: Soares *et al.*, (2012).

Os autores procuram alertar outras concessionárias sobre a questão de contratação de mão de obra terceirizada para executar serviços de operação e manutenção.

A busca ativa por vazamentos invisíveis e detectáveis também foi objeto de estudo de Morelato (2011) nas adutoras do sistema produtor do Alto Tietê. O autor utilizou o sistema de busca acústica – SAHARA (Figura 22).

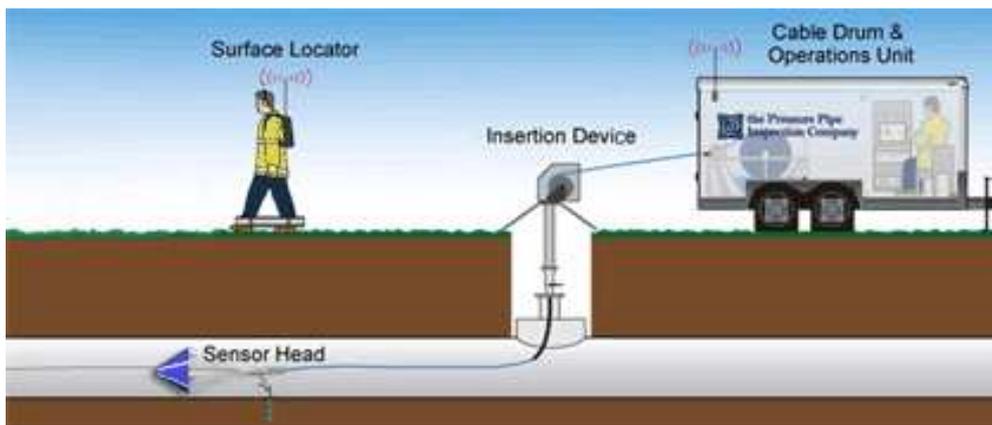


Figura 22: Método de inspeção SAHARA.

Fonte: Morelato, (2011).

Trata-se de um dispositivo acústico que capta o som produzido pelo vazamento e o transmite à base de operação. Enquanto o sensor caminha dentro da tubulação, a base de operação é transportada por um operador na superfície, que se desloca ao mesmo passo e na mesma direção do sensor. Quando o vazamento é detectado pelo sensor, o operador demarca na superfície o exato ponto para posterior intervenção física no terreno.

O autor faz uma minuciosa descrição da Tecnologia acústica de detecção de vazamentos – SAHARA, que consiste de:

- Um dispositivo acústico que capta o som produzido no interior da tubulação e o transmite à base de operações através de um cabo condutor;
- Uma base de operação que abriga o tambor do cabo condutor e um sistema de recepção e processamento do sinal enviado pelo sensor acústico;
- Um emissor de ultrabaixa frequência transportado por um operador que acompanha da superfície o deslocamento do sensor no interior da adutora.

A base de operações é constituída por um veículo tipo furgão ou *trailer* que abriga em seu interior, além do tambor do cabo condutor, equipamentos para recepção e processamento dos sinais emitidos pelo sensor.

O sensor acústico é instalado na ponta de um cabo condutor, que fica conectado ao equipamento receptor na base operacional, sendo deslocado por um paraquedas preso a sua extremidade, que se abre no interior da adutora, criando uma força de arraste no sentido da

vazão. Este parâmetro varia de diâmetro conforme as variáveis de pressão, vazão e diâmetro da tubulação. É necessária a verificação dos pontos de acesso para a inserção do senso.

Na base operacional tanto o sinal sonoro é recebido quanto a reprodução visual é mostrada em um monitor. A variação de ambos, áudio e reprodução visual, pressupõe o vazamento. A tecnologia permite a detecção de vazamentos de até um litro por hora. A vantagem do equipamento é a possibilidade de realizar o estudo com a adutora em carga, sem prejuízo ao abastecimento local. Após um ano de aplicação da tecnologia na região, foram detectados diversos vazamentos e o volume de água tratada que deixou de ser perdida nesse período foi de 371.179 m³.

Costa e Freitas (2011) utilizaram hastes de escuta para solucionar vazamentos de água em ramais prediais, que segundo Tsutyia (2006) são um ponto frágil do sistema com cerca de 36% das ocorrências de vazamento. Na maioria das concessionárias os vazamentos em ramais são solucionados de forma corretiva com o reparo dos vazamentos, como foi proposto por Costa e Freitas (2011), porém parte dessa água ainda continua sendo perdida mesmo após os reparos - tratam-se das perdas inerentes. Visando minimizar tal problemática Melato e Carvalho (2007) propuseram a troca preventiva de ramais na Região Metropolitana de São Paulo, cuja ocorrência de perdas neste ponto do sistema chega a 50%. As trocas foram realizadas em áreas com e sem cobertura de VRP – Válvulas Redutoras de Pressão e os ganhos com o procedimento foram avaliados por meio das vazões mínimas noturnas. Mesmo com o alto custo embutido na ação de troca os autores verificaram que os resultados foram muito positivos. Houve uma recuperação de 13,2 L/h/ramal em áreas com VRP e 29,2 L/h/ramal em áreas sem VRP, comprovando a ação da pressão na vazão do vazamento conforme postulado por diversos trabalhos já citados. Os autores acreditam que com a troca preventiva até mesmo os vazamentos inerentes são contemplados, visto que em um dos setores a vazão mínima noturna foi zerada. Mesmo com a demonstração de um resultado positivo, poucas são as companhias que investem tempo e dinheiro em tal tipo de ação. Isso se justifica pelo fato de ser um procedimento caro e que necessita de deslocamento de mão de obra e equipamentos. Para a maioria das concessionárias, infelizmente, as melhores soluções ainda são as corretivas, mesmo não sendo efetivas.

Nos trabalhos de Welsch *et al.*, (2011) e (FONTES *et al.*, 2009) desenvolvidos, respectivamente na SABESP e EMBASA, o controle e redução de perdas levou em conta a análise das vazões mínimas noturnas – método *bottom-up*.

O método consiste na medição da variação dos consumos no sistema ao longo do dia. O valor externo superior (pico) de consumo ocorre costumeiramente entre 12 e 14h, e o mínimo entre 3 e 4h da madrugada. A vazão deste horário da madrugada é denominada vazão mínima noturna. Tal vazão é importante no estudo de perdas, visto que no horário a maioria dos consumidores está dormindo e os reservatórios cheios, assim uma parcela significativa da vazão nesse horário corresponde às vazões de vazamentos (GONÇALVES; ALVIN, 2007). O gráfico da Figura 23 auxilia no melhor entendimento das parcelas que compõem as vazões mínimas noturnas.

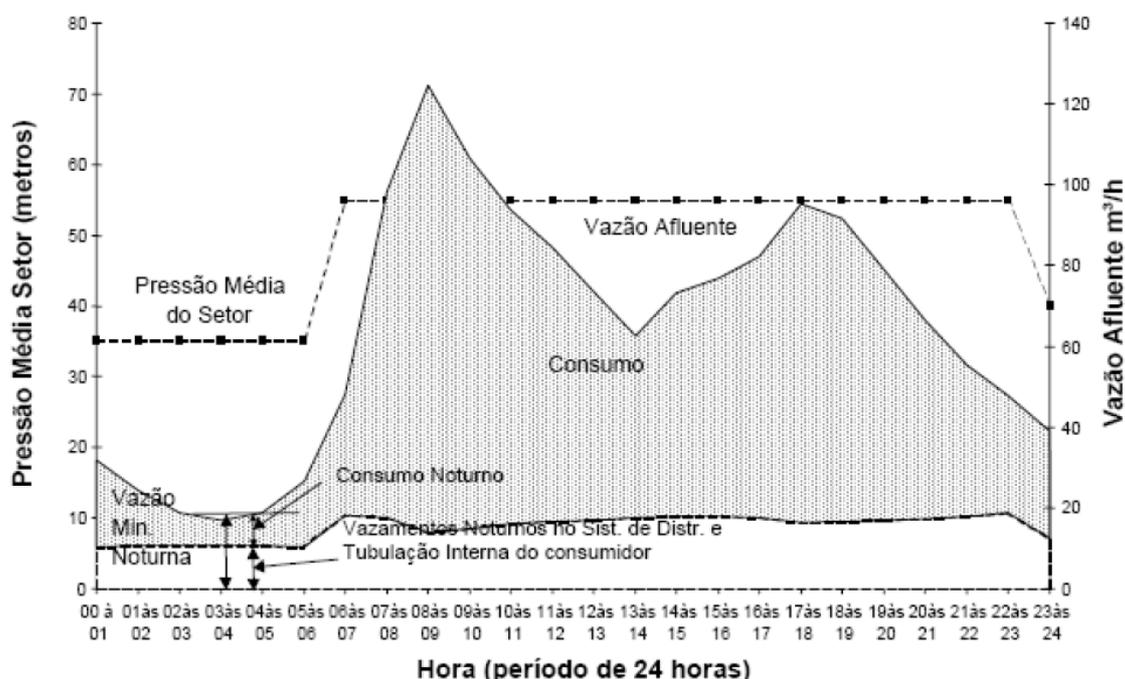


Figura 23: componentes da vazão mínima noturna.

Fonte: Lambert e Thornton (2002).

Pela Figura 23 observa-se que os consumos pós-hidrômetro compreendem os usos noturnos de água, como consumo residencial, não-residencial e perdas internas às residências ou comércios e indústrias. Já as perdas até o hidrômetro compreendem os três tipos de vazamentos. O estudo das perdas noturnas destaca-se na avaliação de perdas por ser confiável e proporcionar conhecimento das condições operacionais. Demanda porém custos com equipe e equipamento.

Um exemplo de controle de perdas de água premiado nacional e internacionalmente foi o trabalho realizado por MARUNGA *et al.*; 2006 na cidade de Khayelitsha na África do Sul, local de alta demanda e grande escassez de água. Com a busca noturna de vazamentos os pesquisadores verificaram haver uma perda/desperdício da ordem de 70 a 80% da água. A

solução proposta foi o gerenciamento das pressões, como resultado houve uma economia anual de 9 milhões de m³ de água e o consumo diário foi reduzido de 2.500 m³/h para 1.500 m³/h.

Também pela verificação da vazão noturna Welsch *et al.*, (2011) e Fontes *et al.*, (2009) delimitaram zonas de pressão para a instalação de VRPs e os resultados dos trabalhos podem ser observados pelos gráficos da Figuras 24 e 25.

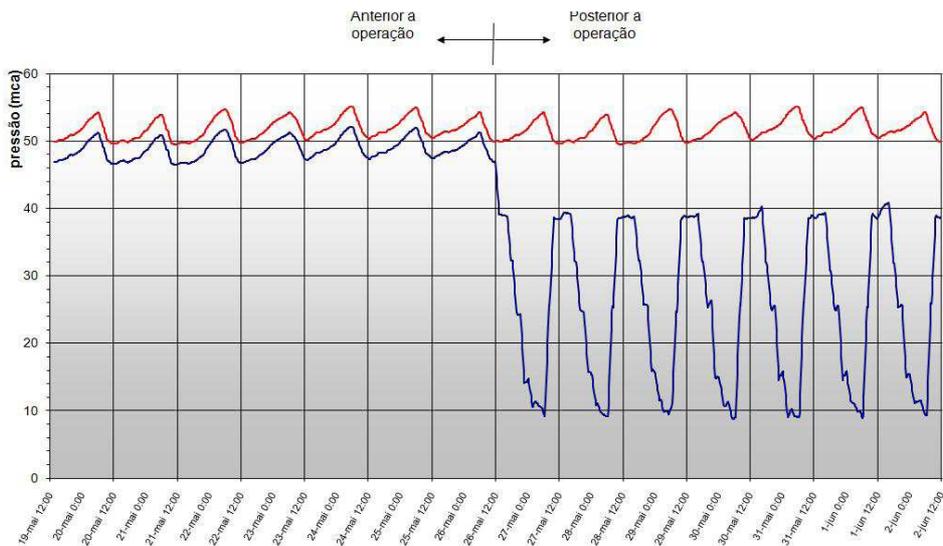


Figura 24: Gráfico de pressões no DMC – Distrito de Medição e Controle de pressões. Fonte: Welsch *et al.*, (2011).

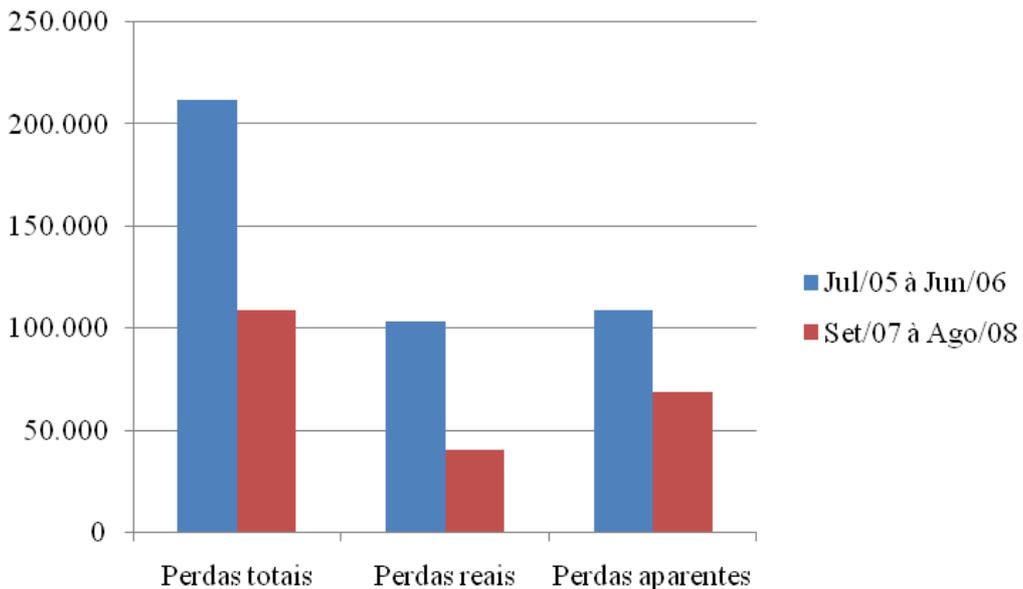


Figura 25: Perdas totais em m³/ano. Fonte: Fontes *et al.*, (2009).

Em sistemas de abastecimento, grande parte das perdas de água ocorre devido a problemas nos tubos de distribuição. Esses problemas podem ocorrer devido às pressões internas e externas, pelas avarias provocadas pela ação da corrosão e outros fatores. Segundo Babovic *et al.*, (2002) os riscos de ruptura em tubos do sistema de abastecimento depende de fatores que são difíceis de caracterizar, visto que são sistemas enterrados e sob influência de forças altamente imprevisíveis. De acordo com pesquisa realizada por Marcka (2004) e Tsutiya (2006), a maior quantidade de ocorrências de perdas é registrada nos ramais prediais (70 a 90%) enquanto o maior volume perdido deve-se à distribuição, corroborando a informação dada por Babovic *et al.*, (2002) em seus estudos.

Devido aos elevados patamares de ocorrência de vazamentos observados nos ramais prediais, o Instituto de Pesquisas Técnicas (IPT) apresentou um projeto de aprimoramento dos ramais prediais construídos em Polietileno de Alta Densidade (PEAD). Rocha *et al.*, (2001) ressaltam que nesse projeto os ramais são considerados como sistemas e não apenas como simples tubos de PEAD. A pesquisa foi desenvolvida devido aos resultados de outros trabalhos realizados no instituto em 1993, que identificaram as falhas nos ramais como causa de 95% dos vazamentos ocorridos na rede de distribuição de água, sendo 80% desse total vazamentos em ramais de PEAD. Segundo a mesma pesquisa de Rocha *et al.*, (2001), os vazamentos verificados ocorriam em 62% dos casos no ferrule, em 49% dos casos no próprio tubo e em 46% dos casos no registro. Além disso, verificou-se que a maior parte dos ramais apresentava mais de um tipo de falha. Foi realizada uma campanha para levantamento de falhas no campo e estudo das causas das mesmas. O resultado comprovou as seguintes causas possíveis: má fabricação do tubo, torque excessivo aplicado ao adaptador, sobrepressões excessivas, deslocamento e vibrações do solo ao redor da instalação, falta ou danificação do anel vedante e má qualidade dos materiais de forma geral.

Complementando o trabalho desenvolvido no IPT, Barreto e Rocha (2009) desenvolveram um dispositivo para quantificar os volumes perdidos em cada uma das falhas que são verificadas em redes, ramais e cavaletes. Os autores propõem que o dispositivo possa ser utilizado pelos operadores no momento do reparo e, com isso, formar um banco de dados com as vazões e falhas mais tipicamente observadas nos sistemas. Trata-se de um projeto muito próximo ao desenvolvido nesta tese, que teve como objetivo mensurar volumes perdidos decorrentes de falhas na rede e nos cavaletes sob influência de diferentes patamares de pressão (PERTEL *et al.*, 2011).

Os dispositivos fabricados a partir de tubos e conexões de PVC possuem princípio de funcionamento baseado em um vertedouro, no qual a partir de uma carga hidráulica sobre uma seção de controle pode-se estabelecer a vazão. Foram realizadas calibrações e testes em laboratório e utilizados dois tipos de bocais de encaixe para vazamentos de diferentes proporções. Os trabalhos de campo permitiram chegar aos valores da Figura 26.

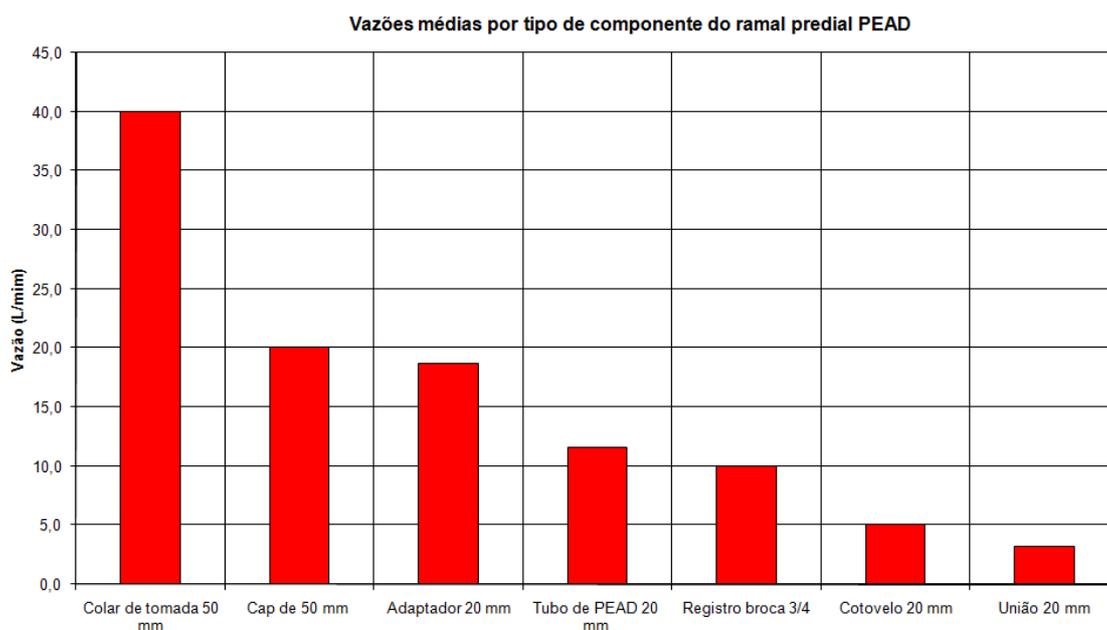


Figura 26: Vazões médias dos escoamentos por tipo de componente.
Fonte: Barreto e Rocha (2009).

O resultado final observado pelos autores foi a constatação de que o dispositivo representou um passo importante para mensurar os volumes perdidos, além da possibilidade de tipificá-los pelas falhas do sistema ou de seus componentes.

Coefficiente de perdas: NI

Embora as estatísticas sobre as falhas em sistema de abastecimento variem de uma cidade para outra, segundo Rajani *et al.*, (1996) em torno de 70% das falhas devem-se a furos circulares e 30% a falhas longitudinais nos tubos de abastecimento. Tais furos são definidos por Porto (2006) como aberturas de perímetro fechado, realizadas nas paredes de condutos, através dos quais um líquido escoar em virtude de sua energia potencial e/ou cinética. Essa definição é corroborada pela equação dos pequenos orifícios proveniente da aplicação do Teorema de Bernoulli ($V = C_d \times (2gh)^{1/2}$) e da Equação da Continuidade ($Q = A \times V$),

assumindo para a carga hidráulica h o valor da pressão na tubulação P . Dessa forma, tem-se a influência da pressão na vazão dos vazamentos com a seguinte expressão:

$$Q = C_d A (2gP)^{1/2}$$

Onde,

Q = vazão do vazamento (m^3/h);

C_d = coeficiente de descarga adimensional;

A = área do orifício (m^2);

g a aceleração da gravidade (m/s^2) e;

P a pressão estática (m.c.a.).

Dependendo do material que constitui a rede, pode haver diferenças na vazão dos vazamentos em função da pressão. Segundo estudos de Conejo *et al.*, (1999) foi verificado que tubos plásticos sofrem uma deformação na área de escape do fluido com a elevação da pressão, o que provoca uma ampliação de área e conseqüente aumento do volume de vazamento. Sabe-se, também, que os orifícios causados por corrosão variam de tamanho em função da pressão a que estão submetidos e em função do material das tubulações (LAMBERT e THORNTON, 2002). Assim, o fluxo da fuga depende do tipo de defeito e do material do tubo.

Para solucionar tal problema, May (1994) introduziu o conceito: “*Fixed and Variable Area Discharge Paths – FAVAD*” utilizado para avaliar a relação entre pressão e vazão de tubulações de água pressurizadas. Segundo tal conceito, há tubulações cuja área do vazamento é pouco sensível às variações de pressão e possuem uma superfície fixa ($N1 = 0,5$) e outras cujas áreas variam com a pressão e resultam em valores de $N1$ diferenciados ($0,5 \leq N1 \leq 2,5$). Os diversos valores de $N1$, para diferentes materiais, são apresentados por Thornton (2003) no gráfico da Figura 27. Tais conceitos podem ser mais bem explicados por meio do modelo de FAVAD, tratada por Thornton (2003) como a equação das melhores práticas e calculada da seguinte forma:

$$Q_2 = Q_1 * (P_2/P_1)^{N1}$$

Onde,

Q_2 = Vazão de vazamento após a mudança de pressão;

Q_1 = Vazão de vazamento antes da mudança de pressão;

P_2 = Pressão após da mudança de pressão;

P_1 = Pressão antes da mudança da pressão;

$n = 0,5$ para furos em tubos rígidos;

$n = 2,5$ para furos em tubos flexíveis; e

$n = 1,15$ na média geral da rede de distribuição.

Nas condições gerais da rede de distribuição, uma pressão 10% menor implica em uma redução de 11,5% nas vazões dos vazamentos.

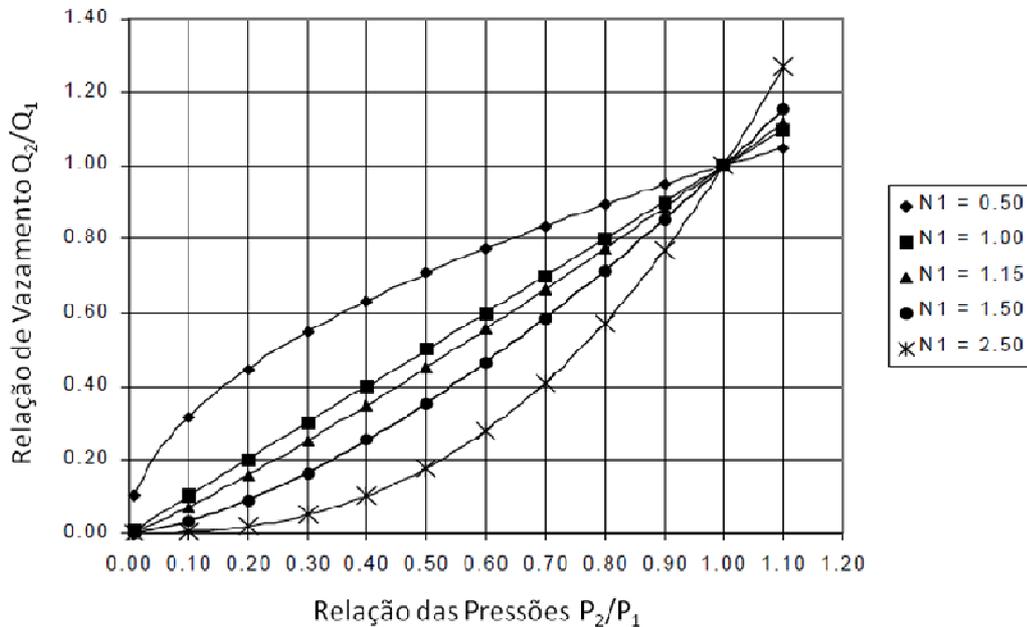


Figura 27: Relação entre pressões e vazamentos.

Fonte: Thornton (2003).

Segundo a Figura 27 pode-se observar que o valor de $N1$ varia de acordo com o tipo de material da tubulação. Tubos pouco sensíveis à variação de pressão, como os de ferro e aço

apresentam um coeficiente de 0,5. O valor de coeficiente de 1,15 é comumente utilizado em sistemas que misturam diversos tipos de materiais na rede, tais como ferro fundido, aço, PVC, PEAD e outros. Para redes de distribuição cujos tubos são predominantemente flexíveis, tais como PVC e PEAD o valor característico de N_1 é 1,5. Em redes cuja tubulação seja flexível e predominem rupturas devido a cortes longitudinais, o valor de N_1 é 2,5. Neste caso a área do orifício é muito sensível à variação de pressão na rede (GOMES, 2011).

Em todo o mundo vários estudos foram realizados para testar a influência da pressão na vazão dos vazamentos em diferentes materiais (Tabela 4). Segundo Lambert (2000), de 1980 a 1996 foram obtidos, no Japão e no Reino Unido, expoentes para tubos de metal entre 0,36 e 0,70 com uma média em torno de 0,50 e para tubos de plástico os expoentes ficaram entre 1,39 e 1,72, com média de 1,5. Em outro estudo realizado por Ávila e Saldarriaga (2004), tubos de PVC foram usados para analisar falhas longitudinais, relacionado-as com o diâmetro dos tubos e a pressão na rede.

Tabela 4: Faixas de valores do expoente N_1 .

País	Número de áreas testadas	Faixas dos Expoentes N_1	Média dos Expoentes N_1
Reino Unido (1970)	17	0.7 – 1.68	1.13
Japão (1979)	20	0.63 – 2.12	1.15
Brasil (1998)	13	0.52 – 2.79	1.15
Reino Unido (2003)	75	0.36 – 2.95	1.01
Chipre (2005)	15	0.64 – 2.83	1.47
Brasil (2006)	17	0.73 – 2.42	1.40
Total	157	0.36 – 2.95	1.14

Fonte: Thorton *et al.*, (2008); Farley e Trow (2003).

Segundo estudos de Van Zyl (2004) e Van Zyl e Clayton (2007) há quatro componentes que concorrem para haver tal gama de expoentes de vazamentos observados em sistemas de abastecimento de água, a saber: material dos tubos, hidráulica do vazamento, hidráulica do solo e demanda de água pelos consumidores. Segundo os autores, o material dos tubos seria o principal componente a ser levado em consideração.

A influência da pressão na vazão dos vazamentos também foi constatada em uma série de trabalhos por Cassa (2005), Cassa *et al.*, (2010), Cassa e Van Zyl (2012), Cassa e Van Zyl (2013), na cidade de Johannesburgo na África do Sul. Os autores justificam os trabalhos pelo fato da África do Sul ser um país com escassez de água; logo, a gestão dos recursos hídricos pode beneficiar um grande número de pessoas que não têm acesso à água de qualidade. Os estudos se concentraram no comportamento dos materiais de tubulações do sistema de abastecimento com algum tipo de avaria, submetidos a diferentes condições de pressão, com o objetivo de obter informações sobre a influência das tensões internas na vazão do vazamento e no completo arrebentamento do tubo.

Para encontrar a relação da pressão na tubulação e o comportamento das aberturas de escape de água para os diferentes tipos de avarias testadas – orifícios circulares, cortes circunferenciais e longitudinais, os autores utilizaram modelagem numérica tridimensional: método de análise de elementos finitos, por meio de um *software* de livre acesso para estudantes de mestrado e doutorado ABAQUS®.

O *Abaqus* permite a modelagem do comportamento dos materiais comumente utilizados em engenharia. Foram utilizados tubos de PVC, aço, ferro fundido e fibrocimento nos testes. Segundo Cassa e Van Zyl (2013), sabe-se que a pressão é um dos principais elementos que influencia na vazão dos vazamentos, porém os efeitos que a pressão exerce sobre a taxa de água que escapa em um vazamento ainda não é bem entendido. Por esse motivo os autores concentraram seus estudos em tais efeitos.

As simulações foram executadas com três diferentes faixas de pressão - 20, 40 e 60 m.c.a. com o objetivo de encontrar uma relação entre a área da avaria e a pressão do tubo. Esses testes foram feitos para dois diferentes estados de tensão: com as tensões longitudinais calculadas e com as tensões longitudinais iguais a zero. Tais estados de estresse foram denominados tensão bi-axial e tensão uni-axial, respectivamente. A tensão bi-axial é calculada segundo Gere (2001¹ Apud Cassa *et al.*, 2010) da seguinte forma:

$$\sigma = Pr / 2t$$

¹ Gere, J. M., *Mechanics of Materials*, 5th ed., Brooks/Cole, United States, 2001.

Onde,

σ = tensão longitudinal;

P = pressão interna do tubo;

r = raio interno do tubo;

t = espessura da parede do tubo.

Tubos com orifícios circulares, cortes circunferenciais e longitudinais foram modelados para determinar o comportamento das tensões, deformações e deslocamentos que ocorrem em torno dessas avarias. Os orifícios circulares possuem diâmetros variando entre 4 e 12 mm e os cortes possuem largura de 1 mm e comprimento variando entre 10 e 60 mm. Esquemas das simulações de todas as três avarias, demonstrando a orientação da tensão ao longo do tubo e sua influência na deformação da avaria, podem ser observados nas Figuras de 28 a 33.

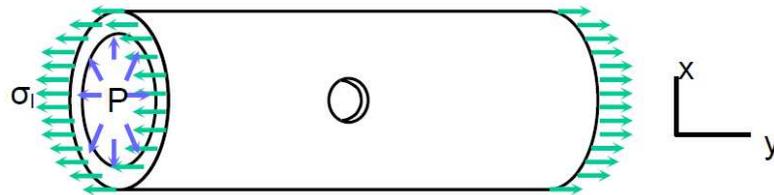


Figura 28: Tensões em um tubo com avaria tipo orifício circular.
Fonte: Cassa *et al.*, (2010).

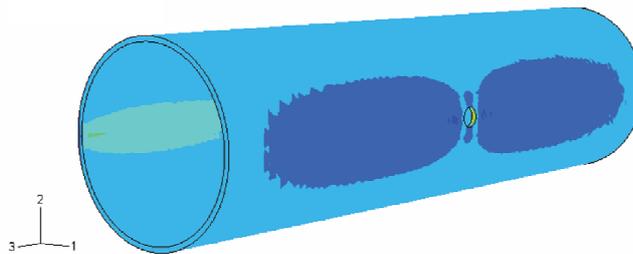


Figura 29: Influência da pressão na vazão do vazamento de um tubo de PVC – Simulação computacional demonstrando a influência das tensões.
Fonte: Adaptado de Cassa (2005).

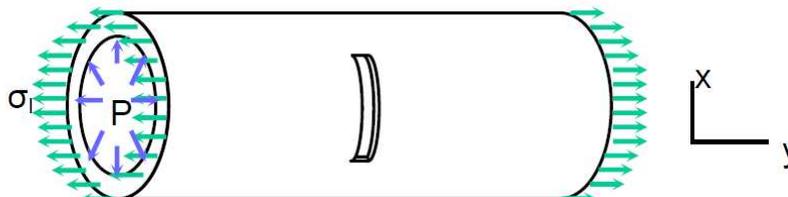


Figura 30: Tensões em um tubo com avaria tipo corte circunferencial.
Fonte: Cassa *et al.*, (2010).

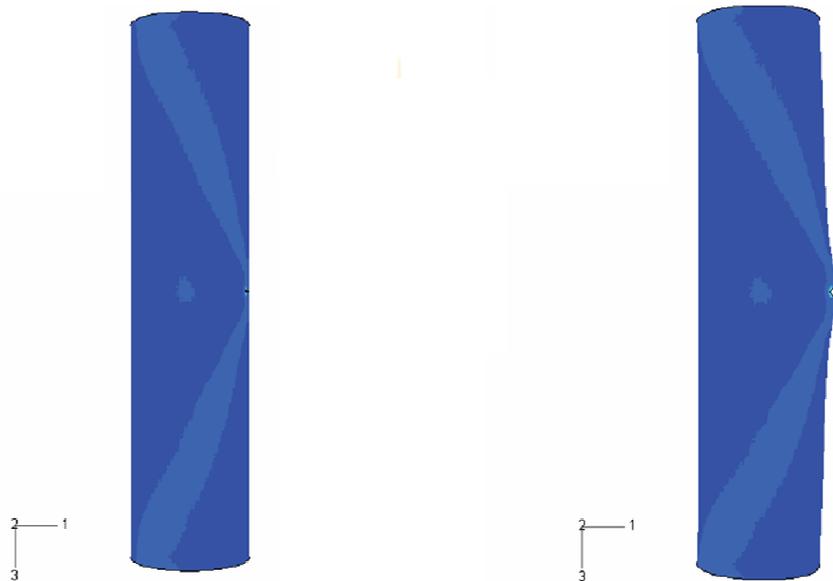


Figura 31: Distribuição da pressão ao longo de uma fenda circunferencial e posterior deformação do corte.
 Fonte: Adaptado de Cassa (2005).

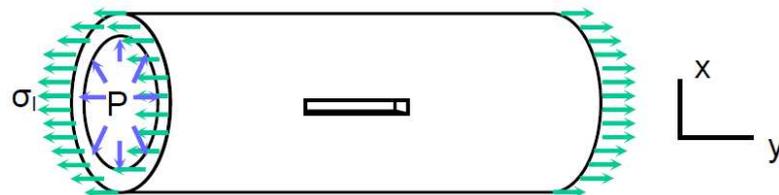


Figura 32: Tensões em um tubo com avaria tipo corte longitudinal.
 Fonte: Cassa *et al.*, (2010).

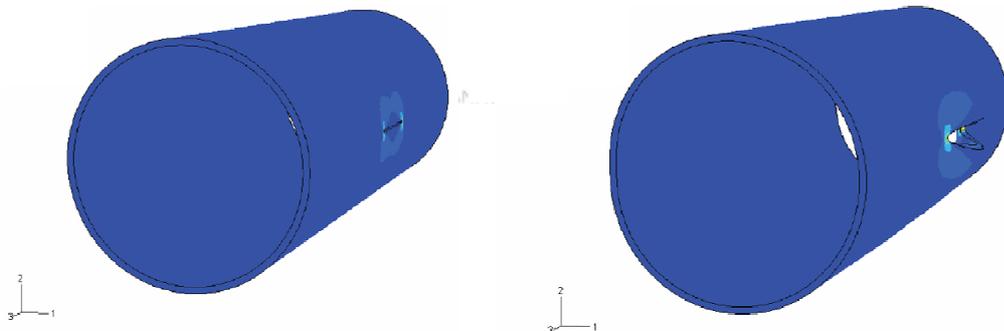


Figura 33: Distribuição da pressão ao longo de uma fenda longitudinal e posterior deformação do corte.
 Fonte: Adaptado de Cassa (2005).

Os resultados desses estudos indicaram que furos de formato arredondado mostraram uma menor expansão com o aumento da pressão, seguidos dos cortes circunferenciais e longitudinais. Foi observado também que as áreas de todos os tipos de vazamento aumentaram linearmente com a pressão. O trabalho mostrou que o expoente N_1 utilizado na equação de pequenos orifícios pode ser diferente do valor teórico de 0,5 usualmente

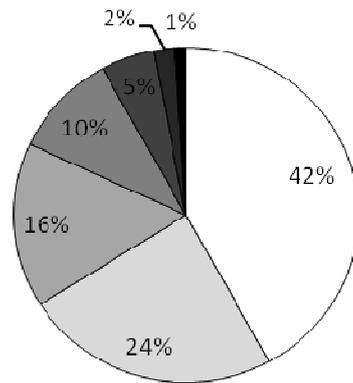
empregado nos cálculos de perdas. Os autores comprovaram com tal resultado que o efeito da pressão na vazão dos vazamentos pode ser mais significativo do que era imaginado até então.

Para os furos, Cassa *et al.*, (2010) observaram que não houve diferença significativa entre as tensões uni e bi-axiais, sendo que os expoentes (N1) ficaram todos muito próximos ao valor teórico de 0,5. Houve um pequeno aumento do expoente com o aumento do diâmetro do furo, com certas diferenças de comportamento entre os diferentes materiais. O maior valor observado foi de 0,5 para o tubo de PVC com 12 mm de diâmetro.

No caso dos cortes circunferenciais os autores concluíram que há diferenças entre os ensaios uni-axial e bi-axial. Concluíram com tais resultados que para o ensaio uni-axial o tubo tende a manter o corte fechado e assim há um menor vazamento. Com a atuação das forças de tensão (bi-axial) o oposto ocorre, visto que nesse caso há uma maior área de superfície para as tensões agirem e para manter o corte aberto. Foi observado um aumento do expoente com o aumento do corte para o caso bi-axial, e sua diminuição no uni-axial, com valores do expoente para tubos de PVC de aproximadamente 1,2 e 0,45 respectivamente, para cortes de 60 mm de comprimento. Assim como nos furos para os cortes longitudinais, os autores não notaram diferenças significativas entre os dois casos de estresse. Foi observado que o expoente aumenta com o aumento do comprimento dos cortes, alcançando valores próximos a 0,85 para os tubos de PVC e aço para cortes de 60 mm de comprimento.

O trabalho mostra como os expoentes de perdas em redes de abastecimento podem ser diferentes do expoente teórico de 0,5 e a razão mais importante para tal comportamento é que as áreas de vazamentos são função do aumento da pressão. Isso significa que a vazão do vazamento é mais sensível à pressão do que se acreditava anteriormente e tem implicações significativas para a gestão de perdas de água (CASSA e VAN ZYL, 2013).

Na tentativa de prever os arrebentamentos da rede de abastecimento devido às avarias dos tubos, Babovic *et al.*, (2002) propuseram uma avançada pesquisa de dados de arrebentamento em redes resultantes de diversos motivos associados à pressão na rede, a saber: idade da rede, diâmetro, material, tipo de solo, temperatura e tráfego, conforme Figura 34. O objetivo foi determinar modelos de riscos confiáveis e contribuir para a gestão de ativos das companhias, por meio de planejamento do sistema e substituição de trechos antes que os arrebentamentos aconteçam, garantindo assim uma melhor gestão do sistema.



□ Corrosão □ Fundação ■ Conexões ■ Material ■ Trafego ■ Clima ■ Escavações

Figura 34: Causas de arrebentamento de tubulações.

Fonte: Babovic *et al.*, (2002)

Merecem destaque também os trabalhos dos pesquisadores: Farley (2001), sobre controle e gerenciamento de perdas; Alegre *et al.*, (2005) que trata do controle de perdas em sistemas públicos de adução e distribuição; Lambert *et al.*, (2005), desenvolvem estudo sobre a influência da pressão nos vazamentos de água; Thornton *et al.*, (2005), sobre controle de perda de água, dentre outros.

2.2.3 A Busca pela Eficiência Hidráulica e Energética no Controle de Perdas

Nas pesquisas sobre eficiência hidráulica e energética para o saneamento merecem destaque as ações da ELETROBRÁS por meio das chamadas públicas do PROCEL SANEAR. O programa foi instituído pela ELETROBRAS em 2003 e atua de forma conjunta com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), vinculada ao Ministério das Cidades, e em parceria com o Ministério de Minas e Energia, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da ELETROBRAS (CEPEL ELETROBRAS) - que desempenha papel importante no âmbito técnico do programa, a Fundação Nacional da Saúde (FUNASA) do Ministério da Saúde, a ASSEMAE - Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento e a CAIXA, para ampliar a abrangência do programa.

O programa tem como seus principais objetivos:

- Promover ações que visem ao uso eficiente de energia elétrica e água em sistemas de saneamento ambiental, incluindo os consumidores finais;

- Incentivar o uso eficiente dos recursos hídricos, como estratégia de prevenção à escassez de água destinada à geração hidroelétrica;
- Contribuir para a universalização dos serviços de saneamento ambiental, com menores custos para a sociedade.

A parcela que cabe ao PROCEL SANEAR no ano de 2011 representou 2,3% do consumo faturado de energia elétrica do país segundo a EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Figura 35). Se comparado com os outros setores, verifica-se que o saneamento é a menor parcela. Porém, é importante ressaltar que a eficiência no saneamento implica em ganhos para todos os outros setores.

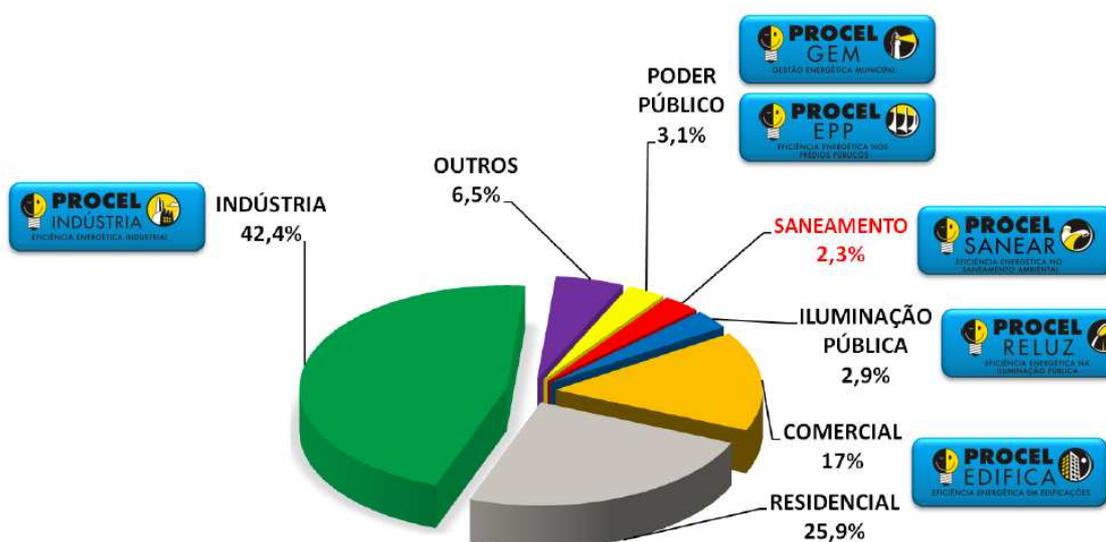


Figura 35: Setorização do consumo de energia elétrica em 2011.
Fonte: Duarte (2012).

No âmbito das chamadas públicas realizadas pelo PROCEL SANEAR merecem destaque diversas pesquisas realizadas pelas concessionárias do Brasil.

Nessa mesma temática de conservação de água e energia, os trabalhos de Barreto *et al.*, (2007a), Bueno *et al.*, (2007), Gomes e Moraes (2007a), Menezes *et al.*, (2007), contemplaram a adoção de diversas medidas operacionais como instalação de macromedidores, VRP, substituição de conjuntos motobomba, ampliação da reservação, substituição de redes e ramais, setorização por zonas de pressão, padronização de ligações, troca e manutenção de hidrômetros, pesquisa de vazamentos em rede e ramais, pesquisa por

perdas aparentes e recadastramento. Bueno *et al.*, (2007) adotaram ainda a automação dos controles.

Pela observação dos valores de perdas de água e energia apresentados por Barreto *et al.*, (2007a) pode-se verificar a importância da adoção de medidas de controle de perdas de água e energia no setor (Figura 36).

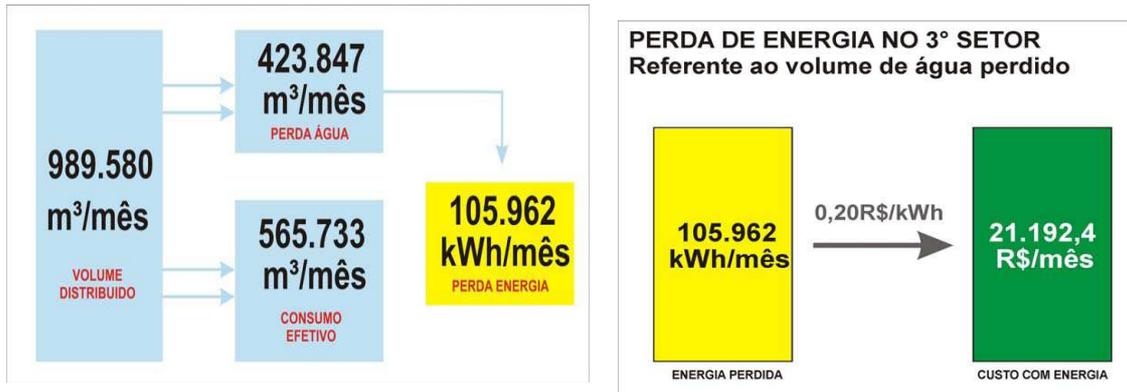


Figura 36: Figura: Perda média mensal de energia elétrica no 3º setor de abastecimento de água da região avaliada.

Fonte: Barreto *et al.*, (2007a).

Segundo os autores, o grande objetivo desses projetos foi relacionar o tema principal - controle de perdas e uso eficiente da energia, com a capacidade de gestão das companhias, fazendo com que tais controles se tornassem parte inerente das rotinas de operação. Um exemplo dessa forma de gestão integrada pode ser visualizado no esquema da Figura 37 desenvolvido por Gomes e Moraes (2007a), visando facilitar a compreensão dos operadores, padronizar a linguagem e facilitar a interpretação dos conceitos.

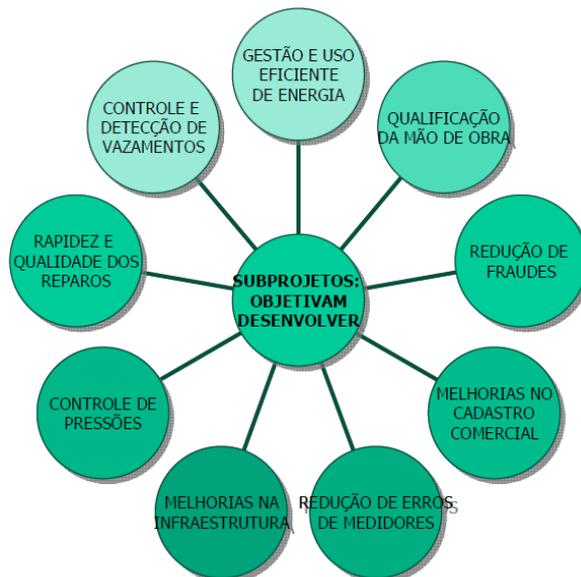


Figura 37: Figura: Componentes intervenientes nos processos de controle e redução de perdas reais e aparentes e uso eficiente de energia elétrica.
 Fonte: Gomes e Moraes (2007a).

