

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTUDO DE METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE
SUBMEDIÇÃO DE HIDRÔMETROS DOMICILIARES EM
SISTEMAS DE ÁGUA**

NILCE REGINA DA SILVA

ORIENTADOR: SÉRGIO KOIDE
CO-ORIENTADOR: JOSÉ GÓES VASCONCELOS NETO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

PUBLICAÇÃO: PTARH-DM-2008
BRASÍLIA/DF: OUTUBRO 2008
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO DE METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE
SUBMEDIÇÃO DE HIDRÔMETROS DOMICILIARES EM
SISTEMAS DE ÁGUA**

NILCE REGINA DA SILVA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA
AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Prof. SÉRGIO KOIDE, PhD (ENC - UnB)
(ORIENTADOR)**

**Prof. JOSÉ GÓES VASCONCELOS NETO, PhD (ENC - UnB)
(CO-ORIENTADOR)**

**Prof. NABIL JOSEPH EID, Doutor (ENC - UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Prof. FERNANDO DAS GRAÇAS BRAGA DA SILVA, Doutor
(UNIFEI)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 28 DE NOVEMBRO DE 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, NILCE REGINA

Estudo de Metodologias Para Avaliação de Submedição de Hidrômetros Domiciliares Em Sistemas de Água. [Distrito Federal] 2008.

xvi, 131 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2008).

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Perdas nos sistemas de distribuição

3. Submedição

5. Bóias

I. ENC/FT/UnB

2. Hidrômetros

4. Caixa d'água

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, N. R. (2008). Estudo de Metodologias Para Avaliação de Submedição de Hidrômetros Domiciliares Em Sistemas de Água. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-Novembro/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 143p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Nilce Regina da Silva

TÍTULO: Estudo de Metodologias Para Avaliação de Submedição de Hidrômetros Domiciliares Em Sistemas de Água.

GRAU: Mestre ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Nilce Regina da Silva

QI 01 Conjunto B, Casa 85, Guará I
71020-020 – Guará - DF – Brasil

Endereço Eletrônico: nilce.regina@terra.com.br

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, que se foi enquanto eu produzia essa dissertação, por ter me ensinado principalmente que o mundo dá voltas, que as pessoas podem seguir por caminhos que não são os nossos, podem cometer enganos, e, no entanto, continuarem sendo as pessoas que amamos... E que o que importa é aproveitar o tempo que temos junto às pessoas queridas.

Ao meu marido, Jamil e aos meus filhos, Rafael e Sara, que sempre me dão o apoio e paz necessários para que eu possa cumprir os desafios que vão surgindo pela vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre me proteger e guiar meus caminhos.

À minha família: Ao Jamil, meu companheiro de todas as horas, com quem aprendi o significado de amor e cumplicidade nesses vinte anos de convivência, por ser sempre meu lugar seguro, sempre me incentivando, que tantas vezes fica cochilando na cadeira ao meu lado, enquanto estudo até tarde, só para me fazer companhia. Meus filhos, Rafael e Sara, por tornarem minha vida completa e se tornarem, a cada dia, pessoas mais especiais. Meus irmãos, por todo o incentivo e carinho que demonstram.

Aos meus pais, que me ensinaram o valor de estudar e de aprender a cada dia, que marcaram minha infância com um ditado simples e verdadeiro: “Saber não ocupa lugar!”, lições que foram passadas no jeito simples de falar e de se portar na vida, porém com uma sabedoria admirável.

Aos professores do PTHAR, Sergio Koide, Cristina, Néstor, Nabil e Ricardo, muito obrigada por seus ensinamentos. Ao Adelias, da secretaria do PTARH, sempre tão solícito.

Ao Professor Sergio Koide, que me orientou nesse trabalho, dando-me o privilégio de receber um pouco de seu vasto conhecimento e professor José Góes, Co-orientador, meus sinceros agradecimentos.

À Caesb, por ter me permitido realizar esse estudo que, espero, venha contribuir para a empresa em que trabalho com orgulho há 17 anos. À Superintendente da PPA, Tânia Baylão, meu muitíssimo obrigado pela confiança e pela oportunidade de realizar este mestrado, em mais uma demonstração de seu compromisso com o desenvolvimento das pessoas que fazem parte de sua equipe.

Ao Gerente de Monitoramento e Controle, Elton Gonçalves, que tanto me incentivou e ajudou a cumprir essa etapa de vida. Obrigada pela disposição constante em ajudar e contribuir para o meu crescimento, com seu exemplo de polidez e generosidade, como sempre fez, para todos os que estão à sua volta, nesses dez anos em que foi responsável pela PPAM.

Ao Rodolfo, querido amigo, pelo grande auxílio para a utilização da linguagem de programação PHP.

Aos amigos da PPAMM: Altamir, Ivan, José Anísio, Roseli, Renato, Carlos e Marcos, pelo apoio durante todo o curso. Um Agradecimento especial ao Celso, pelo apoio e ao Emerson, que muito se esforçou para manter o bom andamento das atividades durante minha ausência, com a dedicação que lhe é peculiar. Ao Lucivan, pelo esforço em ajudar-me a realizar o experimento, com uma boa vontade para a qual não há forma suficiente para agradecer.

Ao Edmilson, Nelson Alexandre e Anderson, da oficina, que se empenharam na construção do aparato experimental utilizado, contribuição sem a qual não seria possível realizar este trabalho.

Aos colegas da elevatória do Torto, onde passei vários meses durante a fase experimental, tendo a contribuição e apoio de todos, especialmente do Raimundo dos Anjos,

Ao Sr Dimas, Edilamar, Carlos (Gaucho), Ivan Mario e demais colegas da Micromedição, por todo apoio e disponibilidade para fornecer dados e equipamentos usados durante todo o andamento do trabalho.

À Leila, Adriana, Ilka e demais pessoas da GEP.

Ao gerente comercial da Sensus Metering, Sr. Marcos Kokol, e ao diretor da BBL, Sr Luiz Ernesto Suman, pelo fornecimento dos hidrômetros volumétricos e registradores eletrônicos.

Aos colegas e amigos que fiz no PTARH, que compartilharam tantas horas de estudo e tantos momentos agradáveis. Especialmente Jenniffer, Carol, Alcione e Neusa, por tantas horas de estudo árduo, em tantos finais de semana, feriados e noites, mas por dividirem também suas histórias de vida e sempre fazendo com que esses momentos não fossem um fardo e sim momentos de alegria e solidariedade. O conhecimento acadêmico que adquirimos é inestimável, mas não menos do que a experiência enriquecedora de conviver com pessoas cujo espírito é leve e ávido por conhecimento. À Helena, que participou da apuração dos dados obtidos em campo, pela ajuda e amizade.

A todas as pessoas que, embora não citadas aqui, de alguma forma contribuíram para que esta dissertação de mestrado fosse concretizada.

RESUMO

ESTUDO DE METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE SUBMEDIÇÃO DE HIDRÔMETROS DOMICILARES EM SISTEMAS DE ÁGUA.

Autor (a): Nilce Regina da Silva

Orientador (a): Sérgio Koide

Co-Orientador (a): José Góes de Vasconcelos Neto

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Brasília, Novembro de 2008.

A avaliação dos fatores que provocam erros de medição de vazão tem fundamental importância para o controle de perdas nos sistemas de abastecimento público de água. A imprecisão na medição feita pelos hidrômetros residenciais, notadamente a submedição, representa uma parcela significativa das perdas aparentes. A utilização de reservatórios domésticos é um dos principais responsáveis pela submedição, devido ao amortecimento das vazões que provocam no abastecimento dos domicílios, fazendo com que os hidrômetros funcionem com vazões muito baixas, menores do que as que ocorrem em um sistema abastecido diretamente pela rede. Esse amortecimento é agravado pelo controle do nível desses reservatórios, que, geralmente, é feito por válvulas do tipo bóia, com vazão proporcional ao nível do reservatório, cujo impacto na submedição tem sido pouco estudado. Na literatura são encontradas poucas referências sobre essas válvulas.