Os autores avaliaram que a simples mudança de postura do corpo técnico das companhias participantes já foi um bom resultado para o combate às perdas. Enquanto na gestão energética, apenas as medidas administrativas foram responsáveis por economias da ordem de R\$ 3 milhões/ano para as concessionárias participantes. Barros *et al.*, (2009) com projeto semelhante desenvolvido na SABESP alcançaram uma economia de 207 L/lig./dia de água e de 27.226 KWh de energia elétrica. Os autores também sinalizaram as muitas dificuldades encontradas, como estabelecimento de metodologias, monitoramento e controle de energia e água.

Ainda no enfoque que o PROCEL SANEAR desempenha no âmbito de pesquisas voltadas para eficiência hidráulica e energética no saneamento, Barreto *et al.*, (2007b) destacam a importância dos Laboratórios de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), para dar suporte a essas pesquisas. Em seu artigo os autores apresentam em detalhes a concepção desses laboratórios que se destinam, preferencialmente, à formação ou especialização de profissionais que desempenham funções na busca por eficiência hidráulica e energética nos sistemas de saneamento e ao desenvolvimento de tecnologias operacionais e modelagens para o controle de tais perdas. O recurso para a instalação e ou ampliação desses

centros de excelência vêm da ELETROBRÁS e do Fundo de Desenvolvimento Tecnológico (FDT).

Os autores iniciam o artigo com um panorama sobre a proposta inicial dos LENHS. Para a concepção inicial de todos os LENHS adotou-se a proposta “Bancada Padrão”, apresentada pela UFMG que consiste na utilização de equipamentos fixos com a finalidade de simulação, aplicação em treinamento e pesquisa de práticas de eficiência energética e controle e redução de perdas de água em sistemas públicos de abastecimento. No entanto, no decorrer das pesquisas verificou-se que cada instituição possui suas particularidades, como áreas já construídas e disponibilidade de espaço, fazendo com que uma proposta fixa fosse difícil de ser cumprida. Foi decidido que projetos específicos seriam adotados para cada instituição, sendo que tais projetos deveriam garantir as funcionalidades necessárias para os estudos de eficiência que são os objetivos dos LENHS, a saber:

- Simulação de operação de redes de abastecimento;
- Simulação de perdas por diferentes tipos de vazamentos;
- Controle da pressão pelo uso de inversores de frequência nos conjuntos de bombeamento;
- Monitoramento de grandezas hidráulicas e elétricas;
- Telemetria e telecomando em sistemas;
- Operação de reservatórios;
- Levantamento de curvas características de conjuntos e sistemas de bombeamento;
- Utilização de diferentes tipos de VRP para controle de pressão;
- Utilização de equipamentos para monitoramento e melhoria da qualidade de energia (bancos de capacitores e filtros de harmônicos);
- Possibilidade de fazer comparação entre equipamentos convencionais e de alto rendimento.

A decisão por adotar uma flexibilidade maior na especificação da montagem dos laboratórios proporcionou uma maior autonomia às instituições de ensino - foi a chamada “Bancada de Funcionalidades Padronizada”. Os LENHS representam um grande avanço do país em termos de pesquisa de eficiência no setor de saneamento, pois tais pesquisas proporcionam um grande avanço nos meios acadêmico e técnico, devido ao intercâmbio de informações e aos consequentes incrementos de tecnologias para o setor.

Uma metodologia para reabilitação de redes de abastecimento foi proposta por Gomes *et al.*, (2013) para alguns bairros da cidade de Maceió, visando a redução das perdas de água no sistema. Tal metodologia é resultado de estudos desenvolvidos no LENHS UFPB (<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/>). Os autores procederam inicialmente com uma modelagem hidráulica da rede utilizando o EPANET 2.0 definido por Rossman (2000), e posteriormente sua calibração com o LenhsCalibra. A modelagem foi realizada com dados de macro e micromedição cedidos pela Companhia de Saneamento Estadual de Alagoas (CASAL). Os autores concluíram o trabalho ressaltando a eficiência do LenhsCalibra e do custo reduzido para reabilitar o sistema com o uso da metodologia descrita. É oportuno ressaltar que pesquisadores do LENHS/UFPB foram responsáveis pela tradução do programa e do manual do EPANET para o português. Além disso, iniciaram os cursos de treinamento para uso do modelador hidráulico pelas concessionárias juntamente com o LENHS/UFMS.

Em outro trabalho desenvolvido no âmbito do LENHS/UFPB pelos pesquisadores Bezerra *et al.*, (2009) foi desenvolvido um sistema *fuzzy* para o controle piezométrico da distribuição de água. O sistema *fuzzy* atua controlando válvulas e conversores de frequência acoplados a conjuntos moto-bomba. Os objetivos principais são redução do consumo de água e energia, diminuição nos custos de manutenção e aumento do grau de confiabilidade dos procedimentos. Na bancada experimental onde foram desenvolvidos os diversos testes de controle, os autores testaram uma forma de monitorar o volume de água perdido em ramais devido a um suposto vazamento e verificaram uma considerável redução de até 75% da vazão do vazamento quando o controle *fuzzy* está ativo no sistema. De forma geral, os autores concluíram que o controlador pode ser uma ferramenta muito útil para a otimização da operação de sistemas de distribuição de água, contribuindo para a redução do consumo e das perdas de água e energia.

O modelador hidráulico EPANET é utilizado por diversas concessionárias no Brasil e no mundo, com o intuito de aperfeiçoar os sistemas de abastecimento de água. Exemplos disso

são os trabalhos de Spavier *et al.*, (2009) na Região Metropolitana de Vitória, Souza *et al.*, (2009) pela COPASA e Itonaga e Koide (2005) em Brasília.

O grande objetivo dos autores foi priorizar ações, recursos físicos e financeiros para as melhorias. Realizou-se a modelagem hidráulica na qual as pressões modeladas e observadas foram comparadas, os setores problemáticos foram definidos e as ações priorizadas de forma mais rápida. Segundo os autores, o estudo e planejamento de ações antes da intervenção são fundamentais para a obtenção dos melhores resultados e buscam demonstrar a importância da ferramenta de modelagem de sistemas hidráulicos, verificando dificuldades e limitações, além da potencialidade de uso da ferramenta. Segundo Itonaga e Koide (2005), a modelagem hidráulica é rotineiramente utilizada fora do Brasil, sobretudo na Espanha, Inglaterra e Estados Unidos. No Brasil, porém, ainda é utilizada em caráter de pesquisa.

Ainda no âmbito da busca de eficiência nos sistemas de abastecimento a Concessionária de Santa Catarina (CASAN), por meio do trabalho de Raulino *et al.*, (2009), e a SANEPAR, com Silva e Mikowski (2005), utilizaram o *software Water CAD - Water Distribution Modeling and Management*. A metodologia proposta pelos autores baseia-se em um estudo dividido em seis etapas, a saber:

- Modelagem das áreas de abastecimento (*Water CAD*);
- Calibração do modelo;
- Avaliação e alteração de rotinas operacionais;
- Medições de pressão em campo;
- Acompanhamento de reclamações de clientes;
- Avaliação e alteração de contrato de energia.

A conclusão dos autores é muito próxima de outras já observadas, mas é oportuno salientar, a importância dada pelos autores à necessidade de um constante acompanhamento e reavaliação dos sistemas implantados devido ao dinamismo do entorno - variações de temperatura, umidade, crescimento populacional, dentre tantas outras situações. Os autores alertam ainda para a necessidade do efetivo comprometimento de toda a equipe envolvida na operação do sistema para que as decisões sejam tomadas em sintonia e com as mesmas estratégias.

Associado a isso Pompermayer (1996) acrescenta que somado a todas as pesquisas operacionais e as modelagens de sistemas é importante conhecer e quantificar a influência de indicadores socioeconômicos e demográficos, para facilitar a implantação de um programa ou medida de conservação de água e energia. Caso esses fatores sejam desconsiderados na fase de planejamento, o programa pode inevitavelmente chegar a fracassar. Segundo o autor, mesmo que a conservação de água não refletisse em impacto direto na conservação de energia elétrica, o simples fato de se usar a água de modo mais racional despertaria interesse pela prática do uso racional e preservação de outros recursos como eletricidade, por exemplo. Além disso, grande parte dos esforços necessários à implementação de um programa de conservação de água são também, na maioria dos casos, requisitos para um bom programa de conservação de energia. Desse modo, a relação custo/benefício de um programa de conservação que considere esses dois ou mais recursos pode ser melhor para uma companhia.

2.2.4 Uso de Ferramentas de Gestão Visando o Controle de Perdas Reais e Aparentes

O mesmo grau de importância que as ações operacionais têm para o controle de perdas pode ser atribuído às ações de gestão, realizadas através do acompanhamento das ações, coleta de informações e dados, indicadores e outros. Para potencializar as ações de gestão é recomendável a aplicação de métodos de melhoria global contínua como a ISO 9001 - que versa sobre gestão da qualidade, além do ciclo do PDCA que também nasceu no escopo da tecnologia *TQC – Total Quality Control* como uma ferramenta que melhor representa o ciclo de gerenciamento de uma atividade. O PDCA é composto por um conjunto de ações em sequência dada pela ordem estabelecida pelas letras em inglês P (*Plan – Planejar*); D (*Do – Fazer*); C (*Check – Verificar*) e A (*Act – Agir corretivamente*), segundo as definições de Deming (1990).

O sucesso de um programa de controle e redução de perdas, no escopo da qualidade total, está diretamente vinculado ao conhecimento e participação de todos os agentes responsáveis dentro da companhia de saneamento (TARDELLI FILHO, 2004).

Os trabalhos de Bastos e Chicchi (2007), Gomes *et al.*, (2007), Melato (2007), Silva *et al.*, (2009) e Wesch *et al.*, (2009) corroboram a afirmação de Tardelli Filho (2004), ressaltando que o comprometimento e envolvimento de todos tornam-se fundamentais para o sucesso de

qualquer plano de ação e acrescentam que o controle de perdas é um processo que exige a continuidade das ações e o envolvimento de diversos setores dentro da companhia, para que se torne uma rotina inerente à estrutura de operação e manutenção e não como uma tarefa especializada que resolve problemas pontuais. Tais trabalhos buscaram, além do controle de perdas reais, o controle de perdas aparentes. A SABESP, por meio das pesquisas de Bastos e Chicchi (2007), desenvolveu o trabalho em áreas periurbanas de Santo André (SP) escolhidas por apresentarem excessiva inadimplência (80%) e elevados índices de perdas de água (64%). Além de toda a pesquisa de melhorias de sistema, o projeto incluiu a educação ambiental que, segundo os autores, auxiliou na aceitação das propostas de mudanças e na formação de uma população mais consciente e criteriosa quanto aos usos da água. O mesmo foco de pesquisa foi apresentado por Silva *et al.*, (2009) no setor de abastecimento Iracema, Osasco e Morumbi (SP).

Menezes e Reis (2009), também abordaram a redução de perdas em comunidades periurbanas, no caso de Salvador, região abastecida pela EMBASA. Foi realizado um trabalho de conscientização para uso racional da água e busca por fraudes no sistema. Houve o procedimento de geofonamento e busca por vazamentos na região. Ao final do processo houve uma redução no volume de perdas de 824 para 526 L/lig./dia. Já a pesquisa de Welsch *et al.*, (2009), também pela SABESP, pautou-se em análise e revisão cadastral como forma de controlar as perdas aparentes e conseqüentemente as perdas no faturamento.

As perdas aparentes correspondem à parte dos volumes de água não faturados, ou seja, a água que é consumida pelo usuário e não é faturada pela concessionária. Tais perdas podem ser provenientes de ligações clandestinas, problemas no cadastro e erros de medição. Segundo Marcka (2004) essas perdas são expressivas e podem representar mais de 50% do percentual de água não faturada. A outra parcela de água não faturada deve-se aos consumos autorizados, porém não faturados.

De acordo com estudos da SABESP (2004) e corroborando a afirmação de Marcka (2004) do volume total de perdas (34,1%) na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), as perdas aparentes correspondem a 17,5%. Melhorias na gestão comercial e a manutenção preventiva do parque de hidrômetros poderiam reduzir sensivelmente as perdas aparentes. O resultado seria uma maior arrecadação, que poderia ser revertida em melhoria na qualidade dos serviços prestados pela concessionária.

Ações de combate às perdas aparentes podem ser visualizadas na Figura 38, a saber: macromedição, gestão comercial e micromedição.

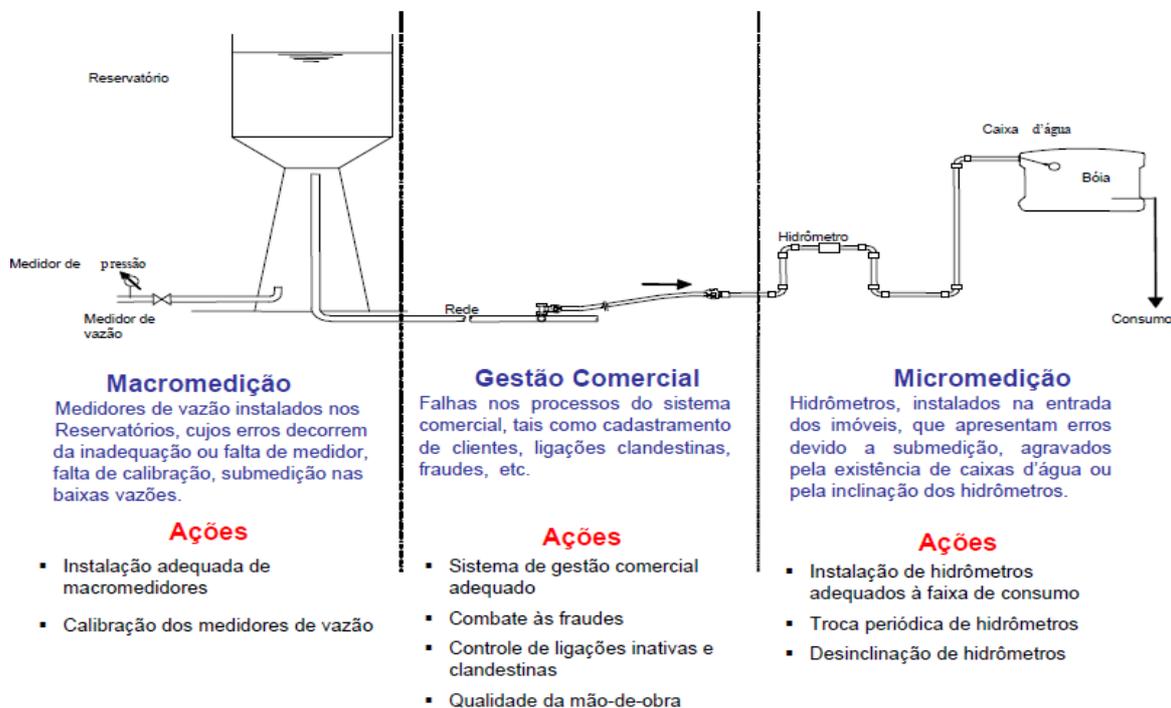


Figura 38: Ações de controle para perdas aparentes.

Fonte: Tsutiya (2006).

A parcela relativa à água não faturada foi objeto de estudo de Liu *et al.*, (2012) na cidade de Pequim. Os pesquisadores verificaram que vazamentos e imprecisão dos medidores são os principais fatores que fazem crescer a percentagem de água não faturada. Segundo os mesmos, o Grupo Águas de Pequim pretende investir nos próximos cinco anos boa parte de seus recursos no controle ativo de vazamentos, manutenção do parque de hidrômetros, reforma de redes e cadastramento de consumidores, especialmente os grandes consumidores – entre os quais os pesquisadores encontraram o maior número de irregularidades.

A Companhia de Água de Manila também analisa a água não faturada e busca separar os percentuais de perdas reais e aparentes. O cálculo de água não faturada é realizado pela diferença entre o volume que entra no sistema e o volume faturado. Os autores Macatula e Pineda (2012) consideraram para seu trabalho que água não faturada é igual a água perdida, até mesmo o consumo autorizado, não faturado, medido ou não medido. Tal consideração contraria os critérios da IWA, que considera como perda apenas o consumo não autorizado.

Do valor de perdas totais os autores subtraíram o valor encontrado para perdas reais e obtiveram que 15% da água não faturada deve-se a perdas aparentes.

O uso da micromedição como uma ferramenta para inibir o desperdício foi o objetivo do trabalho desenvolvido no sistema de abastecimento de água da Ilha do Mosqueiro – PA pelos pesquisadores Anjos *et al.*, (2013). Segundo os autores, a região sofreu com problemas de instalação e manutenção do parque de hidrômetros durante anos, fato que pode ser observado pelos baixos índices de hidromedidação e micromedição, respectivamente 18% e 11,5%.

O projeto em questão previa uma reestruturação do sistema como um todo, com instalação de macromedidores munidos de *data-logger*, reabilitação de unidades operacionais, atualização cadastral e instalação de hidrômetros para compor o novo parque. As condições antes do projeto e durante os quatro anos de sua duração podem ser visualizadas na Tabela 5.

Tabela 5: Análise comparativa de dados e indicadores na região de estudo.

DADOS E INDICADORES	ANTES DO PROJETO	DO DEPOIS DO PROJETO			
	2004	2005	2006	2007	2008
Incremento de Ligações Ativas (Nº) - %	0,00	3,53	11,82	16,53	20,21
Incremento de Faturamento (R\$) - %	0,00	11,51	24,17	4,07	4,83
Índice de água não faturada (Vol.) - %	71,75	66,35	48,45	55,41	56,12
Índice de Hidromedidação – Ligações ativas (Nº) - %	18,00	24,74	80,77	76,65	75,73
Índice de Micromedição - %	11,56	22,50	54,68	66,34	62,80
Volume de Água Disponibilizado para Economia (m³/Econ/mês)	74,9	63,9	39,9	35,8	35,0
Consumo de água médio per capita (L/hab/dia)	426,7	389,3	261,0	256,3	255,9

Fonte: Adaptado de Anjos *et al.*, (2013).

Seguindo a mesma linha de controle do desempenho de hidrômetros, gestão do parque de medidores, políticas de medição e leitura e faturamento de água que NIELSEN *et al.*; 2003abc desenvolveu três projetos. Os autores procuram demonstrar nos três artigos que são

complementares, a importância do correto dimensionamento, escolha e manutenção do parque de hidrômetros. Tais preocupações proporcionam uma correta leitura dos volumes consumidos pelos usuários e uma diminuição das perdas por faturamento da companhia. Os autores demonstram a necessidade de se estabelecer rotinas de trocas programadas, manutenção periódica e uma gestão mais integrada dentro da companhia para assegurar a efetividade dos programas de combate às perdas.

A falta de gestão do parque de hidrômetros pode resultar em uma grande parcela de perdas, conforme observou Galvão (2007) em pesquisa realizada na RMSP (Figura 39).

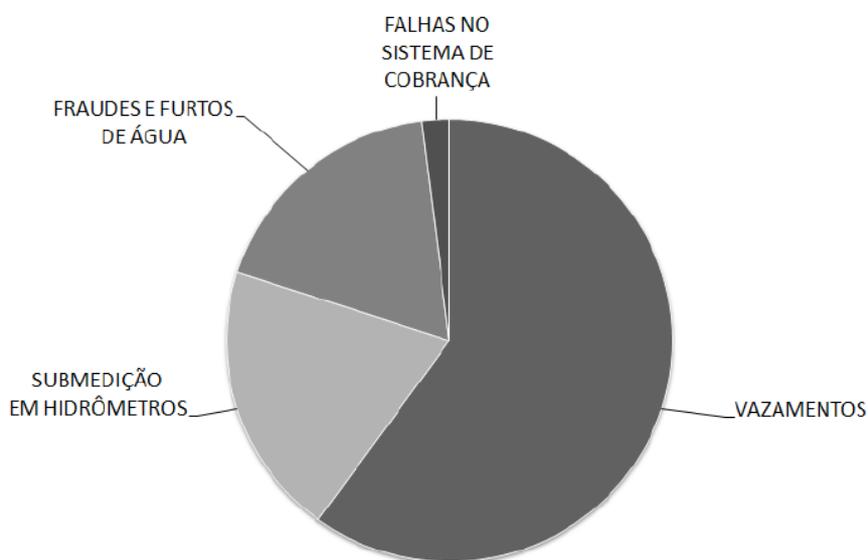


Figura 39: Perfil das perdas na RMSP – Região Metropolitana de São Paulo.
Fonte: Galvão (2007).

É oportuno ressaltar que os vazamentos perfazem boa parte das perdas, seguidos bem de perto pelas perdas aparentes. Segundo Movikawa (2011), dentre os 32% de perdas na Região Metropolitana de São Paulo, 20,7% correspondiam às reais e 11,3% às aparentes.

A concessionária Águas de Guariroba do Paraná e a CORSAN - Concessionária do Rio Grande do Sul, desenvolveram projetos semelhantes aos da SABESP com a pesquisa de Baggio *et al.*, (2009) e Costa (2011), respectivamente. Associado às muitas ações tecnológicas utilizadas para os planos de redução de perdas houve o diferencial da valorização do potencial humano e capacitação do corpo técnico nos trabalhos em questão. Os planos de redução de perdas traçados visaram à diminuição do VD, aumento do VU e implantação da metodologia MASPP – Método de Análise e Solução de Problemas de Perdas. Os autores

concluem ressaltando a praticidade e facilidade em se aplicar a metodologia descrita em qualquer companhia.

O MASPP trata-se de um roteiro estruturado para resolução de problemas relacionados a produtos, processos e serviços em uma empresa, sendo muito conhecido no universo da gestão da qualidade como uma metodologia para auxiliar os gestores na identificação dos problemas. A metodologia possui oito passos básicos, a saber (CANOSSA, 2010): identificação do problema, observação, análise, plano de ação, ação, verificação, padronização e conclusão.

Caracteriza-se por ser uma metodologia racional e objetiva que procura o maior benefício com o menor esforço na solução de problemas complexos em empresas.

Por meio do programa PRODUZA, cujo lema é produzir e utilizar água de maneira eficiente a Concessionária Águas de Niterói, do Grupo Águas do Brasil, recebeu o prêmio Ouro Azul edição 2006, outorgado pela Companhia FURNAS e pela imprensa de Brasília e de Minas Gerais. O programa foi elaborado por Luvisotto *et al.*, (2007) nos moldes do método MASPP I – Método de Análise e Solução de Problemas de Perdas de água e de Faturamento e do ciclo do PDCA da seguinte maneira (Figura 40):



Figura 40: Estratégia resumida de implantação do PRODUZA.
 Fonte: Luvisotto *et al.*, (2007).

Com a implantação do PRODUZA houve uma economia de 1.296.000 m³ de água no ano de 2006, além dos resultados intangíveis como preservação de recursos hídricos, conscientização ambiental da concessionária e dos usuários. Segundo os autores, após dois anos de implantação da metodologia a concessionária destaca-se no setor de saneamento, tanto pela eficácia de suas ações como pelo impacto das mesmas para todas as partes interessadas, ou seja, consumidores, acionistas, concedente (CEDAE), empregados e vizinhança.

Outro exemplo de aplicação da metodologia MASPP ocorreu na companhia de saneamento de São Paulo - SABESP. Fernandes *et al.*, (2007), Hansted *et al.*, (2007), Lino *et al.*, (2007), Nogueira e Reis (2009) descrevem como a metodologia rendeu resultados positivos em diversos municípios. De acordo com os autores, a decisão de utilização da metodologia veio com experiências adquiridas em participações no Premio Nacional de Qualidade no Saneamento (PNQS), após a obtenção da certificação ISO 9001 e após treinamentos envolvendo toda a equipe de liderança. Assim como descrito na pesquisa de Luvisotto *et al.*, (2007), utilizou-se o ciclo do PCDA e os resultados comprovam a eficiência do projeto para os valores de Volume Disponibilizado (VD) e Volume Utilizado (VU) para os indicadores de perdas avaliados conforme Tabela 6, Figura 41 e 42.

Tabela 6: Resultados da aplicação da metodologia MASPP

Sistema	Resultados percentuais ao longo de 2006	
	Redução de VD (%)	Aumento de VU (%)
Itapetininga	1,4	1,9
Itapeva	0,7	0,5
Avaré	2,6	-

Fonte: Adaptado de Hansted *et al.*, (2007).

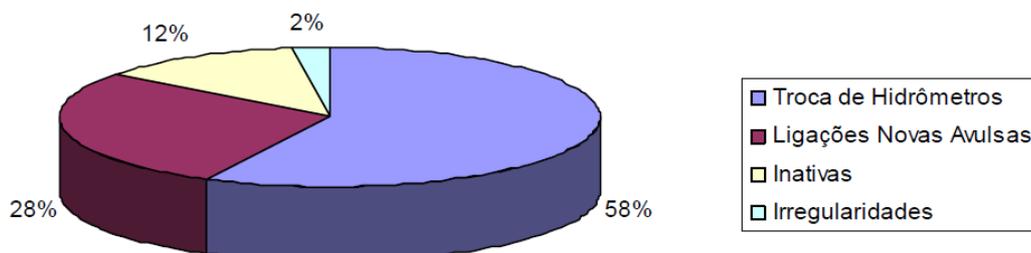


Figura 41: Incremento de VU - Volume Utilizado.

Fonte: Fernandes *et al.*, (2007).

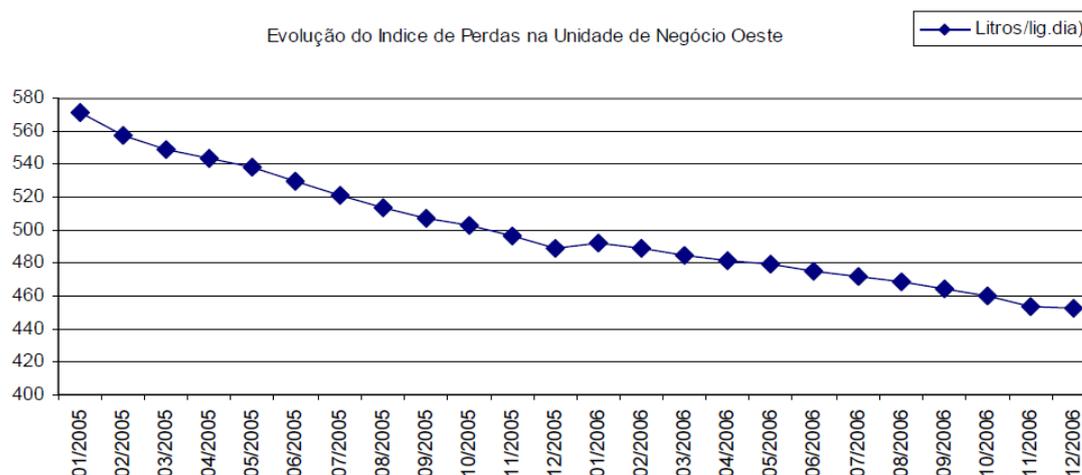


Figura 42: Redução dos valores do índice de perdas de água.
 Fonte: Lino *et al.*, (2007).

Em outro trabalho desenvolvido pela SABESP, Romão (2013) utilizou-se do diagrama de Pareto para chegar aos melhores resultados em termos de redução e controle de perdas para a concessionária.

O diagrama de Pareto é uma ferramenta da qualidade desenvolvida pelo economista italiano Vilfredo Pareto. É utilizado com o intuito de estabelecer uma ordenação nas causas de problemas que devem ser sanados. Tem o objetivo de compreender a relação ação/benefício e assim prioriza ação que trará o melhor resultado. O diagrama é composto por um gráfico de barras que ordena de forma crescente as frequências das ocorrências e assim, permite a localização e eliminação de problemas (CARVALHO, 2002).

O intuito do autor foi selecionar áreas críticas devido aos vazamentos e concentrar esforços nessas áreas. O autor iniciou o trabalho fazendo um levantamento histórico de um ano das áreas com maior ocorrência de vazamentos em redes e ramais via SIGNOS – Sistema de Informações Geográficas no Saneamento da SABESP para todas as plantas da Unidade de Negócios Norte. De posse desses resultados, os gráficos de Pareto foram gerados buscando-se perda por ramal (Figura 43) e perdas totais (ramal + rede).

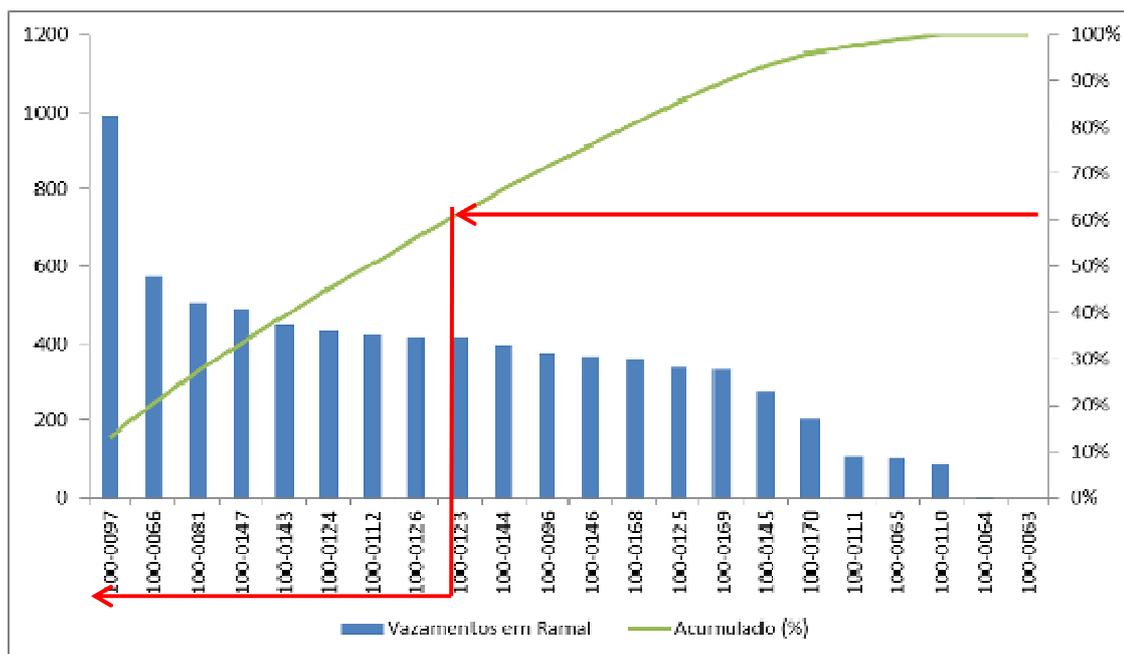


Figura 43: Gráfico de Pareto considerando-se o total de vazamentos de ramal em plantas do Polo de Manutenção de Santana.

Fonte: Romão (2013).

As plantas que representavam 60% dos vazamentos foram selecionadas em ambos os gráficos. Quando da verificação em quadrículas observou-se que entre as oito quadrículas da primeira lista e as nove da segunda lista, seis quadrículas eram comuns. Essas áreas foram escolhidas como o foco da pesquisa. O resultado da pesquisa e reparo dos vazamentos pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7: Comparativo dos Dados de Pesquisa de Vazamento em Toda a Unidade de Negócio Norte as Sabesp antes e depois da Aplicação da Metodologia de Pareto.

Período	Vaz. em Ramal	Vaz. em Rede	Total de vaz. Apontados	Extensão Pesquisada (km)	Vaz/km	Varição do índice vaz/km (%)
ANTES1	14.033	1.215	15.248	13.868,78	1,10	-
DEPOIS2	2.690	320	3.010	2.521,47	1,19	+ 8,18%

Fonte: Romão (2013).

Por fim, o autor enfatiza a importância da pré-seleção de áreas como sendo uma ferramenta que gera economia e eficiência para o controle e redução de perdas, visto que a companhia alcançou um número maior de vazamentos mesmo reduzindo a extensão pesquisada.

Os benefícios e a real necessidade dos distritos de medição foram tema de estudo de Farley (2012), no qual se abordou também as medições noturnas de perdas. O autor faz uma revisão sobre o uso dos medidores nas zonas de medição, desde os mecânicos até os magnéticos mais modernos e atuais. Confirma que a divisão de áreas grandes em menores é uma metodologia universalmente aceita e sua gestão bem definida, não sendo, porém, um conceito utilizado por todos os profissionais da área. Segundo o autor tal fato deve-se aos custos do levantamento das zonas, de realização do projeto, de compra dos medidores e algumas vezes da necessidade de fechamento de válvulas, que pode ser dificultado em redes hidraulicamente difíceis de dividir. Pode haver também conflitos entre os setores operacionais e de controle de perdas sobre abertura e fechamento dessas válvulas. Com o advento da tecnologia de busca acústica de vazamentos, o zoneamento vem sendo questionado por algumas empresas de saneamento. O autor conclui sua pesquisa relatando que é possível compatibilizar o uso dos setores e das novas tecnologias para melhorar ainda mais a busca pelos vazamentos na rede.

O uso racional de água também foi objeto de dois trabalhos desenvolvidos pelos pesquisadores Vimieiro e Pádua (2007ab). O uso racional deu-se por meio da instalação e uso de dispositivos economizadores em uma escola da periferia de Belo Horizonte (MG), a saber: torneiras de fechamento automático e válvulas de descarga de ciclo variável com regulagem de vazão. Foi observada uma economia de 240 m³ de água após os três primeiros meses de instalação. Os autores relatam a necessidade de programas de educação ambiental para melhorar o entendimento de alunos, funcionários e professores quanto à importância do uso racional e conservação de água, conceitos muitas vezes confundidos.

2.3 Indicadores de Desempenho para Abastecimento de Água no Brasil e no Mundo

Um indicador de desempenho trata-se de uma medida quantitativa da eficiência e da eficácia de determinado aspecto de uma unidade gestora ou da prestação de um serviço. Traduz de modo claro e sintético os aspectos mais relevantes da atividade, contribuindo para uma análise mais simplificada ao longo do tempo (ALEGRE *et al.*, 2006).

Por se tratarem de instrumentos de gestão, os indicadores também podem indicar com antecedência a saturação de um parque produtivo, a necessidade de sua ampliação, adequação ou implantação de estruturas, atuando assim para melhorar a gestão de infraestrutura da unidade gestora, segundo Piza e Paganini (2006). Segundo Meadows (1998), são resumidamente ferramentas de mudanças, aprendizagem e propaganda.

Indicadores são utilizados ainda, segundo Molinari (2006), como forma de comparação dos diversos aspectos de gestão de uma empresa com a de outras similares. Isso permite a identificação de ineficiências, além de informar aos interessados sobre os níveis do serviço e facilitar a fiscalização pelos órgãos reguladores competentes. Também são utilizados por agências financiadoras, como o Banco Mundial, na seleção de projetos com prioridade de investimento. Contribuem também para uma melhor operação, manutenção e reabilitação de sistemas, garantindo qualidade de água e controle de perdas, além de uma melhor operação, manutenção e reabilitação de instalações (ALEGRE *et al.*, 2006; STAHR e ADAMSSON, 2001). Com os indicadores também é possível avaliar o melhor desempenho entre companhias de abastecimento conforme estudo desenvolvido por Pertel *et al.*, (2013) e detalhadamente explicado no capítulo 3 desta tese.

O cálculo dos indicadores é tipicamente realizado pela razão entre duas variáveis, podendo ser adimensionais expressos por meio de porcentagem ou intensivos como L/lig./dia (ALEGRE *et al.*, 2006). Ainda segundo os autores, para uma coerente avaliação do desempenho é necessário que haja um sistema de indicadores, visto que um dado indicador analisado individualmente pode ter pouco interesse prático.

Dessa forma, a escolha dos indicadores que irão compor o conjunto a ser avaliado é de suma importância para o resultado final e essa escolha requer uma série de observações

importantes. Algumas dessas características podem ser observadas na Tabela 8 segundo orientações de Alegre *et al.*, (2006), Meadows (1998) e Malheiros *et al.*, (2006).

Tabela 8: Características de um indicador de desempenho.

Característica	
Claro, compreensível e de interesse.	Evitar incertezas, fácil de entender e aplicar e que possua unidades coerentes.
Relevante	Politicamente relevantes para todos os participantes do sistema
Viável	Custo adequado de aquisição e processamento de dados
Suficiente	Fornecer a informação coreta e desejada
Oportuno	Oportuno temporalmente, integrado com o planejamento.
Apropriado na escala	Apropriado aos diferentes usuários potenciais
Democrático	Diversidade e ampla participação na escolha e acesso aos resultados
Medida Física	Balacear unidades físicas e monetárias
Preventivo e proativo	Deve conduzir para a mudança, fornecendo informação para a tomada de decisão.
Não deve ser estanque	Deve estar inserido num processo de melhoria contínua

Fonte: Adaptado de Malheiros *et al.*, (2006).

Além da possibilidade de comparação e acompanhamento de seu próprio desempenho entre as unidades gestoras da empresa, há ainda a possibilidade de acompanhamento do desempenho entre empresas do mesmo estado, do mesmo país e até de fora do país. Já existem aproximadamente 40 países que contam com um sistema de indicadores de desempenho para suas empresas de água e saneamento.

2.3.1 Indicadores de Desempenho para Abastecimento de Água no Brasil e no Mundo

Para esta pesquisa foi dado maior destaque aos indicadores de desempenho estabelecidos pelo SNIS e pela IWA. Isso porque os indicadores de desempenho nacionais publicados anualmente pelo SNIS foram desenvolvidos com base nos indicadores da IWA e, além disso, tais indicadores de desempenho dos serviços de abastecimento do Brasil fazem parte dos objetivos deste trabalho.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

Junto com o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) surgiram em 1969 as primeiras formas de regulação dos serviços de saneamento no país, com base na cultura reguladora derivada do Código de Águas de 1934. A regulação, segundo Silva (2006), baseava-se em um

tripé que atrelava a eficácia social dos serviços, o atendimento generalizado à população e a eficiência econômica da oferta. Somado a isso o PLANASA instituiu um sistema de avaliação de desempenho dos serviços com base em indicadores normatizados de eficiência gerencial e operacional dos serviços operados pelas companhias estaduais.

O controle dos serviços prestados pelas companhias estaduais era realizado por meio do envio anual de relatórios padronizados com os indicadores de desempenho às instâncias competentes do sistema, com objetivo de informar sobre a conformidade da prestação dos serviços. O resultado desse envio anual foi a formação de uma base organizada de indicadores de desempenho para o setor.

Esses indicadores foram consolidados pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) nos Catálogos Brasileiros de Engenharia Sanitária e Ambiental (CABES). Com o passar do tempo esses conjuntos de indicadores padronizados deram origem ao Sistema de Informação sobre Saneamento (SNIS), que inovou e sistematizou as informações setoriais e hoje é considerado uma das mais completas e abrangentes bases de dados sobre os serviços de saneamento no país (SILVA, 2006; 2008). O SNIS engloba um amplo espectro de indicadores, incluindo informações de caráter institucional, administrativo, financeiro, operacional e de qualidade dos serviços de saneamento voltados para dois componentes: a) abastecimento de água e esgotamento sanitário e b) resíduos sólidos urbanos. A finalidade da coleta de dados e da criação dos indicadores é buscar uma melhoria de desempenho e orientar a tomada de decisão do Governo e de investidores no campo do saneamento básico (SNIS, 2013).

O SNIS tem como principais objetivos (SNIS, 2013):

- Planejamento e execução de políticas públicas de saneamento;
- Orientação da aplicação de recursos;
- Conhecimento e avaliação do setor saneamento;
- Avaliação de desempenho dos prestadores de serviços;
- Melhoria da gestão, elevando os níveis de eficiência e eficácia;
- Orientação de atividades regulatórias; e
- *Benchmarking* e guia de referência para medição de desempenho.

Trata-se de uma base de dados informatizados que disponibiliza informações dos municípios em uma série histórica de 17 anos, cuja última atualização ocorreu no ano base de 2011. É um sistema com acesso via Internet mantido pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA/MCidades). Os dados são fornecidos por prestadores ou municípios por meio de um programa especificamente preparado para este fim, que inclui análise crítica automática dos dados tendo como base o município. O SNIS pode ainda, articular-se com outros bancos de dados que utilizem como chave o código de municípios do IBGE.

No caso dos componentes abastecimento de água e esgotamento sanitário, os dados são fornecidos pelos prestadores de serviços de saneamento como:

- Companhias estaduais;
- Empresas ou autarquias microrregionais;
- Empresas municipais;
- Empresas privadas;
- Autarquias municipais;
- Departamentos / secretarias municipais;

A concepção original do SNIS previu um sistema de abrangência nacional, apoiado num banco de dados sobre saneamento administrado na esfera federal e articulando subsistemas estaduais. Nos Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgotos, as informações são fornecidas voluntariamente pelos prestadores e os indicadores são calculados pelo SNIS. Informações e indicadores podem ser consultados por prestador ou por município. As informações são definidas em um glossário e agrupadas nas seguintes categorias:

- Operacionais de água (35 informações e 22 indicadores);
- Operacionais de esgoto (16 informações e 8 indicadores);
- Qualidade dos serviços (23 informações e 13 indicadores);
- Econômico-financeiras, extraídas de balanço contábil anual (13 informações e 9 indicadores);

- Outras financeiras (37 informações);
- Gerais: institucionais e administrativas (30 informações e 32 indicadores, que abrangem também o grupo anterior).

Esse conjunto de informações aliado a diversas outras pesquisas sistemáticas, como Censo Demográfico, Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD), Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), permite traçar um adequado quadro da situação do setor e dessa forma subsidiar avaliações e um melhor planejamento.

No âmbito federal, os dados do SNIS destinam-se ao planejamento e à execução de políticas públicas, visando orientar a aplicação de investimentos, a formulação de estratégias de ação, bem como a avaliação de desempenho dos serviços. Já nas esferas estadual e municipal esses dados contribuem para a regulação e a fiscalização dos serviços e para a elevação dos níveis de eficiência e eficácia na gestão das entidades prestadoras, por meio do conhecimento de sua realidade (MIRANDA, 2006).

Segundo dados de 2011, último ano base do SNIS, alguns dos princípios da Lei de Saneamento estão um pouco longe de serem alcançados, visto que dentre os municípios que responderam aos questionários completos, tem-se um total de 88,6% atendidos com abastecimento de água e 35,1% atendidos com esgotamento sanitário. Isso comprova que para a universalização dos serviços de saneamento, ainda há necessidade de muito investimento, principalmente no que diz respeito ao esgotamento sanitário.

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), cuja elaboração é prevista na Lei nº 11.445 de 2007, visa melhorar o atual cenário e garantir a aplicação da lei. A formulação e a implementação do PLANSAB implicam na junção de relações sociais, econômicas, políticas e ideológicas que permitirão segundo Paim (2011) uma melhor aplicação dos recursos, abrindo caminho para a concretização da universalização dos serviços, que é a ampliação progressiva do acesso de todos ao saneamento básico.

A Lei de Saneamento Básico – Lei Nº 11.445 de 2007 prevê em seu art. 53 a criação do SINISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico.

Art. 53. Fica instituído o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico – SINISA, com os objetivos de:

I – coletar e sistematizar dados relativos às condições da prestação dos serviços públicos de saneamento básico;

II – disponibilizar estatísticas, indicadores e outras informações relevantes para a caracterização da demanda e da oferta de serviços públicos de saneamento básico;

III – permitir e facilitar o monitoramento e avaliação da eficiência e da eficácia da prestação dos serviços de saneamento básico.

§ 1º As informações do Sinisa são públicas e acessíveis a todos, devendo ser publicadas por meio da internet.

§ 2º A União apoiará os titulares dos serviços a organizar sistemas de

informação em saneamento básico, em atendimento ao disposto no inciso IV do caput do art. 9º desta Lei (BRASIL, 2007).

O SNIS terá um papel fundamental na constituição do SINISA visto que possui como principal característica ser um instrumento de coleta, tratamento e disponibilização de informações passíveis de serem obtidas com periodicidade anual (MONTENEGRO e CAMPOS, 2011). Para tanto, deficiências precisam ser supridas e pontos de estrangulamento equacionados. Hoje, ainda segundo os mesmos autores, a deficiência mais óbvia é a ausência de um diagnóstico anual dos serviços de drenagem urbana e manejo das águas pluviais.

Outra deficiência, segundo Britto (2011) é com relação aos indicadores de perdas apresentados pelo SNIS. Há quatro indicadores que representam uma composição de perdas reais (físicas) e aparentes (não físicas), já que no Brasil, com raras exceções, os prestadores de serviços não costumam separar as perdas de água nos dois componentes. Esse fato, na maioria das vezes, inviabiliza uma comparação com indicadores internacionais baseados nos indicadores de desempenho da IWA. Todavia, ainda segundo a autora, o SNIS é uma fonte fundamental de informações para entender o panorama da prestação dos serviços de água e esgotamento sanitário no país, sendo necessário que haja engajamento para sua manutenção, aperfeiçoamento e ampliação com a consequente evolução para o SINISA.

Com o SINISA espera-se uma maior articulação com outros sistemas e integração com outras áreas do conhecimento, a saber: recursos hídricos, meio ambiente, saúde e com as próprias agências reguladoras, buscando-se com isso ampliar a área de atuação que no SNIS se restringe aos prestadores e aos municípios.

Para melhorar a qualidade das informações no processo de expansão do SNIS, Montenegro e Campos (2011) defendem que a União pode e deve condicionar o acesso de recursos sob seu

controle ao fornecimento sistemático e adequado das informações ao SNIS pelos prestadores de serviço. Essa melhoria da qualidade de informação, segundo o autor tem vistas a:

- Melhorar o processo de análise e verificação de consistência das informações enviadas ao SNIS;
- Auditar, com base em critérios estatísticos, a qualidade das informações enviadas ao SNIS;
- Desenvolver mecanismos de incentivo e de penalização dos responsáveis pelo fornecimento das informações: municípios, prestadores de serviço e entidades reguladoras e fiscalizadoras;
- Individualizar e capacitar continuamente os responsáveis pelo processamento e envio de informações ao SNIS;
- Aperfeiçoar e tornar cada vez mais amigáveis os instrumentos de coleta de informações;
- Incentivar e apoiar a montagem dos Sistemas Municipais e Estaduais de Informações sobre Saneamento Básico, em articulação com o processo de geração de informações para o SNIS;
- Divulgar amplamente o SNIS e estimular a utilização e análise das suas informações por terceiros, especialmente a academia.