Neste trabalho procurou-se estudar a submedição provocada pelas válvulas com bóia em reservatórios domiciliares. Para isso simulou-se o abastecimento de residências a partir das curvas de vazão das válvulas de bóia e do consumo de água pelas residências. Para levantamento das curvas de vazão das válvulas construiu-se um aparato experimental que permitiu realizar o levantamento das vazões em função do nível do reservatório. O perfil de consumo das residências foi levantado a partir do registro das vazões consumidas em residências sem reservatório, utilizando-se data loggers. As curvas de erro de medição dos hidrômetros utilizados nas residências estudadas foram levantadas no laboratório da CAESB. Com os dados obtidos nas simulações, pôde-se estimar a submedição provocada pelas baixas vazões que passam pelas bóias, bem como analisar o efeito de diversas combinações entre os tipos de bóia ensaiados, os perfis de consumo e as curvas de erros dos hidrômetros. Os resultados alcançados evidenciaram que a submedição, provocada pelas válvulas do tipo bóia, pode ser agravada pela combinação entre o perfil de consumo do domicílio, o modelo de reservatório e a exatidão do hidrômetro utilizado. O uso de diferentes marcas e diâmetros de bóias apresentou pequena influência na submedição.

ABSTRACT

A METODOLOGY STUDIES FOR EVALUATION OF DOMESTIC WATER METER UNDER-REGISTRATION IN WATER SYSTEMS.

Author: Nilce Regina da Silva

Supervisor: Sérgio Koide

Co-Supervisor: José Góes de Vasconcelos Neto

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, November, 2008.

The evaluation of the factors that cause the measurements errors has fundamental importance for the loss control in public water supply systems. The imprecision in the measurement done by the domestic water meters, specially the under-registration, represents a significant portion of the apparent losses and it will be the most relevant aspect in this work which intend to contribute for target the efforts in the combat to the water meter under-registration. The use of domestic roof tanks is responsible for the reduction of the water supply flow rates to the houses, causing the water meters to work with flows smaller than the ones that would occur in a water system supplied directly from the water distribution network. The control of the level of these roof tanks usually is done by float valves, which are flow valves with discharge proportional to the tank water level.

In this work, a study was carried out aiming to establish the influence of the different types of the float valves, used in the control of the levels of the domestic roof tanks. For this the house supply was simulated based on the curves of float valve and the water consumption by households. To determine the valve flow curves an experimental apparatus was set up which allowed to plot the flow rate curves as function of tank levels. The profile of household water consumptions was obtained from the record of flow consumed in homes directly supplied, using data loggers. The curves of errors of the measuring meters used in homes were raised in the laboratory of CAESB. Based on the obtained in the simulations, it was possible to estimate the under-registration caused by low flow rates through the valves, and to analyze the effect of different combinations between the types of the valves tested, the consumption profiles and the meter errors. The results showed that the under-registration caused by the float valves can be aggravated by the combination of the consumption profile, type of tank and accuracy of meters used. The use of different diameters and valve brands showed a lower small influence in under-registration.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIAÇÕES	xvi
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVOS	7
3 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3.1 PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO	8
3.2 FUNDAMENTOS DE MICROMEDIÇÃO.....	16
3.2.1 Hidrômetros	17
3.2.1.1 Características construtivas e princípio de funcionamento	18
3.2.1.2 Normas técnicas e padrões para hidrômetros	23
3.2.1.3 Classe metrológica	25
3.3 ERROS DE MEDIÇÃO	26
3.3.1 Submedição	31
3.3.1.3 Influência do uso de caixas-d'água na submedição	32
3.3.1.4 Influência das características dos medidores na submedição.....	40
4 - METODOLOGIA	52
4.1 LEVANTAMENTO DO PERFIL DE CONSUMO DOS DOMICÍLIOS	53
4.2 LEVANTAMENTO DA CURVA DA TORNEIRA BÓIA	56
4.2.1 Obtenção das curvas das bóias	61

4.2.2 Determinação da curva de volume da caixa-d'água.....	64
4.2.3 Calibração e levantamento da curva de erros dos hidrômetros	65
4.2.4 Cálculo dos perfis de consumo e da submedição	65
4.2.4.1 Cálculo dos perfis de consumo e da submedição com abastecimento direto....	66
4.2.4.2 Cálculo dos perfis de consumo e submedição considerando-se o uso de reservatório	67
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	71
5 - RESULTADOS.....	74
5.1 VAZÕES DA BÓIA EM FUNÇÃO DE SUA ABERTURA	74
5.2 LEVANTAMENTO DA CURVA DA CAIXA-D'ÁGUA.....	81
5.3 PERFIS DE CONSUMO.....	82
5.4 CALIBRAÇÃO DOS HIDRÔMETROS	91
5.5 QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME SUBMEDIDO NAS RESIDÊNCIAS.....	93
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXO I – EQUAÇÕES DAS BÓIAS	110
ANEXO II – RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DOS HIDRÔMETROS	115
ANEXO III – PERFIS DE CONSUMO REGISTRADOS	117
ANEXO IV – FUNÇÕES PARA CÁLCULO DO HISTOGRAMA DE CONSUMO E DA SUBMEDIÇÃO	120
ANEXO V – TABELAS DE CÁLCULO DOS ÍNDICES DE SUBMEDIÇÃO EM CADA DOMICÍLIO CONSIDERANDO-SE AS CURVAS DE ERROS DO HIDRÔMETRO NOVO E DO HIDRÔMETRO ANTIGO	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Classificação de disponibilidade de água (ANA, 2006).....	2
Tabela 3.1 - Transformação das perdas reais existentes no sistema em população equivalente atendida (Gomes, 2006)	11
Tabela 3.10 - Índices de submedição (%), considerando categorias de consumo estratificadas (Sanchez et al, 2000, modificado)	43
Tabela 3.11 – Perda de exatidão em medidores domésticos por inclinação (Arregui, 2005, modificado).....	48
Tabela 3.2 - Perdas aparentes: Origem e magnitude (Silva, 1998, modificado)	15
Tabela 3.3 - Tabela ISO 4064 – Classes metrológicas (Nielsen, 2003)	25
Tabela 3.4 – Classes de hidrômetros e correspondentes valores de Qmin e Qt (Portaria 246/2000, modificada).....	26
Tabela 3.5 - Vazões de calibração exigidas na Portaria 246/2000 (INMETRO)	27
Tabela 3.6 – Erros de indicação dos hidrômetros volumétricos.....	28
Tabela 3.7- Erros máximos admissíveis (ABNT NBR 15538:2007)	29
Tabela 3.8 - Vazões de calibração exigidas na NBR 15538:2007 (ABNT)	29
Tabela 3.9 – Comparação de índices de submedição de acordo com o tipo de uso do imóvel (Charalambous <i>et al.</i> , 2007)	39
Tabela 4.2 – Quantidade de pessoas/residência/período do dia	54
Tabela 4.3– Características e denominação das bóias utilizadas no experimento.....	57
Tabela 4.5 – Características das caixas-d’água encontradas no mercado	64
Tabela 4.6 – Dados do abastecimento da cidade do Guará (Caesb, 2007, modificado).....	72
Tabela 5.1– Equações de ajuste das curvas - Bóia 2	82
Tabela 5.2 – Volumes, vazões médias e percentuais de diferença na medição de volumes para as residências analisadas.....	84

Tabela 5.3 – Volume mensal, calculados a partir dos valores registrados e consumos médios.....	87
Tabela 5.4 – Tempo de permanência das vazões durante o período de consumo, com abastecimento direto e simulação do uso de caixa-d’água	91
Tabela 5.5 – Erros dos hidrômetros, obtidos em ensaios de calibração	93
Tabela 5.6 – Erro de medição considerando-se abastecimento direto.....	95
Tabela 5.7 – Cálculo do erro de medição, considerando-se abastecimento direto	95
Tabela 5.8 - Diferença entre os volumes registrados pelo hidrômetro volumétrico e pelo hidrômetro original da residência (velocimétrico)	96
Tabela 5.9 – Índices de submedição encontrados para cada um dos domicílios analisados, simulando-se a existência de caixa-d’água controlada por bóia.....	97
Tabela A1- Equações da Bóia 1	113
Tabela A2 – Equações da Bóia 4.....	114
Tabela A3 – Equações da Bóia 3.....	115
Tabela A4 – Equações das curvas de erros dos hidrômetros.....	117
Tabela A5 – Média dos erros dos hidrômetros calibrados	118
Tabela A6 – Cálculo da submedição considerando-se o hidrômetro novo e o hidrômetro antigo	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Reservas Hídricas Brasileiras (Czapski, 2004 apud Silva, 2006)	1
Figura 1.2 – Proporção de municípios com ocorrências de poluição do recurso água, por tipo de causas mais apontadas, segundo Grandes Regiões (IBGE, 2005).....	2
Figura 1.3 – Uso eficiente da água no ciclo antrópico (Torres e Torres, 2004, modificado)	4
Figura 1.4 - Relação entre índice de perdas em relação ao índice de micromedição nas diversas companhias de saneamento (SNIS, 2005)	5
Figura 3.1 – (a) Distribuição de água nas regiões do mundo (Torres e Torres, 2004, modificado); (b) Distribuição dos recursos hídricos nas regiões brasileiras (ANA, 2006, modificado).....	8
Figura 3.2 – Perdas de água no Mundo (European Enviroment Agency, apud in Itonaga, 2005).....	9
Figura 3.3 – Indicadores básicos de perdas (Gomes, 2006)	11
Figuras 3.4 – Componentes do balanço hídrico (Gomes et al, 2006).....	13
Figura 3.5 – Metodologia de controle de perdas aparentes (Moraes et al, 2007, modificado)	16
Figura 3.6 – Hidrômetro velocimétrico do tipo multijato	18
Figura 3.7– Movimento da água no medidor velocimétrico multijato (DMAE)	19
Figura 3.8 – (a) Hidrômetro Woltmann horizontal; (b) Hidrômetro Woltmann vertical	20
Figura 3.9 – (a) Hidrômetro volumétrico de disco nutante (Alves et al, 2004); (b) Características do hidrômetro volumétrico de disco nutante (Frangipani,2005).....	21
Figura 3.10 – (a) Hidrômetro volumétrico - câmara e pistão oscilante; (b) Características do hidrômetro de pistão oscilante (Frangipani, 2005)	21
Figura 3.11 – Tipos de transmissão para medidores velocimétricos (Alves et al., 2004) ...	23
Figura 3.12 – Curva de erros (Alves et al., 2004, modificado)	30
Figura 3.13 – Curva típica de exatidão de medidores de água (Rizzo, 2004)	31
Figura 3.14 – Perfis de consumo para diferentes tipos de abastecimento (Cobacho et al., 2007, modificado).....	33
Figura 3.15 – Perdas aparentes e consumo autorizado não faturado, em relação ao consumo medido (Lambert, 2002)	35
Figura 3.16 – Comportamento das vazões em abastecimento direto e com caixa-d’água (Thornton e Rizzo, 2002).....	36

Figura 3.17 - Comportamento das vazões em abastecimento com caixa-d'água, abastecimento misto e sem caixa-d'água (Cobacho et al., 2007)	37
Figura 3.18 – Esquema de instalação dos equipamentos usados para determinar submedição (Rizzo, 2005, modificado).....	37
Figura 3.19 - Disposição da instalação dos medidores e data loggers (Rizzo, 2005)	38
Figura 3.20 - Solenóide usado para controle do nível do reservatório	38
Figura 3.21 – (a) Soluções para substituição de torneiras bóia: (b) Válvula magnética (esquerda) e redutor de vazão não medida por pressão diferencial (Rizzo, 2007)	40
Figura 3.22 – (a) Filtro de retenção para prevenção de obstrução no hidrômetro; (b) Obstrução provocada por areia no filtro de um medidor tipo volumétrico	41
Figura 3.23 – Evolução da submedição por grupos etários.....	45
Figura 3.24 – Curvas de erros dos medidores nas posições de operação (Mello, 2000)....	47
Figura 3.25 - Vazão amortecida pelo reservatório intermediário (Arregui, 2005).....	49
Figura 4.1 - Hidrômetro volumétrico com sensor (Sensus, 2008).....	55
Figura 4.2– Instalação dos equipamentos para registro de vazão e pressão (1 = VRP; 2 = Hidrômetro volumétrico; 3 = Hidrômetro velocimétrico original; 4 = Caixa contendo o data logger de vazão e o de pressão e baterias auxiliares; 5 = mangueira flexível)	56
Figura 4.3– Configuração das VRP utilizadas.....	58
Figura 4.4 – Esquema da montagem do aparato experimental.....	59
Figura 4.5 – Vista geral da montagem do experimento.....	59
Figura 4.6 – Paquímetro digital acoplado ao mecanismo de deslocamento da bóia	60
Figura 4.7 – Volumes sendo coletados na saída do vertedor e diretamente na saída da bóia	61
Figura 4.8 – Vista frontal da caixa (1 = linígrafo; 2 = vertedor retangular; 3 = caixa coletora da água extravasada; 4 = tubo na saída da caixa coletora para medição da vazão)	62
Figura 4.9 – Representação das etapas do levantamento da curva das bóias, para cada uma das bóias ensaiadas.	63
Figura 4.10 – Características do reservatório doméstico adotado como modelo	65
Figura 4.11 – Fluxograma para cálculo do perfil de consumo e dos erros de medição	67
Figura 4.12 – Fluxograma da simulação do nível em um reservatório doméstico	68
Figura 4.13 – Fluxograma para cálculo do perfil de consumo e dos erros de medição	70
Figura 4.14 – Mapa do sistema de abastecimento do Distrito Federal (Caesb, 2007)	71
Figura 4.15 – Distribuição do consumo na cidade do Guará (Caesb, 2007)	72

Figura 4.16 – Idade dos hidrômetros usados no Guará (Caesb, 2007, modificado).....	73
Figura 5.1 – Comportamento das vazões nas bóias da marca A para cada valor de pressão	75
Figura 5.2 – Comportamento das vazões nas bóias da marca B para cada valor de pressão	76
Figura 5.3 – Detalhe da cabeça da bóia 1 – folga no mecanismo de encaixe da haste.....	77
Figura 5.4– Curvas de vazões obtidas em cada uma das bóias e representação da distância de deslocamento da haste até o ponto de início de funcionamento da bóia	78
Figura 5.5 – Curva original obtida no experimento para a bóia 1 na pressão de 50 mca....	79
Figura 5.6 – Curvas ajustadas para a bóia 1 na pressão de 50 mca	80
Figura 5.7 - Curva ajustada para a caixa-d'água	82
Figura 5.8 – Variação de pressão ao longo do tempo em uma das residências em estudo .	84
Figura 5.9 – Dados de configuração do data logger utilizado	85
Figura 5.10 – Vazões registradas na casa 7 da QE 44	85
Figura 5.11 – Perfis de consumo registrados nas residências estudadas, com abastecimento direto.....	87
Figura 5.12 (a) – Perfis de consumo registrados, com abastecimento direto e com a simulação do uso de caixa-d'água controlada pelas bóias	88
Figura 5.12 (b) – Perfis de consumo registrados, com abastecimento direto e com a simulação do uso de caixa-d'água controlada pelas bóias	88
Figura 5.12 (c) – Perfis de consumo registrados, com abastecimento direto e com a simulação do uso de caixa-d'água controlada pelas bóias	89
Figura 5.12 (d) – Perfis de consumo registrados, com abastecimento direto e com a simulação do uso de caixa-d'água controlada pelas bóias	89
Figura 5.13 – Curvas obtidas com a calibração em bancada dos hidrômetros usados no experimento	92
Figura 5.14 – Submedição simulada para as casas 7, 8, 65 e 85, considerando-se todas as 4 bóias utilizadas e as cinco pressões de ensaio, com a curva de erro dos hidrômetros	97
Figura 5.15 – Histograma de consumo com os percentuais de consumo nas vazões até 72 L/h, considerando-se o uso de caixa-d'água.....	98