O objetivo é formar o SINISA com diversas bases de dados e sistemas de informações sobre demografia, qualidade das habitações e do saneamento domiciliar, renda familiar, reclamações dos consumidores, informações quali-quantitativas sobre os recursos hídricos, indicadores de saúde relacionados às condições de vida da população, licenciamento ambiental, saneamento rural, Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), recursos humanos empregados nos serviços de saneamento, entre outros. E, dessa forma, melhorar e ampliar cada vez mais as informações e prestar um serviço de excelência para a população atendida.

Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento – PNQS

Em 1995 a ABES criou o comitê nacional de qualidade, cujos objetivos são estimular reconhecer experiências bem-sucedidas, promover o intercâmbio de boas práticas, aprimorar o saneamento e estimular a prática de modelos gerenciais compatíveis com as tendências mundiais. Para atingir tais objetivos foi lançado, além de comitês, eventos, fóruns e programas, o Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento.

Com o passar dos anos o prêmio foi mudando e hoje há seis categorias de premiação. Nas cinco primeiras o sistema de gestão completo é avaliado e na sexta categoria avalia-se a inovação da gestão em saneamento. Essa iniciativa pretende (ABES 2012):

- Estimular a busca e a aplicação de boas práticas de gestão pelas organizações envolvidas com o setor de saneamento ambiental no país;
- Reconhecer aquelas organizações que se destacam pela utilização dessas práticas e que apresentem resultados superiores de desempenho.
- Divulgar as práticas das organizações reconhecidas, em seminários e publicações de relatórios de gestão e "cases" finalistas e vencedores;
- Promover eventos de capacitação gerencial para essas organizações.

Para a premiação, a instituição avalia o desempenho das companhias candidatas por meio de uma série de indicadores de desempenho nas áreas de água, esgoto, resíduos sólidos, manejo de águas pluviais e efluente industrial.

IWA – International Water Association

No âmbito internacional destaca-se a iniciativa da IWA em definir um quadro de referência comum para os indicadores de desempenho, estruturados de forma a satisfazer as necessidades comuns dos principais tipos de utilizadores. Para isso foi criado um grupo de trabalho em 1997 formado por companhias e reguladores dos sistemas de abastecimento de água e em 2000 foi lançado o primeiro manual de indicadores de desempenho – *Best Practice Water Balance and Performance Indicators for Water Supply Services*, cujos principais objetivos foram (ALEGRE *et al.*, 2004):

- Fornecer um quadro de referência de ID que constituíssem um instrumento de apoio à gestão das prestadoras de serviço de abastecimento de água;

- Permitir futuras comparações entre prestadoras de serviço no âmbito de iniciativas de *benchmarking* métrico;
- Disponibilizar subconjuntos de indicadores para uso de agências reguladoras, de acordo com as suas necessidades específicas;
- Fornecer uma base de dados, tendo em vista um alargamento progressivo e a consolidação de estatísticas no âmbito internacional.

Após algumas revisões, sendo a última realizada em 2004, o sistema incorpora seis grupos de indicadores, a saber: recursos hídricos, recursos humanos, infraestrutura, operacionais, qualidade de serviço e económico-financeiros, perfazendo um total de 158 indicadores.

A IWA recomenda, segundo os mesmos autores, que cada entidade selecione apenas os indicadores mais relevantes. Para isso é importante que a própria concessionária realize uma classificação dos indicadores de desempenho em três níveis, conforme se pode verificar (ALEGRE *et al.*, 2004):

- Nível 1: inclui um primeiro conjunto de indicadores de desempenho que fornece uma síntese da eficiência e da eficácia da entidade gestora;
- Nível 2: constitui um conjunto adicional de indicadores que permite um conhecimento mais pormenorizado do que os indicadores do Nível 1, para concessionárias que necessitem de uma análise mais profunda;
- Nível 3: constitui mais um conjunto de indicadores com maior detalhe específico, mas ainda relevantes para a gestão de topo da entidade gestora.

As informações do manual da IWA procuram unificar critérios e oferecer uma definição clara e consensual dos indicadores de desempenho, convertendo-se em uma referência mundial. O resultado é uma padronização que possibilita testes e comparações entre diferentes operadores em diversas regiões e países, visto que oferece uma metodologia utilizável por qualquer operador (MOLINARI, 2006).

ADERASA - Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas

A ADERASA foi criada em 2001 por oito países fundadores e em 2006 já possuía 16 países integrantes. Numa tentativa de facilitar o intercâmbio de informações e identificar as melhores práticas entre as companhias associadas, desde o ano de 2003 desenvolve e utiliza um programa de *benchmarking* no qual compara as informações de todas as companhias reguladas. Nesse mesmo ano foi proposto o primeiro manual com indicadores de desempenho baseados naqueles da IWA e IBNET, para assegurar que os resultados pudessem ser utilizados e comparados com resultados de qualquer outra parte do mundo (SILVA, 2006).

A cada ano o número de participantes aumenta, tanto em termos de países-membros quanto em termos de companhias participantes e, sendo o número de indicadores é constantemente revisto como forma de eliminar informações com menos relevância e manter uma fidelidade maior com a realidade. O sistema de indicadores da ADERASA possui três princípios básicos, apresentados a seguir (ADERASA, 2012):

- Fortalecer a associação e seus associados por meio de um conjunto de indicadores, que originam uma base de dados própria, comparável e de fácil acesso;
- Corroborar com a IWA na tentativa de criar uma base internacional do sistema de indicadores, promovendo a sua aplicação no setor de regulação;
- Incentivar a consistência regulatória nos países das Américas mediante o intercâmbio periódico da informação, permitindo o acesso às boas práticas dos serviços do setor do saneamento.

Segundo ADERASA, é muito importante que os participantes de uma comparação de indicadores “*benchmarking*” utilizem as mesmas formas de medição e interpretação dos dados ao longo do tempo. Por esse motivo seus integrantes da ADERASA concordaram em utilizar uma base de indicadores em comum, facilitando assim a comparação, a identificação das melhores práticas, os prestadores que as adotam e podendo servir de base para futuros estudos que visem melhorar a eficiência do setor.

A comparação entre os participantes é muito importante, visto que oferece a possibilidade da realização de diagnósticos sobre a gestão, identificando pontos positivos e negativos e assim,

auxiliando na tomada de decisão. Segundo ADERASA (2012) os indicadores de desempenho terão grande utilidade quando usados pelos tomadores de decisão como uma ferramenta de gestão, permitindo ajustar metas de qualidade e de intervenção e com isso buscar um melhor desempenho dos prestadores.

OFWAT - Office of Water Services

A OFWAT é o órgão regulador, econômico e ambiental dos serviços de água e esgotamento sanitário da Inglaterra, País de Gales e de alguns operadores da Austrália e Nova Zelândia. Surgiu em 1989 em decorrência da privatização desses setores e é responsável pela regulação da qualidade dos serviços prestados e pelas tarifas pagas pelos consumidores (DASSLER *et al.*, 2006).

Um dos objetivos do regulador é controlar ao máximo as prestadoras para que sejam eficientes. O resultado é apresentado aos consumidores nos relatórios anuais de comparação entre as prestadoras. A OFWAT trabalha buscando uma eficiência de atendimento e qualidade para os atuais e futuros consumidores. Para isso utiliza um sofisticado sistema de gestão, cujo resultado é detalhado nos relatórios, com base em uma pontuação atribuída para cada indicador por prestador. Isso permite que seja calculada a pontuação global do prestador, possibilitando com maior facilidade visualizar as tendências de evolução de cada um e compará-las entre si. O sistema de indicadores do OFWAT está organizado em quatro categorias: serviço ao consumidor, distribuição de água, impactos ambientais e financeiros, admitindo a verificação do nível de satisfação do consumidor para cada categoria ou de modo global (OFWAT, 2011).

O modelo de regulação implementado na Inglaterra e no País de Gales é um dos mais complexos, visto que cada prestador pode publicar, além dos indicadores previstos pelo regulador, outros indicadores que sejam importantes para melhor explicar seu desempenho. Para serem publicados os indicadores devem seguir o seguinte critério (OFWAT, 2011):

- Cor: verde, laranja e vermelho, sendo que cada cor representa o grau de eficiência, em que verde é mais eficiente e vermelho menos eficiente;
- Unidade de medição: conforme especificado pelo regulador;
- Valor: valor real do indicador.

Six-Cities Group

Formado por seis cidades da Escandinávia, o grupo iniciou-se em 1994 contando com Oslo, na Noruega; Gothenburg, Malmo e Estocolmo, na Suécia; Copenhagen, na Dinamarca e por Helsinki na Finlândia. Todas as cidades têm em comum o controle público sobre os serviços de água e esgoto. A iniciativa para a criação do grupo deu-se na década de 1990, com a intensa discussão sobre a necessidade de privatização dos serviços públicos que então eram ditos ineficientes. Os gestores optaram por implementar um sistema de *benchmarking* entre as entidades gestoras com a finalidade de demonstrar a eficiência dos sistemas com a gestão pública (STAHRE e ADAMSSON, 2004).

A melhoria da eficiência foi o grande motor do projeto de *benchmarking* iniciado pelas diretorias das empresas. Segundo Molinari (2006), ressalta-se que são países de dimensão diferentes e com idiomas diversos que se uniram em busca de um mesmo ideal. Trabalharam conjuntamente e em dois anos conseguiram ajustar definições, dados e formas de medição.

No primeiro ano foi realizado o trabalho de inventários sobre as práticas de cada prestador, com o objetivo de observar as diferenças entre as práticas de cada empresa e com isso sugerir novas rotinas, como por exemplo, estabelecimento de tarifas para os serviços de água e o desenvolvimento de um modelo de cálculo de balanço de massa para apurar com melhor exatidão as perdas de água (KOELBL, 2009).

Após essa primeira etapa, ainda segundo Koelbl (2009), os esforços foram concentrados em operação e manutenção da rede e dos processos com foco em perdas de água, interrupção na distribuição e reabilitação de redes. Relatórios foram gerados com os resultados e discutidos entre todas as cidades participantes em *workshops* realizados para esse fim.

Perda de água na distribuição foi um dos tópicos que chamaram a atenção dos participantes desde cedo e para os estudos de perdas reais o grupo utilizou o indicador $m^3/km/dia$ inicialmente. A partir de 1996 foram adotados outros indicadores de desempenho, a saber (KOELBL, 2009):

Perdas de água em m^3 por quilômetro de rede de água por dia;

- Número de rupturas na rede de água por 10 km por ano;
- Número de rupturas por 1000 conexões;

- Interrupções do serviço de água (min/cliente/ano);
- Custo para operação e manutenção (Euros/rede).

Taxa de renovação de tubulação em % do comprimento total da rede de água.

Dessa iniciativa surgiu um sistema de *benchmarking* cujo objetivo é a comparação dos serviços de água e esgoto dentro do grupo. Os indicadores de desempenho foram identificados em conjunto entre as seis cidades.

Os indicadores, por sua vez, são estruturados em seis categorias, (STAHRE e ADMSSON, 2004):

- C – satisfação do cliente;
- Q – qualidade;
- A – disponibilidade;
- En – meio ambiente;
- O – organização e recursos humanos;
- Ec – economia.

Com base nos estudos de avaliação comparativa realizados e, principalmente, nas experiências das cidades que formam o *Six Group* algumas recomendações para o estudo de perdas podem ser resumidas como se segue:

- Objetivos claros devem ser definidos, bem como uma estratégia para manter sob controle as perdas;
- Metas realistas e mensuráveis precisam ser definidas;
- Em casos de condições geológicas adversas, é necessário ter maior controle das perdas;
- O controle de perdas deve abranger todo o sistema da captação de água ao consumidor;

- A precisão na medição de água é fundamental para bons resultados;
- A setorização em zonas de medição dá a base para a priorização dos esforços de detecção de perdas;
- Rotinas para detecção e controle de perdas precisam ser implementadas;
- Destacar os resultados de controle de perdas em toda a empresa ajuda a tornar o problema de perdas de água compreensível para toda a equipe técnica.

IBNET – The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities

A *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities*, a IBNET, é uma iniciativa do Banco Mundial com apoio financeiro do *Department for International Development* (DFID) do Reino Unido com o objetivo de reunir informações sobre prestadores de serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário de vários países.

Desde a sua criação em 1996, o programa IBNET tornou-se o maior mecanismo que disponibiliza publicamente o desempenho do setor de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Atualmente conta com informações de mais de 2.500 provedores de serviços de água e esgoto de 110 países ao redor do mundo. As informações estão disponíveis na internet e são de livre acesso no site: www.ib-net.org, com possibilidade de acesso em inglês, espanhol, francês e russo. O livre acesso promovido pelo IBNET objetiva à promoção das melhores práticas entre os prestadores de serviço, uma vez que os dados podem ser comparados com companhias de todo o mundo. Para o Brasil há dados do SNIS de 2000 a 2011, a série histórica de dados varia para cada país (BERG e DANILENKO, 2010).

O IBNET busca por meio do *benchmarking* entre os diversos prestadores promover as boas práticas na prestação dos serviços por meio das seguintes ações, a saber:

- Fornecimento de orientações sobre indicadores;
- Apoia o estabelecimento de troca de informações em nível regional e nacional;
- Permite que sejam realizadas comparações entre os prestadores.

Assim como no SNIS os dados são enviados voluntariamente pelos prestadores, tais informações são avaliadas pelo Banco Mundial que procede ao cálculo dos indicadores. O IBNET possui um sistema com 87 indicadores, agrupados para 11 categorias (MONTENEGRO E CAMPOS, 2011):

- Cobertura dos serviços;
- Ativos;
- Desempenho financeiro;
- Desempenho da rede;
- Água não faturada;
- Custo de pessoal;
- Hidrometração;
- Produção e consumo de água;
- Qualidade do serviço;
- Indicadores de processo;
- Faturamento e arrecadação.

ISO 24.500 – Gestão e Avaliação dos Serviços de Água e Esgotamento Sanitário

No ano de 2007, a *International Organization for Standardization* – ISO publicou a série 24.500, relativa à gestão e avaliação dos serviços de água e esgotamento sanitário, visando os princípios de melhoria contínua do PDCA. Essa série ISO tem por objetivo fornecer diretrizes e orientações para a definição, avaliação e gestão dos serviços prestados (ISO 24512, 2007). A série é composta por um conjunto de três normas, a saber:

ISO 24510: Serviços relacionados à água potável e águas residuárias - Diretrizes para melhoria e avaliação dos serviços para os usuários (norma de serviço);

ISO 24511: Serviços relacionados à água potável e águas residuárias - Diretrizes para gestão e avaliação dos serviços relacionados às águas residuárias (norma de gestão);

ISO 24512: Serviços relacionados à água potável e águas residuárias - Diretrizes para gestão e avaliação dos serviços de água potável (norma de gestão).

As normas destinam-se a facilitar o diálogo entre as partes interessadas, permitindo-lhes desenvolver uma compreensão mútua das funções e tarefas que se inserem no âmbito dos serviços prestados, contribuindo para as tomadas de decisões e para a melhora do desempenho dos prestadores. Essa série ISO é apenas uma orientação, não se trata de especificações nem de ferramentas de certificação, mas sim de orientações gerais destinadas a incentivar a definição de boas práticas para a gestão dos serviços de água potável e residuárias.

O uso dessas normas é voluntário em conformidade com as demais normas ISO e a implementação das normas da série ISO 24.500 não depende da aprovação da série ISO 9.000 e/ou ISO 14.000. No entanto, a adoção dos sistemas de gestão previstos pelas normas anteriores pode facilitar a aplicação das diretrizes previstas na série ISO 24.500.

A gestão definida na ISO 24512:2007 prevê o estabelecimento de métodos de avaliação dos serviços prestados. Essa avaliação poderá fornecer subsídios ao gestor dos serviços para a priorização de setores que apresentem os menores desempenhos, bem como propiciar às agências reguladoras a comparação entre prestadores desses serviços e dessa forma obter o *benchmarking*

O uso de indicadores de desempenho para a comparação entre prestadores de serviços públicos é uma ferramenta de gestão cada vez mais utilizada, sendo em muitos países importante para visualizar a qualidade da gestão em seus diversos aspectos (ADERASA, 2012). Os indicadores de desempenho são usados para medir a eficiência e a eficácia de um prestador para alcançar seus objetivos. Os *stakeholders* podem estabelecer um número adequado de indicadores de desempenho, ou outros métodos para verificação dos serviços prestados. Os indicadores de desempenho, nesse caso, desempenham o papel de ferramenta de apoio para a melhoria contínua (ISO 24511, 2007). É oportuno ressaltar que a recomendação de uso dos indicadores é apenas exemplificativa nas normas da série ISO 24.500, visto que o gestor poderá optar por fazer uso de outros métodos de avaliação de desempenho do sistema (ZIMERMANN, 2010).

3 Aspectos Metodológicos

Neste capítulo será detalhada a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa. Vale ressaltar que o capítulo foi subdividido em três partes, na primeira é apresentado o Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ (CESA/UFRJ), laboratório onde foram desenvolvidos e monitorados os experimentos para mensurar as perdas reais; seguidamente é definido o aparato e delineamento experimentais dos Cavaletes de micromedição e das tubulações do sistema de abastecimento de água; e por fim são apresentados os indicadores de desempenho do SNIS utilizados, assim como as concessionárias estaduais escolhidas para compor o estudo e a metodologia para a escolha do *benchmarking*.

3.1 Contextualização da pesquisa

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com toda a parte experimental desenvolvida no Simulador de Águas Urbanas (SAU) do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ (CESA/UFRJ) – Figura 44.

O projeto de implantação do Simulador de Águas Urbanas (SAU) teve origem na Chamada Pública 01/2005 (MCT/FINEP/CT-HIDRO), que por iniciativa do Ministério das Cidades estabeleceu a Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA. A UFRJ é uma das instituições condutoras das atividades da ReCESA no âmbito da região Sudeste do país. O projeto ReCESA teve como referência as instalações do *Centre National de Formation aux Metiers de L'Eau*, instituto pertencente ao *Office International de L'Eau*, e que serve ao treinamento profissional do setor de saneamento da França. Vale ressaltar que as pesquisas no centro experimental começaram um ano antes, em 2004, ainda como CETE – Centro Experimental de Tratamento de Esgoto.



Figura 44: Centro Experimental de Saneamento Ambiental - CESA/UFRJ.
Fonte: Elaboração própria, (2011).

O SAU é uma plataforma pedagógica que serve ao ensino de graduação e pós-graduação em Engenharias e áreas afins, ao treinamento de profissionais pertencentes aos quadros das empresas operadoras dos sistemas de águas urbanas, e à pesquisa aplicada à eficiência hidráulica e energética dos mesmos. Reproduz um logradouro público em escala real, com 37 m de extensão e 10 m de largura, no qual, propositadamente, é exposta a infraestrutura física dos sistemas urbanos de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem pluvial. A Figura 45 ilustra uma vista geral do SAU-CESA/UFRJ.



Figura 45: Vistas das instalações do SAU-CESA/UFRJ.
Fonte: Elaboração própria, (2011).

Especificamente, o sistema de abastecimento de água é constituído por quatro tramos de distribuição secundária, que utilizam, distintamente, tubulações em ferro fundido, PVC-PBA e Vinilfer MPVC, segundo diâmetros que variam de 50 mm até 250 mm, e empregam soluções de conexão tipos ponta e bolsa e ponta e flange.

A montante e a jusante os quatro tramos de distribuição (A, B, C e D) são interligados entre si e a uma elevatória de recalque, desde a qual a água distribuída é novamente recirculada a um reservatório, como indica a Figura 46.



Figura 46: Derivação dos quatro tramos da rede de distribuição, nomeados com as letras A, B, C e D.

Fonte: Elaboração própria, (2011).

Estes tramos estão sujeitos à carga piezométrica de até 6,5 m.c.a. sob influência direta de um reservatório elevado, do tipo castelo d'água, ou de até 35 m.c.a. sob influência de um sistema de pressurização tipo *in line* KSB MEGABLOC – (vazão de até 500 m³/h e pressão de 10 bar) – Figura 47.



Figura 47: Reservatório elevado tipo castelo d'água e *Booster* pressurizador *in line*.

Fonte: Elaboração própria, (2011).

Para desenvolvimento desta pesquisa foram adicionalmente construídas e acopladas ao SAU instalações específicas para a simulação dinâmica de perdas reais de água em cavaletes de micromedição e em tubulações da rede de distribuição, decorrentes de incorreções ou inadequada montagem ou manutenção de peças e demais dispositivos. A simulação hidráulica para mensuração destas perdas físicas conta com a disponibilidade das mesmas cargas piezométricas providas pelo reservatório elevado, pelo sistema de pressurização tipo *in line* e por outra bomba pressurizadora, no caso da rede de distribuição.

3.2 Cavalete de micromedição

3.2.1 Aparato experimental

Os cavaletes de micromedição são o conjunto de estruturas destinado à instalação do hidrômetro. Podem ser constituídos de vários tipos de materiais como PVC, polipropileno e ferro galvanizado, sendo mais comum a instalação de PVC (TSUTIYA, 2006).

O aparato experimental utilizado para quantificação do volume de água perdido nos cavaletes de micromedição pode ser visualizado nas Figuras 48 e 49.

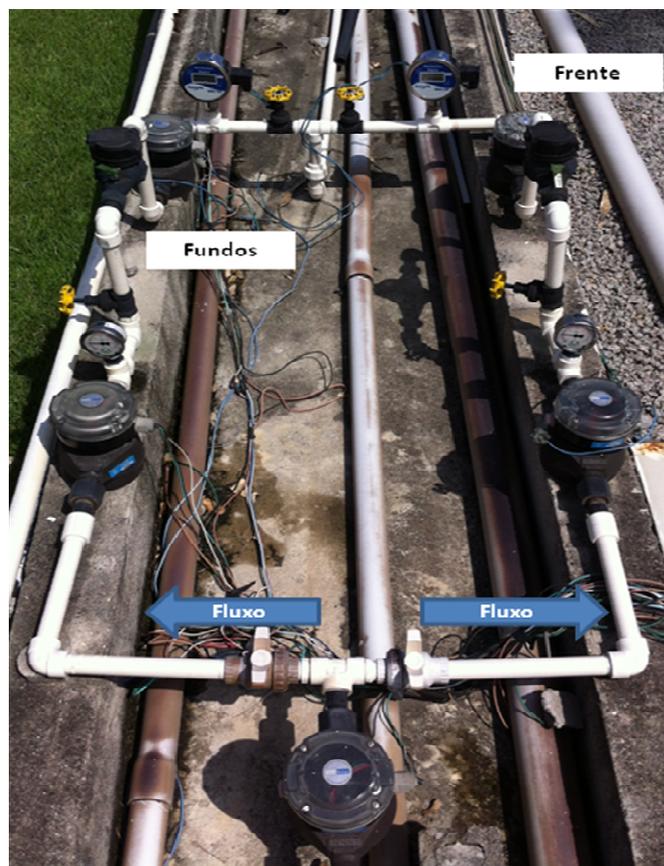


Figura 48: Fluxo de água pelo cavalete de micromedição, detalhamento para os medidores de pressão e vazão ao longo do fluxo.
Fonte: Elaboração própria (2011).

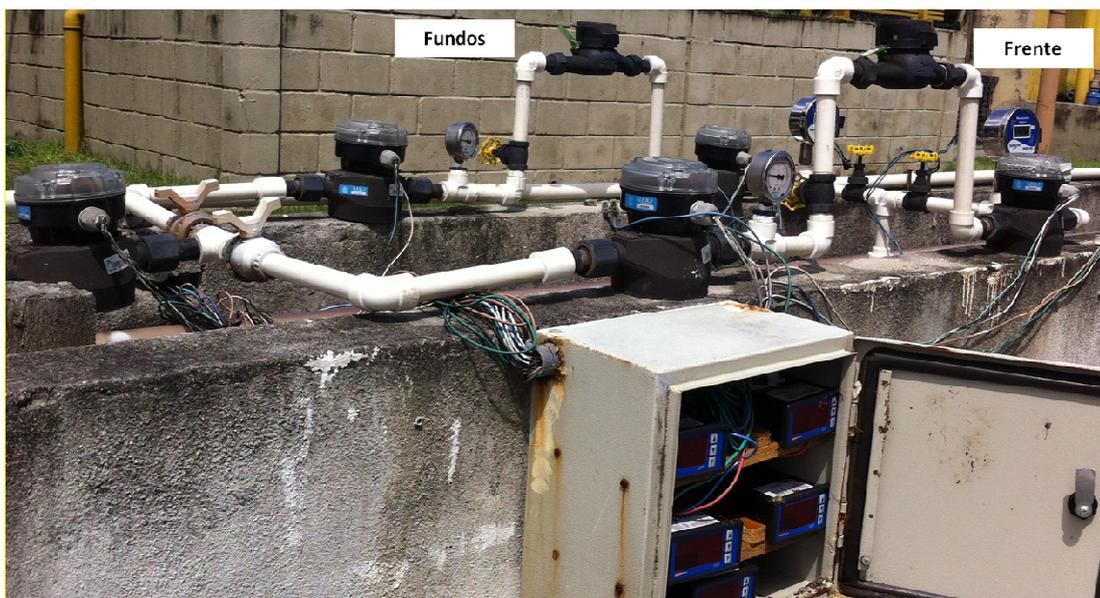


Figura 49: Cavalete de micromedição com a indicação do posicionamento de frente e fundos.
Fonte: Elaboração própria (2011).

Como ilustram as Figuras 48 e 49, o aparato experimental que caracteriza as instalações do cavalete de micromedição corresponde a duas unidades distintas, paralelas, e de operação individual ou simultânea, ambas constituídas, sequencialmente, por sistema alimentador em PVC branco roscável de 1", hidrômetro LAO 3/4", controle de pressão com registros e a estrutura do cavalete em 3/4".

Optou-se pela construção de duas unidades distintas, denominadas "frente" e "fundos", para efeito de comparação dos resultados. O volume de perdas para os resultados é equivalente à média dos volumes perdidos de "frente + fundos". A instalação do ramal predial seguiu as orientações técnicas de Tsutiya (2006).

O delineamento experimental tem como variáveis de controle a pressão disponível e as diferentes modalidades de incorreções de montagem/manutenção de peças e demais dispositivos que compõem o cavalete de micromedição. A vazão de água perdida em função da pressão disponível e das avarias é a variável de estado a ser avaliada para as diferentes condições operacionais estabelecidas pelo delineamento experimental.

As vazões afluente e efluente ao aparato experimental são monitoradas, respectivamente, a montante e a jusante de ambas as unidades de micromedição, por meio de medidores de vazão do tipo unijato, marca BADGER RDCL de 3/4" (classe B), com saída de sinal e sensor para leitura instantânea. A quantificação das vazões de perda de água, de acordo com o

delineamento experimental a seguir apresentado, é definida em função da diferença entre as vazões afluente e efluente, efetivamente medidas e registradas nos totalizadores de vazão da Figura 52.

Medidores de pressão, também localizados a montante e a jusante de ambas as unidades – marca SENSYN MD-100 e também com saída de sinal, controlam as pressões disponíveis. As Figuras 50 e 51 ilustram o sistema de informação das pressões e vazões respectivamente registradas pelos diferentes instrumentos. Para a manutenção das faixas de pressão foi utilizado o *booster in line* KSB MEGABLOC – (vazão de até 500 m³/h e pressão de 10 bar).



Figura 50: Manômetro Digital localizado a montante e a jusante das unidades monitoradas.

Fonte: Elaboração própria, (2011).

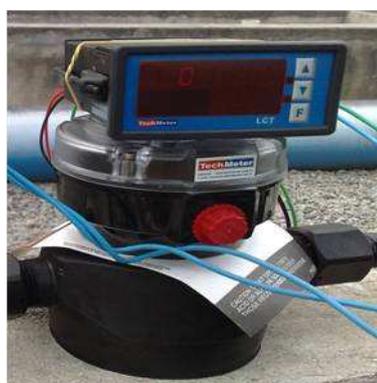


Figura 51: Medidor de vazão localizado a montante e a jusante das unidades monitoradas.

Fonte: Elaboração própria, (2011).

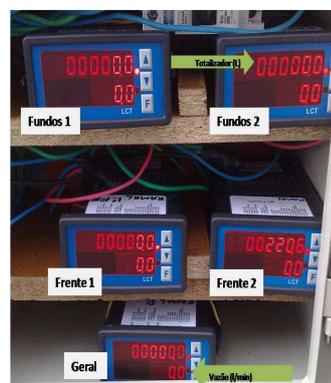


Figura 52: Controladores de vazão instantânea para cada medidor de vazão.

Fonte: Elaboração própria, (2011).

3.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental tem como referência o objetivo de avaliar os volumes perdidos pelos diferentes tipos de incorreções de montagem/manutenção, em diferentes peças e conexões de um cavalete de micromedição, quando sujeitos a diferentes patamares de pressão. Assim é que o delineamento tem como variáveis os diferentes tipos de incorreções de montagem/manutenção, tais como ausência de fita tipo teflon, da borracha de vedação do hidrômetro e a conexão parcial e incorreta entre as seguintes peças: joelhos, registro e hidrômetro. Cada tipo de incorreção de montagem/manutenção foi submetido aos seguintes patamares de pressão em m.c.a.: 15, 20, 25, 30. Pela Figura 53 pode-se observar um exemplo de avaria na junção do hidrômetro.

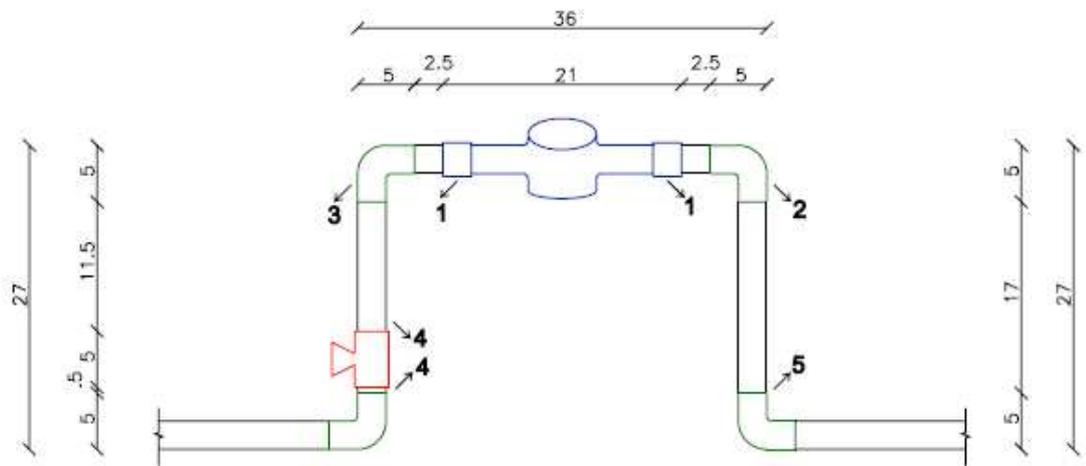


Figura 53: Perda de água relacionada à incorreção de montagem no hidrômetro de um cavalete de micromedição.

Fonte: Elaboração própria (2011).

Enquanto a Figura 54 detalha o esquema das unidades de micromedição e ilustra a localização das peças e conexões sujeitas às incorreções de montagem/manutenção, pela Figura 55 pode-se observar a borracha de vedação do hidrômetro, cuja ausência no experimento também foi considerada uma falha do sistema. Já a Tabela 9 especifica cada uma das 12 incorreções de montagem/manutenção previstas pelo delineamento experimental para as faixas de pressão de: 15, 20, 25 e 30 m.c.a..

Inicialmente, ambas as unidades foram monitoradas considerando a conexão integral e correta entre as diferentes peças, porém sem uso de fita teflon em todas as conexões. Posteriormente, também sem o uso de fita teflon em todas as conexões, o sistema foi monitorado de acordo com cada modelo de incorreção de montagem/manutenção. O volume perdido foi mensurado pela diferença entre os totalizadores dos controladores de vazão em L/min a montante e a jusante do vazamento e foram realizadas 15 repetições para cada ensaio.



Legenda: (1) Hidrômetro; (2) Joelho A; (3) Joelho B; (4) Registro; (5) Joelho C.

Figura 54: Croqui do cavalete com os pontos de monitoramento e detalhamento em cm dos comprimentos de cada trecho do cavalete de micromedição.

Fonte: Elaboração Própria, (2011).



Figura 55: Borracha de vedação entre as peças do hidrômetro e do cavalete de micromedição.

Fonte: <http://www.laoindustria.com.br>.

Tabela 9: Incorreções de montagem associadas a cada uma das peças do cavalete de micromedição avaliado para detecção do volume de água perdido.

Peça	Incorreções de montagem
Cavalete	Sem fita teflon
Hidrômetro	Uma volta a menos nas roscas de ambos os lados
Hidrômetro	Duas voltas a menos nas roscas de ambos os lados
Joelho A	Uma volta a menos na rosca
Joelho A	Duas voltas a menos na rosca
Joelho B	Uma volta a menos na rosca
Joelho B	Duas voltas a menos na rosca
Registro	Uma volta a menos na rosca
Registro	Duas voltas a menos na rosca
Joelho C	Uma volta a menos na rosca
Joelho C	Duas voltas a menos na rosca
Hidrômetro	Sem borracha de vedação

Ressalta-se que este trabalho somente contempla os resultados relativos às perdas reais observadas em função da ocorrência, independente dos diferentes modelos de incorreções de montagem/manutenção. Observa-se que na prática as mesmas podem ocorrer concomitantemente e resultar em valores de perda real diferentes daqueles observados quando avaliadas independentemente.

Utilizou-se a incorreção que apresentou o maior volume perdido para estabelecer cenários de perdas (m^3 /dia). Foi calculada a população que poderia ser abastecida com os volumes perdidos para isso foi considerado um consumo per capita de 200 L/hab./dia - volume utilizado usualmente para o cálculo de população de projeto. Além disso, os custos ($R\$/m^3$) de tais perdas foram mensurados adotando-se o valor médio praticado no ano de 2011 pelas concessionárias de 2,30 $R\$/m^3$ segundo dados do SNIS (2013).

3.3 Rede de distribuição de água

3.3.1 Aparato experimental

O aparato experimental utilizado para quantificação do volume de água perdido na rede de distribuição pode ser visualizado na Figura 56.

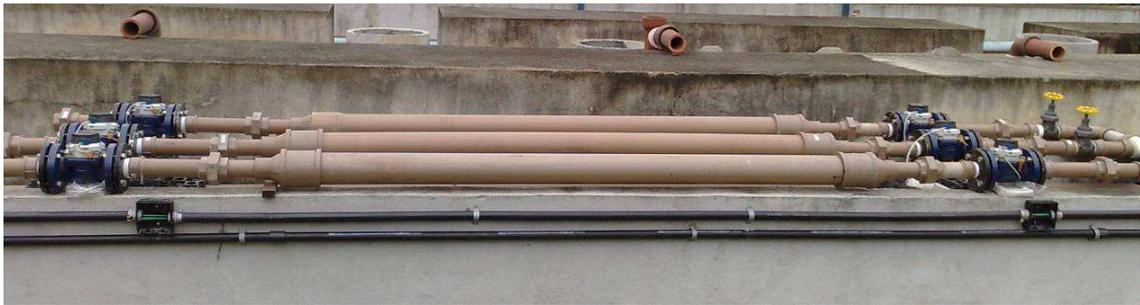


Figura 56: Esquema do aparato experimental relativo à rede de distribuição de água.

Fonte: Elaboração própria (2012).

Como ilustra a Figura 56, o aparato experimental que caracteriza as instalações do sistema de distribuição corresponde a três unidades distintas, paralelas, e de operação individual ou simultânea. São constituídas, sequencialmente, por sistema alimentador em PVC PBA de 50 mm, registros para controle de pressão e os tubos de distribuição em PVC PBA 100 mm, Ferro Fundido 110 mm, PVC Vinilfer 110 mm e PEAD 100 mm, diâmetros tipicamente encontrados em sistemas de distribuição de água.

O delineamento experimental tem como variáveis de controle a pressão disponível e os diferentes diâmetros de furos. A vazão de água perdida em função da pressão disponível e dos furos é a variável de estado a ser avaliada para as diferentes condições operacionais estabelecidas pelo delineamento experimental. Segundo Rajani *et al.*, (1996), em torno de 70% das falhas devem-se a furos circulares e 30% a falhas longitudinais nos tubos de abastecimento.

As vazões afluyente e efluente ao aparato experimental são monitoradas, respectivamente, a montante e a jusante dos sistemas, por meio de medidores de vazão do tipo woltman, marca COSMOS WPD50 de 2" (Classe B) - com saída de sinal e sensor para leitura instantânea (Figura 58). A quantificação das vazões de perda de água, de acordo com o delineamento experimental a seguir apresentado, é definida em função da diferença entre as vazões afluyente e efluente, efetivamente medidas e registradas. Medidores de pressão, semelhantes aos instalados nos cavaletes de micromedição localizados a montante e a jusante de ambas as

unidades SENSYN MD-100 - com saída de sinal, controlam as pressões disponíveis em cada um destes pontos. Além disso foi acoplado um manômetro analógico (FAMABRAS – 4,0 kgf/cm²) ao lado do furo nas tubulações com o intuito de ratificar o valor da pressão no ponto de vazamento durante os ensaios (Figuras de 57 a 61).



Figura 57: Detalhamento dos sistemas de controle de pressão e vazão para o monitoramento da rede de abastecimento.

Fonte: Elaboração própria (2012).



Figura 58: Medidor de vazão tipo woltman instalado a montante e a jusante do sistema.

Fonte: Elaboração própria (2013).

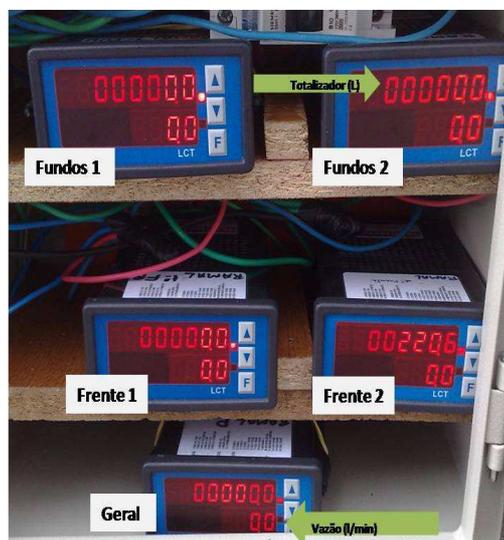


Figura 59: Controladores de vazão instantânea relativos aos medidores de vazão.

Fonte: Elaboração própria (2013).



Figura 60: Manômetro digital instalado a montante e a jusante do sistema.
Fonte: Elaboração própria (2013).



Figura 61: Manômetro analógico instalado ao lado do furo na tubulação.
Fonte: Elaboração própria (2013).

Para este experimento foi utilizada uma bomba pressurizadora PROCON série 3 (125 GPH de vazão e 250 PSI de pressão) conectada a montante do experimento (Figura 62). Utilizou-se a bomba PROCON série 3 em detrimento do *booster*, visto que havia necessidade de um maior patamar de pressão que, devido às perdas de carga localizadas, não seria atingido pelo *booster*.



Figura 62: Sistema de pressurização PROCON série 3 utilizado a montante do aparato experimental, com destaque para a bomba pressurizadora.
Fonte: Elaboração própria (2013).



3.3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental tem como objetivo avaliar os volumes perdidos pelos diferentes diâmetros de furos feitos nas tubulações estudadas, quando sujeitas a variados patamares de pressão. Esta instalação tem como referência experimentos conduzidos por Van Zyl (2004), Van Zyl e Greyvenstein (2005) e Cassa (2005) na Universidade de Joanesburgo, na África do

Sul. Os estudos procuram demonstrar a influência da pressão na vazão dos vazamentos em diferentes tipos de tubulações da rede de distribuição.

O diâmetro dos furos foi aumentado ao final de cada sequência de ensaios na ordem de: 0,8 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm e 3,0 mm, visualizados na Figura 63 para as tubulações de PEAD, PVC PBA e PVC Vinilfer, respectivamente. Ressalta-se que a tubulação de Ferro Fundido não está representada devido à dificuldade de manuseio imposta por seu peso e resistência ao corte. Pela Figura 64 são destacadas as brocas de aço rápido utilizadas nas perfurações.

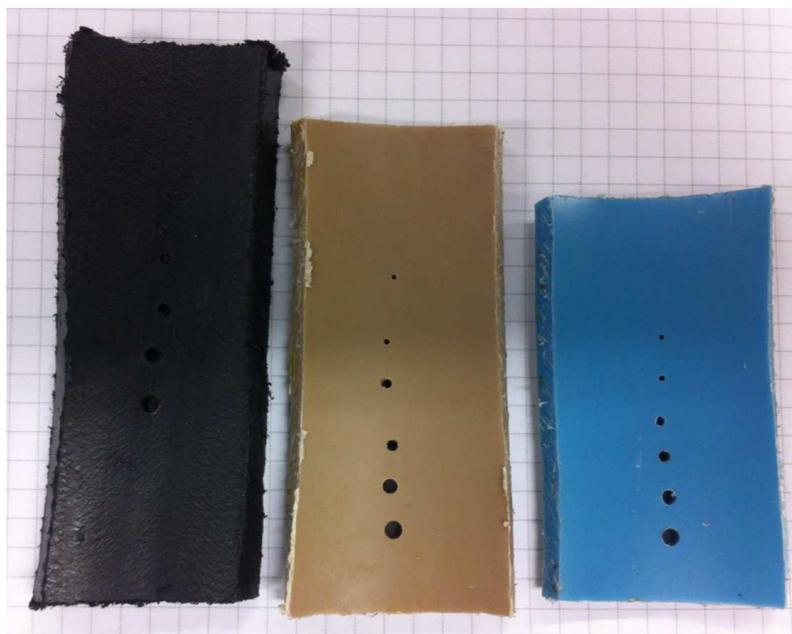


Figura 63: Indicação das diversas perfurações feitas nas tubulações de PEAD, PVC PBA, PVC Vinilfer, respectivamente.
Fonte: Elaboração própria (2013).



Figura 64: Brocas utilizadas no experimento para perfuração das tubulações de abastecimento de água.

Fonte: Elaboração própria (2013).

Os furos foram feitos na parte central das tubulações com o auxílio de uma microfuradeira para os diâmetros de broca de 0,8 mm, 1,0 mm; e uma furadeira convencional (MAQUITA) para os demais diâmetros. Cada diâmetro foi submetido aos seguintes patamares de pressão em m.c.a.: 10, 15, 20, 25, 30 e 35. É oportuno ressaltar que para a tubulação de Ferro Fundido não foi possível fazer os furos de 0,8 e 1,0 mm devido à resistência do material, composto por um revestimento interno de cimento de 2,5 mm de espessura. Pela Figura 65 pode-se observar um exemplo de furo de 0,8 mm na tubulação de PVC PBA.

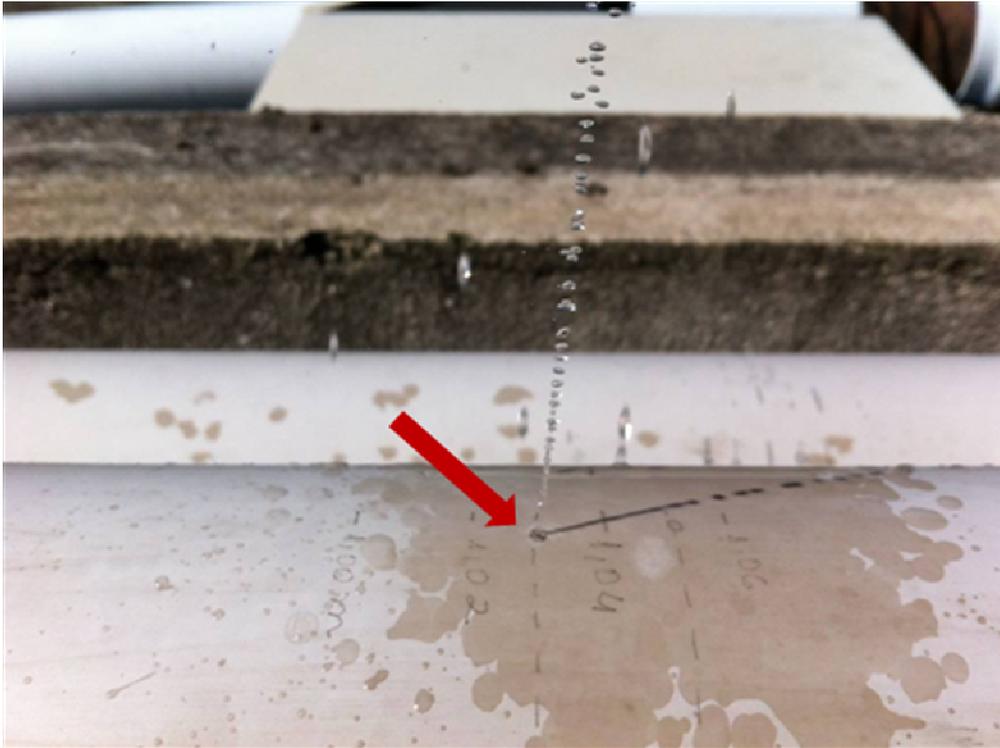


Figura 65: Vazamento de água para o diâmetro de 0,8 mm na tubulação de PVC PBA.
Fonte: Elaboração própria (2013).

Devido a problemas nos equipamentos instalados para a medição dos volumes perdidos, foi desenvolvido um sistema alternativo para captar e medir as perdas. Tal sistema é composto por um colar de tomada acoplado à tubulação com o furo e ligado a uma união de redução interna de $\frac{3}{4}$ " (comumente utilizada em sistemas de irrigação), que por sua vez liga-se a uma mangueira de $\frac{1}{2}$ ". O volume perdido captado por esse sistema foi mensurado por meio de uma proveta graduada e uma pipeta volumétrica em L/min.. Foram realizadas cinco repetições para cada ensaio conforme Figura 66, na qual também pode-se observar a presença do manômetro analógico instalado bem próximo ao local do furo.



Figura 66: Aparato desenvolvido para captação e medição da água perdida pelos furos.
Fonte: Elaboração própria (2013).

Ressalta-se que, assim como nos cavaletes de micromedição, este trabalho somente contempla os resultados relativos às perdas reais observadas em função da ocorrência independente dos diferentes diâmetros de furos. Observa-se, da mesma forma, que na prática as mesmas podem ocorrer concomitantemente e resultar em valores de perdas diferentes daqueles observados quando avaliadas independentemente.

3.4 *Companhias Estaduais: indicadores de desempenho para o controle e redução de perdas*

Em seu banco de dados o SNIS possui uma série histórica de 17 anos (1995 a 2011) de informações sobre os serviços de água e esgoto do país, dos quais foram avaliados nesta pesquisa dez anos (2002 a 2011). Cabe ressaltar que os dados referentes ao período compreendido entre 1995 e 2001 não se mostraram consistentes para a avaliação pretendida e, por isso não foram utilizados.