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ANA.....	Agência Nacional de Águas
AWWA.....	American Water Works Association
CAESB.....	Companhia de Saneamento do Distrito Federal
Ep	Erro ponderado
IWA.....	International Water Association
Kb.....	Quilobyte
Qmax.....	Vazão máxima
Qmin.....	Vazão mínima
Qinicial.....	Vazão inicial
Qt.....	Vazão de transição
SABESP.....	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
Sanasa.....	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A.
SIÁGUA ..	Sinopse do sistema de abastecimento de água
SNIS.....	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
VPR.....	Válvula redutora de pressão

1 - INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos em algumas regiões, a necessidade de preservação das águas e da sustentabilidade das empresas de saneamento, responsáveis pelo abastecimento público de água, são fatores que não podem ser dissociados. A demanda de água no planeta tem aumentado devido ao crescimento populacional, a necessidade de maior produção de alimentos, dentre outros fatores. Rebouças (2004) chama atenção para o uso do conceito de “stress hídrico”, formulado por Marlin Falkenmark, que considera nessa condição “os países de clima árido e moderadamente desenvolvidos, cujas descargas médias de longo período nos respectivos cursos d’água são insuficientes para proporcionar um mínimo de 1.000 m³/ano per capita”. No Brasil, um país classificado como rico em água (ver tabela 1.1), embora detenha 13,7% das reservas superficiais de água e haja uma oferta da ordem de 33.841 m³/ano per capita, essa distribuição hídrica não é uniforme em todas as regiões, sendo que 73% concentram-se nas regiões hidrográficas do Amazonas, onde há baixa concentração populacional, conforme pode ser verificado nas informações fornecidas pela Agência Nacional de Águas (ANA), ilustrado na figura 1.1 e na figura 2.1.

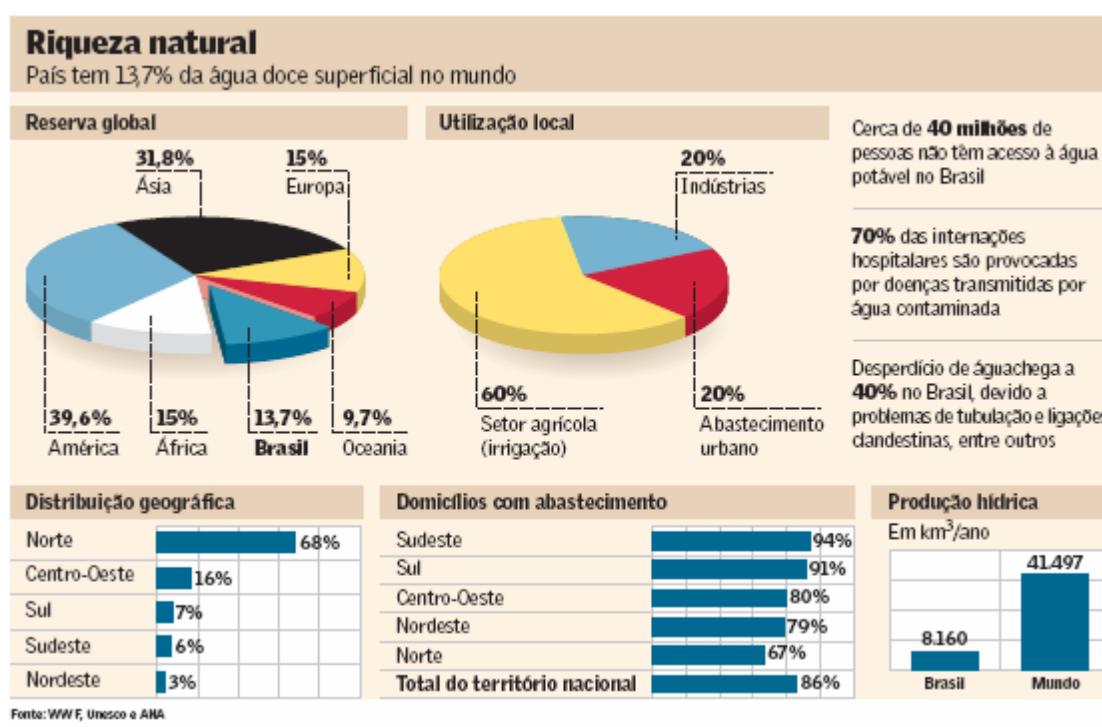


Figura 1.1 – Reservas Hídricas Brasileiras (Czapski, 2004 apud Silva, 2006)

Tabela 1.1 – Classificação de disponibilidade de água (ANA, 2006)

Classificação de Disponibilidade de Água – ONU		
Muito rico em água (100.000 m ³ /hab.ano)	Guiana Francesa, Islândia, Gabão, Suriname, Sibéria	Roraima, Amazonas
Rico em água (10.000 m ³ /hab.ano)	Brasil, Austrália, Colômbia, Venezuela, Suécia, Rússia, Canadá, Argentina, Angola	
Têm apenas o suficiente (2.000 m ³ /hab.ano)	Alemanha, França, México, Reino Unido, Japão, Itália, Índia, Holanda, Espanha, Cuba, Iraque, EUA	São Paulo, Ceará
Têm situação regular (1.000 m ³ /hab.ano)	Paquistão, Etiópia, Ucrânia, Bélgica, Polônia	Pernambuco
Pobres em água (500 m ³ /hab.ano)	Egito, Quênia, Cabo Verde	
Permanente escassez	Líbia, Arábia Saudita, Israel, Jordânia, Cingapura	

Mesmo na Região Nordeste e na região metropolitana de São Paulo, onde há as maiores diferenças entre demanda e potencial hídrico, pode-se considerar, de acordo com o conceito de stress hídrico, que há água suficiente, embora, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é também nessas regiões onde se concentra o maior número de municípios onde os recursos hídricos encontram-se poluídos por despejos de esgotos domésticos e disposição inadequada de resíduos sólidos, como pode ser visto na figura 1.2, o que aponta para um horizonte pessimista quanto à disponibilidade de água para abastecimento humano.