Para o ano base 2011 – último ano de dados publicados pelo SNIS, a população atendida e o percentual de atendimento por serviços de distribuição de água relativos a cada uma das 27 companhias estaduais de saneamento básico podem ser visualizados na Tabela 10.

Tabela 10: Companhias estaduais de saneamento básico e a relação entre a população atendida e o percentual de atendimento por serviços de distribuição de água em cada Estado.

Concessionária Regional	Estado Atendido	População Atendida Total AG001 (Habitantes) ¹	População do Estado (Habitantes) ²	Porcentagem de Atendimento (% Estadual)
AGESPISA	PI	1.794.518	3.119.015	57,53
CAEMA	MA	2.186.695	6.569.683	33,28
CAER	RR	371.625	451.227	82,36
CAERD	RO	460.316	1.560.501	29,50
CAERN	RN	2.147.573	3.168.133	67,79
CAESA	AP	257.467	668.689	38,50
CAESB	DF	2.595.643	2.562.963	100,00
CAGECE	CE	5.043.360	8.448.055	59,70
COSAMA	AM	95.640	3.480.937	2,75
CAGEPA	PB	2.493.791	3.766.834	66,20
CASAL	AL	1.687.256	3.120.922	54,06
CASAN	SC	2.523.042	6.249.682	40,37
CEDAE	RJ	11.298.895	15.993.583	70,65
CESAN	ES	2.094.463	3.512.672	59,63
COMPESA	PE	5.868.274	8.796.032	66,72
COPANOR	MG	187.736	19.595.309	0,96
COPASA	MG	11.642.371		59,41
CORSAN	RS	6.056.506	10.695.532	56,63
COSANPA	PA	1.627.816	7.588.078	21,45
DEPASA/DEAS	AC	149.194	732.793	20,36
DESO	SE	1.605.445	2.068.031	77,63

EMBASA	BA	9.434.374	14.021.432	67,29
SABESP	SP	24.285.341	41.252.160	58,87
SANEAGO	GO	4.718.019	6.004.045	78,58
SANEATINS	TO	1.050.223	1.989.453	52,79
SANEPAR	PR	8.707.488	10.439.601	83,41
SANESUL	MS	1.227.160	2.449.341	50,10

Legenda: ¹ SNIS, 2013 (ano base 2011); ² IBGE, 2011 (Censo 2010).

Fonte: SNIS (2013); IBGE (2011).

Dentre as 27 companhias foram escolhidas 22 para compor este trabalho. As companhias estaduais não incluídas no universo utilizado não apresentavam dados consolidados para os indicadores de desempenho então considerados. São elas: CAERD, CAESA, COSAMA, COPANOR, DEPASA/DEAS.

Os indicadores de desempenho utilizados no presente estudo foram obtidos a partir de informações de domínio público disponibilizadas pelo banco de dados do SNIS. Ressalta-se que estas informações são organizadas a partir de declaração anual de responsabilidade dos próprios prestadores de serviço e fornecidas por solicitação do Ministério das Cidades.

A Tabela 11 indica os quatro indicadores operacionais disponibilizados pelo SNIS e utilizados no presente trabalho para a avaliação de desempenho da prestação de serviço baseada em controle de perdas. Observa-se que diferentemente dos indicadores preconizados pela *International Water Association* para este fim, que distinguem perdas reais e de perdas aparentes, os indicadores de perdas utilizados não fazem esta distinção. Neste sentido, estes indicadores devem ser interpretados como sendo referentes à totalidade do conjunto de perdas a que estão sujeitos os sistemas de abastecimento de água.

Tabela 11: Indicadores Operacionais de água SNIS – definição e equação de cada indicador utilizado nesta pesquisa.

Referência	Definição do indicador	Unidade
Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado		
IN010	$\frac{[(\text{Volume de água micromedido})]}{[(\text{volume de água disponibilizado})^2] - (\text{volume de água de serviços})}$	Percentual
Índice de perdas de faturamento		
IN013	$\frac{[\text{Volume de água (produzido + tratado importado - de serviço) - (volume de água faturado)}]}{[\text{volume de água (produzido + tratado importado - de serviço)}]}$	Percentual

Índice de perdas na distribuição

IN049	$\frac{[\text{Volume de água (produzido + trat. importado - de serviço)} - \text{volume de água consumido}] / [\text{volume de água (produzido + tratado importado - de serviço)}]}{}$	Percentual
-------	--	------------

Índice de perdas por ligação

IN051	$\frac{[\text{Volume de água (produzido + trat. importado - de serviço)} - \text{volume de água consumido}] / [\text{Quantidade de ligações ativas de água}]}{}$	L/dia/ligação
-------	--	---------------

Fonte: SNIS (2013) - ano base 2011.

Vale ressaltar que o indicador SNIS IN050 – Índice de Perdas Lineares, foi desconsiderado deste estudo em respeito às recomendações de Alegre *et al.*, (2004), que sugerem que sua aplicação deva ser somente efetuada para o caso de densidade de ramais inferior a 20 un.km⁻¹, valor aquém daqueles que configuram o universo de sistemas avaliados e utilizado neste estudo - no caso, notadamente áreas urbanas.

O estabelecimento do valor de referência (*benchmarking*) de cada um dos quatro indicadores do SNIS foi realizado com base em estatística descritiva dos dados agregados e relativos aos sistemas de abastecimento de água da totalidade dos municípios atendidos por cada companhia estadual de saneamento básico. A avaliação estatística mostrou que, na maioria dos anos-base avaliados, três das 22 companhias apresentaram, recorrentemente, os melhores resultados para os quatro indicadores, segundo valores compreendidos entre os percentis de 23 e 33%. Foram gerados cenários para cada ano-base, demonstrando a prevalência de algumas companhias nas faixas avaliadas. Tais informações estão disponíveis nas tabelas do Apêndice A.

Exclusivamente com base nos resultados SNIS do ano-base avaliado, o percentil de 25% foi adotado para todos os indicadores como referência para estabelecimento do *benchmarking*, da seguinte forma:

- 25% das companhias estaduais de saneamento básico apresentaram índice de micromedicação (IN010) igual ou superior ao valor do *benchmarking* (%);
- 25% das companhias estaduais de saneamento básico apresentaram índice de perdas no faturamento (IN013) igual ou inferior ao valor do *benchmarking* (%);

- 25% das companhias estaduais de saneamento básico apresentaram índice de perdas na distribuição (IN049) igual ou inferior ao valor do *benchmarking* (%);

- 25% das companhias estaduais de saneamento básico apresentaram índice de perdas por ligação (IN051) igual ou inferior ao valor do *benchmarking* (L.lig⁻¹.dia⁻¹).

Como consequência, as companhias estaduais de saneamento básico que satisfaziam, concomitantemente, ao *benchmarking* dos quatro indicadores então estabelecidos foram agrupadas como *Companhias que atendem ao benchmarking*, enquanto as demais foram agrupadas como *Companhias que não atendem ao benchmarking*.

Ambos os grupos foram também comparados à luz da segregação dos dados municipais agregados baseada nos estratos populacionais usualmente empregados pelo IBGE para caracterização similar, a saber: até 20.000 habitantes; entre 20.001 e 100.000 habitantes; entre 100.001 e 500.000 habitantes; e mais de 500.001 habitantes.

Após avaliação de cada indicador optou-se por excluir das amostras de dados algumas das observações atípicas, denominadas *outliers* positivos.

4 Resultados e Discussão

Seguindo o mesmo modelo utilizado no capítulo anterior os resultados serão apresentados e discutidos subdivididos em três etapas. Primeiramente serão detalhados os resultados do experimento de perdas realizado em cavaletes de micromedição; em seguida, os resultados da segunda etapa do projeto experimental, na qual foram avaliadas as perdas de água em tubulações da rede de abastecimento urbano; e por fim, os indicadores de desempenho das companhias estaduais de abastecimento, visando listar as empresas consideradas como *benchmarking* do setor para o controle e redução de perdas de água em sistemas de abastecimento.

4.1 Cavaletes de micromedição

Pela Tabela 12 é possível observar os volumes médios de água perdidos nos cavaletes de micromedição para cada um dos 12 tipos de incorreções de montagem/manutenção quando submetidos a patamares de pressão de: 15, 20, 25 e 30 m.c.a.. Os valores utilizados representam a média de 15 experimentos realizados para os cavaletes “frente + fundos”. Ressalta-se que tabelas com a estatística descritiva para todas as incorreções de montagem/manutenção avaliadas para os diversos patamares de pressão estão disponíveis para consulta no Apêndice B.

Tabela 12: Volumes médios perdidos para todos os tipos de incorreção de montagem/manutenção nas faixas de pressão avaliadas.

Pressão	Volume perdido (L/min.)											
	Sem fita teflon	1 v. hidrômetro	1 v. joelho A	1 v. joelho B	1 v. joelho C	1 v. registro	2 v. hidrômetro	2 v. joelho A	2 v. joelho B	2 v. joelho C	2 v. registro	Sem borrachas de vedação
15	0,08	0,28	0,11	0,24	0,28	0,25	0,44	0,20	0,57	0,39	0,71	0,36
20	0,17	0,47	0,12	0,35	0,31	0,43	0,48	0,29	0,60	0,45	0,69	0,41
25	0,14	0,51	0,15	0,41	0,27	0,54	0,61	0,29	0,59	0,50	0,67	0,85
30	0,20	0,57	0,18	0,43	0,32	0,59	0,70	0,33	0,62	0,60	0,70	0,87

É oportuno ressaltar que segundo Tsutiya (2006), em pesquisa na Região Metropolitana de São Paulo, do total de perdas reais constatou-se que 36% correspondiam a perdas nos cavaletes de micromedição, uma percentagem significativa que justifica a necessidade de um estudo mais aprofundado dessa etapa do abastecimento. Além disso, deve-se relembrar que as perdas reais representam a maior parcela das perdas totais. Segundo Movikawa (2011) - SABESP, essa proporção chegou a 65% contra 35% das perdas aparentes para o ano de 2010 e segundo Gonçalves (2011), para a CAESB, 57% contra 43% das perdas aparentes para o mesmo ano.

Pela observação da Tabela 12 percebe-se que para a maior parte dos tipos de incorreções de montagens/manutenção houve uma relação proporcional entre o aumento da pressão e o volume perdido. As exceções foram observadas nos cenários: sem fita teflon, uma volta joelho C, duas voltas joelho B e duas voltas no registro, todos com volumes perdidos de forma diferenciada para a pressão de 25 m.c.a.. Observou-se que acima da pressão de 25 m.c.a. iniciava-se uma vibração em todo o sistema e tal fato pode ter sido o motivo para os volumes diferenciados encontrados.

Observa-se ainda que os maiores volumes perdidos foram para as incorreções do tipo: duas voltas no joelho B, duas voltas no registro e sem borracha de vedação. Já os menores volumes foram observados nos tipos: sem fita teflon e uma volta no joelho A.

As perdas observadas na Tabela 12 foram separadas por tipo de incorreção de montagem/manutenção e podem ser observadas nos gráficos das Figuras de 67 a 72. Ressalta-se que gráficos do tipo *boxplot* foram gerados para todos os tipos incorreção de montagem/manutenção, porém foram escolhidos apenas seis para serem apresentados no corpo da tese. Os demais podem ser visualizados no Apêndice C.

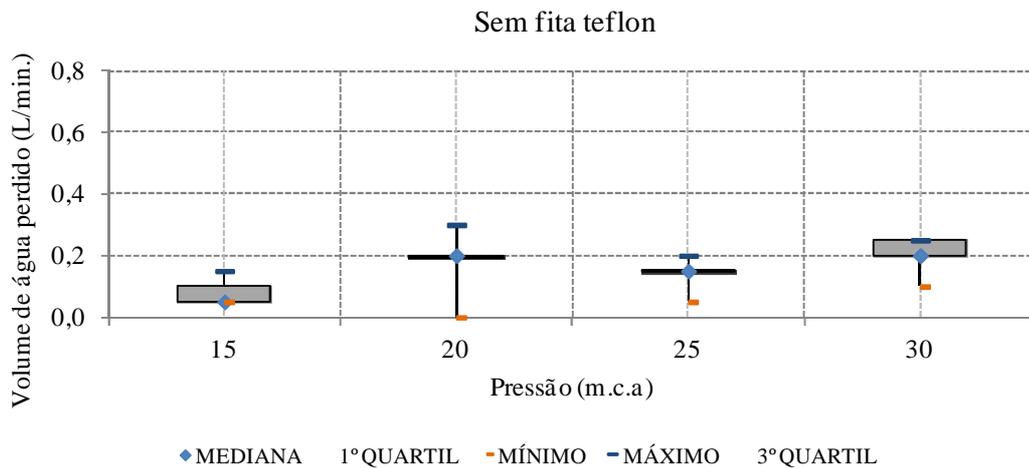


Figura 67: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: sem fita tipo teflon.

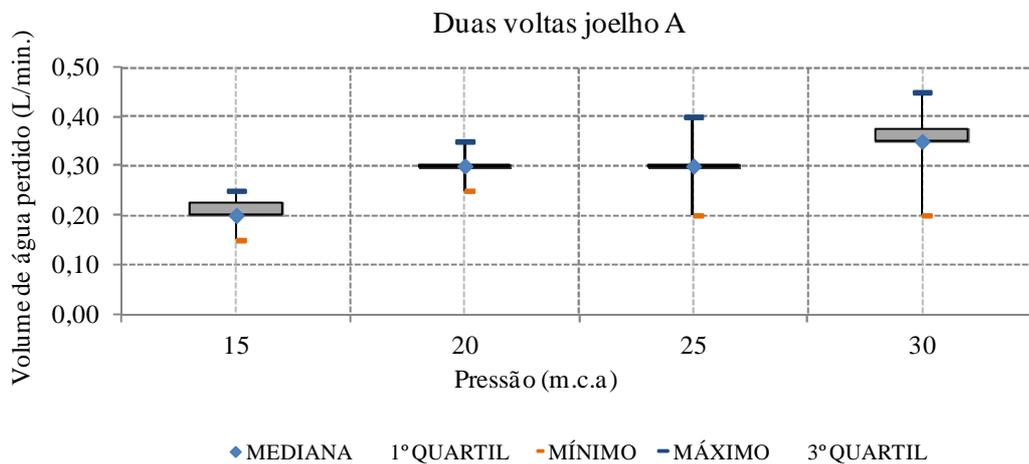


Figura 68: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no Joelho A.

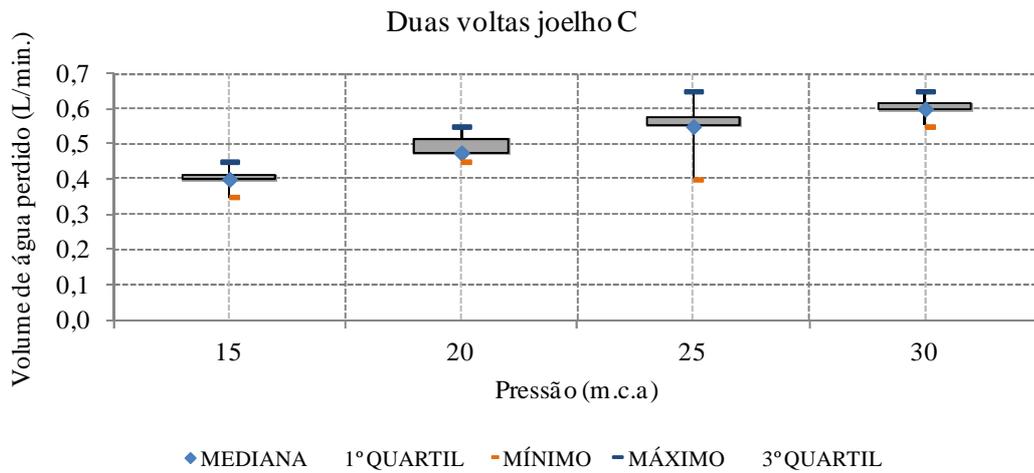


Figura 69: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no joelho C.

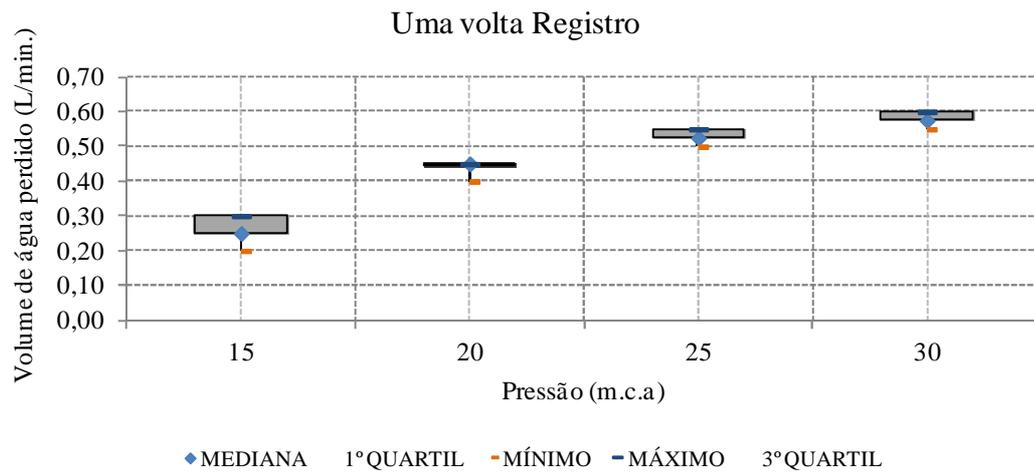


Figura 70: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no registro.

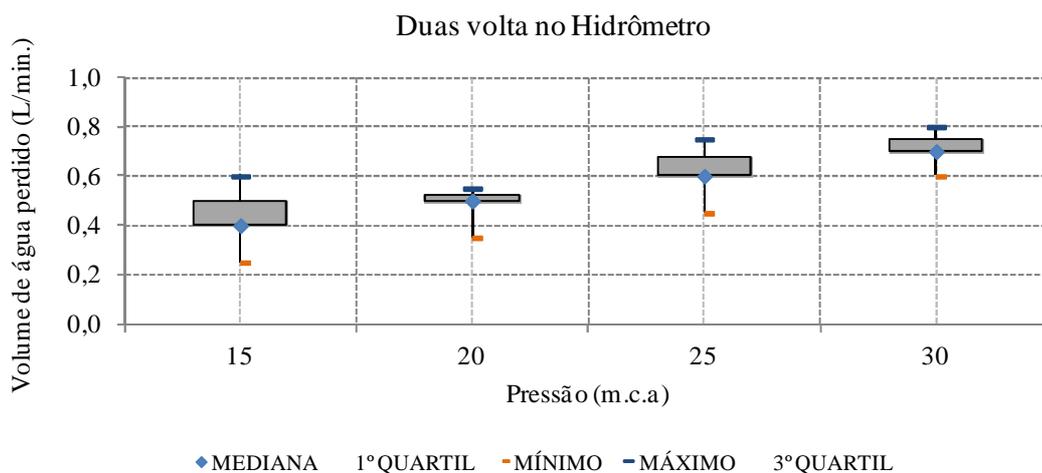


Figura 71: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no hidrômetro.

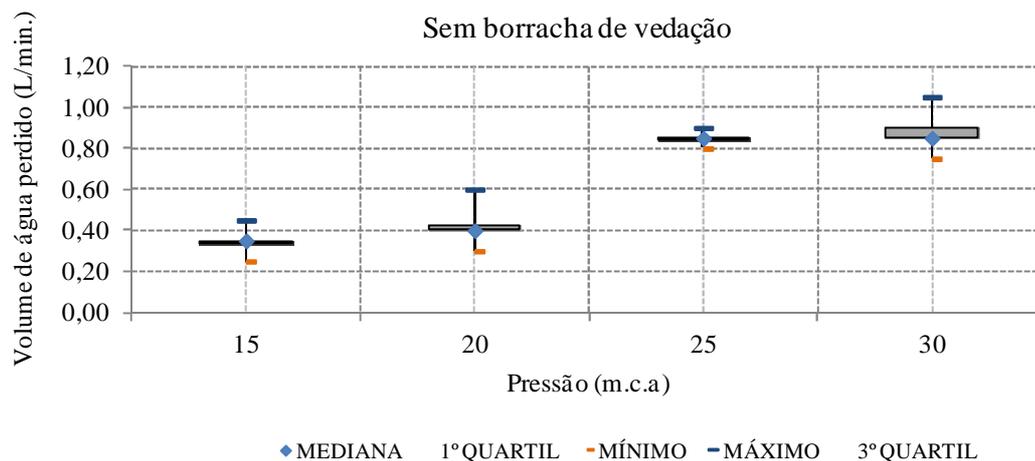


Figura 72: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: sem borracha de vedação.

Pela observação da Figura 67 pode-se observar que para a pressão de 25 m.c.a. há uma diminuição do valor da mediana, interrompendo o crescimento linear observado nos outros três pontos de pressão. A incorreção sem fita do tipo teflon é uma dentre as quais se observou o menor volume de água perdido; porém, é uma das incorreções mais frequentes devido à falta de manutenção e/ou falhas na manutenção dos parques de hidrômetros. Constata-se que um vazamento decorrente desta incorreção, submetido a um patamar de pressão de 30 m.c.a., resulta em cerca de 300 L/dia de água sendo perdidos, volume acima do consumido por habitante/dia no Estado do Rio de Janeiro, que em 2011 destacou-se com o maior consumo de água do país (258 L/hab./dia). Ressalta-se que mesmo quando ajustadas integralmente e

corretamente, a simples ausência da fita teflon em todas as conexões implica em perdas no cavalete de micromedidaç o de até 0,30 L/min., dependendo da pressão aplicada, conforme observado no gráfico da Figura 67.

O gráfico da Figura 68 refere-se   incorreção de duas voltas no joelho A. No aparato experimental o joelho A faz ligação entre o hidrômetro e a tubulação de saída da  gua. Na comparação com os volumes perdidos pelos outros dois joelhos, percebe-se que os volumes perdidos no joelho A são menores para todos os patamares de pressão. Por exemplo, para a pressão de 15 m.c.a., os volumes perdidos pelos joelhos B e C chegam a ser respectivamente 36% e 50% maiores que o A. Com o aumento da pressão o volume perdido cresce linearmente. Para a pressão de 25 m.c.a. observou-se um comportamento diferenciado em que o volume perdido se iguala ao da pressão anterior, semelhante ao que foi observado no gráfico da Figura 68.

As perdas registradas para duas voltas no joelho C (Figura 69) demonstram a proporcionalidade entre aumento de pressão e aumento de vazão do vazamento, situação observada para a maioria das incorreções de montagem/manutenção. A incorreção de duas voltas no joelho C apresentou um volume bem considerável de perdas de água, ficando entre as maiores perdas observadas. Dentre as incorreções impostas aos joelhos, apenas o joelho B apresentou volume perdido menor, tanto para uma quanto para duas voltas.

Assim como no joelho C, o volume perdido em uma volta no registro (Figura 70) apresentou um volume de perdas crescente com o aumento da pressão aplicada. Para as incorreções de menos uma volta, quando comparado aos joelhos, o registro destaca-se com o maior volume perdido nas pressões de 20, 25 e 30 m.c.a.. Já se comparado ao hidrômetro, percebe-se que houve uma maior perda no registro para as pressões de 25 e 30 m.c.a..

Na Figura 71 observam-se as perdas no hidrômetro, no caso, relativas à incorreção de duas voltas a menos na tubulação. Nesse tipo de incorreção o hidrômetro apresentou um dos maiores volumes perdidos, com destaque para as perdas nas duas primeiras pressões aplicadas - 15 e 20 m.c.a.. Para a pressão de 10 m.c.a., na comparação entre as incorreções de uma e duas voltas no hidrômetro, percebeu-se uma perda 38% maior na incorreção de duas voltas; com o aumento da pressão há uma tendência de diminuição dessa diferenç a.

A incorreção “sem borracha de vedação” (Figura 72) destaca-se por apresentar os maiores volumes de água perdido para as pressões de 25 e 30 m.c.a., respectivamente 0,90 e 1,05 L/min.. Cabe ressaltar que a borracha de vedação presente no hidrômetro fica solta e, quando há algum tipo de manutenção, é necessária muita atenção para evitar que a borracha se perca. A falta da borracha resulta em um volume diário de 1.512 L de água perdidos.

De acordo com os resultados apresentados nos gráficos das Figuras de 67 a 72, e também como esperado, na maioria dos modelos de incorreção de montagem/manutenção para as pressões aplicadas verificou-se que a maior quantidade de água perdida ocorreu para os casos de menor ajuste de cada uma das conexões. De fato, os valores alcançados para as diferentes peças e conexões, quando aplicado o modelo de incorreção do tipo “duas voltas a menos”, chegaram a ser até mais que o dobro dos valores obtidos para o tipo “uma volta a menos”. Para a pressão de 20 m.c.a., por exemplo, os valores obtidos para “duas voltas do joelho A” foram de 0,30 L/min. enquanto para “uma volta” foram 0,10 L/min.. Já para a pressão de 15 m.c.a. as perdas foram 0,70 L/min. e 0,25 L/min. respectivamente para “duas voltas” e “uma volta no registro”. Relações semelhantes podem ser observadas em boa parte dos resultados.

Todas as incorreções de montagem/manutenção podem ser observadas, para pressão de 15 e 30 m.c.a., no gráfico da Figura 73 e 74.

Pressão 15 m.c.a.

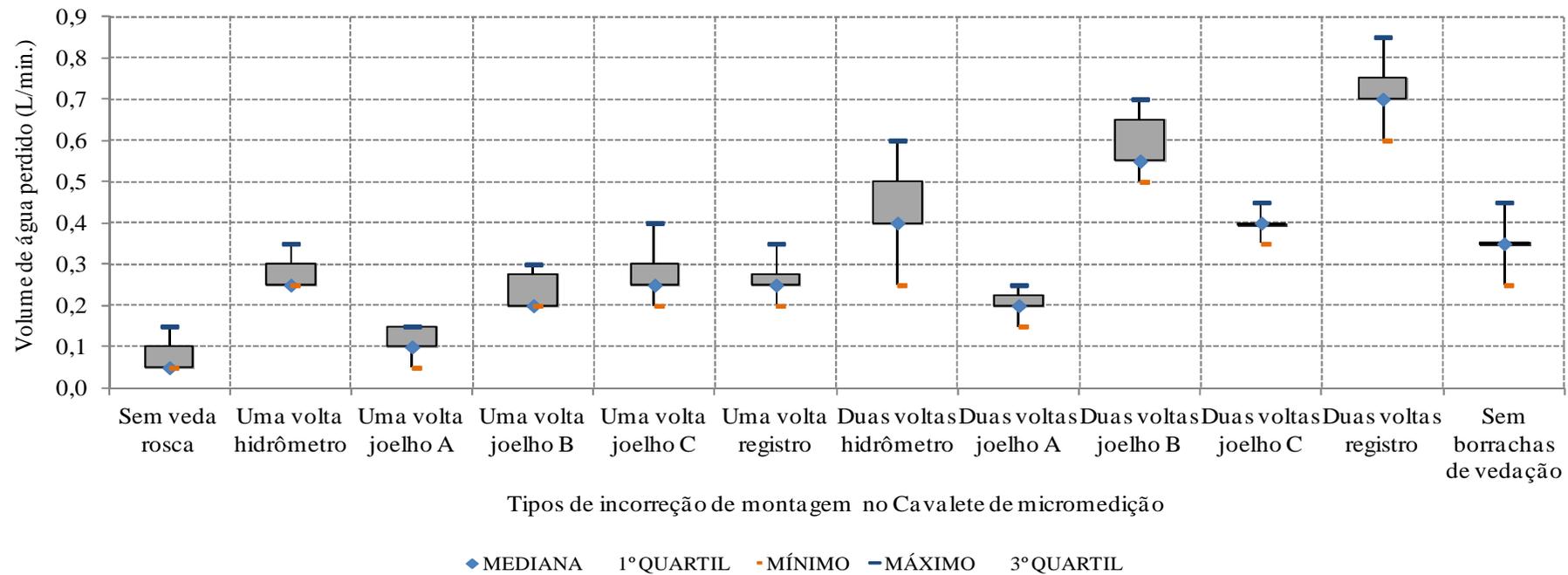


Figura 73: Volumes de água perdidos para todas as incorreções de montagem para o patamar de pressão 15 m.c.a..

Pressão 30 m.c.a.

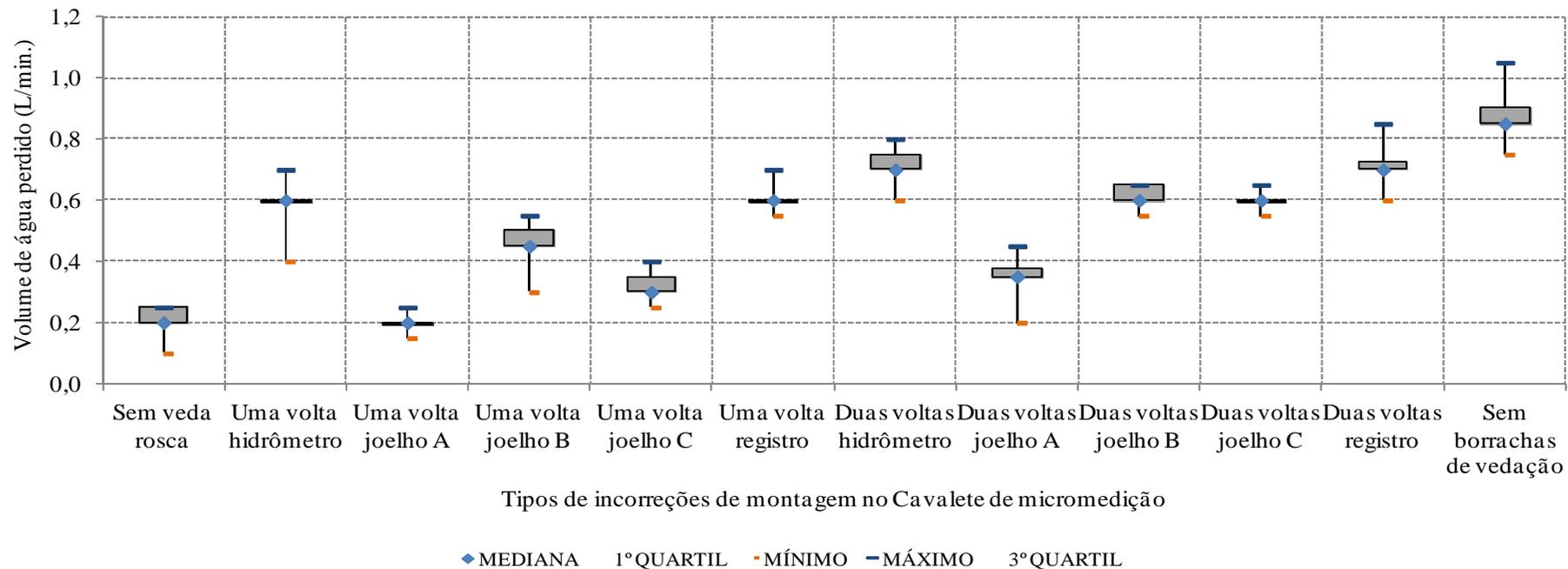


Figura 74: Volumes de água perdidos para todas as incorreções de montagem para o patamar de pressão 30 m.c.a..

Pela inferência das Figuras 73 e 74 percebe-se que as maiores perdas devem-se às incorreções dos tipos: uma e duas voltas no hidrômetro, uma e duas voltas no registro, duas voltas no joelho B, duas voltas no joelho C e sem borracha de vedação. Essa mesma verificação foi observada na aplicação das pressões de 20 e 25 m.c.a.. Para a pressão de 15 m.c.a. a incorreção de uma volta no hidrômetro não apresentou perda significativa, se comparada às outras incorreções. Gráficos semelhantes foram gerados para as outras pressões avaliadas e podem ser encontrados no Apêndice D.

Também pode ser constatado que para a incorreção do tipo “uma volta a menos”, independente da pressão aplicada, os maiores volumes de perda ocorreram no hidrômetro e no registro, com valores 50% superiores aos observados na maior parte das demais peças e conexões. Já para o modelo de avaria do tipo “duas voltas a menos”, além do elevado volume de perda no hidrômetro e no registro, compreendida respectivamente entre 0,25 e 0,80 L/min. e 0,60 e 0,85 L/min., destacam-se também os valores obtidos no joelho B, compreendidos entre 0,45 L/min. e 0,80 L/min..

Para os testes realizados nos cavaletes de micromedição foi mantida a pressão a montante sempre constante para os patamares avaliados: 15, 20, 25 e 30 m.c.a., por meio do fechamento de registros a jusante dos experimentos. Devido a perda de carga atribuída às inúmeras conexões do cavalete de micromedição, a pressão a jusante apresentou valores menores que os de montante para cada patamar avaliado.

A perda de carga experimental traduzida pelos valores dos gradientes de pressão foi comparada à teórica calculada pela equação de Hazen-Williams. O gradiente de pressão, assim como as vazões totais para cada patamar de pressão avaliado e as perdas de carga teóricas podem ser visualizados na Tabela 13. Optou-se por fazer um experimento com o patamar de pressão 5 m.c.a. apenas para verificar o gradiente de pressão. O cálculo teórico da perda de carga pode ser observado no Apêndice E.

Tabela 13: Cálculo teórico e experimental da perda de carga para o cavalete de micromedição.

Pressão Inicial (m.c.a.)	Pressão Final (m.c.a.)	Gradiente de pressão	Perda de carga teórica	Vazão (L/min.)
5	2,4	2,7	2,5	24,7
15	7,0	8,1	7,9	44,4
20	9,3	10,7	10,5	51,2
25	11,8	13,3	13,4	57,7
30	13,6	16,4	15,6	61,8

Pela Tabela 13 percebe-se a proximidade entre os valores de perda de carga experimental e teórica calculada por Hazen-Williams. Pode-se verificar também a correlação existente entre o aumento da pressão inicial e o aumento da vazão para todos os patamares avaliados. O mesmo pode ser verificado quando considerado o gradiente de pressão e a pressão inicial.

4.2 Rede de distribuição de água

Pela Tabela 14 é possível observar os volumes médios de água perdidos em cada um dos quatro tipos de tubulações de abastecimento, segundo patamares de pressão de 10, 15, 20, 25, 30 e 35 m.c.a.. Os valores utilizados representam a média de cinco experimentos realizados para os tubos. Para uma melhor visualização da evolução dos volumes perdidos, os mesmos resultados foram plotados nos gráficos das Figuras de 75 a 78. Ressalta-se que tabelas com os valores absolutos dos cinco experimentos estão disponíveis para consulta no Apêndice F.

Tabela 14: Média dos valores de perdas de água observados no monitoramento das tubulações de abastecimento para diferentes patamares de pressão.

Pressão (m.c.a.)	Vazão perdida medida (m ³ /dia)																					
	PEAD						PVC PBA						PVC Vinilfer						Ferro Fundido			
	Diâmetro do furo Ø (mm)																					
	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	1.5	2.0	2.5	3.0
10	0,36	0,31	1,83	1,33	3,69	4,55	0,49	0,76	1,96	3,34	6,07	8,01	0,55	0,57	0,72	3,06	4,33	7,31	0,90	3,64	6,10	8,90
15	0,45	0,33	2,24	1,61	5,71	6,00	0,60	0,96	2,42	4,05	6,54	9,41	0,62	0,71	0,89	3,74	5,30	9,42	1,10	4,52	7,26	10,83
20	0,52	0,38	2,59	1,89	6,49	7,54	0,66	1,06	2,85	4,54	7,35	10,14	0,69	0,82	1,04	4,24	6,44	10,40	1,28	5,28	8,77	12,79
25	0,58	0,42	2,66	2,14	7,45	9,27	0,71	1,15	3,23	4,83	7,84	11,18	0,75	0,95	1,16	4,54	7,39	11,18	1,42	6,02	9,85	14,13
30	0,64	0,47	3,13	2,29	7,57	10,55	0,77	1,22	3,58	5,19	8,34	11,98	0,97	1,07	1,29	4,90	8,13	11,90	1,53	6,53	11,46	15,78
35	0,70	0,63	3,26	2,41	8,28	11,54	0,82	1,29	3,91	5,55	9,13	12,94	1,03	1,13	1,42	5,18	8,51	12,76	1,62	7,05	11,57	16,79

É importante destacar que para a tubulação de Ferro Fundido não foi possível realizar os ensaios para os diâmetros de furos de: 0,8 e 1,0 mm, visto que as brocas utilizadas não foram capazes de perfurar o tubo.

Por esse motivo, as comparações e análises para essa tubulação, serão feitas apenas para os demais diâmetros. Vale ressaltar que a tubulação de Ferro Fundido possui uma camada de revestimento interno em cimento de 2,5 mm e foi essa camada que impediu a perfuração com as brocas de aço rápido usadas para perfurar material. No mercado não há brocas nos diâmetros de 0,8 e 1,0 mm em vídia – material utilizado para perfurar concreto.

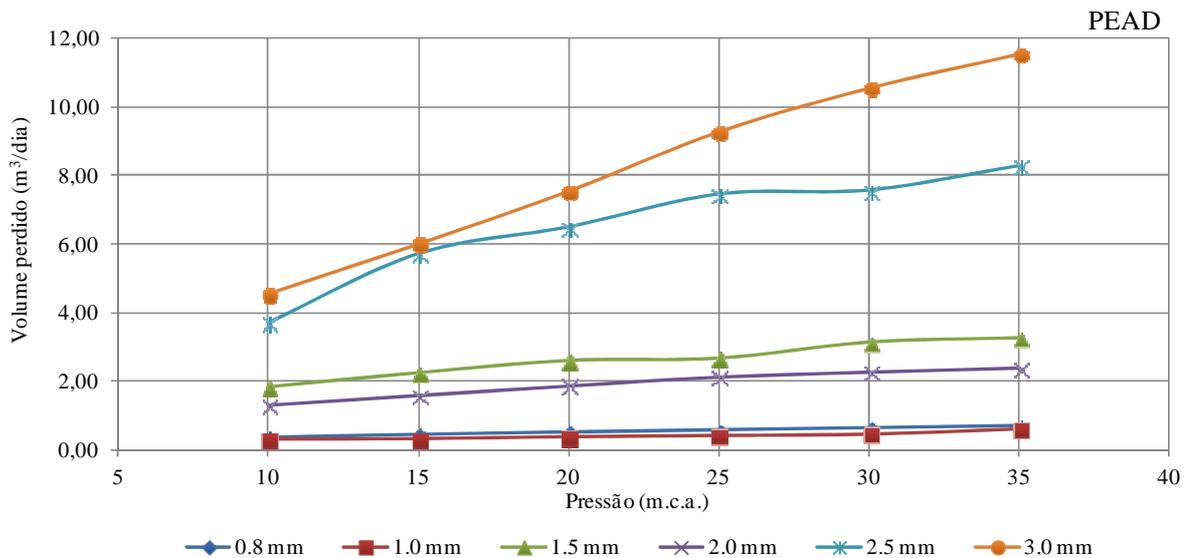


Figura 75: Volume de água perdido para a tubulação de PEAD para todos os patamares de pressão e diâmetros de furo.

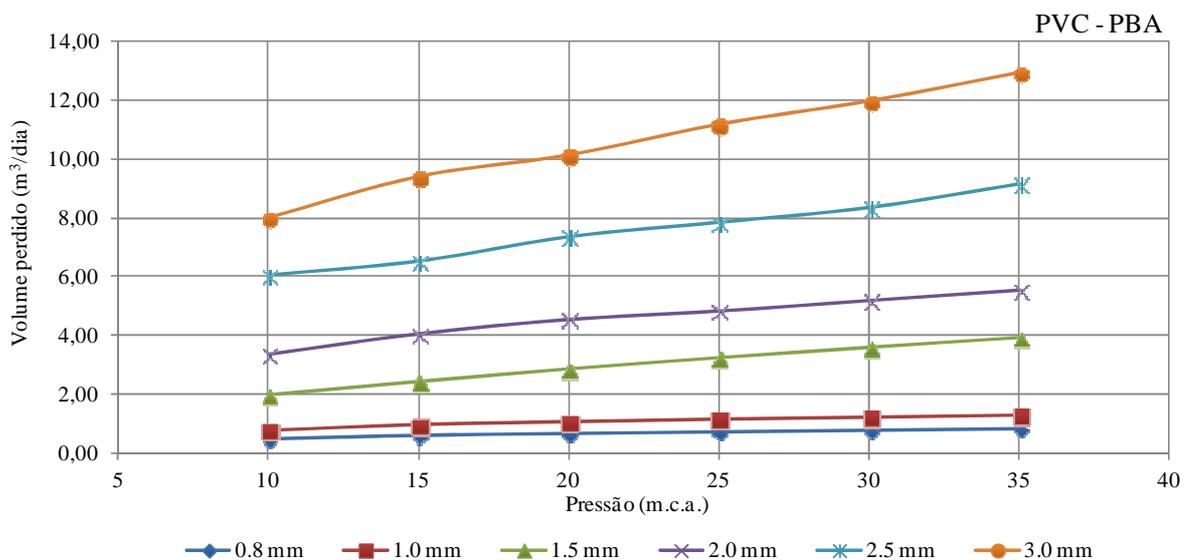


Figura 76: Volume de água perdido para a tubulação de PVC – PBA para todos os patamares de pressão e diâmetros de furo.

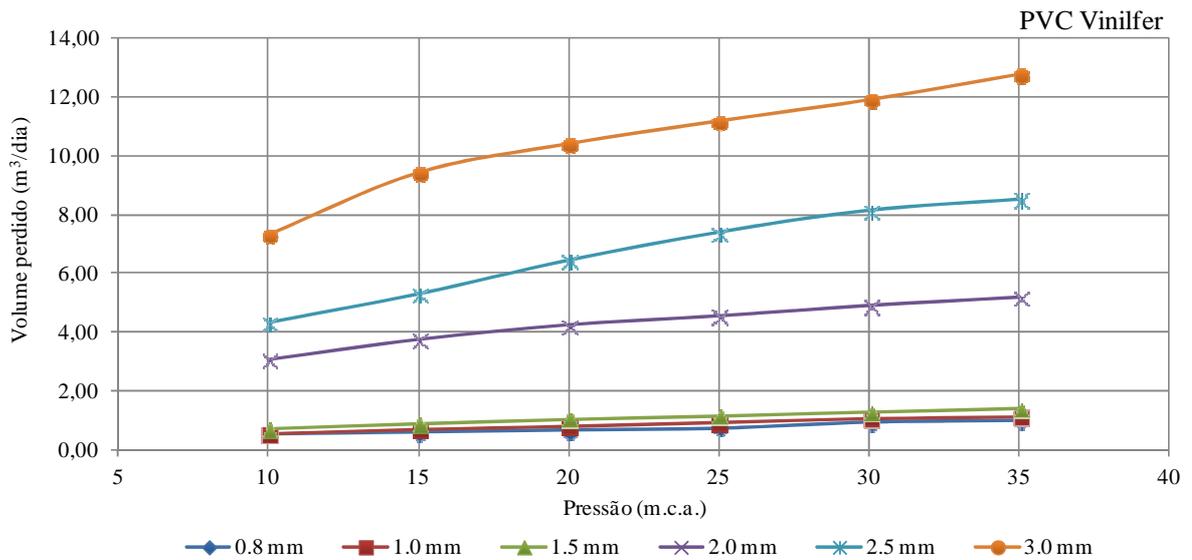


Figura 77: Volume de água perdido para a tubulação de PVC – Vinilfer para todos os patamares de pressão e diâmetros de furo.

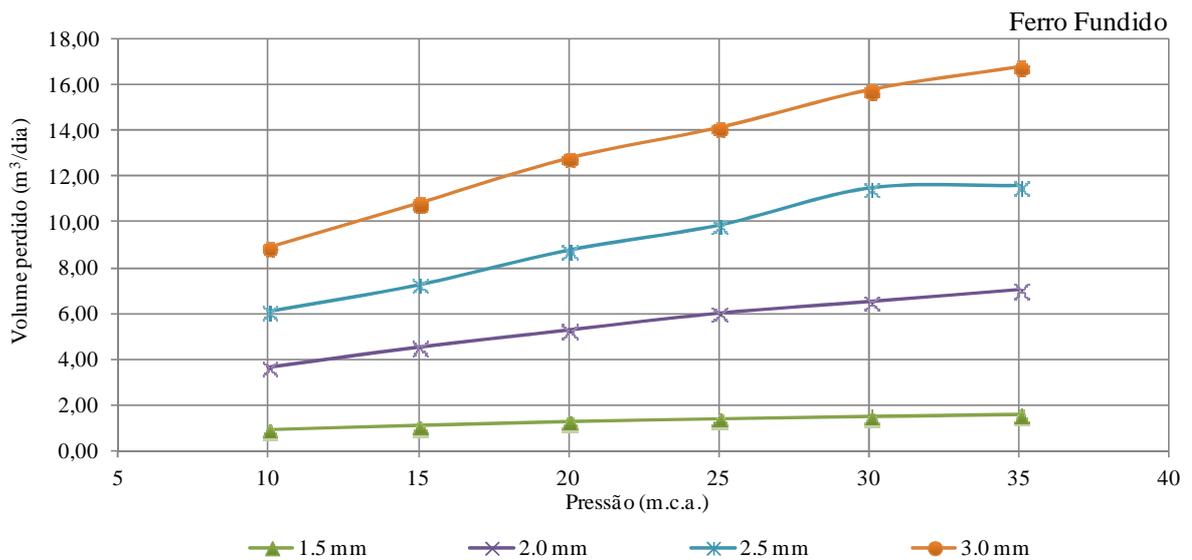


Figura 78: Volume de água perdido com a tubulação de Ferro Fundido para todos os patamares de pressão e diâmetros de furo.

Pela observação da Tabela 14 e das Figuras de 75 a 78 percebe-se que há uma nítida tendência entre o aumento da pressão e a vazão do vazamento em todos os diâmetros e para todas as tubulações avaliadas.