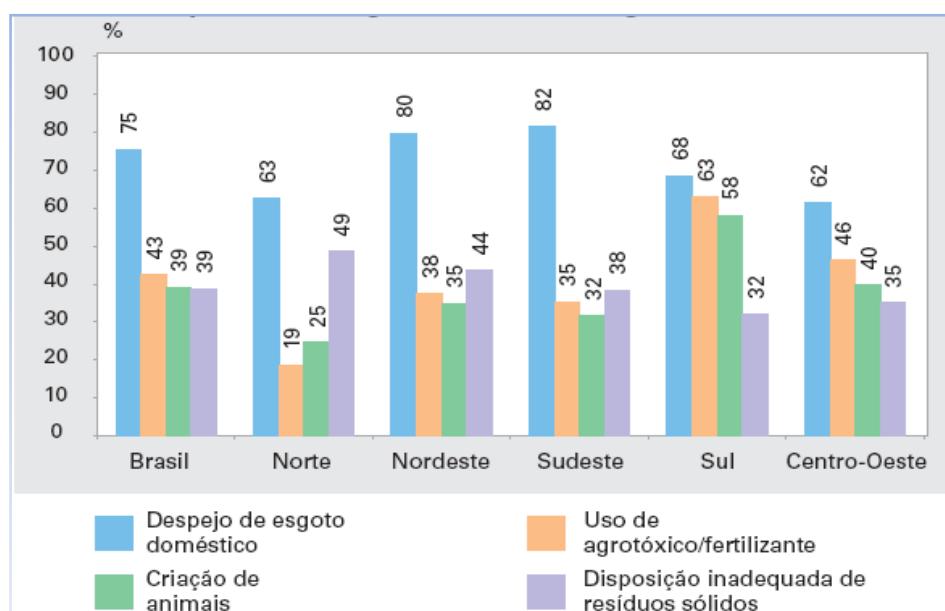


Figura 1.2 – Proporção de municípios com ocorrências de poluição do recurso água, por tipo de causas mais apontadas, segundo Grandes Regiões (IBGE, 2005)

Os problemas de abastecimento no Brasil devem-se principalmente à falta de eficiência na produção e distribuição de água, pois as perdas nestes locais de menor disponibilidade de recursos hídricos variam de 40% a 70% dos volumes produzidos (Rebouças, 2004). Trata-se, portanto, em grande parte das companhias de abastecimento, de melhorar a eficiência do sistema de abastecimento e não apenas do aumento da produção, o que também traria a disponibilidade de recursos para serem investidos em outras áreas do saneamento, como tratamento de esgotos e resíduos sólidos.

Nesse contexto de discussão sobre o destino das águas no planeta, em que se começa a tratar a água não mais como um produto inesgotável e sim como um bem econômico, social e ambiental, surgiram os programas de controle de perdas em sistemas de abastecimento. Segundo o International Water Association (IWA), perdas de água são classificadas em perdas reais e perdas aparentes. As perdas reais originam-se de vazamentos que podem surgir em todo o sistema, desde a captação até a entrega ao consumidor, bem como a água perdida no processo de produção e distribuição, como lavagem de filtros e descargas. As perdas aparentes, por sua vez, relacionam-se a ligações clandestinas ou não cadastradas, medidores parados ou com submedição, fraudes em hidrômetros, dentre outros (Gonçalves, 2005).

Gerir de forma eficiente os recursos hídricos traz múltiplos benefícios para os diferentes setores usuários da água, como mostrado na figura 1.3, que mostra a visão de Torres (2004) sobre as ações consideradas pontos chave por ele como forma de desenvolver o uso eficiente em cada etapa do ciclo antrópico da água. Para ele, “Medir é a chave em qualquer ação de uso eficiente da água”, a respeito da necessidade da macro e micro medição de vazões em todo o processo de abastecimento de água, desde a captação até a entrega ao usuário, como forma de se conhecer a realidade para estabelecer modelos e planejar as ações futuras.

Além disso, devem-se considerar também as perdas de faturamento, que de acordo com a metodologia adotada pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), pode ser determinada pela relação entre o volume de água produzido e o volume faturado. A utilização de hidrômetros está diretamente relacionada à redução de perdas de faturamento das empresas, que no Brasil tem valor médio de 39%, conforme demonstra o relatório do SNIS, do ano de 2005 e que pode ser verificado no gráfico na figura 1.4, em que se pode observar claramente que as empresas com maiores índices de perda são também as que possuem menor índice de micromedição. Coelho (2005) enfatiza que os volumes

disponibilizados decresceram desde a década de 80, em relação aos índices de micromedição, quando a escassez de recursos e o crescimento desordenado das cidades exigiam soluções paliativas para o abastecimento dos centros urbanos que se expandiam, com investimentos concentrados em sistemas de produção e pouca atenção aos sistemas de distribuição.

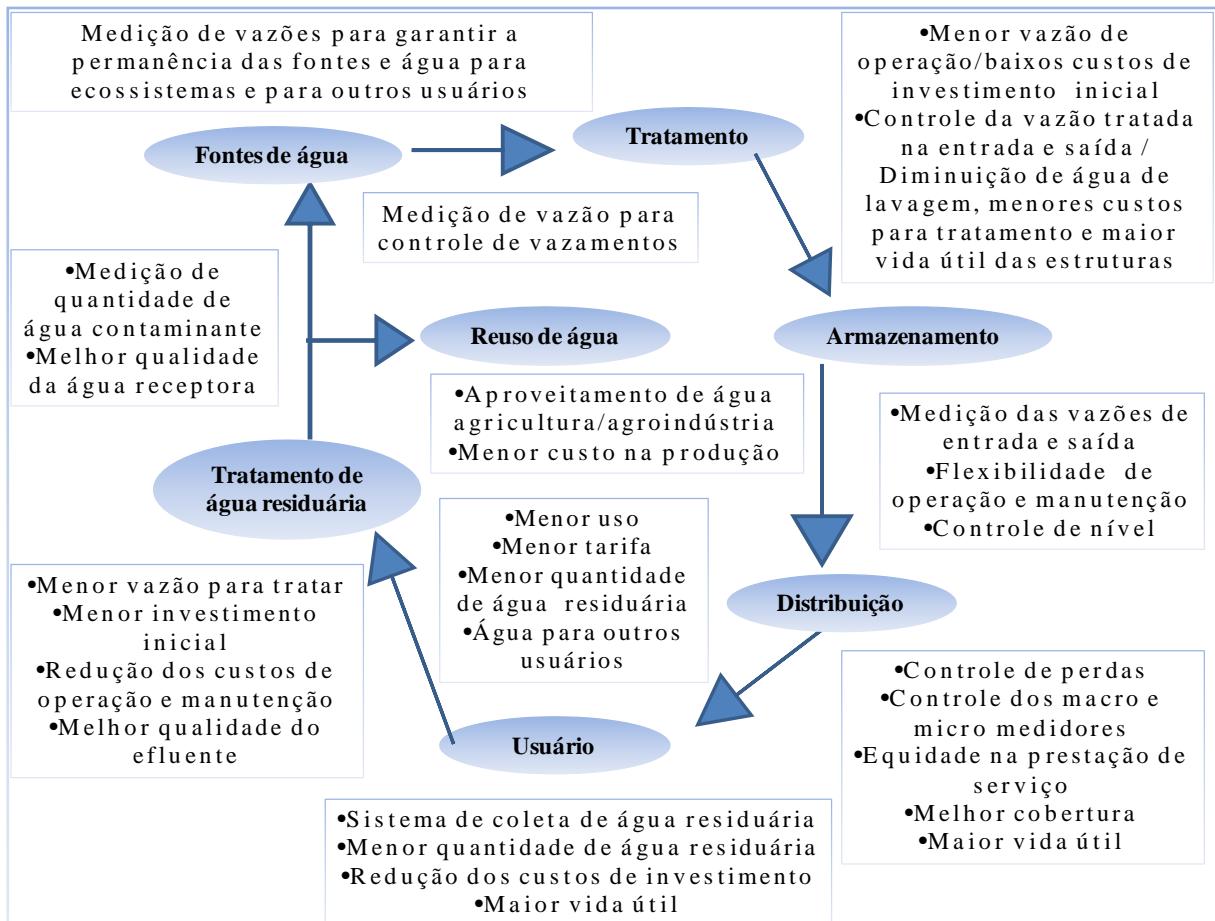


Figura 1.3 – Uso eficiente da água no ciclo antrópico (Torres e Torres, 2004, modificado)

A medição e cobrança de água pelas Companhias de saneamento têm importância econômica e ambiental, por ser uma ferramenta essencial de controle do processo produtivo e um mecanismo eficaz contra o desperdício, por estimular o consumidor ao uso racional, uma vez que permite a ele perceber claramente a quantidade de água que utiliza e o quanto paga por ela. A utilização de medição com essa finalidade ocorre desde a antiguidade (Mendonça, 1975). A redução do desperdício, por sua vez, permite às companhias retirar menos água de seus mananciais, utilizarem menos energia elétrica, consumirem uma quantidade menor de produtos químicos para o tratamento reduzindo o custo na produção de água e causando menor impacto ao meio ambiente. Medir de forma confiável a água fornecida propicia, por meio de da análise dos dados obtidos, como perfis de consumo e características do sistema de

medição, várias ações visando à otimização dos sistemas de abastecimento, tais como adequação de tarifas, detecção de fraudes, adequação de equipamentos e suas respectivas classes de medição. Contribui ainda para a correta percepção das perdas de água no sistema, além de reduzir as perdas de faturamento.

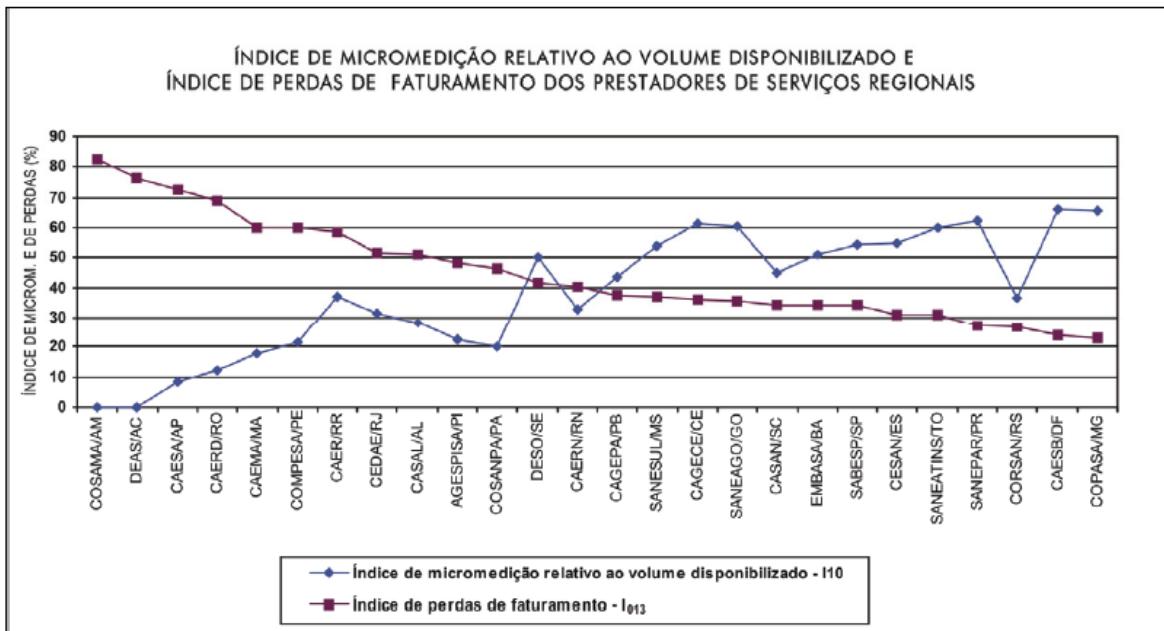


Figura 1.4 - Relação entre índice de perdas em relação ao índice de micromedição nas diversas companhias de saneamento (SNIS, 2005)

Desenvolver estratégias ao combate de perdas requer ações integradas, que segundo Farley e Liemberger (2007), devem passar por uma avaliação de suas causas, e partindo de questionamentos sobre quanto e onde se perde, qual a causa, quais as estratégias são adequadas e, finalmente, como se manter a estratégia e sustentar os ganhos obtidos. Para se obter sucesso, é necessário que perdas reais e aparentes recebam a devida atenção. Para uma avaliação mais precisa das perdas aparentes, conhecer o comportamento do sistema é fundamental o conhecimento do comportamento do sistema por meio de medição, especialmente da micromedição, o que requer estudos sobre metodologias e procedimentos para avaliação e confiabilidade dos micromedidores (Coelho, 2007).

Fatores como a seleção de hidrômetros quanto à classe metrológica, a capacidade de medição, influência do uso de reservatórios domiciliares e os tipos de válvulas usados no controle do nível desses reservatórios, impactam diretamente a qualidade da medição, notadamente no que diz respeito à submedição.

Historicamente, o estudo das perdas reais tem recebido maior atenção de todos os setores envolvidos nas ações de combate às perdas e desperdícios, gerando uma maior disponibilidade de estudos e metodologias de quantificação desse tipo de perda. O mesmo não se verifica em relação às perdas aparentes, especialmente em relação à quantificação da submedição.

A avaliação de fatores responsáveis por submedição, ainda requer estudos, uma vez que não se conhece qual o real impacto da submedição no cálculo das perdas. Também não foram realizados ainda estudos que demonstrem qual a influência dos diferentes tipos de dispositivos do tipo bóia, usados no controle dos níveis dos reservatórios domésticos. Os valores relativos à submedição são estimados e necessitam ser verificados ainda por meio de pesquisa, visando dar a eles confiabilidade e credibilidade. A imprecisão na medição feita pelos hidrômetros, notadamente a submedição, representa uma parcela significativa das perdas aparentes e será o aspecto mais relevante nesse trabalho, que visa contribuir para o direcionamento dos esforços no combate à submedição, cujos valores, segundo Sanchez *et al* (2000) variam entre 8,0 a 23,4% dos volumes micromedidos.

2 - OBJETIVOS

Esse trabalho visa a realizar um estudo de fatores que provocam submedição em sistemas de abastecimento e apresentar uma metodologia para a estimativa da submedição em hidrômetros domiciliares. Dessa forma, buscar-se-á atingir os seguintes objetivos específicos:

- 1 - Levantamento das curvas de vazão x nível das bóias em reservatórios domiciliares, buscando-se conhecer o comportamento de diferentes bóias e a regularidade do seu comportamento em ciclos repetitivos de enchimento e esvaziamento do reservatório;
- 2 - Levantamento do perfil de consumo dos domicílios selecionados para estudo, na região localizada no Distrito Federal;
- 3 - Estimativa das submedições que ocorreram em diferentes tipos de hidrômetros em função do padrão de consumo e tipo de bóia utilizada.

3 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

O combate às perdas de água representa, atualmente, um grande desafio para a sociedade. A redução da disponibilidade de água doce e a concentração desses recursos em algumas regiões do planeta (figura 3.1), tem se tornado motivo de grandes preocupações para alguns governos e organismos internacionais, que tentam despertar o mundo para a necessidade de se tomar medidas de preservação. Em alguns países desenvolvidos, principalmente aqueles onde mananciais superficiais foram bastante degradados e há poucas reservas subterrâneas, a redução das perdas de água é uma realidade, diferente de países em desenvolvimento, onde, por falta de recursos financeiros ou de consciência sobre a gravidade do problema, ainda há pouco controle e os volumes perdidos são elevados.