A tubulação de PEAD (Figura 75) é formada pela polimerização do polietileno. No setor de saneamento, o tipo de polietileno utilizado é o de alta densidade, que possui macromoléculas de estrutura linear com poucas ramificações curtas - trata-se de uma tubulação flexível. A

tubulação utilizada possui espessura de parede de 9,0 mm. Percebe-se ao analisar a Tabela 14 que, para o mesmo diâmetro de furo, houve um aumento do volume perdido com o aumento da pressão. Porém, quando avaliado o volume perdido com o aumento do diâmetro do furo, percebe-se que há uma diminuição do volume perdido nos diâmetros 1,0 e 2,0 mm para todos os patamares de pressão avaliados em todos os cinco ensaios realizados com cada diâmetro de furo (Tabelas no Apêndice F). Percebeu-se que, diferentemente das tubulações de PVC: PBA e Vinilfer, a tubulação de PEAD apresentou mais resistência ao furo, deformando-se e formando um emaranhado de fios. Tal comportamento do material pode ter contribuído para o comportamento diferenciado da tubulação quando comparada às de outros materiais. A tubulação apresentou os menores volumes de vazamento para a pressão de 10 e 35 m.c.a. em todos os diâmetros de furo. Para as demais pressões o comportamento se repetiu nos diâmetros de: 0,8; 1,0; 2,0 e 3,0 mm. Para os diâmetros de 1,5 e 2,5 mm os volumes da tubulação de PVC – Vinifer foram menores. É oportuno ressaltar que a espessura da parede pode ter contribuído para dificultar a saída da água pelo orifício, devido às tensões ao longo da espessura de 9 mm.

Já a tubulação de PVC – PBA (Figura 76) é um material rígido formado basicamente por etileno e cloro, disponível no mercado na cor marrom. Para esta pesquisa foi utilizada uma tubulação com espessura de parede de 6,4 mm. No monitoramento observou-se que para o mesmo diâmetro de furo houve um aumento do volume perdido com o aumento da pressão, para todos os diâmetros. Observou-se também que o volume perdido aumentou com o aumento do diâmetro do furo em todos os cinco ensaios realizados.

A tubulação de PVC – Vinilfer (Figura 77) está disponível no mercado na cor azul e com o diâmetro externo compatível com as tubulações de ferro fundido. Para a pesquisa foi utilizada uma tubulação com espessura de parede de 5,0 mm. Foi possível observar pelo monitoramento que a tubulação apresentou o mesmo comportamento já descrito para as tubulações anteriores, a saber: aumento do volume de água perdido para o mesmo diâmetro, com o aumento da pressão. Assim como o PVC – PBA, o PVC Vinilfer apresentou aumento do volume de água perdido com o aumento do diâmetro do furo. Ressalta-se que para os ensaios com pressões acima de 25 m.c.a. foi necessário prender à tubulação à estrutura de alimentação, uma vez que as luvas de Ferro Fundido acopladas nas extremidades da tubulação se soltavam e comprometiam o ensaio.

O Ferro Fundido (Figura 78) é uma mistura de ferro, carbono e silício, sendo o teor de carbono o fator que o diferencia dos outros produtos siderúrgicos - aço e ferro. Existem dois tipos de ferro fundido: o Cinzento e o Dúctil. No Dúctil a grafita aparece cristalizada na forma de esferas e não mais de lamelas como no Cinzento, eliminando-se assim as linhas de propagação de fissuras, tornando o ferro fundido Dúctil o mais utilizado e substituto do Cinzento.

As tubulações utilizadas possuem parede de ferro com espessura de 5,05 mm e uma camada de cimento interna de 2,5 mm, totalizando 7,55 mm. Verificou-se pelos ensaios que os maiores volumes perdidos em todos os diâmetros de furo e todas as pressões aplicadas ocorreram nessa tubulação. Observou-se ainda comportamento semelhante ao das tubulações de PVC, com aumento do volume perdido para o mesmo diâmetro e com o aumento da pressão e do volume de água perdido proporcional ao aumento do diâmetro do furo. Assim como aconteceu com a tubulação de PVC – Vinilfer, foi necessário prender a tubulação de ferro fundido para os ensaios com pressões superiores a 25 m.c.a., devido ao desacoplamento das luvas.

Quando comparados os quatro gráficos, percebe-se que os maiores volumes perdidos para o furo de 0,8 mm ocorreram na tubulação de PVC Vinilfer, seguido do PVC PBA e do PEAD para todas as pressões. Comparativamente, percebeu-se que para a pressão de 30 m.c.a. foi perdido na tubulação de PVC Vinilfer 32% a mais de água do que na tubulação de PEAD e 20% a mais do que a de PVC PBA. Para o diâmetro de furo de 1,0 mm, verificou-se que o maior volume perdido ocorreu na tubulação de PVC PBA e os menores novamente na de PEAD. Comparando os volumes perdidos nas duas tubulações, observou-se que para as pressões de 10 e 30 m.c.a. a tubulação de PVC PBA perdeu cerca de 50% a mais de água que a de PEAD. Para as outras pressões essa diferença passou a ser maior que 60%. Novamente, para o diâmetro de furo de 1,5 mm, verificou-se o maior volume perdido na tubulação de PVC PBA e o menor na tubulação de PVC Vinilfer para todas as faixas de pressão avaliadas. Para todas as faixas de pressão foi observado um percentual de volume perdido na tubulação de PVC PBA maior que 60% quando comparado à tubulação de PVC Vinilfer.

A partir do diâmetro de furo de 2,0 mm, a tubulação de ferro fundido destaca-se como sendo a de maior perda de água. No diâmetro de 2,0 mm o menor vazamento foi observado na tubulação de PEAD, cujas percentagens de perda ficaram cerca de 40% menores que as do ferro fundido. As tubulações de PVC apresentaram volumes de perda muito semelhantes para

esse diâmetro. Quando avaliado o menor volume perdido para o diâmetro do furo de 2,5 mm, percebeu-se uma alternância entre a tubulação de PEAD e PVC Vinilfer e as faixas de pressão. O PEAD apresentou menor volume de perdas nas pressões 10, 25 e 30 m.c.a. e o PVC Vinilfer nas demais. Para o diâmetro de furo de 3,0 mm, novamente verificou-se que a tubulação de PEAD apresentou os menores volumes perdidos.

Verificou-se com as informações acima que a tubulação de PEAD apresentou os menores volumes perdidos em cinco dos seis diâmetros de furos: 0,8; 1,0; 2,0; 2,5 e 3,0 mm. A tubulação de PVC Vinilfer destacou-se com o menor volume de perdas para o diâmetro de 1,5 mm e o maior para 0,8 mm.

A relação entre volume perdido e pressão também foi objetivo de estudo. Verificou-se a relação por meio do expoente de vazamento conhecido tecnicamente como N1. Pelos gráficos das Figuras de 79 a 82 tais relações podem ser observadas para as quatro tubulações estudadas.

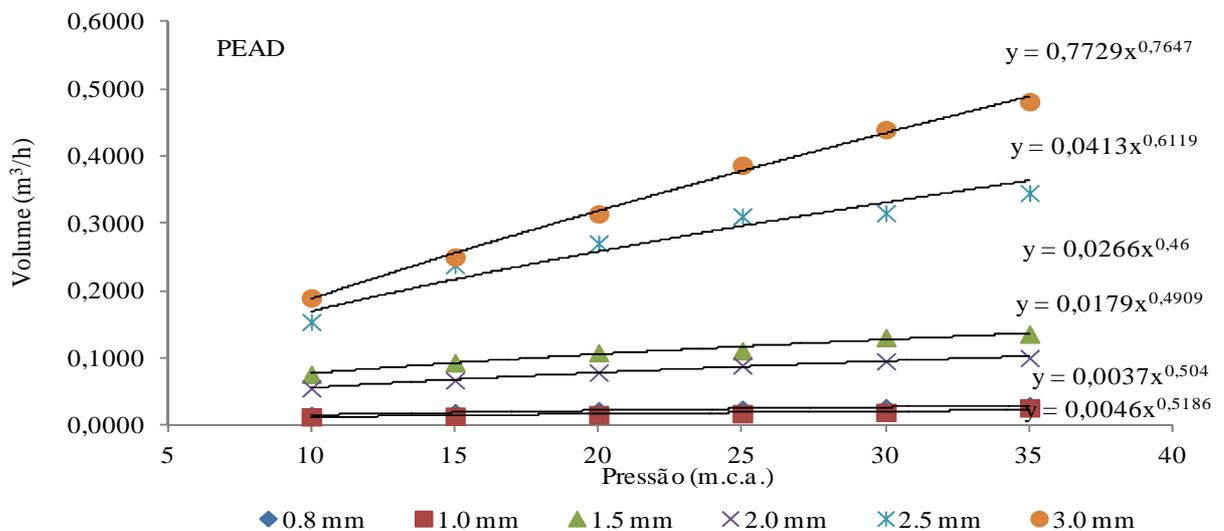


Figura 79: valores do expoente de vazamento para a tubulação de PEAD.

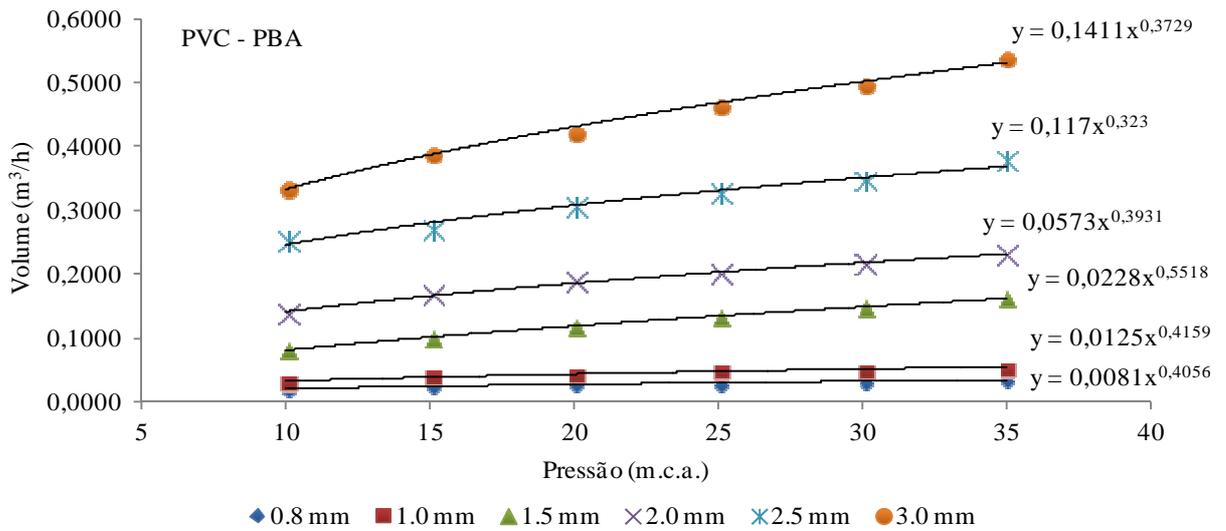


Figura 80: valores do expoente de vazamento para a tubulação de PVC - PBA.

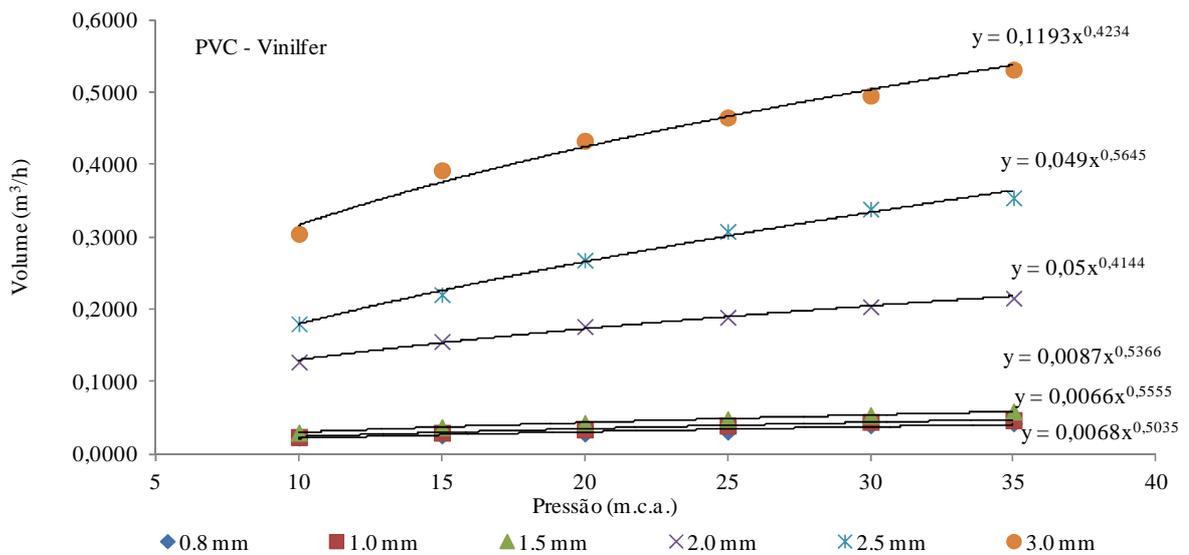


Figura 81: valores do expoente de vazamento para a tubulação de PVC - Vinilfer.

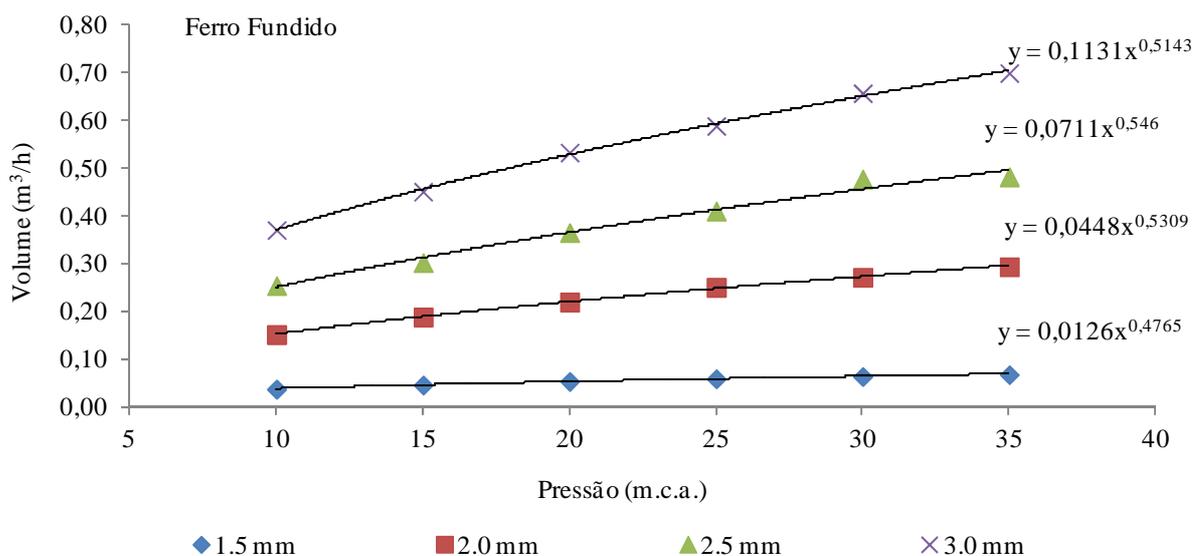


Figura 82: valores do expoente de vazamento para a tubulação de Ferro Fundido.

Segundo a literatura técnica o valor do expoente de vazamentos para tubulações rígidas é 0,5. Pela Figura 82 observa-se que os valores encontrados para a tubulação de ferro fundido ficaram próximos ao valor preconizado pela literatura variando entre (0,41 e 0,56). Cassa (2007) encontrou valores bem semelhantes utilizando furos com diâmetros maiores (4, 6, 8, 10 e 12 mm) e patamares de pressão de 20, 40 e 60 m.c.a. em experimentos com tubulações de aço. Segundo Lambert (2000), de 1980 a 1996 foram obtidos, no Japão e no Reino Unido, expoentes para tubos de metal entre 0,36 e 0,70 e para tubos de plástico os expoentes ficaram entre 1,39 e 1,72, com média de 1,5, resultado que corrobora o postulado por Gomes (2011) que para redes de distribuição cujos tubos são predominantemente flexíveis, tais como PVC e PEAD o valor característico de N1 é 1,5. Em redes cuja tubulação seja flexível e predominem rupturas devido a cortes longitudinais, o valor de N1 é 2,5.

É possível que as pressões mais baixas empregadas neste estudo e os pequenos diâmetros possam ter influenciado no cálculo do expoente, fazendo com que, em todos os diâmetros dos tubos flexíveis, os valores do expoente de vazamento ficassem abaixo de 0,8 conforme Figuras de 79 a 81. Para a tubulação de PEAD percebeu-se valores maiores para o expoente, chegando a 0,76 para o diâmetro de 2,5 mm.

4.3 Companhias Estaduais: indicadores de desempenho para o controle e redução de perdas

A seguir serão apresentados os resultados para os dois últimos anos-base do SNIS 2010 e 2011, respectivamente nas Tabelas 15 e 17. Pelas tabelas observam-se as 22 companhias organizadas de acordo com os dois grupos propostos - “Companhias cujos indicadores atenderam aos valores de referência para o *benchmarking*” e “Companhias cujos indicadores não atenderam aos valores de referência para o *benchmarking*”, bem como os valores de *benchmarking* relativos aos quatro indicadores operacionais de perdas de água e a quantidade de municípios atendidos por cada companhia. Tabelas semelhantes foram geradas para os outros anos-base e estão disponíveis para consulta no Apêndice G.

Posteriormente, para ambos os anos-base (2010 e 2011), os dados foram avaliados à luz de diferentes estratos populacionais, novamente para os dois grupos propostos. Para tal análise realizou-se a segregação dos dados municipais baseada nos estratos populacionais usualmente empregados pelo IBGE para caracterização similar, a saber: até 20.000 habitantes; entre 20.001 e 100.000 habitantes; entre 100.001 e 500.000 habitantes; e mais de 500.001 habitantes. Para o ano de 2010 os dados são apresentados em forma de gráficos do tipo *boxplot* e para o ano de 2011 optou-se por subdividir a Tabela 18 pelos estratos populacionais. Na nova Tabela 20 podem ser observadas as “Companhias cujos indicadores atenderam aos valores de referência para o *benchmarking*”. Já as tabelas completas com as “Companhias que não atendem aos valores de referência para o *benchmarking*” podem ser observadas no Apêndice H.

Tais escolhas diferenciadas de discussão para os anos base de 2010 e 2011 deram-se pelo fato de o ano de 2010 contar com um maior número de companhias no grupo – “atendem aos valores de referência para o *benchmarking*”, enquanto o ano de 2011 apresentou apenas uma companhia em tal grupo. Além disso, o fato de haver apenas uma companhia nesse grupo no ano de 2011 aumenta a necessidade de um estudo mais detalhado dos dados.

Tabela 15: Companhias Estaduais – Indicadores de Desempenho, municípios atendidos e valores de referência para o *benchmarking* para o ano-base de 2010.

Companhia Estadual	Número de municípios avaliados	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas por Ligação (L/dia/lig.) IN051
Valores do Percentil de Referência 25%					
		≥ 75%	≤ 25%	≤ 25%	≤ 25%
		65	24	33	254
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
CAGECE	149	67	20	33	215
SANEATINS	128	67	23	33	207
SANEPAR	344	68	21	32	226
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
AGESPISA	156	37	47	54	448
CAEMA	142	12	68	68	1036
CAER	15	22	64	56	833
CAERN	154	28	53	61	645
CAESB	1	75	23	25	287
CAGEPA	181	47	35	45	335
CASAL	76	23	61	66	786
CASAN	200	60	18	35	287
CEDAE	61	38	49	31	715
CESAN	58	63	27	35	461
COMPESA	173	23	57	66	727
COPASA	578	67	29	33	233
CORSAN	314	50	23	41	341
COSANPA	58	19	42	47	488
DESO	73	41	52	59	627
EMBASA	360	55	29	37	273
SABESP	363	61	28	35	403
SANEAGO	223	66	36	32	220
SANESUL	68	64	28	36	248

Pela observação da Tabela 15 percebe-se que somente as companhias CAGECE, SANEATINS e SANEPAR atenderam simultaneamente aos quatro valores de referência para o *benchmarking*. Já as outras 19 deixaram de atender pelo menos um dos valores de referência. É importante ressaltar que para fazer parte do grupo “Companhias cujos indicadores atenderam aos valores de referência para o *benchmarking*”, o prestador deve atender aos quatro indicadores de referência.

Observa-se também que, considerado o indicador IN010 – Micromedição, apenas três dentre essas 19 companhias estaduais de saneamento básico apresentaram valores de referência superiores ao *benchmarking* – CAESB, COPASA e SANEAGO. Destaca-se que a CAESB é a empresa que apresenta o melhor valor de micromedição quando comparadas todas as 22 companhias de 75%. Em contrapartida, seis dessas 19 companhias - CAEMA, CAER, CAERN, CASAL, COMPESA e COSANPA - apresentaram valores de micromedição inferiores a 30%, os quais às impõem severa deficiência para o melhor equilíbrio da sua gestão técnica operacional e comercial.

Quando verificado o indicador IN013 – Perdas no Faturamento, percebeu-se que, novamente, apenas três das demais 19 companhias possuem valores que atendem a referência de *benchmarking* - 24%, são elas: CAESB, CASAN e CORSAN. Para esse indicador, a CORSAN destacou-se com a menor percentagem de perdas de faturamento de toda a série histórica analisada e dentre todas as 22 companhias, ao registrar no ano de 2010 o valor de apenas 18%. Por outro lado, observou-se o desequilíbrio operacional e comercial de seis companhias, cujos valores registrados alcançaram perdas de faturamento superiores a 50%: CAEMA, CAER, CAERN, CASAL, COMPESA e DESO.

Para o indicador IN049 - Perdas Totais na Distribuição, os dados mostram que três das 19 companhias apresentaram valores que atenderam à referência de *benchmarking* de 33%: CAESB, CEDAE, e SANEAGO. Mais uma vez a CAESB destacou-se por apresentar o menor percentual de perdas totais para o ano de 2010 na distribuição entre todas as 22 companhias (25%). Assim como em relação aos indicadores IN010 – Micromedição e IN013 – Perdas no Faturamento, empresas das regiões Norte e Nordeste do país são as que apresentaram os piores resultados em relação ao indicador IN049 – Perdas Totais na Distribuição, alcançando valores percentuais superiores a 50%, a saber: AGESPISA, CAEMA, CAER, CAERN, CAGEPA, CASAL, COMPESA e DESO.

Avaliando-se o indicador de Perdas Totais por Ligação verificou-se que, do grupo “Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o *benchmarking*”, duas possuem valores que atenderam à referência de 254 L.lig⁻¹.dia⁻¹ SANEAGO e SANESUL. Em contrapartida, companhias do norte e nordeste do país e, especificamente a CEDAE do Rio de Janeiro, apresentaram valores de perdas superiores a 600 L.lig⁻¹.dia⁻¹. Dentre essas merece atenção destaque a CAEMA, cujos valores de perdas totais ultrapassaram 1.036 L.lig⁻¹.dia⁻¹.

Quando analisado o universo das demais 19 companhias frente ao conjunto dos quatro indicadores de desempenho, verificou-se que 12 delas, a maioria das regiões Norte e Nordeste do Brasil, não atenderam a nenhum dos quatro valores de referência. Especial destaque tem a CAEMA, companhia estadual do Maranhão, que apresentou os piores resultados de todos os indicadores avaliados para a maioria dos anos da série histórica. Em contrapartida, verificou-se que CAESB e COPASA somente não atenderam a um dos indicadores, respectivamente IN051 e IN013.

Os gráficos das Figuras de 83 a 86, também para o ano-base 2010, demonstram à luz de diferentes estratos populacionais os dois grupos. O objetivo de tal análise foi inferir eventuais distorções dos resultados anteriores frente à dimensão e abrangência dos diversos sistemas de abastecimento de água.

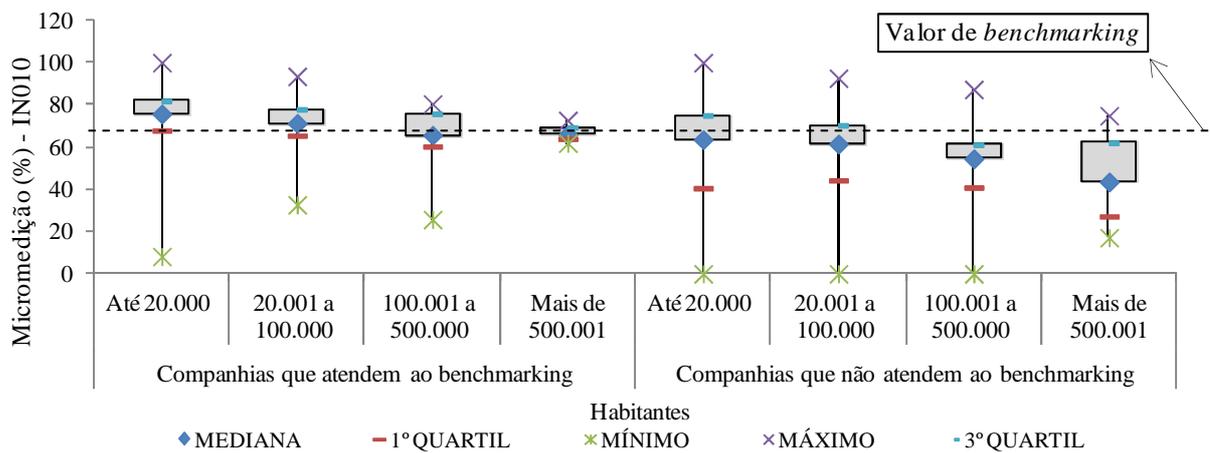


Figura 83: Comparativo por classes de população para companhias que atendem ou não ao *benchmarking* para o indicador IN010.

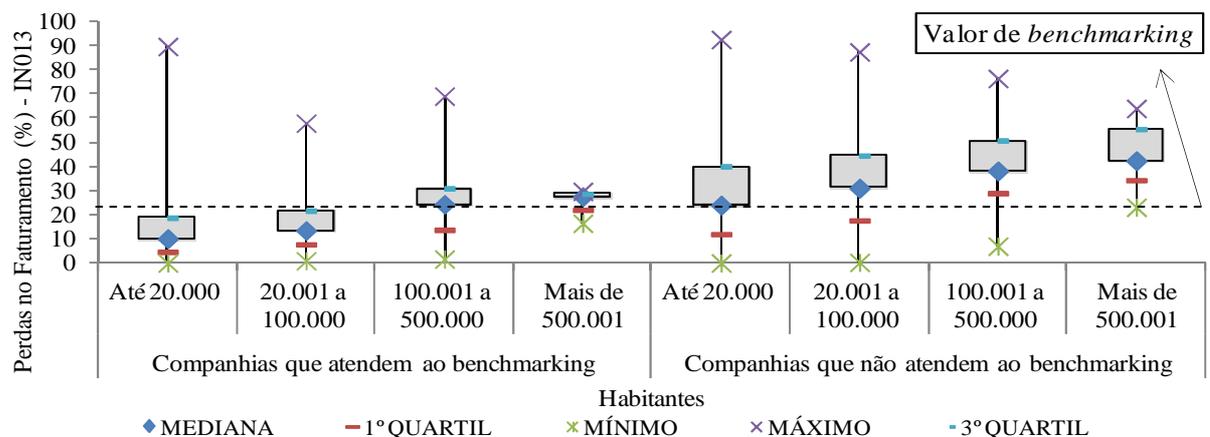


Figura 84: Comparativo por classes de população para companhias que atendem ou não ao *benchmarking* para o indicador IN013.

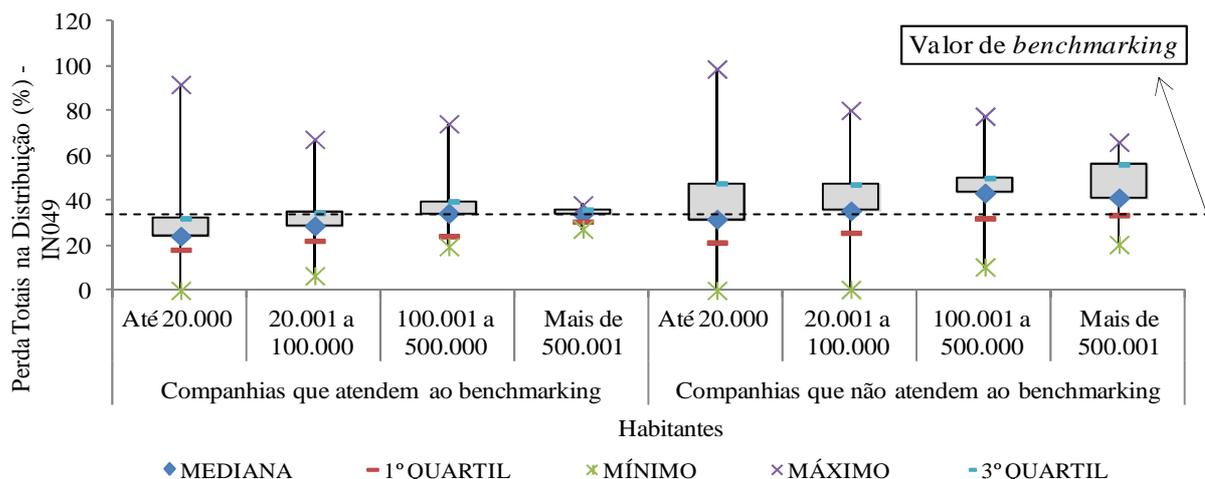


Figura 85: Comparativo por classes de população para companhias que atendem ou não ao benchmarking para o indicador IN049.

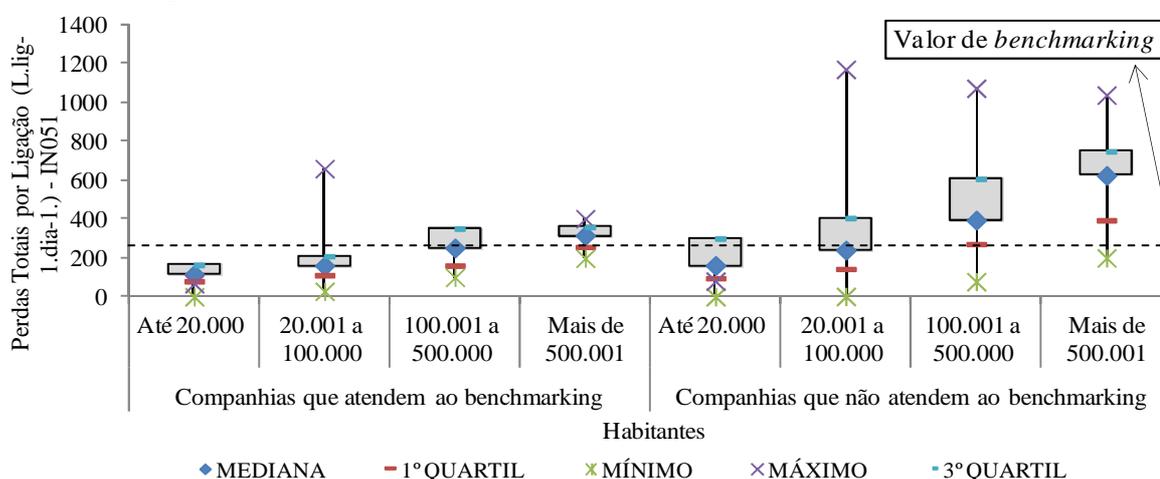


Figura 86: Comparativo por classes de população para companhias que atendem ou não ao benchmarking para o indicador IN051.

Pela observação das Figuras anteriores é possível entender de forma muito clara que a melhor qualidade dos serviços prestados está diretamente relacionada aos menores estratos populacionais.

Verificou-se também que a mediana da totalidade dos resultados do grupo “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o benchmarking” é sempre inferior à mediana dos resultados do grupo “Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o benchmarking” de acordo com os seguintes valores: 43% inferior para o indicador IN013, 20% inferior para o indicador IN049 e 51,89% inferior para o indicador IN051 e 29% superior para o indicador de Micromedição - IN010.

Quando estes mesmos resultados são analisados à luz dos estratos populacionais, observou-se que os valores entre as mesmas medianas diferem, como mostra a Tabela 16. A tabela demonstra o quanto a mediana dos indicadores IN013, IN049 e IN051 do grupo “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*” podem ser inferiores às do grupo “Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o *benchmarking*” e superiores para o caso do indicador IN010.

Tabela 16: Diferença percentual entre os valores de mediana dos indicadores de operação avaliados para os grupos: “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*” e “Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência”.

Estratos populacionais	Indicadores de desempenho SNIS			
	IN010 (% Superior)	IN013 (% Inferior)	IN049 (% Inferior)	IN051 (% Inferior)
Até 20.000	16	57	28	27
20.001 a 100.000	13	56	18	32
100.001 a 500.000	17	36	20	36
Acima 500.001	34	35	17	49

As Figuras de 83 a 86 também evidenciaram, para todos os indicadores, a menor variabilidade dos resultados do grupo “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*”. Isso sugere similar desempenho de operação e manutenção dos respectivos sistemas de abastecimento de água e em relação às práticas de gestão dos mesmos e de integridade de seus ativos.

Observou-se ainda que a caracterização do grupo “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*”, com base nos valores de *benchmarking* então definidos para os quatro diferentes indicadores, e que resultou somente na consolidação dos resultados das companhias SANEATINS, SANEPAR e CAGECE, deve-se principalmente ao desempenho de gestão de ativos dos sistemas de abastecimento de água que atendem aos estratos populacionais de até 100.001 habitantes. Neste contexto, verifica-se que o estrato populacional acima de 500.001 habitantes praticamente não atende a nenhum dos valores de referência propostos para o *benchmarking* dos quatro indicadores de desempenho.

Por outro lado, também se observou que apesar de incluídos no grupo “Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o *benchmarking*”, os sistemas de abastecimento de água do estrato populacional até 20.000 habitantes atende ao valor de *benchmarking* quando considerados os indicadores IN049 e IN051.

Pela Tabela 17 e para o ano-base 2011 é possível observar as 22 companhias organizadas de acordo com os dois grupos propostos - as que atendem ao *benchmarking* e as que não atendem, bem como os valores de *benchmarking* relativos aos quatro indicadores operacionais e à quantidade de municípios atendidos por cada companhia.

Tabela 17: Companhias Estaduais – Indicadores de Desempenho, municípios atendidos e valores de referência para o *benchmarking* para o ano base 2011.

Companhia Estadual	Número de municípios avaliados	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (l/dia/lig.) IN051
Valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
		63	27	34	258
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
SANEPAR	344	67	21	33	233
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
AGESPISA	151	31	54	60	583
CAEMA	133	11	68	59	910
CAER	14	22	62	58	800
CAERN	151	28	51	60	645
CAESB	1	75	23	25	278
CAGECE	132	63	27	36	249
CAGEPA	179	45	35	47	363
CASAL	75	25	58	64	748
CASAN	201	59	24	36	298
CEDAE	63	37	49	32	668
CESAN	52	62	25	36	453
COMPESA	173	25	57	66	748
COPASA	570	67	29	33	227
CORSAN	313	52	46	42	339
COSANPA	58	21	41	45	475
DESO	72	39	54	61	673
EMBASA	347	55	26	38	270
SABESP	362	62	27	34	394
SANEAGO	223	67	36	32	210
SANEATINS	128	64	24	35	221
SANESUL	68	63	29	36	254

Pela observação da Tabela 17 percebe-se que somente a SANEPAR atende aos valores de referência para o *benchmarking*. Já as outras 21 deixaram de atender pelo menos um dos valores de referência.

Observou-se que para o indicador IN010 – Micromedição, cinco companhias apresentaram valores de referência superiores ao *benchmarking*, são elas: CAESB, CAGECE, COPASA, SANEAGO e SANEATINS. No caso, observou-se que a CAESB, seguindo o mesmo resultado observado em 2010, foi a empresa que apresentou em 2011 o melhor valor de micromedição quando comparadas as 22 companhias de 75%, superior ao observado no ano anterior. Em contrapartida, assim como ocorreu em 2010, as mesmas seis companhias - CAEMA, CAER, CAERN, CASAL, COMPESA e COSANPA - apresentaram valores inferiores a 30%, confirmando falhas na gestão técnica operacional e comercial de tais empresas.

Para os valores do indicador IN013 – Perdas no Faturamento, percebeu-se que, cinco das demais 21 companhias possuem valores inferiores ao valor de referência de *benchmarking* – 27%, são elas: CAESB, CASAN, CESAN, EMBASA e SANEATINS. Por outro lado, observou-se o desequilíbrio operacional e comercial de sete companhias, cujos valores registrados alcançaram perdas de faturamento superiores a 50%, são elas: AGESPISA, CAEMA, CAER, CAERN, CASAL, COMPESA e DESO. O mesmo foi observado no ano de 2010 para as seis últimas.

A avaliação das Perdas Totais na Distribuição (IN049) permitiu inferir que cinco das 21 companhias apresentaram valores que atenderam à referência de *benchmarking* de 34%: CAESB, CEDAE, COPASA, SABESP e SANEAGO. Assim como em 2010, a CAESB destacou-se por apresentar para toda a série histórica, o menor percentual de perdas totais na distribuição, entre todas as 22 companhias analisadas. Empresas das regiões Norte e Nordeste do país destacam-se novamente por apresentar os piores resultados em relação ao indicador IN049 – Perdas Totais na Distribuição, alcançando valores percentuais superiores a 50%, a saber: AGESPISA, CAEMA, CAER, CAERN, CASAL, COMPESA e DESO. Em relação ao ano de 2010 apenas a CAGEPA melhorou o valor do indicador.

Para o indicador de Perdas Totais por Ligação, observou-se que cinco companhias do grupo “Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o *benchmarking*”, apresentaram valores que atenderam à referência de 258 L.lig⁻¹.dia⁻¹, a saber: CAGECE,

COPASA, SANEAGO, SANEATINS e SANESUL. Mais uma vez verificou-se que companhias do Norte e Nordeste do país e, especificamente a CEDAE do Rio de Janeiro, apresentaram valores de perdas superiores a $600 \text{ L.lig}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. Assim como no ano de 2010, merece atenção a CAEMA cujos valores de perdas totais ultrapassaram $910 \text{ L.lig}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. O valor, no entanto, foi inferior ao registrado no ano de 2010.

Quando analisado o universo das demais 21 companhias frente ao conjunto dos quatro indicadores de desempenho, verificou-se que dez delas companhias não atenderam a nenhum dos valores de referências propostos, a saber: AGESPISA, CAEMA, CAER, CAERN, CAGEPA, CASAL, COMPESA, CORSAN, COSANPA e DESO. Sendo que dentre as dez apenas a CORSAN pertence ao Sul do país: todas as outras pertencem ao Norte e Nordeste. Assim como verificado no ano de 2010, o destaque foi da CAEMA, companhia do Maranhão, com os piores resultados para três dos quatro indicadores avaliados. Apenas para o indicador de perdas na distribuição (IN049) a COMPESA, do Estado de Pernambuco mostrou-se em pior situação.

Pela Tabela 18 e para o ano-base 2011 é possível observar as “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*”, organizadas de acordo com os dados municipais baseados em estratos populacionais, a saber: até 20.000 habitantes; entre 20.001 e 100.000 habitantes; entre 100.001 e 500.000 habitantes; e mais de 500.001 habitantes, relativos aos quatro indicadores operacionais e a quantidade de municípios atendidos por cada companhia. Apenas para o ano de 2011 (último ano de dados do SNIS) foi gerada a tabela de comparação por estratos populacionais. No Apêndice H estão disponíveis as tabelas completas com as companhias que atendem e com as que não atendem aos valores de referência para o *benchmarking*.

Tabela 18: “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*” comparadas por meio da segregação dos dados baseada em estratos populacionais.

Tamanho do município (habitantes)	Cia. Regional	Número de municípios avaliados	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (l/dia/lig.) IN051
< 20.000	Valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
			70	16	27	151
	Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
	CESAN	41	77	11	23	138
	SABESP	258	78	11	22	128
	SANEPAR	279	76	9	24	119
20.000 ≤ x < 100.000	Valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
			67	24	32	236
	Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
	COPASA	67	73	22	27	166
	SABESP	71	68	21	32	244
	SANEPAR	51	72	15	28	164
100.000 ≤ x < 500.000	Valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
			60	26	36	271
	Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
	CAGECE	2	80	25	19	126
	EMBASA	8	60	24	36	271
	SANEATINS	2	66	26	34	244
	SANEPAR	12	67	22	33	256
≥ 500.000	Valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
			62	35	37	402
	Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
	CAESB	1	75	23	25	278
	SANEPAR	2	63	30	37	378

Pela análise da Tabela 18 percebe-se que para o ano de 2011 a companhia do Paraná – SANEPAR reafirma ser a de melhor desempenho, uma vez que está presente em todos os estratos analisados. Percebe-se que, pela análise realizada por estratos de população, encontrou-se para todos os estratos, mais de uma companhia atendendo ao *benchmarking* proposto. Ou seja, há companhias cuja prestação de serviços de abastecimento é mais eficiente

para determinado estrato de população. Um exemplo disso é a COPASA, que atua com melhor desempenho para populações de até 100.000 habitantes. A companhia não está presente no primeiro estrato (até 20.000) apenas por não atender ao indicador de perdas no faturamento (IN013).

Ainda para o menor estrato e somente nesse destacam-se CESAN e SABESP. Ressalta-se que a Companhia Paulista não esteve presente no grupo “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*” em nenhum dos anos avaliados e a Capixaba integrou tal grupo apenas no ano-base 2003. As companhias COPASA, EMBASA e SANESUL não estão presentes nesse grupo para populações < 20.000 habitantes devido a apenas um indicador para cada, são eles: IN013, IN010 e IN051, respectivamente. No extremo oposto estão as companhias do Nordeste, que com exceção da EMBASA, não atendem a nenhum dos valores de referência estabelecidos, assim como a CEDAE, CORSAN e SANEATINS.

O estrato intermediário de 20.000 a 100.000 mil habitantes possui apenas duas companhias atendendo aos valores de *benchmarking* calculados: COPASA e SANEPAR. Para esse estrato de população apenas a EMBASA e a SABESP não estão presentes, por deixar de atender a apenas aos indicadores IN010 e IN051, respectivamente. As demais companhias do Norte e Nordeste não atenderam aos valores de *benchmarking* calculados. O mesmo aconteceu com as companhias CEDAE, CESAN e SANEATINS.

Para municípios com populações de 100.001 a 500.000 mil habitantes foi verificado o maior número de companhias atendendo aos valores de referência, quatro no total. Destaca-se que duas delas são do Nordeste: CAGECE, EMBASA, SANEATINS e SANEPAR. Apenas a SANEAGO deixou de fazer parte do grupo por não ter atendido apenas ao indicador de perdas no faturamento (IN013). Outro destaque para esse estrato de população refere-se ao fato de que 11 companhias não atenderam a nenhum dos quatro valores de referência.

A CAESB, companhia do Distrito Federal, atende apenas Brasília, município com 2.595 habitantes. Por esse motivo não foi avaliada nos estratos anteriores (< 500.001 habitantes). A empresa encontra-se presente no estrato > 500.000 habitantes na Tabela 18 devido à menor rigidez do valor de referência para o indicador de perdas por ligação (IN051); o valor desse indicador quando analisados todos os estratos populacionais foi de 257 L.lig⁻¹.dia⁻¹ (Tabela 18). Porém, quando avaliado apenas o padrão populacional > 500.000 habitantes, o valor

aumenta consideravelmente para $402 \text{ L.lig}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, sinalizando que a CAESB pode ser considerada, juntamente, com a SANEPAR, referência no atendimento quanto à redução e controle de perdas para o ano de 2011, visto que não sofre interferência de sistemas de menor porte. Para esse estrato populacional, as companhias COPASA e SANEAGO não estão presentes por não atenderem a apenas um dos indicadores, a saber: IN049 e IN013, respectivamente. É oportuno salientar que algumas das 22 companhias avaliadas não apresentam alcance para população > 500.000 habitantes e por isso não participaram com dados para o cálculo dos indicadores, são elas: CAER, CASAN, CESAN, CORSAN, SANEATINS e SANESUL. Mais uma vez as companhias do Norte e Nordeste não atenderam a nenhum dos quatro valores de referência.

Observou-se que houve um declínio no número de companhias que não atenderam a nenhum dos quatro valores de referência. Para o menor estrato populacional (< 20.000) foram 13 companhias, seguidos de 12 para o estrato 20.000 a 100.000, de 11 para o estrato de 100.000 a 500.000 e de 10 para o último estrato (> 500.000) habitantes. Nota-se também que os valores de referência do *benchmarking* tendem, exceto para IN010, a um crescimento com o aumento do número de habitantes do município.

A análise com distribuição por estrato é importante, pois visa responder possíveis dúvidas sobre a comparação entre sistemas de abastecimento de grande porte e sistemas de menor porte. No entanto, é importante salientar que o presente estudo visa mapear as companhias de melhor desempenho para os indicadores selecionados, independentemente do porte dos sistemas de abastecimento.

Os resultados seguintes dizem respeito à série histórica avaliada (2002 a 2011). Pela Tabela 19 é possível observar os valores de referência para o *benchmarking* dos quatro indicadores operacionais do SNIS e os valores alcançados pelas companhias do grupo - “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*“. Pelas Figuras de 87 a 90 observam-se as quatro companhias que se destacaram no grupo - “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*“, sendo apresentada uma figura para cada indicador de desempenho.

Tabela 19: Valores de *benchmarking* e companhias estaduais selecionadas como as de melhor desempenho para os anos base de 2002 a 2011.

Ano base	Valor de <i>benchmarking</i> e companhia Regional	Índice de Micromedição Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (l/dia/lig.) IN051
2001	<i>benchmarking</i>	55	26	31	345
	COPASA	70	18	30	213
	SANEATINS	68	21	32	210
2002	<i>benchmarking</i>	63	25	33	227
	COPASA	70	18	30	213
	SANEATINS	68	21	32	210
2003	<i>benchmarking</i>	64	24	32	228
	CESAN	71	15	29	191
	COPASA	66	18	27	204
	SANEPAR	72	15	28	171
2004	<i>benchmarking</i>	65	24	31	255
	COPASA	72	14	28	168
	SANEPAR	74	13	26	145
2005	<i>benchmarking</i>	66	23	29	206
	CAGECE	67	28	28	203
	COPASA	73	12	27	154
	SANEPAR	74	12	26	140
2006	<i>benchmarking</i>	68	21	30	201
	COPASA	73	19	27	147
	SANEATINS	71	18	16	103
	SANEPAR	74	13	26	143
2007	<i>benchmarking</i>	70	21	29	180
	SANEATINS	78	17	22	134
	SANEPAR	73	13	26	150
2008	<i>benchmarking</i>	70	18	29	173
	CAGECE	71	17	28	146
2009	SANEPAR	74	11	26	136
	<i>benchmarking</i>	61	27	35	291
	SANEATINS	66	23	33	205
2010	SANEPAR	68	20	32	219
	<i>benchmarking</i>	65	24	33	254
	CAGECE	67	20	33	215
	SANEATINS	67	23	33	207
2011	SANEPAR	68	21	32	226
	<i>benchmarking</i>	63	27	34	258
	SANEPAR	67	21	33	233

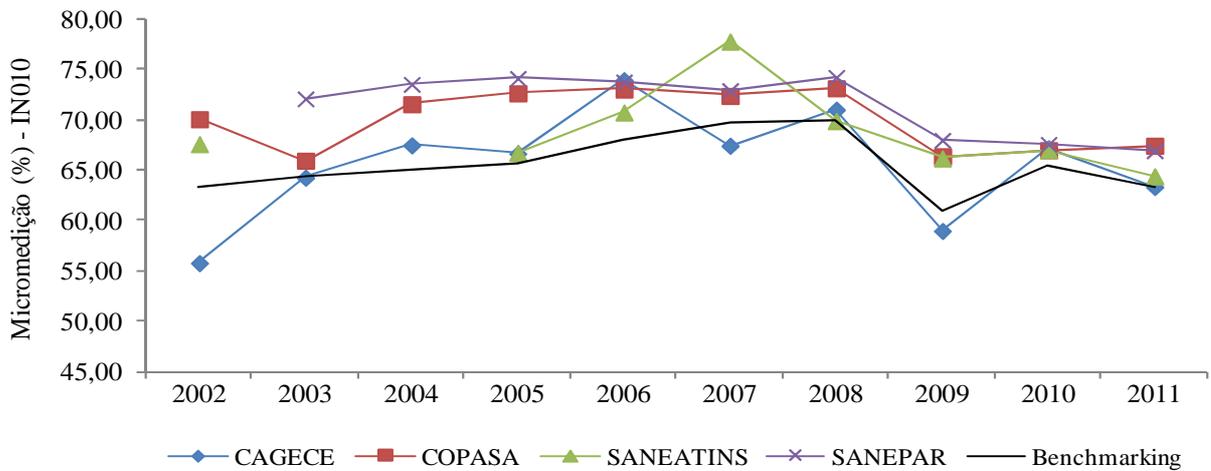


Figura 87: Série histórica de desempenho de quatro companhias para o indicador de desempenho: IN010 – Micromedição.