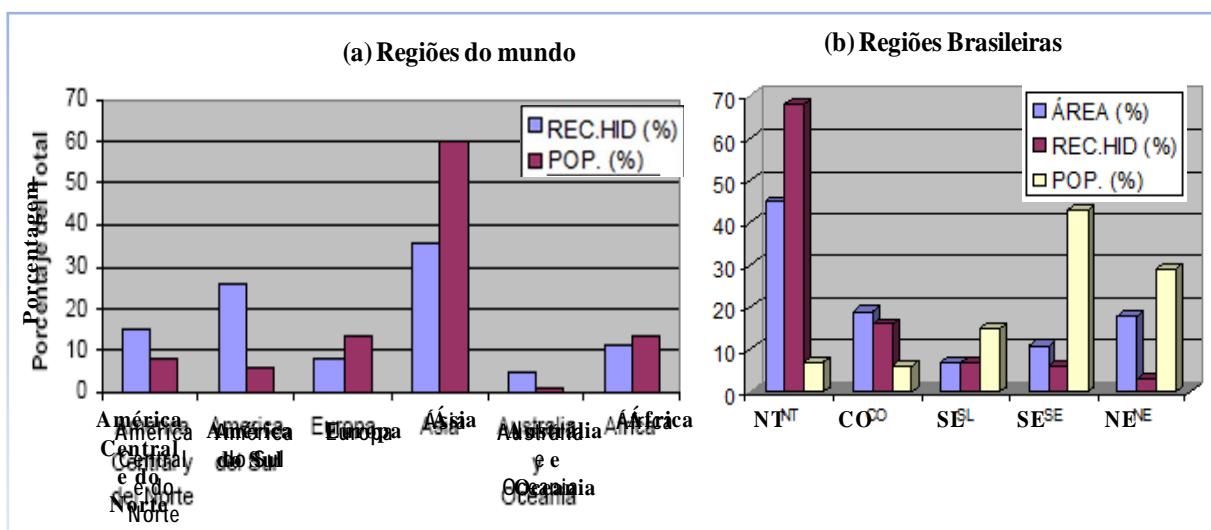


Figura 3.1 – (a) Distribuição de água nas regiões do mundo (Torres e Torres, 2004, modificado); (b) Distribuição dos recursos hídricos nas regiões brasileiras (ANA, 2006, modificado)

No Brasil, a gestão do setor de abastecimento mostra-se como um dos mais ineficientes na economia, haja vista que as perdas ficam em torno de 40%, em média (SNIS, 2006) e tem aumentado ao longo dos anos, muito embora o relatório do SNIS também demonstre que os investimentos no setor têm crescido continuamente. Miranda (2007) ressalta que o maior problema, em relação à prestação dos serviços, está associado à falta da gestão integrada dos serviços, passando por engenharia, recursos humanos, contabilidade, e todos os outros setores

das empresas, já que as perdas de água estimadas no Brasil correspondem a cerca de R\$ 2,5 bilhões ao ano, enquanto os investimentos necessários são de R\$ 10 bilhões anuais para que se alcance a universalização dos serviços de saneamento nos próximos vinte anos. Os índices de perda no país também variam, sendo maiores nas regiões menos desenvolvidas (Rebouças, 2006), o que mantém a relação entre desenvolvimento e controle de perdas, como acontece em escala mundial. Conforme demonstrou Itonaga (2005), perde-se muito mais água em países menos desenvolvidos, como ilustrado na figura 3.2, além de haver também grande variação dos índices de perdas dentro de um mesmo país.

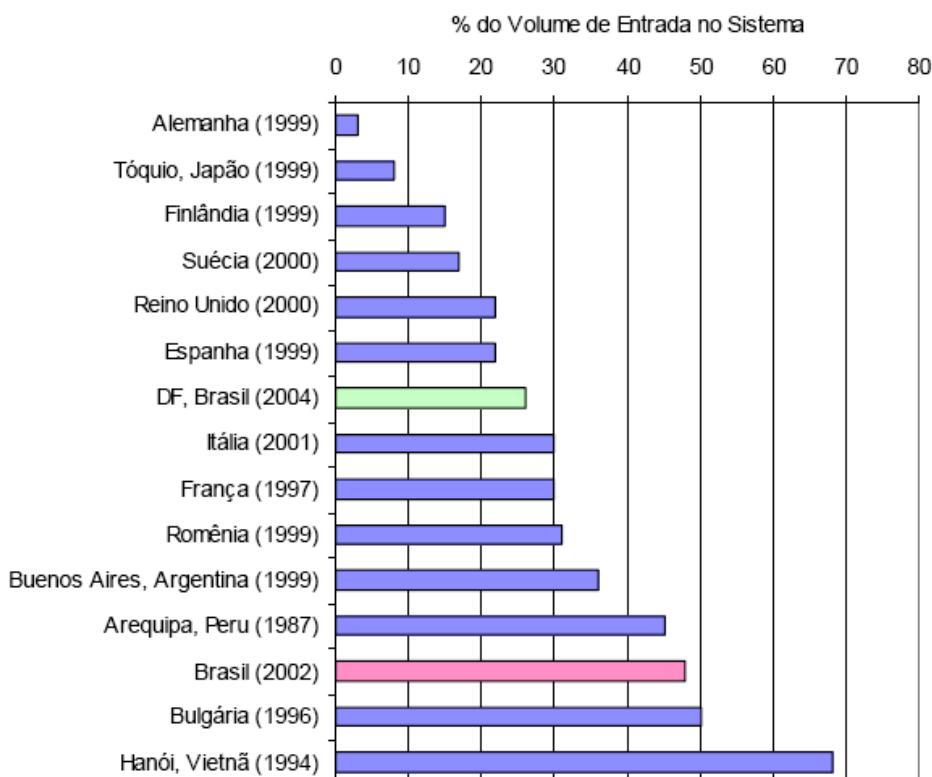


Figura 3.2 – Perdas de água no Mundo (European Environment Agency, apud in Itonaga, 2005)

Segundo dados do IWA (apud Farley, 2001) em 1991 o índice de perdas dos países, classificados quanto ao nível de desenvolvimento, eram na ordem dos seguintes valores:

Países desenvolvidos – 8 a 24%;

Recentemente industrializados - 15 a 24%;

Países em desenvolvimento – 25 a 45%.

Os baixos valores de perdas nos países desenvolvidos são obtidos devido a uma série de medidas adotadas como investimentos em tecnologia e aplicação de regulamentos, em um esforço contínuo para a contenção desses índices, como o caso da Divisão de Proteção Ambiental da Geórgia, nos Estados Unidos, que exige para a aprovação de um novo sistema de abastecimento, dentre uma série de outros requisitos, que esse novo sistema atenda as orientações contidas no manual “Meter Calibration, Repair and Replacement Program”. Esse documento é um guia que define a política de medição, calibração e substituição de medidores, estabelecendo um prazo de cinco anos para que todo o sistema esteja medido e que haja um programa anual de calibração de uma amostra mínima de 10% do parque de hidrômetros de usuários (Georgia Environmental Protection Division, 2007).

Segundo Alegre (1998), “os indicadores de desempenho são medidas numéricas e objetivas da eficiência e da eficácia das entidades gestoras relativamente a aspectos específicos da actividade desenvolvida ou do comportamento dos sistemas”. O índice de perdas ainda é um dos principais indicadores de desempenho das empresas de saneamento brasileiras, cujo controle constitui uma importante ferramenta de gestão para garantir a eficiência do sistema de abastecimento. Segundo Gonçalves (1998), embora o índice de perdas seja vastamente usado no Brasil, é um indicador bastante afetado pelo consumo per capita e não permite a análise correta de desempenho e nem comparação entre os sistemas, mostra, em uma primeira análise que perdas acima de 40% representam más condições do sistema quanto às perdas, enquanto um índice de 25% sugere sistemas bem gerenciados sob esse aspecto. Gonçalves também ressalta que no caso da utilização do IP, ele não deve ser usado isoladamente para medir desempenho. A análise sobre a ampliação do sistema não pode prescindir do conhecimento das perdas no sistema. É importante ressaltar que, segundo o documento do PMSS contendo as *Ferramentas Metodológicas de Diagnóstico Situacional* (Gomes, 2006), uma perda real de 25% ainda representa um acréscimo de 33,3% no cálculo dos consumos per capita efetivos, para efeito de cálculos das demandas em um sistema de abastecimento, podendo impactar bastante o atendimento em uma região com escassez de água, como pode ser visto na tabela 3.1.