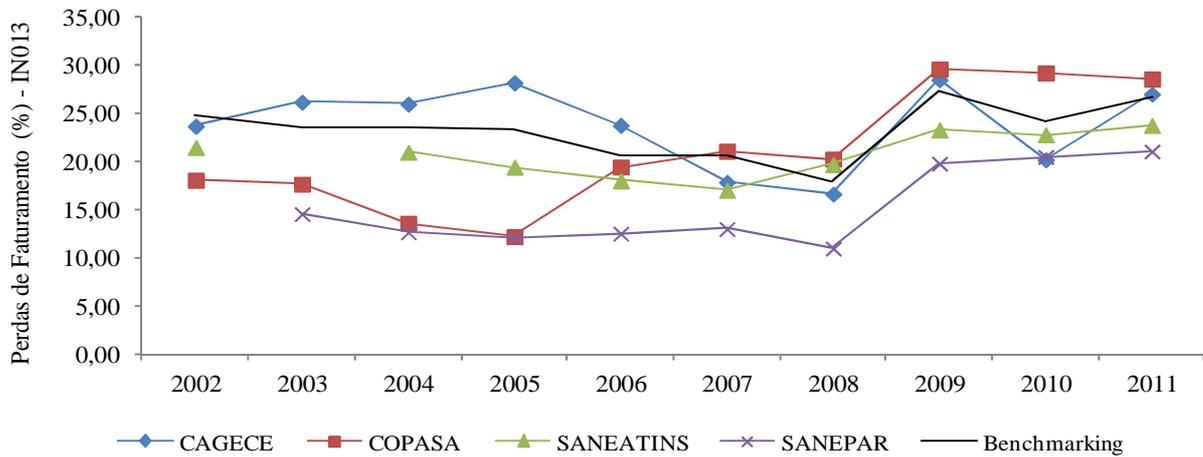


Figura 88: Série histórica de desempenho de quatro companhias para o indicador de desempenho: IN013 – Perdas no Faturamento.

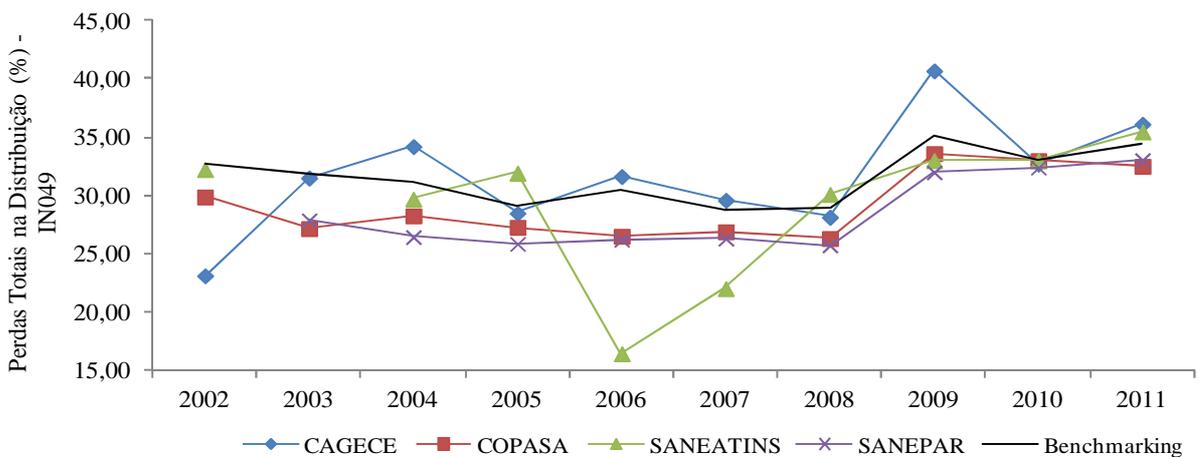


Figura 89: Série histórica de desempenho de quatro companhias para o indicador de desempenho: IN049 – Perdas na Distribuição.

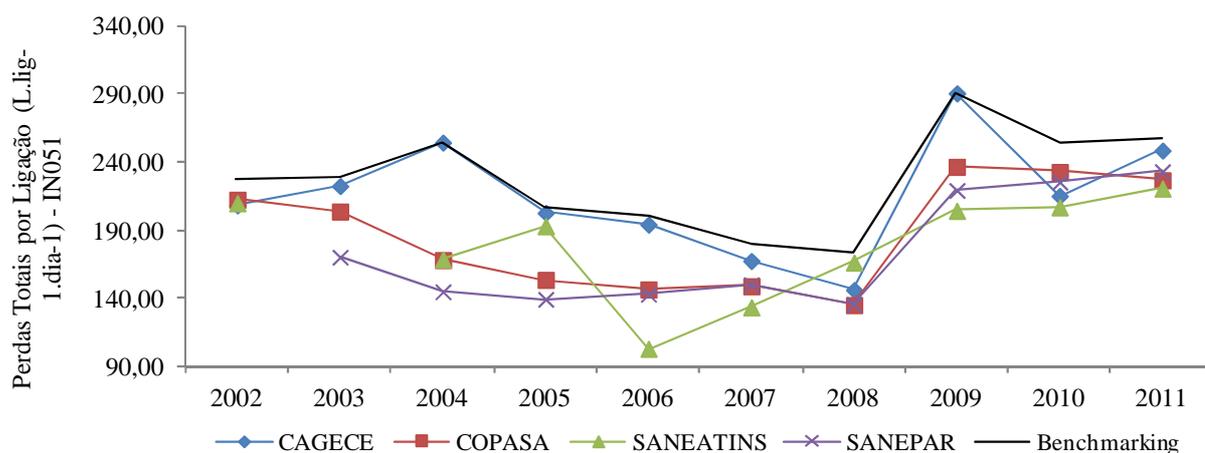


Figura 90: Série histórica de desempenho de quatro companhias para o indicador de desempenho: IN051 – Perdas por Ligação.

Pela observação da Tabela 19 é possível constatar a presença de cinco companhias no grupo das que atendem ao *benchmarking*. Destacando-se a SANEPAR, presente em oito dos dez anos estudados, não sendo observada apenas no ano de 2002, quando a companhia não apresentou dados dos indicadores avaliados para compor o banco de dados do SNIS. Merece destaque ainda a companhia SANEATINS, presente em cinco anos, a saber: 2002, 2006, 2007, 2009 e 2010. O mesmo destaque é dado à companhia mineira COPASA, que também esteve presente no grupo durante cinco anos seguidos, de 2002 a 2006. A CAGECE está presente em três anos 2005, 2008 e 2010 e a companhia capixaba CESAN, no ano de 2003.

Para os gráficos das Figuras de 87 a 90 foram escolhidas as quatro companhias que se destacaram dentre as 22, ficando durante vários anos no grupo - “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*“. Tais companhias são: CAGECE, COPASA, SANEATINS e SANEPAR. Nos gráficos das Figuras de 87 a 90 pode-se observar também a curva relativa aos valores de referência para o *benchmarking* ao longo dos anos avaliados.

Pela análise da Figura 87 observa-se que, das quatro companhias então selecionadas, a CAGECE foi a única, para o indicador IN010, a não ser incluída no grupo “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*“, em algum dos anos-base, a saber: 2002, 2007, 2009 e 2011. Para o ano de 2006 a companhia destacou-se por apresentar o maior valor para o indicador de micromedição entre as companhias avaliadas – 73%. COPASA e SANEPAR apresentaram curvas semelhantes, com crescimento da

micromedição entre os anos de 2003 a 2006, seguido de uma pequena queda em 2007 e um novo crescimento em 2008. Para a maioria dos anos-base avaliados, exceto 2006, 2007 e 2011, a SANEPAR apresentou os melhores valores de micromedição quando comparada às outras três companhias. A concessionária do Tocantins – SANEATINS, não apresentou dados consistentes para os anos 2003 e 2004 e, diferentemente das outras três companhias, mostrou crescimento do indicador IN010 para o ano de 2007, cujo valor de 77% foi o maior para o intervalo de anos avaliados dentre todas as 22 companhias. A curva relativa aos valores de referência (*benchmarking*) apresentou um contínuo crescimento de 2002 a 2008. Observou-se também a melhoria geral nos índices de micromedição entre os anos de 2007 e 2008, exceto para a SANEATINS, que no mesmo período apresentou redução da micromedição. Quando comparadas, as curvas do gráfico da Figura 87 demonstraram para os anos 2008 e 2009 a mesma tendência de diminuição do índice de micromedição, revertida, no entanto, face aos resultados do ano 2010 e retomada em 2011.

A série histórica do índice de Perdas no Faturamento, para as quatro companhias selecionadas, pode ser observada pelo gráfico da Figura 88. Verificou-se que em seis dos anos da série histórica, a CAGECE não atendeu ao valor de referência do *benchmarking*, a saber: 2003, 2004, 2005, 2006, 2009 e 2011. Em contrapartida, a companhia se destacou em 2010 por apresentar o menor valor de perdas de faturamento (20%), quando comparada às outras três. Já a COPASA, entre os anos 2002 e 2005, apresentou uma redução dos valores deste indicador, diferentemente dos anos seguintes, quando passou a apresentar o pior desempenho em relação a perdas de faturamento, com valores respectivamente de 29% em 2009, 29% em 2010 e 28% em 2011. Embora uma diminuição progressiva deste mesmo indicador possa também ser observada para SANEATINS entre os anos de 2002 a 2007, verificou-se seu aumento no ano de 2008, e conseqüentemente, o não atendimento aos valores de referência naquele ano. Da mesma forma, como observado em relação ao indicador IN010, dentre as quatro companhias selecionadas, foi a SANEPAR aquela que apresentou os menores índices de perdas de faturamento, tendo em 2008 alcançado o melhor de todos os resultados que compõem a série histórica dentre todas as 22 companhias avaliadas em 10%. Portanto pode-se entender que são os resultados da SANEPAR que induziram o comportamento geral da curva de *benchmarking*. Assim como em relação ao índice de Micromedição, observou-se, novamente, que apesar da diminuição geral dos valores de perdas de faturamento entre os anos de 2007 e 2008, a SANEATINS apresentou aumento do valor desse indicador. Pode-se também observar que, em 2009, todas as companhias passaram a apresentar aumento no valor

desse indicador, para em seguida novamente apresentarem menores valores em 2010. Exceção apenas com a SANEPAR, que apresentou aumento. No ano de 2011 a diminuição foi observada apenas para a COPASA, já que para as outras três houve aumento no valor do indicador.

A Figura 89 permite verificar o comportamento das quatro companhias em relação ao percentual de Perdas Totais na Distribuição. A CAGECE destacou-se, novamente, por apresentar valores dos indicadores que não atenderam ao valor de referência do *benchmarking* para os anos de 2004, 2006, 2007, 2009 e 2011. COPASA e SANEPAR apresentaram curvas muito próximas, com todos os pontos atendendo ao valor de referência e contribuindo para o comportamento geral da curva de *benchmarking*. Repetindo o padrão visualizado nos indicadores IN010 e IN013, para a maioria das companhias, no ano de 2009 houve uma piora no desempenho, seguido de uma melhora no ano seguinte – com exceção da SANEPAR. No ano de 2011 apenas a COPASA manteve a melhora de desempenho com a diminuição progressiva no valor do indicador.

O indicador de Perdas Totais por Ligação pode ser visualizado pelo gráfico da Figura 90. Notou-se que as quatro companhias apresentaram valores que atenderam ao *benchmarking* proposto em todo o intervalo da série histórica. Dentre elas, a CAGECE foi a que apresentou os maiores valores de perdas totais por ligação na maioria dos anos-base avaliados. Destaque para o ano de 2009, no qual ela registrou o maior valor da série histórica dentre as quatro companhias avaliadas em $290 \text{ L.lig}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. Mais uma vez podem ser verificadas semelhanças entre o desempenho da COPASA e da SANEPAR para a maioria dos anos-base e a contribuição das mesmas para o comportamento geral da curva de *benchmarking*. Para todas as companhias, nos anos de 2009 e 2010, observou-se para este indicador comportamento semelhante ao apresentado pelos indicadores anteriores, com exceção das companhias SANEATINS e SANEPAR, que apresentaram aumento no valor do indicador no ano de 2010. Para o ano de 2011 apenas a COPASA manteve a diminuição progressiva no valor dos indicadores.

A análise conjunta dos indicadores IN010, IN013, IN049 e IN051 ao longo da série histórica apontou para a progressiva melhoria de desempenho de duas dessas quatro companhias – COPASA e SANEPAR. A inversão da tendência de melhor desempenho dessas quatro empresas, ocorrida no ano de 2009, pode ser atribuída à alteração da metodologia da coleta de dados do SNIS e a consequente melhoria da qualidade da informação prestada a partir de

então, em escala de setor censitário e, de forma alternativa, por intermédio das prefeituras municipais.

Quando avaliados os melhores resultados para as 22 companhias e para os dez anos da série histórica (Tabelas no apêndice F), percebeu-se que a companhia do Paraná – SANEPAR apresentou os melhores resultados para pelo menos um dos indicadores em sete dos dez anos avaliados. Nos anos de 2003, 2004 e 2005 a SANEPAR obteve o melhor resultado para três dos quatro indicadores, a saber: IN010, IN013 e IN051. Quando observado o indicador de micromedição (IN010) verificou-se que o maior valor de toda a série histórica foi no ano de 2007, com 77% registrado pela SANEATINS. A partir de 2009 e até 2011 o melhor índice de micromedição foi da CAESB, alcançando valores crescentes da ordem de: 72%, 74% e 74%, respectivamente. Os piores resultados para o indicador pertenceram durante sete anos seguidos (2002 a 2008) à COSANPA, com o maior índice para o ano de 2007 de (3%). Nos anos seguintes a CAEMA apresentou os piores resultados para o indicador.

Quando avaliado o indicador de perdas de faturamento (IN013) observou-se que a SANEPAR apresentou os melhores resultados em sete dos dez anos da série histórica (exceto 2002 e 2010), alcançando em 2008 melhor resultado de toda a série e para todas as 22 companhias com o valor de 10%. Ressalta-se que o ano de 2008 foi marcado por apresentar o melhor resultado de toda a série para três dos quatro indicadores: IN013, IN049 e IN051 e o pior resultado para dois dos quatro indicadores: IN013 e IN049. Não obstante, os piores resultados foram durante cinco anos da CAEMA, quatro anos da COSAMA e um ano da SANEATINS, sendo que o pior resultado de todos os dez anos avaliados foi registrado em 2008, com 75% de perdas no faturamento na empresa do Maranhão.

A companhia baiana EMBASA destacou-se durante cinco anos seguidos (2004 a 2008) por apresentar os menores valores de perdas na distribuição (IN049) e, no ano de 2008, alcançou o menor índice de perdas na distribuição de todos os dez anos da série, a saber: (18%). Seguindo a mesma dinâmica do IN010 – Micromedição, a partir de 2009 até 2011 a CAESB passou a apresentar os melhores valores do indicador IN049 – Perdas na Distribuição, são eles: 27%, 24% e 24%, respectivamente. O pior valor para toda a série histórica foi no ano de 2008 em que a COSAMA apresentou perdas na distribuição de 70%.

Quatro companhias disputaram os melhores resultados para o indicador de Perdas por Ligação (IN051) ao longo dos dez anos da série histórica, a saber: EMBASA (2007 e 2008);

SANEATINS (2006, 2009 e 2010); SANEAGO (2002 e 2011) e SANEPAR (2003, 2004 e 2005). Neste caso o destaque foi da EMBASA, que em 2008 apresentou o melhor resultado para toda a série histórica de $101 \text{ L.lig}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, ano em que o valor do *benchmarking* foi de $172 \text{ L.lig}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. A empresa carioca CEDAE destacou-se por apresentar o pior resultado durante seis dos dez anos da série e em 2007 obteve o pior resultado de toda a série histórica com $1.488 \text{ L.lig}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.

Analisando todos os dez anos-base percebeu-se que as companhias do Norte e Nordeste do país são as de pior desempenho, juntamente com a CORSAN do Sul e a CEDAE do Sudeste. Apenas no ano de 2011 a companhia do Rio de Janeiro atendeu a um dos indicadores de desempenho (IN049); em todos os outros oito anos-base nenhum indicador foi atendido pela companhia. É oportuno ressaltar que, para a maioria dos anos avaliados, CAEMA, CAGEPA e CEDAE foram as companhias de pior resultado observado.

5 Conclusões e Recomendações

Assim como nos capítulos precedentes, as conclusões serão subdivididas em três diferentes partes, a saber: observações sobre os aparatos experimentais monitorados e os volumes de perda real mensurados em cada um deles – cavaletes de micromedição e tubulações do sistema de abastecimento; e por fim uma avaliação conclusiva sobre o desempenho das companhias estaduais de saneamento básico, quando observados indicadores relacionados ao controle e redução de perdas para a busca de um *benchmarking* do setor. Ao final são abordadas as recomendações para trabalhos futuros.

Esta tese de doutorado teve como objetivo geral verificar, por meio de experimentos hidráulicos, os volumes de água perdidos devido a falhas em cavaletes de micromedição e em tubulações do sistema de abastecimento de água, conjugados à busca pelo melhor desempenho na prestação dos serviços realizados pelas companhias estaduais, com base nos indicadores de perdas do SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

Cavaletes de micromedição

Os resultados apontam, como esperado, que para os diferentes modelos de incorreções de montagem, ocorre o aumento do volume de perdas em função do aumento da pressão aplicada. Também apontam a influência que o maior desajuste das conexões exerce sobre o volume de perda, assim como o potencial de perda que apresentam as diferentes peças e conexões que constituem o cavalete de micromedição.

Observou-se que mesmo quando ajustadas integralmente e corretamente, a simples ausência da fita teflon em todas as conexões implica em perdas no cavalete de micromedição e que as maiores perdas ocorrem para incorreções do tipo “uma volta a menos” e “duas voltas a menos”, e independente da pressão aplicada, os maiores volumes de perda ocorreram no hidrômetro, no registro e “sem borracha de vedação”. Sendo que a última incorreção não leva em consideração o número de voltas e foi na qual se observou o maior volume perdido.

Tubulações de abastecimento

Para as tubulações de abastecimento, os maiores volumes de perdas de água foram observados respectivamente, nas tubulações de Ferro Fundido, PVC – PBA, PVC – Vinilfer e PEAD. Foi

verificado também uma maior vazão do vazamento com o aumento da pressão em todos os diâmetros e para todas as tubulações avaliadas. Para três das quatro tubulações observou-se maior vazão do vazamento com o aumento do diâmetro do furo, exceto para a tubulação de PEAD que apresentou redução na análise dos diâmetros de 1,0 e 2,0 mm.

Para o cálculo do expoente de vazamento verificou-se que apenas a tubulação de Ferro Fundido apresentou resultados semelhantes aos encontrados na literatura técnica. Para as tubulações flexíveis, principalmente PEAD, os resultados encontrados foram divergentes, ficando acima dos valores esperados. Tais resultados podem ser decorrentes da deformação do furo no momento da perfuração e da espessura da parede da tubulação (9,0 mm) que gera tensões e dificulta a saída da água.

Benchmarking: Companhias estaduais de saneamento básico

Quando avaliada a série histórica de dez anos (2002 a 2010), observou-se que as companhias CAGECE, SANEATINS e SANEPAR, e a COPASA apresentaram resultados compatíveis aos valores de *benchmarking* para a maioria dos anos base avaliados. Essas concessionárias destacaram-se frente às demais companhias estaduais de saneamento básico do país.

Observou-se que a melhor qualidade dos serviços prestados está diretamente relacionada aos menores estratos populacionais (20.000 até 100.000 habitantes), tanto para o grupo “Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*” quanto para boa parte dos municípios do grupo “Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o *benchmarking*”. O estrato populacional acima de 500.001 habitantes praticamente não atende a nenhum dos valores de referência propostos para o *benchmarking* dos quatro indicadores operacionais de desempenho avaliados para ambos os grupos.

A CAESB, companhia de Distrito Federal, atende apenas Brasília, município com 2.595,643 habitantes e por esse motivo não foi avaliada nos estratos anteriores (< 500.001 habitantes). A empresa encontra-se presente no estrato > 500.000 habitantes. Como atendeu aos critérios de *benchmarking* para sua classe de população, a CAESB pode ser considerada, juntamente, com a SANEPAR, referência no atendimento quanto à redução e controle de perdas para o ano de 2011.

O trabalho promove exercício de verificação de volumes perdidos em dois pontos considerados críticos do sistema de abastecimento em relação às perdas de água, a saber: cavaletes de micromedição e tubulações do sistema de distribuição. Isso possibilita que a companhia tenha, além do número de ocorrências, uma estimativa do volume perdido. Além disso, o trabalho promove a contabilidade e a classificação de dados da base SNIS, de acordo com metodologia própria desenvolvida para esse fim. A apropriação dos resultados então obtidos por cada companhia estadual pode servir para a reflexão da administração de cada uma delas frente ao universo de empresas de mesma natureza jurídico-institucional. Os resultados e conclusões do estudo podem servir, em geral, como elementos para a análise do setor de abastecimento do Brasil, e especificamente, no sentido da indução de políticas que permitam a adoção de medidas para o controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.

Recomendações

Recomendam-se outros exercícios de simulação experimental para fins de complementação e aperfeiçoamento da proposta de tese aqui desenvolvida, a saber:

Cavaletes de micromedição

Utilizar apenas um cavalete de micromedição por estrutura experimental. Tal conformação facilita o monitoramento e é hidraulicamente mais recomendado;

Avaliar ensaios para o cavalete de micromedição que levem em consideração outros diâmetros, materiais e outras conformações de cavaletes encontradas no mercado, para comparação e busca do melhor sistema;

Aplicar pressões mais elevadas nos ensaios para avaliar possíveis rompimentos;

Avaliar as perdas no ramal predial, estrutura responsável por um considerável número de ocorrência de perdas.

Tubulações de abastecimento

Compor a estrutura experimental para apenas uma tubulação, reduzir o número de conexões e a distância do *booster* ao sistema para reduzir as perdas de carga;

Verificar a relação entre o volume perdido e a pressão, com o uso de pressões mais elevadas principalmente em tubulações flexíveis, visando avaliar as deformações no material;

Avaliar outros tipos de avarias na rede distribuição, como rasgos transversais e longitudinais, para comparação e verificação da pior situação;

Realizar uma análise de elementos finitos, para verificar tensões, deformações e o escoamento e comparar os resultados com as perdas teóricas em cada tipo de avaria na rede.

Benchmarking: Companhias estaduais de saneamento básico

Expandir para os outros prestadores: locais, microrregionais e empresas privadas, com o intuito de verificar o comportamento dos sistemas;

Levantar junto aos prestadores os valores separados de perdas reais e aparentes para obtenção de resultados mais expressivos de perdas, e com isso buscar junto ao Ministério das Cidades a adoção de indicadores de desempenho separados.

6 Referências

ABAQUS – Software análise de elementos finitos. Disponível em: <<http://www.3ds.com/products-services/simulia/portfolio/abaqus/overview/>>. Acesso em: 15 jul de 2012.

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Guia PNQS – Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento 2012**. Regulamento e critérios de avaliação, 2012.

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais dos Congressos Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001 / 2003 /2005 / 2007 / 2009 / 2011 / 2013**.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público: NBR 12 218, 1994**.

ABREU, M. R.; NASCIMENTO, A. V.; SILVA, J. M.; SANTOS, D. R.; GASPAR, P. C. S. **Melhoria da Eficiência Operacional do Setor de Abastecimento Campo Belo e Redução de Perdas Através de Resetorização e Gestão das Pressões**. In *Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Pernambuco – 2009.

ADERASA - Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las América. Grupo **Regional de Trabajo de Benchmarking (GRTB)**. **Informe anual 2012, datos año 2011**. Coordinador Alejo Molinari. Buenos Aires, 2012.

ALEGRE, H.; HIRMER W.; MELO BAPTISTA J.; PARENA R. **Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água**. Série Guias Técnicos. LNEC, Lisboa, 2004.

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA JR., H.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. **Performance indicators for water supply services**. 2. Ed. Londres: IWA Publishing, 2006. 312 p.

ALEGRE, H.; COELHO, S.T.; ALMEIDA, M.C.; VIEIRA, P.. **Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição**. Série Guias Técnicos 3, Ed. IRAR, Lisboa , 2005.

ANJOS, A. S. T.; VELOSO, E. A. C.; GUTIERREZ, L. A. C. L.. **A micromedição como ferramenta para redução do desperdício de água: estudo de caso em Mosqueiro–Pará**. *In Anais: 27º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Goiânia, GO – 2013.

ANNECCHINI, K. P. V.; ABREU, P. P. C.; LABEGALINI, M. S.. **Comportamento de setores controlados por válvulas redutoras de pressão (VRP's) na Região Metropolitana da Grande Vitória – ES**. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG – 2007.

ARRETCHE, M. T. S. **Saneamento Básico**. Disponível em: <<http://www.tecsi.fea.usp.br/eventos/Contecsi2004/BrasilEmFoco/port/economia/saneam/apresent/index.htm>>. Acesso em 29 mar 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR ISO 9001/2000: **Sistemas de Gestão da Qualidade**. Rio de Janeiro, 2001.

AWWA. **Water Audits and Loss Control Programs, Manual of Water Supply Practices**, M36. 3 ed. Denver, American Water Works Association, USA, 2009.

BABOVIC, V. DRECOURT, J. F. KEIJZER, M. HANSEN, P. F. **A data mining approach to modeling of water supply assets**. *Urban Water*. V. 4, pag. 401 - 414. 2002.

BAGGIO, M. A.; SILVA, A. P. G.; MAÓSKI, A.. **Plano de Redução de Perdas na Cidade de Campo Grande: A Associação do Método MASPP I com Gestão de Pessoas e Tecnologia Apropriável**. *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Pernambuco – 2009.

BARRETO, D.; ROCHA, A. L.. **Levantamento das Perdas em Ramais Prediais por Meio de Dispositivo de Medição de Vazamentos**. *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Pernambuco – 2009.

BARROS, D. P.; MACHADO, A. B.; MACHADO, L. D. L.; BARRETO, M. P.; SOBRAL, A. S.. **A Conservação e o Uso Racional de Energia Elétrica e Água em Sistemas de**

Abastecimento de Água e Esgoto: Um Estudo de Caso na Cidade de São Paulo. *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Recife, Pernambuco – 2009.

BASTOS, C. P.; CHICCHI, C. A.. **Redução e controle de perdas em favelas de Regiões Metropolitanas.** *In Anais: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Belo Horizonte, MG – 2007.*

BARRETO, M. P.; MOREIRA, M. A. R. G.; PERRONE, F. P. D.; SOARES, G. A.. **Os laboratórios de eficiência energética e hidráulica em saneamento – LENHS: uso eficiente e integrado de energia elétrica e água.** *In Anais: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Belo Horizonte, MG – 2007.*

BERG, C. V. D.; DANILENLO, A.. **The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book - The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook.** World Bank, 2011.

BEZERRA, S. T. M.; SILVA, S. A.; GOMES, H. P.; CAMBOIM, W. L. L.; SILVA, M. J. G. **Controle Simultâneo de Conversores de Frequência e Válvulas de Controle em Sistemas de Distribuição de Água.** *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Recife, Pernambuco – 2009.

BRAGHIROLI, M. A.; ORELLANA, A.; CARVALHO, S. M.; FREITAS, V.V.. **Estação de controle de pressão Freguesia do Ó. Uma obra de controle de perdas.** *In Anais: 214º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* João Pessoa, PB – 2001.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos,** regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 jan 97. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em 29 mar 2012.

BRASIL. Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico;** altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em 29 mar 2012.

BRASIL. Lei 12.862 de 17 de setembro de 2013. **Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, com o objetivo de incentivar a economia no consumo de água.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12862.htm>. Acesso em 28 set 2013.

BRITTO, A. L. (coordenadora). **Panorama do saneamento básico no Brasil – Avaliação político-institucional do setor de saneamento básico.** Volume IV. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2011.

BUENO, R. M.; ZILOTTI, H. A.; BERLANDA, J. KOSTANEK, S. PEREIRA, N.. **Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica e Água no Sistema de Abastecimento de Pato Branco – PR.** In *Anais: 24º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, Minas Gerais – 2007.

CANOSSA, S.. **MASP – Método de Análise e Solução de Problema.** SERCAN, 2010.

CARRERA, N. C. S.; COSTA, N. R. JR.; SANTOS, E. J.; SILVA, E. G. JR. **Redução e Controle de Perdas com Viabilidade Econômica.** In *Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Pernambuco – 2009.

CASSA, A. M.. **A Numerical investigation into the behaviour of leak openings in pipes under pressure.** Magister ingenieriae in Civil Engineering at University of Johannesburg, 2005.

CASSA, A. M; VAN ZYL, J. E; LAUBSCHER, R. F. **A numerical investigation into the effect of pressure on holes and cracks in water supply pipes.** Urban Water Journal, volume 7, pag. 109 – 120, 2010.

CASSA, A. M.; VAN ZYL, J. E.. **Predicting the pressure-area slopes and leakage of cracks in pipes.** . In: *Anais Water Loss Conference*. Manila- Filipinas, 2012.

CASSA, A. M; VAN ZYL, J. E. **Predicting the head-leakage slope of cracks in pipes subject to elastic deformations.** Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA vol 62, n4 pag 214-223. IWA Publishing, 2013.

CHRISTODOULOU, S. E.. **Water Resources Conservancy and Risk Reduction Under Climatic Instability.** Water Resour Manage, 2011.

CONEJO, J. G. L.; MARCKA, E.; LOPES, A. R. G. **Medidas de Redução de Perdas Elementos de Planejamento – DTA – C3.** Brasília – DF, 1999.

CONTRERAS, F. G.; HURTADO, J. CH..**Interdependence account for physical loss control alternatives to estimate an economic level of leakage.** *In: Anais Water Loss Conference.* Manila- Filipinas, 2012.

COSTA, E. R. H.. **Plano de redução de perdas em nove cidades da CORSAN – MASPP I.** *In Anais: 26º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Porto Alegre, RS – 2011.

COSTA, R. F.; FREITAS, V.V.. **Trocas otimizadas de ramais através da técnica de haste de escuta – uma nova visão de contratação e gestão.** *In Anais: 26º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Porto Alegre, RS – 2011.

DASSLER, T.; PARKER, D.; SAAL, D.. **Methods and trends of performance benchmarking in UK utility regulation.** Utilities Policy 14, 166 – 174, 2006.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração.** São Paulo: Marques Saraiva, 1990.

DUARTE, E. R.. Eficiência energética no saneamento ambiental. Apresentação ELETROBRÁS – PROCEL SANEAR, 2013.

FANTOZZI, M.. **The IWA 2012 Water Loss Specialist Group Conferences in manila and Ferrara.** Apresentação. Studio Fantozzi. Italy, 2012.

FANTOZZI, M., LAMBERT, A.. **Residential Night Consumption – Assessment, Choice of Scaling Units and Calculation of Variability. ?** *In: Anais Water Loss Conference.* Manila-Filipinas, 2012.

FARLEY, M.; TROW, S.. **Losses in Water Distribution Networks. A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control.** 1 ed. London, IWA Publishing, 2003.

FARLEY, M.. **Are there Alternatives to the DMA?** *In: Anais Water Loss Conference.* Manila- Filipinas, 2012.

FAVERO, J.A e DIB, M. E. M.. **Pesquisa e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água.** Revista DAE, nº 126, São Paulo, 1981.

FERNANDES, J. J. P.; SOUZA, M. D. L.; BAGGIO, M. A.; ONOFRE, R. M. S.; FREITAS, V. V.. **MASPP aplicado no atingimento de metas de redução de perdas de água e de faturamento na unidade de negócio norte da SABESP.** *In Anais: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Belo Horizonte, MG – 2007.*

FONTES, C. F.; OLIVEIRA, P. H. C.; DIAS, A. B.; LEMOS, J. C. L.; SOUZA, Q. I. CH.. **Gerenciamento Integrado de Controle e Redução das Perdas de Água no Setor de Abastecimento de Ilhéus II com Mobilização Social.** *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Recife, Pernambuco – 2009.

FREITAS, V. V.; GONÇALEZ, L. **Redução de Perdas no Setor Cachoeirinha – Integração Gera Resultados.** *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Recife, Pernambuco – 2009.

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.** Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

GALVÃO, J. R. B.; ZAHED, K. FILHO. **Pressure x Consumption Relationship: What if we have roof tanks?** *In: Anais Water Loss Conference.* Manila- Filipinas, 2012.

GIMSON, M.; SCHELSINGER, V.; DUQUE, A.; BAHIA, E.. **“From Sedan to Sportster” – How to boost the performance of Pressure Reducing Valves without breaking the budget.** *In: Anais Water Loss Conference.* Manila- Filipinas, 2012.

GOMES, A. S.; MORAES, H. T. N.. **Gerenciamento integrado de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica no saneamento.** *In Anais: 24º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Belo Horizonte, MG – 2007.

GOMES, A. S.; MORAES, H. T. N.; JEROZOLIMSK, T.. **Perdas reais em sistemas de abastecimento de água: avanços necessários no caso brasileiro.** *In Anais: 24º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Belo Horizonte, MG – 2007.

GOMES, R. J. **Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição de água.** Dissertação de Doutorado Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2011.

GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. O.; SALVINO, M. M.; TORRES, J. B.; DELGADO, M. A. B.. **Metodologia avançada para a reabilitação de redes de abastecimento – estudo de caso – Complexo Lagunar da Cidade de Maceió/AL.** *In Anais: 27º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Goiânia, GO – 2013.

GONÇALVES, E.; ALVIM, P. R. A.. **Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água. Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis. Série de guias práticos.** Programa de Modernização do Setor Saneamento - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Ministério das Cidades, 2007.

GUIMARÃES, N. C.; ALMEIDA, M. B. L.; PIMENTEL, M. **Avaliação de Ações para Controle de Pressão e Redução das Perdas na Rede de Abastecimento de Água de Ribeirão das Neves – Minas Gerais.** *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Recife, Pernambuco – 2009.

HANSTED, L. J. A.; HIRAICHI, V. K.; MIYATA, T. K.; ANDRADE, U. C.; HERNANDEZ, J. R. C.. **MASPP Aplicado no atingimento de metas de redução de perdas de água e de faturamento dos sistemas de abastecimento de água de Itapetininga, Itapeva e Avaré.** *In Anais: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental –* Belo Horizonte, MG – 2007.

HEIMANN, A.; MEYER, N.; LIEMBERGER, R.. **Tailoring the Specifications for Pressure Reducing Valves.** *In: Anais Water Loss Conference.* Manila- Filipinas, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Características da população e dos municípios – Resultado do Universo: Censo Demográfico**, 2010.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Service activities relating to drinking water and wastewater – Guidelines for the service to users*. ISO 24510. Genebra, 2005.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Service activities relating to drinking water and wastewater – Guidelines for the assessment of wastewater services and the management of utilities*. ISO 24511. Genebra, 2005.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Service activities relating to drinking water and wastewater – Guidelines for the assessment of drinking water services and the management of utilities*. ISO 24512. Genebra, 2005.

ITONAGA, L. C. H.; KOIDE, S.. **Estudo de perdas em redes de água do Distrito Federal**. *In Anais: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campo Grande, MS – 2005*.

KOELBL, J. **Process Benchmarking in Water Supply Sector: Management of Physical Water Losses**. Tese de doutorado, Universidade Tecnológica de Graz. Áustria, 2009.

KORAL, W.; DZIUBA, K.. **Sectorisation, reduction and stabilisation of pressure as a key to control and decrease of leakage. Case study from Bytom, Poland**. *In: Anais Water Loss Conference*. Manila- Filipinas, 2012.

LAMBERT, A. **Accounting for losses: The bursts and background concept**. *Journal of Institution of Water and Environmental Management*, 205-214. 1994

LAMBERT, A.; THORNTON, J.. **Avaliação de Perdas Reais. Consultoria Técnica Apresentada à Vice Presidência Metropolitana de Distribuição**. M. Sabesp – São Paulo, 2002.

LAMBERT, A.; THORNTON, J.. **Pressure:Bursts Relationships: Influence of Pipe Materials, Validation of Scheme Results, and Implications of Extended Asset Life**. *In: Anais Water Loss Conference*. Manila- Filipinas, 2012.

LINO, A. C.C.; SOUZA, A. L. A.; MOTA, J. M.; SILVA, S. A.. **Gestão comercial e de redução de perdas – uma experiência na Região Metropolitana de São Paulo.** *In Anais: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Belo Horizonte, MG – 2007.*

LIU, S.; ZHAO, S.; LIU, R.. **Construction of delicate systems to manage water distribution systems and minimize water losses: endeavors and challenges in Beijing.** *In: Anais Water Loss Conference. Manila- Filipinas, 2012.*

LOUREIRO, D., ALEGRE, H., COELHO, S. T., BORBA, R.. **A new approach to estimating household night consumption at DMA level.** *In: Anais Water Loss Conference. Manila- Filipinas, 2012.*

LUVIZZOTO JR, E. **Relatório final de programa de pós-doutoramento na Universidade Politécnica de Valência – Espanha, 1998.**

LUVISOTTO, D. L.; ANTONIO, A. B.; ABDUCHE, C. B.; BAGGIO, M. A.. **Conservação dos recursos hídricos na Região Metropolitana de Niterói: uma experiência de redução de perdas de água do programa produza.** *In Anais: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Belo Horizonte, MG – 2007.*

MACATULA, R.; PINEDA, E. G.. **Computation of Real & Apparent Losses through PressureLeakage Relationship Analysis.** *In: Anais Water Loss Conference. Manila- Filipinas, 2012.*

MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI, A. JR.; COUTINHO, S. M. V.. **Interfaces dos serviços de água e esgoto.** *In: Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto. Coordenação: Alceu de Castro Galvão Junior, Alexandre Caetano da Silva. - Fortaleza : Expressão Gráfica e Editora Ltda., 2006.*

MARCKA, E. (Revisão – 2004). SILVA, R., Conejo, J. G. L., **Indicadores de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água – DTA – A2.** Brasília – DF, 1998.

MARUNGA, A.; HOKO, Z.; KASEKE, E.. **Pressure management as a leakage reduction and water demand management tool:**The case of the City of Mutare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth 31 (2006) 763–770. Elsevier, 2006.*

MASP – **Método de Análise e Solução de Problemas**. Disponível em: < www.masp.inf.br> e <www.qualypro.com.br>. Acesso em: 28 jul. 2012.

MAY, J. **Pressure Dependent Leakage. World Water and Environment Engineering**, 1994.

MCKENZIE R. S.; MOSTERT, H.; JAGER, T. **Leakage reduction through pressure management in Khayelitsha: Two years down the line**. Water SA Vol. 30 No. 5 (Special edition), 2004.

MEADOWS, D. *Indicators and information systems for sustainable development*. Sustainability Institute, Hartland Four Corners VT, 1998.

MELATO, D. S.. **“Arrastões” nos setores Casa Verde e Carrão: casos de sucesso na redução de perdas**. In *Anais: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Belo Horizonte, MG – 2007*.

MELATO, D. S.; PRESTES, O. H. JR.; GOULARTH, P. F.; CUNHA, A. P.; BOVE, L. R. **Regularização da Favela Mário Cardim: Melhorias na Redução de Perdas de Água, no Faturamento e no Meio Ambiente**. In *Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Pernambuco – 2009.

MENEZES, C. T.; MOREIRA, M. A. R. G.; PERRONE, F. P. D.; SOARES, G. A.. **Avaliação de projeto de eficiência energética e hidráulica no setor de saneamento: o estudo de caso da SANESUL**. In *Anais: 24º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, MG – 2007.

MENEZES, C. T.; REIS, A. L. **Estudo de Ações de Combate a Perdas em Comunidades de Baixa Renda: Uma Experiência no Subúrbio de Salvador – BA**. In *Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Pernambuco – 2009.

MIRANDA, E. C.. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS**. In: Alceu de Castro Galvão Junior, Alexandre Caetano da Silva (org.). *Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto*. Fortaleza : Expressão Gráfica e Editora Ltda., 2006.

MISHRA, A. K. **Impact of urbanization on the Hydrology of Ganga Basin (India)**. *Water Resour Manage*, 2011.

MOLINARI, A.. **Panorama Mundial**. In: Alceu de Castro Galvão Junior, Alexandre Caetano da Silva (org.) Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto. Fortaleza : Expressão Gráfica e Editora Ltda., 2006.

MONTENEGRO, M. H. F.; CAMPOS, H. K. T.. **Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico - SINISA**. In: Sonaly Cristiana Rezende (org.) Panorama do saneamento básico no Brasil. Cadernos temáticos para o panorama do saneamento básico no Brasil. Organizadora: Volume VII. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2011.

MORELATO, S.. **Aplicação da tecnologia de detecção de vazamentos SAHARA nas adutoras do sistema produtor Alto Tietê**. In *Anais: 26º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Porto Alegre, RS – 2011.

NIELSEN, J. T.; TREVISAN, J.; BONATO, A.; SACHET, M. A. C.. **Estudo de performance de medidores de água com vazão nominal de 2,5 m³/h**. In *Anais: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville, SC – 2003a.

NIELSEN, J. T.; TREVISAN, J.; BONATO, A.; SACHET, M. A. C.. **Gestão de parque de medidores de água**. In *Anais: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville, SC – 2003b.

NIELSEN, J. T.; TREVISAN, J.; BONATO, A.; SACHET, M. A. C.. **Estratégias de medição, leitura e faturamento para as políticas comercial e tarifárias de uma empresa de saneamento**. In *Anais: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville, SC – 2003c.

NOGUEIRA, E. G.; REIS, W. F.. **A Área de Recursos Humanos e o Programa de Combate às Perdas na SABESP – Unidade de Negócio Leste**. In *Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Pernambuco – 2009.

OFWAT - Office of Water Services. **Annual report and accounts 2010 – 2011**. Office of Water Services: Birmingham, 2011. 2010

OLIVEIRA, F. G. R.; REIS, F. A. G. V.; GIORDANO, L. C.; MEDEIROS, G. A. **Controle de Perdas em Sistema de Abastecimento de Água: O caso do Município de Poços de**

Caldas (MG). Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 309-320, jan/abr 2009.

OLIVEIRA, C. R. O.; MENDONÇA, R. P.; SANTOS, P.. **Implantação de distritos de medição e controle com ênfase em redução de perdas de água nas redes de distribuição da região bragantina do Estado de São Paulo.** *In Anais: 26º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Porto Alegre, RS – 2011.

PADULA, H. N.; DENAPOLI, F.L.. **Experiência da Unidade de Negócios Centro da SABESP, na utilização de válvulas redutoras de pressão como parte do programa de redução de perdas.** *In Anais: 214º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* João Pessoa, PB – 2001.

PAIM, J. S.. **Universalidade, integralidade e equidade.** *In: Panorama do saneamento básico no Brasil. Cadernos temáticos para o panorama do saneamento básico no Brasil.* Organizadora: Sonaly Cristiana Rezende. Volume VII. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2011.

PERASON, D., TROW, S. W.. **An approach to target setting in DMAs with limited data or high apparent losses.** *In: Anais Water Loss Conference.* Manila- Filipinas, 2012.

PENA, M., M. **Aplicação e Análise da Metodologia da IWA para o Controle de Perdas no Sistema de Abastecimento de Água da Baixada de Jacarepaguá/RJ.** Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.

PERTEL, M.; VOLSCHAN, I. JR.; AZEVEDO, J. P. S.. **Determinação de perdas físicas de água decorrentes de avarias em ramais prediais de sistemas de abastecimento de água.** *In Anais: 26º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Porto Alegre, RS – 2011.

PERTEL, M.; AZEVEDO, J. P. S.; VOLSCHAN, I. JR.; PENA, M. M.. **Uso de indicadores de perdas totais para a seleção de um benchmarking entre os prestadores regionais de saneamento do Brasil.** *In Anais: 27º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Goiânia, GO – 2013.

PIZA, F. J. T.; PAGANINI, W. S.. **Uma proposta de indicadores.** *In: Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto.* Coordenação: Alceu de Castro

Galvão Junior, Alexandre Caetano da Silva. - Fortaleza : Expressão Gráfica e Editora Ltda., 2006.

PLANSAB – **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Ministério das Cidades. Disponível em:

<http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=302:plansab&catid=84&Itemid=113>. Acesso em: 15 out. de 2010.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. Eesc-usp. 4 Edição, 2006.

PRISIAZNIJ, L. C.; CARVALHO, G. A.; PALO, P. R.; PARACAMPOS, F. J. F.. **Jack, o Estripador com o Olhar de Perdas**. In *Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Pernambuco – 2009.

Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – **PNCDA**, 1998. Disponível em: <<http://www.pncda.gov.br/>>. Acesso em: 15 out. de 2010.

RAI, S. C. **Water Management for a Megacity: National Capital Territory Delhi**. Water Resour Manage, 2011.

RAJANI, B.; ZHAN, C.; KURAOKA, S. **Pipe-soil Interaction Analysis of Jointed Water Mains**. Canadian Geotechnical Journal, V. 33, no. 3, 1996.

RAJANI, B.; KLEYNER, Y. **Comprehensive Review of Structural Deterioration of Water Mains: Physically Based Models**. Urban Water V.3, no. 3, 2001.

RAULINO, K. S.; SCHARF, D. D.; MARTINS, E. A.. **Controle Operacional de Perdas no Sistema de Abastecimento de Água do Município de Caçador- RS**. In *Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, Pernambuco – 2009.

RESHEF, R. A.. **Pressure management in very low pressure zones**. In: *Anais Water Loss Conference*. Manila- Filipinas, 2012.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; NETO, P. J. CH.. **Aprimoramento dos ramais prediais de PEAD**. In *Anais: 214º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. João Pessoa, PB – 2001.

ROMÃO, A. R. S.. **Aplicação do diagrama de Pareto na seleção de áreas para a detecção de vazamentos – otimizando os recursos no combate às perdas reais.** *In Anais: 27º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Goiânia, GO – 2013.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 200.12.** U. S. Environment Protection Agency. Cincinnati, 2000.

SABESP – **Programa de Controle e Redução de Perdas Diretoria Metropolitana de Distribuição** – Relatório técnico: Débora Soares Metato. São Paulo, 2004.

SILVA, K. R. G.; MIKOWSKI, P. A.. **Metodologia para apoio na gestão de perdas e na gestão de energia em sistemas de abastecimento de água.** *In Anais: 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Campo Grande, MS – 2005.

SILVA, R. T.. **Aspectos conceituais e teóricos.** *In: Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto.* Coordenação: Alceu de Castro Galvão Junior, Alexandre Caetano da Silva. - Fortaleza : Expressão Gráfica e Editora Ltda., 2006.

SILVA, R. T.. **Avaliação do desempenho em diferentes cenários de prestação e regulação dos serviços.** *In: Regulação: normatização da prestação de serviços de água e esgoto.* Coordenação: Alceu de Castro Galvão Junior, Marfisa Maria de Aguiar Ferreira Ximenes. - Fortaleza : Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará - ARCE, 2008.

SILVA, J. F.; OLIVEIRA, C. V.; BARROS, R.; FROLINI, N. L.; BULHOES, E. A. R. FILHO. **Melhoria da Eficiência Operacional no Setor de Abastecimento Itacema (Osasco) e Morumbi (São Paulo).** *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Recife, Pernambuco – 2009.

SILVA, S. R. S.; REIS, A. L.; ABREU, L. B.; MORAES, N. F.. **Redução de perdas de água com o controle da vazão em subsector de abastecimento da cidade de Salvador, Bahia.** *In Anais: 27º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Goiânia, GO – 2013.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS – **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2013. Brasília: Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – SEDU/PR; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA.

SOARES, D.; CARVALHO, G. A.; DENAPOLI, F. L.; PATELLA, E.; PARACAMPOS, F.. **When things go wrong: an oversight in one of the arrows can overturn the result of years.** *In: Anais Water Loss Conference. Manila- Filipinas, 2012.*

SOUZA, P. R. CH.; OLIVEIRA, V. A. A.; BARROS, D. P.; MOREIRA, M. A. R. G. **Projeto de Eficiência Energética, Controle e Redução de Perdas de Água de Lagoa Santa Água (Estudo de Caso).** *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, Pernambuco – 2009.*

SPAVIER, L. C.; RAPOSO, F. C. L.; CAPUTO, V. A.; AUBIN, M. G. B.; ULIANA, M. J. **Projeto e Implantação de Melhorias Operacionais com Foco no Controle e Redução de Perdas em Setores de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Vitória Através de Análise Operacional.** *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, Pernambuco – 2009.*

STHARE, P.; ADAMSSON, J. **Performance benchmarking: A powerful management instrument for water and wastewater utilities.** *Water Technology, 12, 47-77, 2001.*

STAHRE P.; ADAMSSON, J. **Performance benchmarking. A powerful management tool for water and wastewater utilities.** WATERMARQUE. 3.5. 2004.

STURM, R.; KUNKEL, G.. **Development of Objective Leakage Loss Guidelines for North American Water Utilities.** *In: Anais Water Loss Conference. Manila- Filipinas, 2012.*

TARDELLI, J.. **“Controle e Redução de Perdas”.** **Abastecimento de Água.** 3 ed. Cap. 10. São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

THORTON, J. **Managing leakage by managing pressure: a practical approach.** IWA Task Force – Water Loss. IWA Published, 2003.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G.. **Water Loss Control.** 2 ed, USA, McGraw-Hill, 2008.

TOMAZ, P. **Rede de Água.** Navegar Editora, São Paulo, 2011.

TROW, S. W.; TOOMS, S.. **Deciding on the economic balance between Active Leakage Control and Pressure Management.** *In: Anais Water Loss Conference.* Manila- Filipinas, 2012.

TSUTIYA, M. T.. **Abastecimento de Água.** 3 ed. São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VALOR ECONÔMICO – **Análise Setorial – Saneamento Básico.** *Jornal Valor Econômico S.A.,* 2006.

VAN ZYL, J. E. **The Effect of Pressure on Leaks in Water Distribution Systems.** *Water Institute of Southern Africa (WISA) Biennial Conference,* 2004.

VAN ZYL, J. E.; GREYVENSTEIN, B. **An Experimental Investigation into the Pressure Leakage Relationship of some Failed Water Pipes.** *Conference Proceedings – Leakage,* 2005.

VAN ZYL, J. E.; CLAYTON, C. R. I. **The effect of pressure on leakage in water distribution systems.** *Water Management,* v 160, pag 109 – 114, 2007.

VIEGAS, J. V.. **Redução de pressão – uma alternativa técnica para melhorar a eficiência operacional.** *In Anais: 214º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* João Pessoa, PB – 2001.

VIMIEIRO, G. V.; PÁDUA, V. L.. **Emprego de equipamentos especiais na economia de água em uma escola de ensino fundamental.** *In Anais: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Belo Horizonte, MG – 2007a.

VIMIEIRO, G. V.; PÁDUA, V. L.. **Violação de equipamentos economizadores de água – estudo em uma escola de ensino fundamental.** *In Anais: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Belo Horizonte, MG – 2007b.

YOSHIMOTO, P. M.; TARDELLI, J. F.; SARZEDAS, G. L.. **Controle de Pressão na Rede – DTA – D1.** Brasília – DF, 1999.

WELSCH, R.; ABREU, M. R.; GERALDES, A. J. G.; SILVA, E. O.; SILVA, C. J. **Gerenciamento de Pressões Através da Desativação de Derivação em Marcha, Setorização e Implantação de Distritos de Medição e Controle no Sistema de**

Distribuição do Setor de Abastecimento de Interlagos. *In Anais: 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Recife, Pernambuco – 2009.

WELSCH, R.; SANTOS, A. A. S.; FERREIRA, P. S. M.; ROSÁRIO, M. S.; ALVARENGA, F.. **Um novo modelo de contratação por desempenho voltado à redução de perdas físicas – Setor de abastecimento Mussolini São Bernardo do Campo – um caso de sucesso.** *In Anais: 26º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Porto Alegre, RS – 2011.

WYATT, A. S.. **Methodology For optimal NRW program design.** *In: Anais Water Loss Conference.* Manila- Filipinas, 2012.

ZIMERMANN, D. M. H.. **O uso de indicadores de desempenho para planejamento e regulação dos serviços de abastecimento de água: SSA Capinzal/Ouro.** Dissertação de mestrado do programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Neste apêndice são apresentados os cenários de percentil realizados para a escolha do padrão de *benchmarking*. Podem ser observadas as companhias que recorrentemente estão presentes na faixa de 23 a 33%. Ressalta-se que o percentil 25% foi escolhido como referência para o valor de *benchmarking*. O apêndice é composto por nove tabelas (2002 a 2010). Esse apêndice é composto por 11 tabelas.

Tabela A1: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2002.

Percentil / Concessionárias	Índice de Micromedição Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
15%	66,482	22,918	28,893	209,262
-	-	-	-	-
20%	64,760	24,077	30,828	211,048
-	-	-	-	-
23%	63,734	24,586	32,025	212,472
COPASA	70,086	18,085	29,890	212,723
SANEATINS	67,603	21,470	32,236	209,931
25%	63,301	24,805	32,780	227,383
COPASA	70,086	18,085	29,890	212,723
SANEATINS	67,603	21,470	32,236	209,931
30%	62,183	25,246	34,522	272,009
COPASA	70,086	18,085	29,890	212,723
SANEATINS	67,603	21,470	32,236	209,931
EMBASA	62,543	21,990	26,000	203,316
33%	60,347	25,529	35,087	275,298
COPASA	70,086	18,085	29,890	212,723
SANEATINS	67,603	21,470	32,236	209,931
EMBASA	62,543	21,990	26,000	203,316
35%	59,123	25,718	35,464	277,490
COPASA	70,086	18,085	29,890	212,723
SANEATINS	67,603	21,470	32,236	209,931
EMBASA	62,543	21,990	26,000	203,316
SABESP	65,564	24,676	34,411	277,813
38%	57,502	27,023	35,622	282,231
COPASA	70,086	18,085	29,890	212,723
SANEATINS	67,603	21,470	32,236	209,931
EMBASA	62,543	21,990	26,000	203,316

SABESP	65,564	24,676	34,411	277,813
45%	54,175	28,694	37,807	290,623
COPASA	70,086	18,085	29,890	212,723
SANEATINS	67,603	21,470	32,236	209,931
EMBASA	62,543	21,990	26,000	203,316
SABESP	65,564	24,676	34,411	277,813
SANEAGO	70,170	28,523	27,675	178,693

Fonte: SNIS (2004).

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Tabela A2: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2003.

Percentil / Concessionária	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
15%	66,19	19,88	31,51	203,96
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
20%	65,97	22,93	31,75	222,66
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
COPASA	65,97	17,68	27,17	203,96
23%	64,95	23,33	31,81	226,09
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
COPASA	65,97	17,68	27,17	203,96
25%	64,27	23,59	31,86	228,37
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
COPASA	65,97	17,68	27,17	203,96
30%	63,04	26,17	33,09	234,85
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
COPASA	65,97	17,68	27,17	203,96
CAGECE	64,27	26,17	31,51	222,66
33%	58,50	26,40	34,01	236,81
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
COPASA	65,97	17,68	27,17	203,96
CAGECE	64,27	26,17	31,51	222,66
CEDAE	67,25	19,88	31,86	234,85
35%	55,47	26,55	34,62	238,11
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
COPASA	65,97	17,68	27,17	203,96
CAGECE	64,27	26,17	31,51	222,66
CEDAE	67,25	19,88	31,86	234,85
38%	52,83	27,16	35,01	239,14
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
COPASA	65,97	17,68	27,17	203,96

CAGECE	64,27	26,17	31,51	222,66
CEDAE	67,25	19,88	31,86	234,85
45%	49,92	28,77	37,33	262,41
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
COPASA	65,97	17,68	27,17	203,96
CAGECE	64,27	26,17	31,51	222,66
CEDAE	67,25	19,88	31,86	234,85
SANESUL	63,04	26,55	35,27	262,41

Fonte: SNIS (2005).

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Tabela A3: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2004.

Percentil / Concessionária	Índice de Micromedição Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
15%	67,46	21,29	28,48	170,16
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
20%	66,82	23,19	29,80	193,56
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
23%	65,35	23,41	30,13	241,59
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
25%	64,93	23,53	31,11	254,82
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
30%	64,41	24,27	33,92	259,75
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
33%	63,48	25,43	34,18	268,43
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
35%	62,71	25,70	34,41	270,35
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
38%	61,51	25,97	34,77	272,07
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
SANESUL	64,95	23,72	34,78	255,62
EMBASA	61,47	17,33	23,45	155,78
CAGECE	67,49	25,98	34,21	254,56
45%	53,30	28,72	36,18	289,94
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
SANESUL	64,95	23,72	34,78	255,62
EMBASA	61,47	17,33	23,45	155,78
CAGECE	67,49	25,98	34,21	254,56

Fonte: SNIS (2006).

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Tabela A4: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2005.

Percentil / Concessionária	Índice de Micromedição Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
15%	66,52	20,37	27,94	191,25
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
20%	66,06	22,80	28,60	197,02
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
23%	65,83	23,21	28,80	203,34
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
25%	65,56	23,25	29,09	206,33
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
30%	64,95	23,76	30,89	214,82
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
33%	64,47	24,78	31,89	225,86
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
35%	63,97	25,99	31,91	238,82
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
38%	62,79	27,01	32,71	250,76
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
SANEATINS	66,75	19,44	31,92	193,09
45%	52,00	28,09	34,55	290,10
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
SANEATINS	66,75	19,44	31,92	193,09
SABESP	65,87	23,30	34,12	247,65

Fonte: SNIS (2007).

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Tabela A5: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2006.

Percentil / Concessionária	Índice de Micromedição Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
15%	70,64	18,80	26,92	150,38
SANEPAR	73,80	12,55	26,20	143,19
SANEATINS	70,75	18,02	16,43	103,30
20%	69,72	19,59	29,46	175,10
SANEPAR	73,80	12,55	26,20	143,19
SANEATINS	70,75	18,02	16,43	103,30
COPASA	73,04	19,46	26,51	146,87
23%	68,93	19,99	30,07	190,34
SANEPAR	73,80	12,55	26,20	143,19
SANEATINS	70,75	18,02	16,43	103,30
COPASA	73,04	19,46	26,51	146,87
25%	67,97	20,57	30,39	200,51
SANEPAR	73,80	12,55	26,20	143,19
SANEATINS	70,75	18,02	16,43	103,30
COPASA	73,04	19,46	26,51	146,87
30%	65,72	22,27	30,97	223,65
SANEPAR	73,80	12,55	26,20	143,19
SANEATINS	70,75	18,02	16,43	103,30
COPASA	73,04	19,46	26,51	146,87
33%	65,68	22,85	31,24	234,05
SANEPAR	73,80	12,55	26,20	143,19
SANEATINS	70,75	18,02	16,43	103,30
COPASA	73,04	19,46	26,51	146,87
SABESP	68,72	20,10	31,27	218,70
35%	65,26	23,19	31,40	235,51
SANEPAR	73,80	12,55	26,20	143,19
SANEATINS	70,75	18,02	16,43	103,30
COPASA	73,04	19,46	26,51	146,87
SABESP	68,72	20,10	31,27	218,70
38%	64,52	23,69	31,63	236,06
SANEPAR	73,80	12,55	26,20	143,19
SANEATINS	70,75	18,02	16,43	103,30
COPASA	73,04	19,46	26,51	146,87
SABESP	68,72	20,10	31,27	218,70
CESAN	69,98	18,68	29,26	236,08

45%	61,196	25,055	35,199	261,279
SANEPAR	73,795	12,547	26,205	143,189
SANEATINS	70,755	18,022	16,426	103,303
COPASA	73,042	19,463	26,511	146,871
SABESP	68,716	20,100	31,272	218,696
CESAN	69,977	18,679	29,262	236,077
CAGECE	73,972	23,768	31,640	194,454
EMBASA	62,274	15,778	20,260	113,102
SANESUL	65,677	21,997	33,866	235,208

Fonte: SNIS (2008).

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Tabela A6: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2007.

Percentil / Concessionária	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
15%	71,21	18,05	27,11	152,86
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61
20%	70,75	19,32	28,32	168,38
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61
23%	70,10	20,17	28,45	170,56
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61
25%	69,62	20,57	28,76	180,47
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61
30%	68,32	21,52	29,66	215,58
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61
COPASA	72,40	21,10	26,91	149,16
33%	67,54	22,40	29,78	230,63
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61
COPASA	72,40	21,10	26,91	149,16
CAGECE	67,45	17,87	29,60	167,69
35%	66,97	22,95	29,84	233,56
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61
COPASA	72,40	21,10	26,91	149,16
CAGECE	67,45	17,87	29,60	167,69
38%	66,10	23,76	29,93	235,81
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61
COPASA	72,40	21,10	26,91	149,16
CAGECE	67,45	17,87	29,60	167,69
CESAN	70,96	20,39	28,28	235,88
SABESP	69,93	19,06	29,93	208,41
45%	60,23	28,22	31,88	241,65
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61

COPASA	72,40	21,10	26,91	149,16
CAGECE	67,45	17,87	29,60	167,69
CESAN	70,96	20,39	28,28	235,88
SABESP	69,93	19,06	29,93	208,41

Fonte: SNIS (2009).

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Tabela A7: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2008.

Percentil / Concessionária	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
15%	71,94	17,48	27,31	146,42
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
20%	71,03	17,69	28,15	166,54
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
CAGECE	71,03	16,65	28,15	146,42
23%	70,35	17,87	28,63	170,38
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
CAGECE	71,03	16,65	28,15	146,42
25%	69,90	17,99	28,95	172,93
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
CAGECE	71,03	16,65	28,15	146,42
30%	69,73	19,70	30,04	208,23
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
CAGECE	71,03	16,65	28,15	146,42
SABESP	72,09	17,99	28,95	208,23
33%	68,60	20,05	30,07	211,97
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
CAGECE	71,03	16,65	28,15	146,42
SABESP	72,09	17,99	28,95	208,23
SANEATINS	69,90	19,70	30,09	166,54
35%	67,84	20,29	30,09	214,45
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
CAGECE	71,03	16,65	28,15	146,42
SABESP	72,09	17,99	28,95	208,23
SANEATINS	69,90	19,70	30,09	166,54
38%	67,60	20,37	31,06	214,85
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
CAGECE	71,03	16,65	28,15	146,42
SABESP	72,09	17,99	28,95	208,23
SANEATINS	69,90	19,70	30,09	166,54
COPASA	73,16	20,29	26,32	135,28
45%	62,21	26,19	31,83	222,01
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
CAGECE	71,03	16,65	28,15	146,42
SABESP	72,09	17,99	28,95	208,23
SANEATINS	69,90	19,70	30,09	166,54

COPASA	73,16	20,29	26,32	135,28
SANESUL	67,44	20,43	31,70	214,45

Fonte: SNIS (2010).

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Tabela A8: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2009.

Percentil / Concessionária	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Percentil 15%	65,92	27,77	36,85	242,59
SANEPAR	68,00	19,80	32,00	219,40
SANEATINS	66,20	23,30	33,00	204,50
Percentil 20%	63,64	28,46	39,92	278,46
SANEPAR	68,00	19,80	32,00	219,40
SANEATINS	66,20	23,30	33,00	204,50
Percentil 23%	61,56	26,96	34,66	288,10
SANEPAR	68,00	19,80	32,00	219,40
SANEATINS	66,20	23,30	33,00	204,50
Percentil 25%	60,90	27,30	35,08	291,18
SANEPAR	68,00	19,80	32,00	219,40
SANEATINS	66,20	23,30	33,00	204,50
Percentil 30%	60,54	28,05	33,00	294,16
SANEPAR	68,00	19,80	32,00	219,40
SANEATINS	66,20	23,30	33,00	204,50
Percentil 33%	60,41	28,37	37,85	297,44
SANEPAR	68,00	19,80	32,00	219,40
SANEATINS	66,20	23,30	33,00	204,50
Percentil 35%	59,91	28,44	38,28	309,15
SANEPAR	68,00	19,80	32,00	219,40
SANEATINS	66,20	23,30	33,00	204,50
Percentil 38%	59,03	28,50	38,78	329,57
SANEPAR	68,00	19,80	32,00	219,40
SANEATINS	66,20	23,30	33,00	204,50
CAESB	72,90	24,87	27,66	330,22
Percentil 45%	55,17	29,74	40,68	359,22
SANEPAR	68,00	19,80	32,00	219,40
SANEATINS	66,20	23,30	33,00	204,50
CAESB	72,90	24,87	27,66	330,22
COPASA	66,40	29,60	33,60	236,80
CASAN	58,58	23,48	40,66	330,77
CAGECE	59,00	28,50	40,70	290,70

Fonte: SNIS (2011).

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Tabela A9: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2010.

Percentil/ Concessionária	Índice de Micromedição Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
15%	67,00	22,66	32,49	227,85
SANEPAR	67,60	20,50	32,40	225,60
20%	66,64	22,92	32,82	239,06
SANEPAR	67,60	20,50	32,40	225,60
23%	62,28	23,34	33,00	249,49
CAGECE	67,20	20,20	32,70	215,40
SANEATINS	67,00	22,80	33,00	207,10
SANEPAR	67,60	20,50	32,40	225,60
25%	65,48	24,10	33,00	254,20
CAGECE	67,20	20,20	32,70	215,40
SANEATINS	67,00	22,80	33,00	207,10
SANEPAR	67,60	20,50	32,40	225,60
30%	63,00	27,52	33,90	281,38
CAGECE	67,20	20,20	32,70	215,40
SANEATINS	67,00	22,80	33,00	207,10
SANEPAR	67,60	20,50	32,40	225,60
33%	65,95	27,90	34,55	287,18
CAGECE	67,20	20,20	32,70	215,40
SANEATINS	67,00	22,80	33,00	207,10
SANEPAR	67,60	20,50	32,40	225,60
35%	61,76	28,08	34,64	287,31
CAGECE	67,20	20,20	32,70	215,40
SANEATINS	67,00	22,80	33,00	207,10
SANEPAR	67,60	20,50	32,40	225,60
38%	60,75	28,34	34,95	304,46
CAGECE	67,20	20,20	32,70	215,40
SANEATINS	67,00	22,80	33,00	207,10
SANEPAR	67,60	20,50	32,40	225,60
CAESB	74,90	23,10	24,90	287,40
45%	61,76	29,14	35,58	340,11
CAGECE	67,20	20,20	32,70	215,40
SANEATINS	67,00	22,80	33,00	207,10
SANEPAR	67,60	20,50	32,40	225,60
CAESB	74,90	23,10	24,90	287,40
COPASA	67,00	29,20	33,00	233,10

Fonte: SNIS (2012).

APÊNDICE A: Cenários para escolha do percentil 25% para os anos de 2002 a 2011.

Tabela A10: Cenários para escolha dos valores de referência do *benchmarking* ano-base 2011.

Percentil / Concessionária	Índice de Micromedição Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Percentil 15%	66,32	23,96	32,60	235,54
-	-	-	-	-
Percentil 20%	64,20	25,41	33,24	249,65
SANEPAR	66,95	21,06	33,05	233,23
Percentil 23%	63,54	26,25	33,83	252,78
SANEPAR	66,95	21,06	33,05	233,23
Percentil 25%	63,33	26,61	34,36	257,72
SANEPAR	66,95	21,06	33,05	233,23
Percentil 30%	62,86	27,08	35,48	272,46
SANEPAR	66,95	21,06	33,05	233,23
SANEATINS	64,41	23,75	35,47	220,71
Percentil 33%	62,06	27,21	35,51	277,59
SANEPAR	66,95	21,06	33,05	233,23
SANEATINS	64,41	23,75	35,47	220,71
Percentil 35%	61,85	27,70	35,54	285,08
SANEPAR	66,95	21,06	33,05	233,23
SANEATINS	64,41	23,75	35,47	220,71
CAESB	74,99	23,44	24,80	278,16
Percentil 38%	61,63	28,55	35,60	297,52
SANEPAR	66,95	21,06	33,05	233,23
SANEATINS	64,41	23,75	35,47	220,71
CAESB	74,99	23,44	24,80	278,16
Percentil 45%	57,40	31,39	36,22	350,23
SANEPAR	66,95	21,06	33,05	233,23
SANEATINS	64,41	23,75	35,47	220,71
CAESB	74,99	23,44	24,80	278,16
COPASA	67,45	28,58	32,52	226,87
CAGECE	63,36	27,01	36,13	248,66

Fonte: SNIS (2013).

APÊNDICE B: Estatística Descritiva Cavaletes de Micromedição para pressão de 15 a 30 m.c.a..

Este apêndice engloba a estatística descritiva do monitoramento dos cavaletes de micromedição para as quatro faixas de pressão avaliadas: 15, 20, 25 e 30 m.c.a. e para as 12 incorreções de montagem/manutenção. Esse apêndice é composto por quatro tabelas.

Tabela B1: Estatística Descritiva da média dos volumes perdidos nos cavaletes de micromedição “frente + fundos” para pressão de 15 m.c.a..

Avaria e Incorreção de Montagem	Volumes perdidos (L/min.) Pressão de 15 (m.c.a.)										
	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variância	Percentil 10%	Percentil 30%	Percentil 50%	Percentil 70%	Percentil 90%
Sem veda rosca	0,08	0,05	0,15	0,05	0,03	0,00	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10
1 v. hidrômetro	0,28	0,25	0,35	0,25	0,04	0,00	0,25	0,25	0,25	0,30	0,35
1 v. joelho A	0,11	0,10	0,15	0,05	0,04	0,00	0,07	0,10	0,10	0,15	0,15
1 v. joelho B	0,24	0,20	0,30	0,20	0,04	0,00	0,20	0,20	0,20	0,25	0,30
1 v. Joelho C	0,28	0,25	0,40	0,20	0,06	0,00	0,22	0,25	0,25	0,30	0,35
1 v. registro	0,25	0,25	0,35	0,20	0,04	0,00	0,20	0,25	0,25	0,25	0,30
2 v. hidrômetro	0,44	0,40	0,60	0,25	0,10	0,01	0,32	0,40	0,40	0,50	0,56
2 v. joelho A	0,20	0,20	0,25	0,15	0,04	0,00	0,15	0,20	0,20	0,20	0,25
2 v. joelho B	0,57	0,55	0,70	0,50	0,08	0,01	0,50	0,51	0,55	0,63	0,68
2 v. joelho C	0,39	0,40	0,45	0,35	0,03	0,00	0,35	0,40	0,40	0,40	0,40
2 v. registro	0,71	0,70	0,85	0,60	0,07	0,01	0,62	0,65	0,70	0,75	0,78
Sem borrachas de vedação	0,36	0,35	0,45	0,25	0,05	0,00	0,35	0,35	0,35	0,35	0,41

APÊNDICE B: Estatística Descritiva Cavaletes de Micromedição para pressão de 15 a 30 m.c.a..

Tabela B2: Estatística Descritiva da média dos volumes perdidos nos cavaletes de micromedição “frente + fundos” para pressão de 20 m.c.a..

Avaria e Incorreção de Montagem	Volumes perdidos (L/min.) Pressão de 20 (m.c.a.)										
	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variância	Percentil 10%	Percentil 30%	Percentil 50%	Percentil 70%	Percentil 90%
Sem veda rosca	0,17	0,20	0,30	0,00	0,08	0,01	0,07	0,15	0,20	0,20	0,25
1 v. hidrômetro	0,47	0,50	0,55	0,40	0,04	0,00	0,42	0,45	0,50	0,50	0,50
1 v. joelho A	0,12	0,10	0,15	0,10	0,02	0,00	0,10	0,10	0,10	0,14	0,15
1 v. joelho B	0,35	0,35	0,40	0,25	0,04	0,00	0,30	0,35	0,35	0,35	0,40
1 v. Joelho C	0,31	0,30	0,35	0,25	0,04	0,00	0,25	0,30	0,30	0,34	0,35
1 v. registro	0,43	0,45	0,50	0,40	0,03	0,00	0,40	0,40	0,45	0,45	0,45
2 v. hidrômetro	0,48	0,50	0,55	0,35	0,06	0,00	0,40	0,45	0,50	0,50	0,55
2 v. joelho A	0,29	0,30	0,35	0,25	0,04	0,00	0,25	0,26	0,30	0,30	0,35
2 v. joelho B	0,60	0,60	0,65	0,45	0,06	0,00	0,52	0,60	0,60	0,64	0,65
2 v. joelho C	0,45	0,45	0,55	0,40	0,04	0,00	0,40	0,45	0,45	0,45	0,50
2 v. registro	0,69	0,70	0,80	0,60	0,05	0,00	0,65	0,66	0,70	0,70	0,76
Sem borrachas de vedação	0,41	0,40	0,60	0,30	0,09	0,01	0,35	0,35	0,40	0,40	0,54

APÊNDICE B: Estatística Descritiva Cavaletes de Micromedição para pressão de 15 a 30 m.c.a..

Tabela B3: Estatística Descritiva da média dos volumes perdidos nos cavaletes de micromedição “frente + fundos” para pressão de 25 m.c.a..

Avaria e Incorreção de Montagem	Volumes perdidos (L/min.) Pressão de 25 (m.c.a.)										
	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variância	Percentil 10%	Percentil 30%	Percentil 50%	Percentil 70%	Percentil 90%
Sem veda rosca	0,14	0,15	0,20	0,05	0,04	0,00	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20
1 v. hidrômetro	0,51	0,50	0,70	0,40	0,08	0,01	0,45	0,45	0,50	0,54	0,58
1 v. joelho A	0,15	0,15	0,20	0,10	0,04	0,00	0,10	0,10	0,15	0,19	0,20
1 v. joelho B	0,41	0,45	0,50	0,20	0,08	0,01	0,34	0,40	0,45	0,45	0,48
1 v. Joelho C	0,27	0,25	0,35	0,20	0,04	0,00	0,25	0,25	0,25	0,30	0,33
1 v. registro	0,54	0,55	0,55	0,50	0,02	0,00	0,50	0,55	0,55	0,55	0,55
2 v. hidrômetro	0,61	0,60	0,75	0,45	0,10	0,01	0,47	0,56	0,60	0,65	0,73
2 v. joelho A	0,29	0,30	0,40	0,20	0,05	0,00	0,25	0,25	0,30	0,30	0,35
2 v. joelho B	0,59	0,60	0,70	0,45	0,08	0,01	0,47	0,56	0,60	0,65	0,65
2 v. joelho C	0,50	0,50	0,65	0,40	0,06	0,00	0,42	0,46	0,50	0,50	0,55
2 v. registro	0,67	0,65	0,75	0,60	0,04	0,00	0,62	0,65	0,65	0,69	0,73
Sem borrachas de vedação	0,85	0,85	0,90	0,80	0,03	0,00	0,80	0,85	0,85	0,85	0,90

APÊNDICE B: Estatística Descritiva Cavaletes de Micromedição para pressão de 15 a 30 m.c.a..

Tabela B4: Estatística Descritiva da média dos volumes perdidos nos cavaletes de micromedição “frente + fundos” para pressão de 30 m.c.a..

Avaria e Incorreção de Montagem	Volumes perdidos (L/min.) Pressão de 30 (m.c.a.)										
	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variância	Percentil 10%	Percentil 30%	Percentil 50%	Percentil 70%	Percentil 90%
Sem veda rosca	0,20	0,20	0,25	0,10	0,05	0,00	0,15	0,16	0,20	0,24	0,25
1 v. hidrômetro	0,57	0,60	0,70	0,40	0,08	0,01	0,45	0,55	0,60	0,60	0,65
1 v. joelho A	0,18	0,20	0,25	0,15	0,04	0,00	0,15	0,15	0,20	0,20	0,23
1 v. joelho B	0,43	0,45	0,55	0,30	0,09	0,01	0,30	0,36	0,45	0,50	0,50
1 v. Joelho C	0,32	0,30	0,40	0,25	0,04	0,00	0,30	0,30	0,30	0,34	0,38
1 v. registro	0,59	0,60	0,70	0,55	0,05	0,00	0,55	0,55	0,60	0,60	0,65
2 v. hidrômetro	0,70	0,70	0,80	0,60	0,08	0,01	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
2 v. joelho A	0,33	0,35	0,45	0,20	0,07	0,00	0,25	0,30	0,35	0,35	0,40
2 v. joelho B	0,62	0,60	0,65	0,55	0,04	0,00	0,57	0,60	0,60	0,65	0,65
2 v. joelho C	0,60	0,60	0,65	0,55	0,03	0,00	0,55	0,60	0,60	0,60	0,63
2 v. registro	0,67	0,65	0,75	0,60	0,04	0,00	0,62	0,65	0,65	0,69	0,73
Sem borrachas de vedação	0,87	0,85	1,05	0,75	0,07	0,00	0,82	0,85	0,85	0,89	0,95

APÊNDICE C: Volume de água perdido no cavalete de micromedição – incorreção de montagem/manutenção.

Por meio dos gráficos contidos neste apêndice é possível observar os volumes de água perdidos para cada tipo de incorreção de montagem/manutenção do cavalete de micromedição para as quatro pressões avaliadas. O apêndice é composto por seis gráficos.

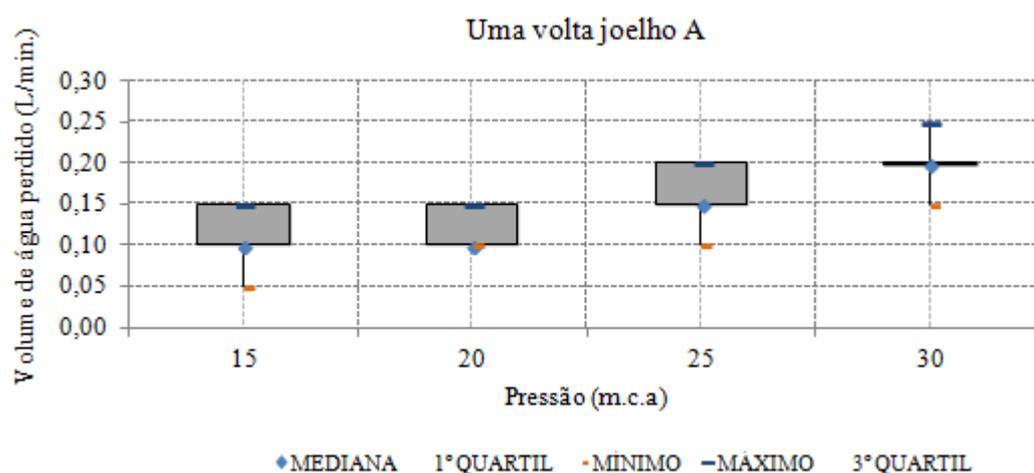


Figura C1: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no Joelho A.

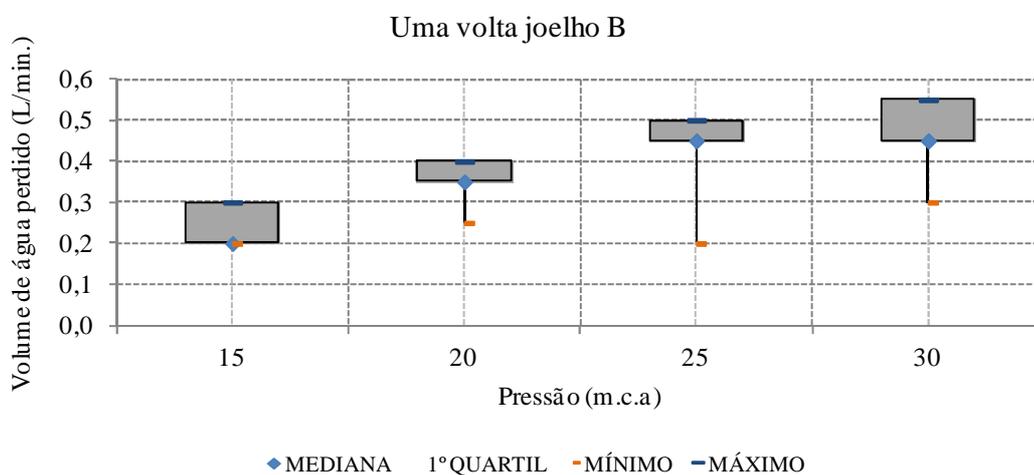


Figura C2: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no Joelho B.

APÊNDICE C: Volume de água perdido no cavalete de micromedição – incorreção de montagem/manutenção.

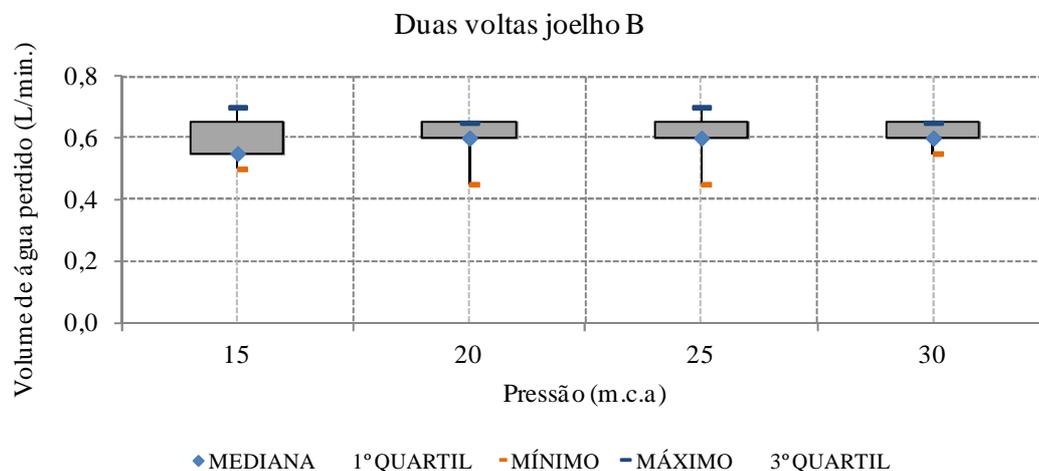


Figura C3: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no Joelho B.

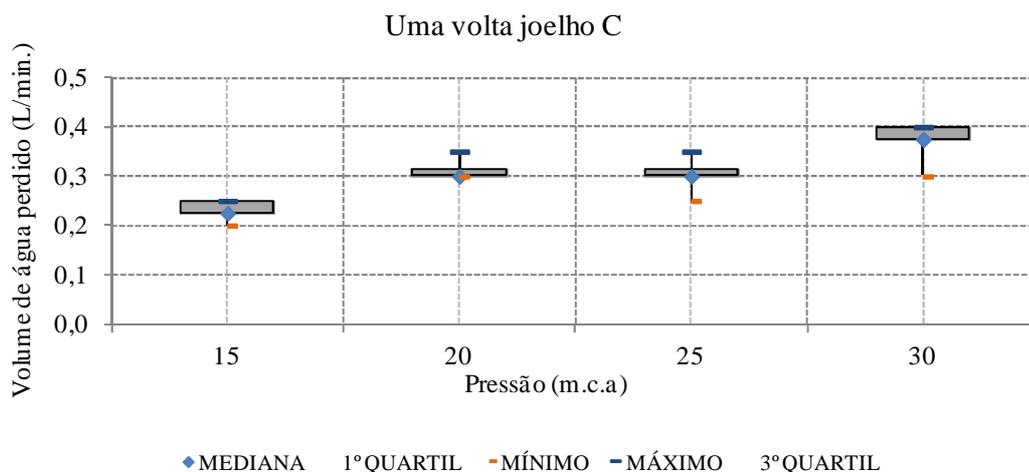


Figura C4: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no Joelho C.

APÊNDICE C: Volume de água perdido no cavalete de micromedição – incorreção de montagem/manutenção.

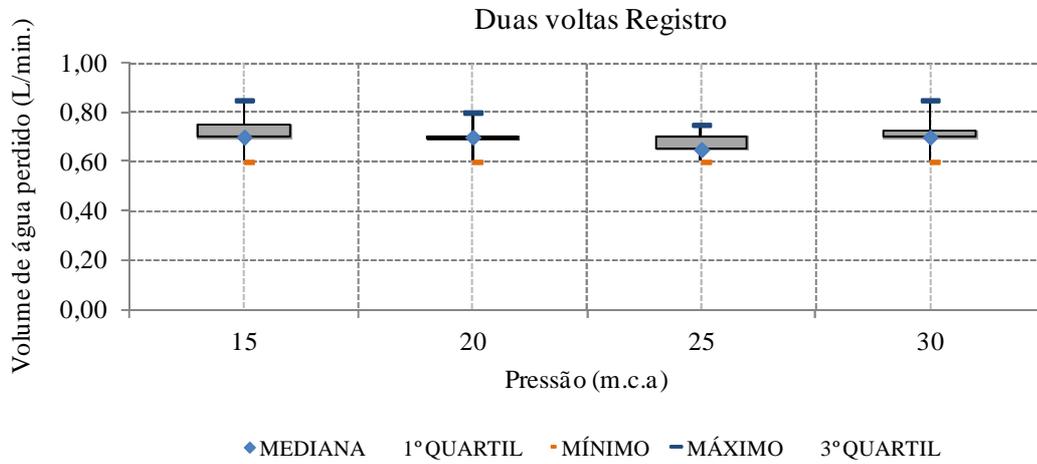


Figura C5: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: duas voltas no registro.

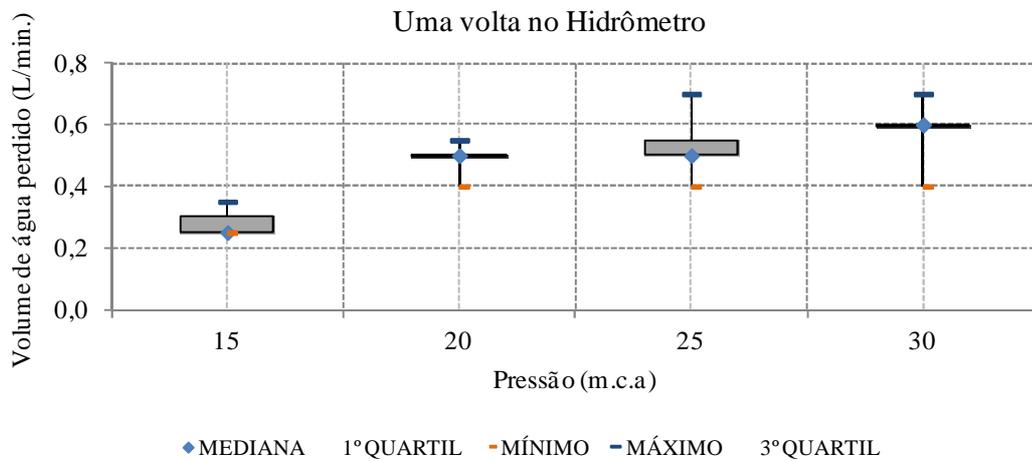


Figura C6: Volumes de água perdidos em função de diferentes patamares de pressão para a incorreção de montagem: uma volta no hidrômetro.

APÊNDICE D: Volume de água perdido no cavalete de micromedição – Pressão aplicada.

Por meio dos gráficos contidos neste apêndice é possível observar os volumes de água perdidos para todas as incorreções de montagem/manutenção do cavalete de micromedição separadamente para cada pressão aplicada. O apêndice é composto por três gráficos.

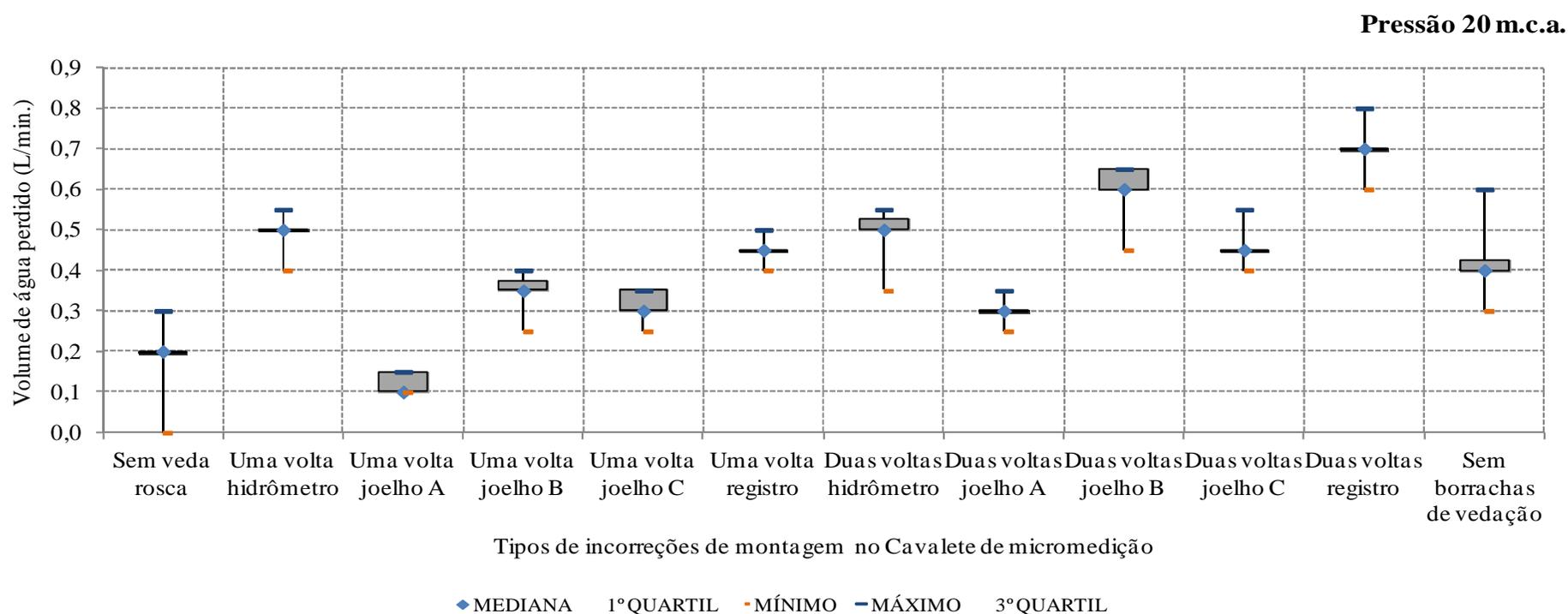


Figura D1: Volumes de água perdidos para todas as incorreções de montagem para o patamar de pressão 20 m.c.a..

APÊNDICE D: Volume de água perdido no cavalete de micromedição – Pressão aplicada.

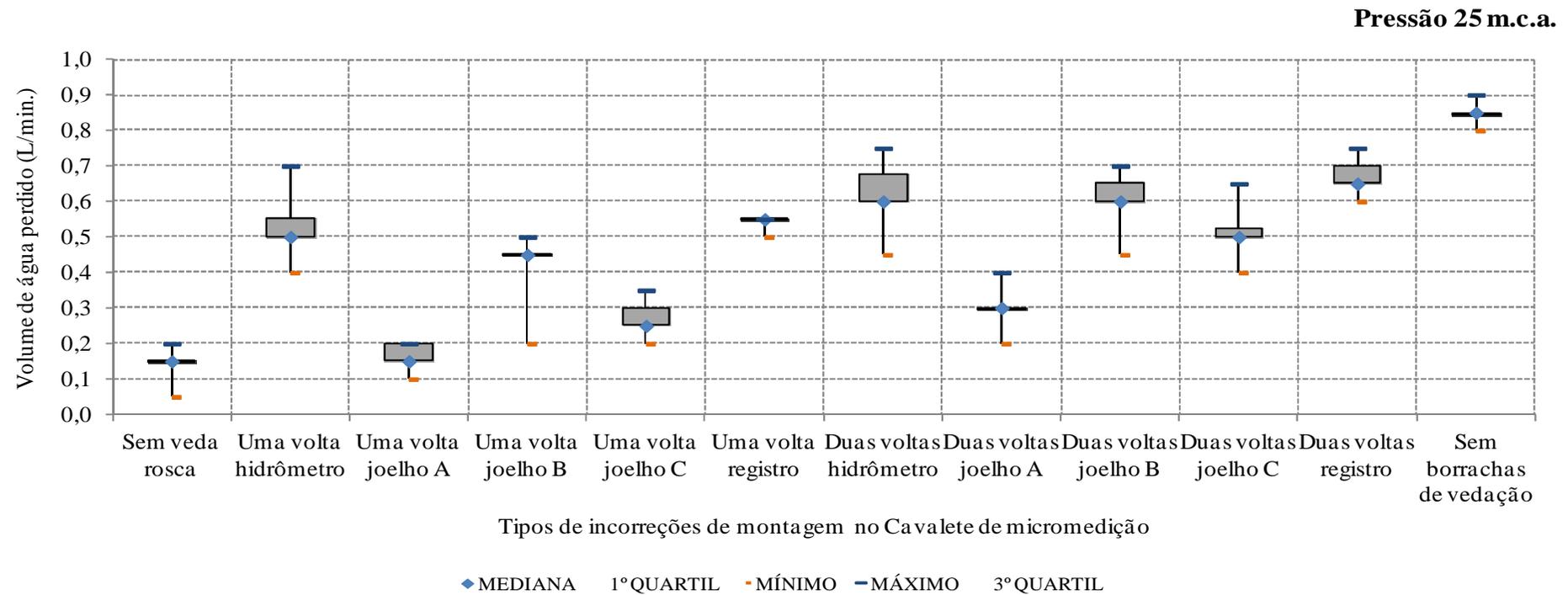


Figura D2: Volumes de água perdidos para todas as incorreções de montagem para o patamar de pressão 25 m.c.a..

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

O apêndice aborda o cálculo teórico da perda de carga realizado por meio da equação de Hazen Williams. Considerando perda de carga por comprimento $L = 1,76$ m. Esse apêndice é formado por 16 tabelas.

Tabela E1: Somatório de K para o cálculo de perdas de carga unitário por conexão.

Conexões	Quantidades	k (unitario)	k(total)
Tê passagem direta PVC 3/4"	2	0,8	1,6
Joelho 90° PVC 3/4"	5	1,2	6
Registro de gaveta de Ferro 3/4"	1	0,1	0,1
hidrômetro de ferro	1	50	50
hidrômetro de plástico	1	10*	10
	Σ		67,7

*GUIMARÃES (2007).

Tabela E2: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 5 (m.c.a.).

P = 5 m.c.a.							
Rodada	Q (L/min)	Q (m ³ /s)	Q ^{1.85}	(C=150) ^{1.85}	(D=0.025m) ^{4.87}	J(m/m)	hf = J*L (m)
1	24,4	0,0004067	5,33447E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,033939411	0,056678816
2	24,3	0,000405	5,2941E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,033682532	0,056249828
3	24,2	0,0004033	5,25386E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,03342655	0,055822338
4	24,1	0,0004017	5,21377E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,033171465	0,055396346
5	24,3	0,000405	5,2941E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,033682532	0,056249828
6	24,1	0,0004017	5,21377E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,033171465	0,055396346
7	25	0,0004167	5,57968E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,035499492	0,059284152
8	24,8	0,0004133	5,49738E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,034975887	0,058409731
9	24,8	0,0004133	5,49738E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,034975887	0,058409731
10	24,8	0,0004133	5,49738E-07	10611,30577	1,57749E-08	0,034975887	0,058409731

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

Tabela E3: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 5 (m.c.a.).

P = 5 m.c.a.							
rodada	Q (L/min)	Q(m³/s)	Área (m²)	Veloc (m/s)	$\sum K$	$2g$ (g= 9.8m/(s²))	$hf = (\sum Kv^2)/(2g)$
1	24,4	0,00041	0,00049	0,828874735	67,7	19,6	2,373069191
2	24,3	0,00041	0,00049	0,825477707	67,7	19,6	2,353657664
3	24,2	0,0004	0,00049	0,822080679	67,7	19,6	2,334325855
4	24,1	0,0004	0,00049	0,818683652	67,7	19,6	2,315073765
5	24,3	0,00041	0,00049	0,825477707	67,7	19,6	2,353657664
6	24,1	0,0004	0,00049	0,818683652	67,7	19,6	2,315073765
7	25	0,00042	0,00049	0,8492569	67,7	19,6	2,49121245
8	24,8	0,00041	0,00049	0,842462845	67,7	19,6	2,451512489
9	24,8	0,00041	0,00049	0,842462845	67,7	19,6	2,451512489
10	24,8	0,00041	0,00049	0,842462845	67,7	19,6	2,451512489

Tabela E4: Perda de carga total para pressão de 5 (m.c.a.).

P = 5 m.c.a.		
Perda 1 (m)	Perda 2 (m)	Perda total (m)
0,056678816	2,373069191	2,43
0,056249828	2,353657664	2,41
0,055822338	2,334325855	2,39
0,055396346	2,315073765	2,37
0,056249828	2,353657664	2,41
0,055396346	2,315073765	2,37
0,059284152	2,49121245	2,55
0,058409731	2,451512489	2,51
0,058409731	2,451512489	2,51
0,058409731	2,451512489	2,51
Média		2,45

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

Tabela E5: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 15 (m.c.a.).

P = 15 m.c.a							
rodada	Q (L/min)	Q (m³/s)	Q ^{1.85}	(C=150) ^{1.85}	(D=0.025m) ^{4.87}	J(m/m)	hf = J*L (m)
1	44	0,0007333	1,58784E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,101023073	0,168708532
2	44,3	0,0007383	1,60793E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,102301032	0,170842724
3	44,3	0,0007383	1,60793E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,102301032	0,170842724
4	44,3	0,0007383	1,60793E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,102301032	0,170842724
5	44,3	0,0007383	1,60793E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,102301032	0,170842724
6	44,1	0,000735	1,59453E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,101448239	0,169418559
7	43,8	0,00073	1,57452E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,100175202	0,167292588
8	43,9	0,0007317	1,58117E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,100598727	0,167999874
9	44,2	0,0007367	1,60122E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,101874226	0,170129957
10	44,9	0,0007483	1,64845E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,104879076	0,175148057

Tabela E6: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 15 (m.c.a.).

P = 15 m.c.a..							
rodada	Q (L/min)	Q(m³/s)	Área (m²)	Veloc (m/s)	∑K	2g (g= 9.8m/(s²))	hf = (∑Kv²)/(2g)
1	44	0,00073	0,00049	1,494692144	67,7	19,6	7,716779687
2	44,3	0,00074	0,00049	1,504883227	67,7	19,6	7,822367235
3	44,3	0,00074	0,00049	1,504883227	67,7	19,6	7,822367235
4	44,3	0,00074	0,00049	1,504883227	67,7	19,6	7,822367235
5	44,3	0,00074	0,00049	1,504883227	67,7	19,6	7,822367235
6	44,1	0,00074	0,00049	1,498089172	67,7	19,6	7,751895817
7	43,8	0,00073	0,00049	1,487898089	67,7	19,6	7,646786582
8	43,9	0,00073	0,00049	1,491295117	67,7	19,6	7,681743275
9	44,2	0,00074	0,00049	1,5014862	67,7	19,6	7,787091667
10	44,9	0,00075	0,00049	1,525265393	67,7	19,6	8,03569474

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

Tabela E7: Perda de carga total para pressão de 15 (m.c.a.).

P = 15 m.c.a.		
Perda 1 (m)	Perda 2 (m)	Perda total (m)
0,168708532	7,716779687	7,89
0,170842724	7,822367235	7,99
0,170842724	7,822367235	7,99
0,170842724	7,822367235	7,99
0,170842724	7,822367235	7,99
0,169418559	7,751895817	7,92
0,167292588	7,646786582	7,81
0,167999874	7,681743275	7,85
0,170129957	7,787091667	7,96
0,175148057	8,03569474	8,21
Média		7,96

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

Tabela E8: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 20 (m.c.a.).

P = 20 m.c.a.							
rodada	Q (L/min)	Q (m³/s)	Q ^{1.85}	(C=150) ^{1.85}	(D=0.025m) ^{4.87}	J(m/m)	hf = J*L (m)
1	51	0,00085	2,08653E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,132751045	0,221694245
2	50,8	0,0008467	2,07142E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,131789555	0,220088556
3	51,2	0,0008533	2,10169E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,133715746	0,223305295
4	50,8	0,0008467	2,07142E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,131789555	0,220088556
5	50,9	0,0008483	2,07897E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,132269899	0,220890731
6	50,3	0,0008383	2,03386E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,129399887	0,21609781
7	50,6	0,0008433	2,05636E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,130831277	0,218488232
8	50,6	0,0008433	2,05636E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,130831277	0,218488232
9	50,4	0,00084	2,04135E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,129876213	0,216893275
10	50,9	0,0008483	2,07897E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,132269899	0,220890731

Tabela E9: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 20 (m.c.a.).

P = 20 m.c.a.							
rodada	Q (L/min)	Q(m³/s)	Área (m²)	Veloc (m/s)	∑K	2g (g= 9.8m/(s²))	hf = (∑Kv²)/(2g)
1	51	0,00085	0,00049	1,732484076	67,7	19,6	10,36742973
2	50,8	0,00085	0,00049	1,725690021	67,7	19,6	10,286276
3	51,2	0,00085	0,00049	1,739278132	67,7	19,6	10,44890235
4	50,8	0,00085	0,00049	1,725690021	67,7	19,6	10,286276
5	50,9	0,00085	0,00049	1,729087049	67,7	19,6	10,32681301
6	50,3	0,00084	0,00049	1,708704883	67,7	19,6	10,08478673
7	50,6	0,00084	0,00049	1,718895966	67,7	19,6	10,20544114
8	50,6	0,00084	0,00049	1,718895966	67,7	19,6	10,20544114
9	50,4	0,00084	0,00049	1,712101911	67,7	19,6	10,12492515
10	50,9	0,00085	0,00049	1,729087049	67,7	19,6	10,32681301

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

Tabela E10: Perda de carga total para pressão de 20 (m.c.a.).

P = 20 m.c.a.		
Perda 1 (m)	Perda 2 (m)	Perda total (m)
0,221694245	10,36742973	10,59
0,220088556	10,286276	10,51
0,223305295	10,44890235	10,67
0,220088556	10,286276	10,51
0,220890731	10,32681301	10,55
0,216097810	10,08478673	10,30
0,218488232	10,20544114	10,42
0,218488232	10,20544114	10,42
0,216893275	10,12492515	10,34
0,220890731	10,32681301	10,55
	Média	10,49

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

Tabela E11: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 25 (m.c.a.).

P = 25 m.c.a.							
rodada	Q (L/min)	Q (m³/s)	Q ^{1.85}	(C=150) ^{1.85}	(D=0.025m) ^{4.87}	J(m/m)	hf = J*L (m)
1	57,5	0,0009583	2,60499E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,16573668	0,276780256
2	57,4	0,0009567	2,59661E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,165203835	0,275890404
3	57,2	0,0009533	2,5799E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,164140509	0,274114650
4	57	0,00095	2,56324E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,163080339	0,272344166
5	57,1	0,0009517	2,57156E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,16361003	0,273228750
6	57,3	0,000955	2,58825E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,164671778	0,275001869
7	56,9	0,0009483	2,55492E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,162551438	0,271460902
8	57,3	0,000955	2,58825E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,164671778	0,275001869
9	57,3	0,000955	2,58825E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,164671778	0,275001869
10	57,8	0,0009633	2,63019E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,167339946	0,279457710

Tabela E12: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 25 (m.c.a.).

P = 25 m.c.a.							
rodada	Q (L/min)	Q(m³/s)	Área (m²)	Veloc (m/s)	∑K	2g (g= 9.8m/(s²))	hf = (∑Kv²)/(2g)
1	57,5	0,00096	0,00049	1,95329087	67,7	19,6	13,17851386
2	57,4	0,00096	0,00049	1,949893843	67,7	19,6	13,13271541
3	57,2	0,00095	0,00049	1,943099788	67,7	19,6	13,041357670
4	57	0,00095	0,00049	1,936305732	67,7	19,6	12,9503188
5	57,1	0,00095	0,00049	1,93970276	67,7	19,6	12,99579838
6	57,3	0,00096	0,00049	1,946496815	67,7	19,6	13,08699668
7	56,9	0,00095	0,00049	1,932908705	67,7	19,6	12,90491895
8	57,3	0,00096	0,00049	1,946496815	67,7	19,6	13,08699668
9	57,3	0,00096	0,00049	1,946496815	67,7	19,6	13,08699668
10	57,8	0,00096	0,00049	1,963481953	67,7	19,6	13,31638752

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

Tabela E13: Perda de carga total para pressão de 25 (m.c.a.).

P = 25 m.c.a.		
Perda 1 (m)	Perda 2 (m)	Perda total (m)
0,276780256	13,17851386	13,46
0,275890404	13,13271541	13,41
0,274114650	13,041357670	13,32
0,272344166	12,9503188	13,22
0,273228750	12,99579838	13,27
0,275001869	13,08699668	13,36
0,271460902	12,90491895	13,18
0,275001869	13,08699668	13,36
0,275001869	13,08699668	13,36
0,279457710	13,31638752	13,60
	Média	13,35

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

Tabela E14: Perda de carga por comprimento de tubulação para pressão de 30 (m.c.a.).

P = 30 m.c.a.							
rodada	Q (L/min)	Q (m³/s)	Q ^{1.85}	(C=150) ^{1.85}	(D=0.025m) ^{4.87}	J(m/m)	hf = J*L (m)
1	62,6	0,0010433	3,04848E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,193952615	0,323900867
2	62	0,0010333	2,99464E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,190527535	0,318180983
3	62,4	0,00104	3,03048E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,192807807	0,321989037
4	61,6	0,0010267	2,959E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,188259734	0,314393756
5	62,6	0,0010433	3,04848E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,193952615	0,323900867
6	62,9	0,0010483	3,07556E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,195675664	0,326778360
7	61,8	0,00103	2,97679E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,189392075	0,316284765
8	61,2	0,00102	2,92355E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,186004416	0,310627374
9	61,1	0,0010183	2,91472E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,185442538	0,309689038
10	60,8	0,0010133	2,8883E-06	10611,30577	1,57749E-08	0,183761592	0,306881859

Tabela E15: Perda de carga unitária por conexão para pressão de 30 (m.c.a.).

P = 30 m.c.a.							
rodada	Q (L/min)	Q(m³/s)	Área (m²)	Veloc (m/s)	∑K	2g (g= 9.8m/(s²))	hf = (∑Kv²)/(2g)
1	62,6	0,00104	0,00049	2,126539278	67,7	19,6	15,61994192
2	62	0,00103	0,00049	2,106157113	67,7	19,6	15,32195306
3	62,4	0,00104	0,00049	2,119745223	67,7	19,6	15,52029343
4	61,6	0,00103	0,00049	2,092569002	67,7	19,6	15,12488819
5	62,6	0,00104	0,00049	2,126539278	67,7	19,6	15,61994192
6	62,9	0,00105	0,00049	2,136730361	67,7	19,6	15,77001256
7	61,8	0,00103	0,00049	2,099363057	67,7	19,6	15,22326118
8	61,2	0,00102	0,00049	2,078980892	67,7	19,6	14,92909882
9	61,1	0,00102	0,00049	2,075583864	67,7	19,6	14,88035077
10	60,8	0,00101	0,00049	2,065392781	67,7	19,6	14,73458495

APÊNDICE E: Cálculo da perda de carga para os cavaletes de micromedição: Pressão de 5 a 30 m.c.a.

Tabela E16: Perda de carga total para pressão de 30 (m.c.a.).

P = 30 m.c.a.		
Perda 1 (m)	Perda 2 (m)	Perda total (m)
0,323900867	15,61994192	15,94
0,318180983	15,32195306	15,64
0,321989037	15,52029343	15,84
0,314393756	15,12488819	15,44
0,323900867	15,61994192	15,94
0,326778360	15,77001256	16,10
0,316284765	15,22326118	15,54
0,310627374	14,92909882	15,24
0,309689038	14,88035077	15,19
0,306881859	14,73458495	15,04
	Média	15,59

APÊNDICE F: Dados absolutos de perdas de água nas tubulações do sistema de distribuição para todas as tubulações, diâmetros de furos e patamares de pressão.

Neste apêndice é possível observar os dados relativos aos cinco ensaios realizados para tamanho de diâmetro de furo em todas as seis pressões aplicadas. Esse apêndice é composto por quatro tabelas, uma para cada tipo de material da rede.

Tabela F1: Ensaios de perda de água em tubulação de PVC – PBA para diversos diâmetros de furos e patamares de pressão.

Broca (mm)	Pressões (m.c.a.)					
	10	15	20	25	30	35
0,80	334,40	415,40	459,00	494,40	532,80	569,30
	336,00	417,30	460,00	495,30	534,80	569,80
	339,10	418,60	459,40	496,30	533,20	569,30
	339,00	416,50	460,90	494,10	535,60	572,40
	339,00	416,70	461,50	493,50	535,40	571,90
Média	337,50	416,90	460,16	494,72	534,36	570,54
1,00	520,50	668,00	740,00	801,90	850,00	897,70
	526,40	673,70	738,30	799,80	848,40	899,30
	525,80	666,80	739,00	799,20	849,90	896,80
	525,50	667,00	739,10	802,90	847,40	899,40
	525,60	665,90	739,70	802,70	849,10	897,30
Média	524,76	668,28	739,22	801,30	848,96	898,10
1,50	1359,80	1683,80	1976,20	2244,80	2488,40	2716,80
	1368,60	1682,80	1980,20	2248,80	2480,40	2715,60
	1370,20	1677,20	1979,80	2236,40	2472,00	2713,20
	1361,00	1680,00	1980,00	2249,20	2488,80	2720,00
	1362,20	1675,00	1970,80	2233,60	2493,60	2717,60
Média	1364,36	1679,76	1977,40	2242,56	2484,64	2716,64
2,00	2309,20	2804,00	3138,00	3349,60	3604,80	3855,60
	2317,60	2806,80	3151,20	3352,00	3606,40	3851,60
	2331,60	2816,80	3157,20	3355,20	3606,00	3848,80
	2318,80	2814,40	3156,00	3360,00	3603,20	3846,40
	2334,40	2816,80	3156,40	3354,40	3602,80	3855,20
Média	2322,32	2811,76	3151,76	3354,24	3604,64	3851,52
2,50	4207,20	4527,60	5105,40	5451,60	5785,80	6343,00

	4220,40	4536,60	5120,40	5432,40	5791,20	6358,00
	4198,80	4546,80	5093,40	5450,40	5777,40	6338,00
	4226,40	4533,60	5105,40	5440,20	5804,40	6328,00
	4216,80	4550,40	5107,80	5443,20	5789,40	6331,00
Média	4213,92	4539,00	5106,48	5443,56	5789,64	6339,60
	5556,60	6522,00	7032,00	7752,00	8253,00	8976,00
	5565,60	6535,00	7029,00	7760,00	8341,00	8996,00
3,00	5565,60	6519,00	7051,00	7781,00	8341,00	9012,00
	5565,00	6534,00	7058,00	7779,00	8320,00	8990,00
	5560,80	6559,00	7039,00	7758,00	8326,00	8968,00
Média	5562,72	6533,80	7041,80	7766,00	8316,20	8988,40

APÊNDICE F: Dados absolutos de perdas de água em tubulações do sistema de distribuição para todas as tubulações, diâmetros de furos e patamares de pressão.

Tabela F2: Ensaio de perda de água em tubulação de PEAD para diversos diâmetros de furos e patamares de pressão.

Broca (mm)	Pressões (m.c.a.)					
	10	15	20	25	30	35
0,80	251,40	313,40	359,30	405,00	444,80	489,30
	253,90	312,60	362,40	404,10	447,70	487,30
	254,30	313,20	365,50	403,70	446,10	488,90
	252,30	312,80	363,20	403,70	446,90	487,00
	254,20	314,50	358,60	405,00	444,90	488,10
Média	253,22	313,30	361,80	404,30	446,08	488,12
1,00	216,40	227,00	266,10	292,50	323,30	435,30
	218,80	227,40	267,50	293,90	324,50	436,00
	218,40	229,00	266,10	294,50	322,80	434,70
	217,20	227,20	265,40	291,70	322,00	435,20
	216,30	229,00	266,90	294,80	323,40	436,00
Média	217,42	227,92	266,40	293,48	323,20	435,44
1,50	1266,80	1550,00	1801,20	2056,00	2182,40	2263,20
	1271,60	1551,80	1801,80	2054,80	2174,00	2259,60
	1264,00	1557,20	1801,40	2060,00	2174,80	2274,80
	1267,60	1557,00	1801,40	2054,80	2177,60	2265,20
	1271,20	1556,20	1801,80	1027,80	2172,40	2263,60
Média	1268,24	1554,44	1801,52	1850,68	2176,24	2265,28
2,00	922,00	1112,40	1305,00	1483,20	1593,00	1669,80
	917,00	1125,80	1306,40	1486,40	1584,80	1675,20
	918,20	1118,20	1312,20	1491,60	1588,20	1672,80
	920,00	1116,40	1311,20	1491,20	1590,60	1671,00
	924,00	1116,60	1311,40	1489,40	1587,80	1671,20
Média	920,24	1117,88	1309,24	1488,36	1588,88	1672,00
2,50	3200,00	3966,00	4504,80	5176,20	5265,60	5776,00
	3204,40	3970,20	4526,40	5151,00	5241,00	5752,00
	3205,60	3972,00	4501,20	5176,20	5268,60	5752,00
	1605,20	3948,60	4501,20	5187,60	5247,60	5741,00
	1603,20	3976,80	4511,40	5182,20	5254,80	5746,00
Média	2563,68	3966,72	4509,00	5174,64	5255,52	5753,40

3,00	3159,20	4152,60	5193,60	6448,00	7329,00	8043,00
	3156,00	4166,40	5241,00	6429,00	7289,00	8031,00
	3157,20	4173,60	5257,80	6429,00	7323,00	8014,00
	3159,60	4173,60	5241,00	6443,00	7341,00	8014,00
	3159,60	4180,20	5259,60	6452,00	7338,00	7982,00
Média	3158,32	4169,28	5238,60	6440,20	7324,00	8016,80

APÊNDICE F: Dados absolutos de perdas de água em tubulações do sistema de distribuição para todas as tubulações, diâmetros de furos e patamares de pressão.

Tabela F3: Ensaio de perda de água em tubulação de PVC – Vinilfer para diversos diâmetros de furos e patamares de pressão.

Broca (mm)	Pressões (m.c.a.)					
	10	15	20	25	30	35
0,80	379,80	434,20	476,60	520,10	668,40	714,50
	382,20	432,10	480,80	519,80	671,80	713,00
	384,10	433,40	480,50	520,10	671,90	711,10
	382,30	435,00	479,60	521,60	670,80	712,90
	382,30	434,10	479,40	520,80	669,90	712,70
Média	382,14	433,76	479,38	520,48	670,56	712,84
1,00	400,10	491,80	573,00	661,00	741,60	785,90
	396,90	500,10	572,90	658,70	746,00	786,50
	397,80	492,10	567,40	659,60	742,80	785,60
	399,10	491,70	569,80	659,50	745,40	786,90
	396,90	500,20	571,90	659,90	746,80	786,30
Média	398,16	495,18	571,00	659,74	744,52	786,24
1,50	497,40	618,70	720,90	803,30	899,20	984,00
	503,60	620,80	718,30	804,40	893,40	983,20
	499,40	622,60	722,20	805,10	900,40	986,00
	498,50	620,30	721,90	805,30	898,70	987,00
	499,30	622,00	720,30	805,10	900,10	987,10
Média	499,64	620,88	720,72	804,64	898,36	985,46
2,00	2127,20	2602,80	2951,60	3144,40	3404,80	3600,40
	2127,20	2601,60	2943,60	3169,20	3389,60	3593,20
	2123,60	2591,20	2935,60	3154,00	3401,20	3591,20
	2124,80	2599,20	2947,20	3158,40	3403,20	3600,00
	2123,20	2600,40	2944,40	3152,00	3399,60	3598,80
Média	2125,20	2599,04	2944,48	3155,60	3399,68	3596,72
2,50	3009,20	3659,60	4457,40	5133,60	5607,60	5910,00
	3003,60	3675,60	4452,00	5138,40	5613,00	5907,00
	3003,20	3685,60	4477,20	5130,00	5602,20	5911,20
	2999,60	3680,00	4470,00	5136,00	5616,00	5910,00
	3004,00	3685,20	4506,00	5130,00	5802,00	5907,60
Média	3003,92	3677,20	4472,52	5133,60	5648,16	5909,16

3,00	5080,80	6534,00	7239,00	7760,00	8289,00	8868,00
	5080,20	6544,00	7228,00	7750,00	8253,00	8869,00
	5076,60	6558,00	7209,00	7764,00	8249,00	8859,00
	5082,60	6543,00	7219,00	7775,00	8263,00	8863,00
	5078,40	6539,00	7223,00	7754,00	8257,00	8849,00
Média	5079,72	6543,60	7223,60	7760,60	8262,20	8861,60

APÊNDICE F: Dados absolutos de perdas de água em tubulações do sistema de distribuição para todas as tubulações, diâmetros de furos e patamares de pressão.

Tabela F4: Ensaio de perda de água em tubulação de Ferro Fundido para diversos diâmetros de furos e patamares de pressão.

Broca (mm)	Pressões (m.c.a.)					
	10	15	20	25	30	35
0,80	Sem dados					
Média	-	-	-	-	-	-
1,00	Sem dados					
Média	-	-	-	-	-	-
1,50	623,20	766,30	891,50	983,00	1063,20	1129,00
	622,90	767,10	890,00	983,80	1061,00	1126,80
	622,70	766,70	891,30	983,40	1063,00	1126,80
	623,10	767,20	890,40	983,50	1061,60	1128,00
	622,80	766,80	891,60	984,10	1061,40	1127,60
Média	622,94	766,82	890,96	983,56	1062,04	1127,64
2,00	2531,60	3144,00	3662,40	4167,00	4524,60	4903,80
	2527,60	3140,00	3671,20	4175,40	4536,60	4890,00
	2531,60	3140,40	3665,60	4174,20	4531,80	4900,20
	2527,20	3140,80	3663,20	4174,80	4533,00	4895,40
	2528,00	3144,00	3666,40	4198,80	4532,40	4899,60
Média	2529,20	3141,84	3665,76	4178,04	4531,68	4897,80
2,50	4238,40	5031,60	6086,00	6855,00	7945,00	8024,00
	4237,20	5058,00	6082,00	6824,00	7961,00	8041,00
	4235,40	5039,40	6091,00	6841,00	7962,00	8037,00
	4240,20	5034,60	6097,00	6832,00	7963,00	8038,00
	4234,80	5035,80	6087,00	6848,00	7954,00	8029,00
Média	4237,20	5039,88	6088,60	6840,00	7957,00	8033,80

	6182,00	7529,00	8857,00	9979,00	10964,40	11688,00
	6162,00	7507,00	8891,00	9983,00	10953,60	11622,00
3,00	6175,00	7522,00	8893,00	9991,00	10952,40	11673,60
	6169,00	7516,00	8894,00	9982,00	10954,80	11680,80
	6209,00	7523,00	8887,00	9131,00	10957,20	11638,80
Média	6179,40	7519,40	8884,40	9813,20	10956,48	11660,64

APÊNDICE G: Cálculo do benchmarking para os anos-base 2002 a 2009.

Neste apêndice são apresentadas as tabelas de cálculo de *benchmarking*, nas quais as companhias estaduais de saneamento básico estão separadas em dois grupos: “companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o *benchmarking*” e “companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o *benchmarking*”. Esse apêndice é composto por oito tabelas.

Tabela G1: *Benchmarking* geral das 22 companhias para o ano-base 2002.

Prestador de Serviço Regional	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o benchmarking				
	63,30	24,80	32,78	227,38
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o benchmarking				
COPASA	70,09	18,08	29,89	212,72
SANEATINS	67,60	21,47	32,24	209,93
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o benchmarking				
AGESPISA*	-	-	-	-
CAEMA	11,95	57,25	56,12	871,89
CAER	18,61	46,10	47,56	423,15
CAERN	-	-	-	-
CAESA	4,18	74,05	74,05	2777,08
CAESB*	-	-	-	-
CAGECE	55,81	23,68	23,13	208,44
CAGEPA	47,53	32,40	39,01	271,36
CASAL	46,19	30,80	35,52	311,24
CASAN	53,30	25,19	41,24	292,35
CEDAE	40,78	41,46	41,52	1256,06
CESAN	58,94	28,79	38,92	472,08
COMPESA	28,83	47,14	58,03	590,20
CORSAN	34,72	49,24	47,72	472,28
COSANPA	1,35	49,40	51,72	810,83
DESO	46,15	42,91	51,16	433,89
EMBASA	62,54	21,99	26,00	203,32
SABESP	65,56	24,68	34,41	277,81
SANEAGO	70,17	28,52	27,67	178,69
SANEPAR*	-	-	-	-
SANESUL	63,55	25,75	35,74	287,42

* Falta de dados para algum dos indicadores estudados.

Fonte: SNIS (2004).

APÊNDICE G: Cálculo do *benchmarking* para o anos-base 2002 a 2009.

Tabela G2: *Benchmarking* geral das 22 companhias para o ano-base 2003.

Prestador de Serviço Regional	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
	64,27	23,59	31,86	228,37
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
CESAN	70,72	15,33	29,15	190,59
SANEPAR	72,11	14,57	27,89	170,52
COPASA	65,97	17,68	27,17	203,96
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
AGESPISA	46,89	36,22	44,32	373,39
CAEMA	17,80	55,99	59,11	685,84
CAER	7,24	49,32	50,69	514,44
CAERN	44,25	22,93	42,90	238,11
CAGECE	64,27	26,17	31,51	222,66
CAGEPA	47,01	27,56	34,62	228,37
CASAL	31,11	42,43	50,55	414,01
CASAN	55,47	23,59	37,33	262,67
CEDAE	67,25	19,88	31,86	234,85
COMPESA	47,23	29,15	37,78	239,82
CORSAN	41,24	46,38	41,74	372,72
COSANPA	0,14	50,56	53,15	812,64
DESO	36,75	38,40	47,66	387,86
EMBASA	49,92	39,28	45,67	364,20
SABESP	51,06	28,77	33,09	455,64
SANEAGO	66,19	31,62	31,75	202,78
SANEATINS	13,68	59,01	59,75	785,32
SANESUL	63,04	26,55	35,27	262,41

Fonte: SNIS (2005).

APÊNDICE G: Cálculo do *benchmarking* para o anos-base 2002 a 2009.

Tabela G3: *Benchmarking* geral das 22 companhias para o ano-base 2004.

Prestador de Serviço Regional	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
	64,93	23,53	31,11	254,82
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
COPASA	71,57	13,62	28,26	168,36
SANEPAR	73,56	12,66	26,44	145,10
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
AGESPISA	17,75	50,01	63,08	748,34
CAEMA	13,60	54,07	48,23	489,80
CAER	23,70	35,63	36,11	269,39
CAERN	38,80	33,42	45,39	454,95
CAESA	1,18	73,56	73,56	2964,04
CAESB	67,63	23,11	27,23	368,88
CAGECE	67,49	25,98	34,21	254,56
CAGEPA	57,97	27,49	40,64	272,12
CASAL	35,15	37,22	46,52	387,68
CASAN	47,58	30,80	43,61	371,08
CEDAE	41,70	42,41	42,41	1134,62
CESAN	64,86	23,47	33,79	310,82
COMPESA	23,65	47,65	57,73	587,04
CORSAN	41,62	46,05	40,14	352,56
COSANPA	1,45	49,42	49,47	677,34
DESO	47,49	41,50	50,50	397,28
EMBASA	61,47	17,33	23,45	155,78
SABESP	63,37	25,56	36,27	272,86
SANEAGO	67,29	30,22	30,22	178,32
SANEATINS	47,04	20,97	29,70	168,72
SANESUL	64,95	23,72	34,78	255,62

Fonte: SNIS (2006).

APÊNDICE G: Cálculo do *benchmarking* para o anos-base 2002 a 2009.

Tabela G4: *Benchmarking* geral das 22 companhias para o ano-base 2005.

Prestador de Serviço Regional	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
	65,56	23,25	29,09	206,33
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
CAGECE	66,67	28,17	28,49	202,93
COPASA	72,67	12,24	27,28	153,82
SANEPAR	74,14	12,14	25,86	139,59
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
AGESPISA	18,27	48,70	63,06	645,15
CAEMA	12,78	61,63	48,95	716,68
CAER	26,92	27,35	27,70	209,74
CAERN	36,97	33,39	47,14	480,84
CAESA	1,14	74,61	74,61	2780,87
CAESB	66,19	24,07	28,76	390,07
CAGEPA	38,42	30,89	29,42	218,20
CASAL	33,63	39,61	44,45	381,40
CASAN	50,97	26,81	41,19	293,85
CEDAE	43,18	41,63	41,86	1125,82
CESAN	63,64	22,54	34,76	306,89
COMPESA	21,31	50,03	59,17	602,54
CORSAN	40,87	46,26	42,18	362,42
COSANPA	1,43	54,46	54,40	767,02
DESO	46,75	44,57	51,13	404,83
EMBASA	61,28	15,76	22,46	144,50
SABESP	65,87	23,30	34,12	247,65
SANEAGO	65,24	31,87	31,87	190,46
SANEATINS	66,75	19,44	31,92	193,09
SANESUL	64,76	23,20	34,59	256,29

Fonte: SNIS (2007).

APÊNDICE G: Cálculo do *benchmarking* para o anos-base 2002 a 2009.

Tabela G5: *Benchmarking* geral das 22 companhias para o ano-base 2006.

Prestador de Serviço Regional	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
	67,97	20,57	30,39	200,51
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
COPASA	73,04	19,46	26,51	146,87
SANEATINS	70,75	18,02	16,43	103,30
SANEPAR	73,80	12,55	26,20	143,19
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
AGESPISA	21,06	50,43	60,88	585,27
CAEMA	11,74	64,59	42,53	513,54
CAER	17,80	45,23	49,59	960,49
CAERN	33,80	26,63	36,83	335,20
CAESA	1,18	71,91	71,91	2504,90
CAESB	64,50	23,71	30,23	403,66
CAGECE	73,97	23,77	31,64	194,45
CAGEPA	73,97	23,77	31,64	194,45
CASAL	44,88	29,94	39,98	275,50
CASAN	35,43	41,00	48,11	403,29
CEDAE	59,88	22,91	38,52	249,65
CESAN	48,53	40,69	40,69	999,19
COMPESA	69,98	18,68	29,26	236,08
CORSAN	21,02	45,39	54,61	478,44
COSANPA	47,95	41,09	38,70	283,85
DESO	0,77	48,01	47,52	608,26
EMBASA	49,43	38,46	48,75	356,86
SABESP	62,27	15,78	20,26	113,10
SANEAGO	68,72	20,10	31,27	218,70
SANEATINS	65,74	30,85	30,84	170,26
SANESUL	65,68	22,00	33,87	235,21

Fonte: SNIS (2008).

APÊNDICE G: Cálculo do *benchmarking* para o anos-base 2002 a 2009.

Tabela G6: *Benchmarking* geral das 22 companhias para o ano-base 2007.

Prestador de Serviço Regional	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
	69,62	20,57	28,76	180,47
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
SANEATINS	77,78	17,04	22,02	133,61
SANEPAR	72,93	13,03	26,30	150,24
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
AGESPISA	22,20	50,97	60,28	625,85
CAEMA	13,44	62,69	62,89	1010,81
CAER	30,94	52,36	52,05	735,82
CAERN	34,60	31,33	41,96	357,34
CAESA	8,59	83,78	83,78	4110,29
CAESB	71,25	26,91	28,48	385,19
CAGECE	67,45	17,87	29,60	167,69
CAGEPA	45,64	30,21	37,83	289,18
CASAL	36,25	35,49	46,58	349,55
CASAN	59,83	22,49	37,58	243,87
CEDAE	39,03	49,97	47,32	1488,16
CESAN	70,96	20,39	28,28	235,88
COMPESA	23,40	44,23	58,31	508,86
COPASA	72,40	21,10	26,91	149,16
CORSAN	50,40	35,81	32,51	232,31
COSANPA	3,53	43,77	45,76	482,08
DESO	49,91	36,34	47,83	340,79
EMBASA	60,55	16,79	21,35	125,79
SABESP	69,93	19,06	29,93	208,41
SANEAGO	68,69	29,81	29,79	171,15
SANESUL	66,08	23,79	31,36	239,84

Fonte: SNIS (2009).

APÊNDICE G: Cálculo do *benchmarking* para o anos-base 2002 a 2009.

Tabela G7: *Benchmarking* geral das 22 companhias para o ano-base 2008.

Prestador de Serviço Regional	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
	69,90	17,99	28,95	172,93
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
SANEPAR	74,25	10,99	25,74	135,76
CAGECE	71,03	16,65	28,15	146,42
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>				
AGESPISA	24,40	48,50	58,14	596,50
CAEMA	6,13	75,47	70,77	1075,17
CAER	17,12	57,79	59,22	830,36
CAESA	1,06	81,93	72,73	3678,28
CAESB	69,73	26,19	30,04	386,55
CAGEPA	45,35	29,81	38,53	263,06
CASAL	33,50	38,22	49,40	395,03
CASAN	62,21	17,69	35,01	215,11
CEDAE	40,22	44,06	42,78	774,74
CESAN	71,94	17,48	27,31	222,01
COMPESA	19,10	45,56	56,85	510,81
COPASA	73,16	20,29	26,32	135,28
CORSAN	52,09	40,78	34,08	248,21
COSANPA	1,41	51,14	51,82	533,83
DESO	44,79	43,14	53,97	409,30
EMBASA	60,49	14,00	18,93	101,76
SABESP	72,09	17,99	28,95	208,23
SANEAGO	67,84	32,14	31,83	172,93
SANEATINS	69,90	19,70	30,09	166,54
SANESUL	67,44	20,43	31,70	214,45

Fonte: SNIS (2010).

APÊNDICE G: Cálculo do *benchmarking* para o anos-base 2002 a 2009.

Tabela G8: *Benchmarking* geral das 22 companhias para o ano-base 2009.

Prestador de Serviço Regional	Número de Municípios avaliados	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
60,90 27,30 35,08 291,18					
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
SANEATINS	129	66,20	23,30	33,00	204,50
SANEPAR	334	68,00	19,80	32,00	219,40
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o <i>benchmarking</i>					
AGESPISA	154	28,50	55,30	61,10	613,00
CAEMA	141	15,50	59,00	51,00	658,50
CAER	15	27,40	56,70	53,10	673,50
CAERN	154	27,70	52,00	60,30	612,90
CAESA	16	0,00	0,00	0,00	0,00
CAESB	1	72,90	24,87	27,66	330,22
CAGECE	149	59,00	28,50	40,70	290,70
CAGEPA	177	50,20	28,40	41,40	292,60
CASAL	76	25,70	55,60	62,70	654,40
CASAN	204	58,58	23,48	40,66	330,77
CEDAE	62	33,00	54,10	51,50	1471,10
CESAN	52	60,40	26,30	35,90	473,20
COMPESA	172	22,70	55,90	65,00	689,80
COPASA	582	66,40	29,60	33,60	236,80
CORSAN	295	44,60	27,10	44,70	394,00
COSANPA	58	19,60	44,60	45,90	483,60
DESO	73	40,90	51,70	58,50	614,90
EMBASA	309	51,00	32,20	38,00	297,80
SABESP	364	61,00	27,90	34,80	401,00
SANEAGO	223	64,30	37,90	34,00	231,40
SANESUL	68	60,60	29,90	38,80	275,40

Fonte: SNIS (2011).

APÊNDICE H: Tabelas completas para o benchmarking realizado em estratos populacionais para o ano de 2011.

Pelo apêndice em questão é possível observar o cálculo de *benchmarking* realizado por estratos populacionais somente para o último ano base do SNIS: 2011. O apêndice é composto por quatro tabelas.

Tabela H1: *Benchmarking* para concessionárias dividido em estratos populacionais para o estrato ≤ 20.000 habitantes.

Prestador de Serviço Regional	Número de municípios avaliados	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o benchmarking					
		70,00	16,35	27,08	150,61
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o benchmarking					
CESAN	41	76,99	10,87	22,94	138,42
SABESP	258	78,17	11,33	21,83	127,95
SANEPAR	279	76,39	9,34	23,61	118,66
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o benchmarking					
AGESPISA	142	35,23	45,70	56,02	470,06
CAEMA	121	5,62	67,90	66,60	1.112,10
CAER	13	13,95	57,86	61,53	608,19
CAERN	139	25,30	47,50	57,27	581,38
CAESB	-	-	-	-	-
CAGECE	104	69,14	27,79	31,39	163,61
CAGEPA	163	42,28	28,99	37,03	240,36
CASAL	69	27,54	49,53	56,88	748,62
CASAN	179	62,16	15,32	34,61	198,48
CEDAE	29	51,84	36,27	33,51	453,98
COMPESA	121	24,55	40,93	51,29	436,58
COPASA	485	75,81	16,49	23,99	111,83
CORSAN	239	64,78	33,73	27,25	159,15
COSANPA	48	0,74	42,65	42,63	335,82
DESO	59	40,31	48,25	58,93	504,41
EMBASA	267	68,57	11,58	21,68	90,39
SANEAGO	187	70,00	30,16	29,78	150,61
SANEATINS	121	66,89	18,22	33,03	179,96
SANESUL	54	72,37	16,35	27,08	160,98

Fonte: SNIS (2013).

APÊNDICE H: Tabelas completas para o benchmarking realizado em estratos populacionais para o ano de 2011.

Tabela H2: *Benchmarking* para concessionárias dividido em estratos populacionais para o estrato $20.000 < x \leq 100.000$ habitantes.

Prestador de Serviço Regional	Número de municípios avaliados	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o benchmarking					
		67,23	24,06	31,55	236,16
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o benchmarking					
COPASA	67	72,71	22,27	27,27	165,96
SABESP	71	68,48	21,27	31,51	244,39
SANEPAR	51	71,85	14,92	28,15	163,69
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o benchmarking					
AGESPISA	6	38,42	45,49	56,09	458,31
CAEMA	10	14,80	60,50	61,04	854,81
CAER	-	-	-	-	-
CAERN	9	26,99	47,83	59,89	593,22
CAESB	-	-	-	-	-
CAGECE	25	68,35	38,23	31,56	186,59
CAGEPA	14	49,60	29,22	45,37	340,16
CASAL	4	28,86	49,20	56,39	659,91
CASAN	18	55,29	24,21	40,47	282,35
CEDAE	20	39,57	44,87	33,02	427,88
CESAN	6	63,91	25,94	35,59	401,63
COMPESA	43	26,34	49,45	61,30	579,56
CORSAN	63	59,23	36,86	30,55	258,69
COSANPA	6	5,20	43,06	44,19	398,20
DESO	11	39,84	49,96	59,66	548,51
EMBASA	71	67,09	12,50	25,89	138,59
SANEAGO	29	65,39	34,47	34,43	211,48
SANEATINS	5	61,10	28,29	38,80	269,29
SANESUL	13	67,65	23,61	32,25	251,19

Fonte: SNIS (2013).

APÊNDICE H: Tabelas completas para o benchmarking realizado em estratos populacionais para o ano de 2011.

Tabela H3: *Benchmarking* para concessionárias dividido em estratos populacionais para o estrato $100.000 < x \leq 500.000$ habitantes.

Prestador de Serviço Regional	Número de municípios avaliados	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação ($L \cdot \text{lig}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) IN051
Valores de referência para o benchmarking					
		59,77	26,08	35,96	270,90
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o benchmarking					
CAGECE	2	79,73	24,80	19,48	125,80
EMBASA	8	59,77	24,16	35,96	270,90
SANEATIN S	2	65,64	26,08	34,23	244,00
SANEPAR	12	66,77	21,75	33,23	255,85
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o benchmarking					
AGESPISA	1	23,64	63,84	69,74	804,56
CAEMA	1	8,69	68,14	59,92	973,83
CAER	1	23,57	62,99	57,54	848,64
CAERN	2	23,95	56,15	62,15	800,83
CAESB	-	-	-	-	-
CAGEPA	1	51,10	35,81	48,48	394,00
CASAL	1	43,43	25,38	40,95	220,68
CASAN	4	58,52	22,63	36,68	416,53
CEDAE	10	39,99	44,74	22,37	279,21
CESAN	4	48,26	32,14	37,12	327,60
COMPESA	7	30,93	53,00	62,39	739,86
COPASA	15	61,49	35,18	38,50	292,76
CORSAN	11	52,81	39,77	36,21	442,48
COSANPA	3	12,81	37,12	44,34	414,67
DESO	1	30,47	63,74	69,46	831,23
SABESP	29	59,39	31,99	40,60	411,78
SANEAGO	6	64,24	35,47	34,85	233,84
SANESUL	1	49,36	45,54	50,62	493,58

Fonte: SNIS (2013).

APÊNDICE H: Tabelas completas para o benchmarking realizado em estratos populacionais para o ano de 2011.

Tabela H4: *Benchmarking* para concessionárias dividido em estratos populacionais para o estrato > 500.000 habitantes.

Prestador de Serviço Regional	Número de municípios avaliados	Índice de Micromedicação Relativo ao volume disponibilizado (%) IN010	Índice de Perdas no Faturamento (%) IN013	Índice de Perdas na Distribuição (%) IN049	Índice de Perdas por Ligação (L.lig ⁻¹ .dia ⁻¹) IN051
Valores de referência para o benchmarking					
		62,28	34,90	37,15	402,45
Companhias cujos indicadores atendem aos valores de referência para o benchmarking					
CAESB	1	74,99	23,44	24,80	278,16
SANEPAR	2	62,94	29,66	37,07	378,14
Companhias cujos indicadores não atendem aos valores de referência para o benchmarking					
AGESPISA	1,0	32,05	54,43	58,69	691,49
CAEMA	1,0	15,55	65,73	49,28	847,75
CAER	-	-	-	-	-
CAERN	1	37,70	47,15	56,14	675,66
CAGECE	1,0	54,47	35,70	44,71	407,64
CAGEPA	1,0	49,60	36,41	48,53	475,42
CASAL	1,0	24,86	60,48	64,65	1.013,82
CASAN	-	-	-	-	-
CEDAE	4,0	29,47	50,66	28,09	602,88
CESAN	-	-	-	-	-
COMPESA	2,0	23,31	64,69	71,18	1.211,43
COPASA	2,0	62,82	34,82	37,18	386,90
CORSAN	-	-	-	-	-
COSANPA	1,0	29,57	40,86	46,31	572,19
DESO	1,0	41,28	53,87	58,49	920,35
EMBASA	1,0	45,59	44,77	48,66	723,06
SABESP	4,0	62,10	32,15	37,88	454,11
SANEAGO	1,0	72,98	34,92	23,54	195,39
SANEATINS	-	-	-	-	-
SANESUL	-	-	-	-	-

Fonte: SNIS (2013).