O referido documento sugere também uma série de indicadores básicos (figura 3.3), visando contribuir para o entendimento de padronização do balanço hídrico nos sistemas piloto. Conforme já mencionado, os indicadores utilizados em saneamento ainda carecem de padronização, além de adequação dos termos utilizados em suas definições, como mostrou

Miranda e Koide (2003). Os termos usados nas fórmulas dos indicadores propostos por Gomes podem ser verificados na matriz dos componentes do balanço hídrico, na figura 3.4.

Tabela 3.1 - Transformação das perdas reais existentes no sistema em população equivalente atendida (Gomes, 2006)

Hipóteses de perdas reais (em decimais)	Hipótese de população atendida	População atendível se não houvesse perdas	Acréscimo % de população atendida
0,125	1000	1143	14,29
0,150	1000	1176	17,65
0,175	1000	1212	21,21
0,200	1000	1250	25
0,250	1000	1333	33,33

INDICADORES BÁSICOS	IPF	Índice de Perdas de Faturamento	$IPF = \frac{(VFS - VFat) \times 100}{VFS}$	%
	IPD	Índice de Perdas na Distribuição	$IPD = \frac{(VFS - VCAU) \times 100}{VFS}$	%
	ILB	Índice Linear Bruto de Perdas	$ILB = \frac{(VFS - VCAU)}{ERxND}$	litro/Km/dia
	IPL	Índice de Perdas Por Ligação	$IPL = \frac{(VFS - VCAU)}{LAXND}$	litro/ligação/dia
INDICADORES INTERMEDIÁRIOS	IPRD	Índice de Volume de Perdas Reais por Ligação	$IPRD = \frac{VPR}{LA}$	m³/ano/ligaç ão
	IPAD	Índice do Volume de Perdas Aparentes por Ligação	$IPAD = \frac{VPA}{LA}$	m³/ano/ligaç ão

Figura 3.3 – Indicadores básicos de perdas (Gomes, 2006)

O índice de perdas pode ser usado como subsídio à obtenção de outros indicadores, principalmente de eficiência energética, como apresentado em Barreto *et al.* (2007), onde os autores apontam que a perda de 42,58% na rede de distribuição, em uma região de 96.289 habitantes, utilizada em seu estudo, implica anualmente uma perda de energia elétrica de 1.271.544 kWh. Essa perda, obviamente, alimenta e agrava uma cadeia de impactos ao meio ambiente, provocados pelo processo de distribuição de água além do realmente necessário e provocou um aumento no custo de distribuição na região estudada em R\$ 254.308,80 no ano.

Perdas de água são correspondentes aos volumes fornecidos ao sistema e não contabilizados (Silva, 1998), conceito atualmente bastante utilizado. Conhecer as perdas em um sistema é o que permite o planejamento e implementação de ações efetivas para seu controle. A falta de padronização nas definições e formas de cálculo de perdas pode causar dificuldades na comparação do desempenho das empresas de saneamento. Para Lambert e Hirner (2000), os problemas relativos às perdas são:

- De ordem técnica – Nem toda água fornecida chega ao usuário;
- De ordem financeira – Nem toda água entregue ao usuário é paga;
- De Terminologia – Necessidade de se padronizar definições sobre perdas.

Visando uma terminologia básica para calcular perdas reais e aparentes (Lambert e Hirner, 2000), o *International Water Association* (IWA) definiu os conceitos para estabelecer a metodologia de cálculo partindo da matriz do balanço hídrico, cujos componentes podem ser observados na figura 3.4. Nesse conceito, as perdas totais são divididas em perdas reais e perdas aparentes. No entanto, o indicador de perdas percentual calculado conforme mostra a equação 3.1 (Silva, 2006), onde os volumes de perdas reais e aparentes compõem o valor das perdas totais, ainda é bastante utilizado.

$$\text{Índice de Perdas} = \text{IP} = \frac{\text{Volume de Perdas Totais} \times 100 (\%)}{\text{Volume Disponibilizado}}$$

Equação 3.1

A matriz do balanço hídrico é uma ferramenta útil ao diagnóstico de perdas. É uma metodologia “*top-down*”, em que se alimenta a matriz com o volume disponibilizado, faz-se a dedução dos componentes das perdas aparentes, até se chegar à perda real. Se a estimativa das perdas aparentes estiver distante da realidade, principalmente no que diz respeito à submedição, o resultado do balanço hídrico será muito impreciso.

Volume Total de Água Importada	Volume Fornecido ao Sistema	Volume Total de Água Exportado	Volume de Água de Consumo Autorizado Total VCAU	Volume de Água de Consumo Autorizado Faturado VCAUF	Volume de Água Faturado Vfat	Volume de Água Exportado Faturado VExfat
		Volume Disponibilizado VD		Volume de Água de Consumo Autorizado Não Faturado VCAUnf		Volume de Água Não Faturado Medido Vfm
Volume de Fonte Própria		Volume Total de Perdas de Água VTP = VD - VCAU	Volume de Perdas Aparentes VPA	Volume de Água Não Faturado Vnfat	Volume de Perdas por Submedição em Hidrômetros VPAsub	Volume de Água Faturado Não Consumido Vfnc
						Volume de Água Faturado Não Medido Vfnm
			Volume de Perdas Reais VPR			Volume de de Água Não Faturado Não Medido Vnfnm
						Volume de Consumo Não Autorizado VPAcna
						Volume de Perdas por Vazamento nas redes VPRredes
						Volume de vazamentos e extravazões em reservatórios VPRoutras
						Volume de vazamentos em ramais prediais até o hidrômetro VPRramais

Figuras 3.4 – Componentes do balanço hídrico (Gomes et al, 2006)

A utilização da matriz do balanço hídrico também auxilia na identificação do quanto e onde se localizam as perdas e traz algumas definições importantes, por meio da decomposição dos seus componentes, que pode ser observada na matriz, da esquerda para a direita, como os termos descritos a seguir:

- Consumo Autorizado: Volume de água medido e ou não medido utilizado por todos os consumidores, inclusive os consumos operacionais da prestadora do serviço de abastecimento. Compõe-se dos consumos autorizados faturados e não faturados;
- Consumo não autorizado: São os volumes de água furtados, seja por ligações clandestinas, fraudes no hidrômetro, dentre outros meios; é um dos componentes das perdas aparentes.

O Programa de Modernização do Sistema de Saneamento (Gomes, 2006), em suas ações visando à melhoria da gestão comercial das operadoras de serviços de saneamento, no que se refere ao controle de perdas e de energia elétrica, instituiu o documento contendo as

Ferramentas Metodológicas para Diagnóstico Situacional, para permitir uma “avaliação da natureza dos projetos a serem desenvolvidos, das condições gerais de funcionamento das unidades operacionais, gestoras ou comerciais, bem como a priorização de ações de melhoria”. O diagnóstico é feito por meio de questionários detalhados, usados como um guia de coleta de dados para ser aplicado em sistemas piloto, incluindo uma planilha para verificar a capacidade do operador de serviço de saneamento gerar as informações necessárias ao balanço hídrico, e assim fomentando os conceitos inerentes a essa metodologia de cálculo de perdas. O documento é pautado em três eixos principais:

- Desenvolvimento de meios e condições para o controle e redução institucionalizados das perdas reais;
- Desenvolvimento de meios e condições para o controle e redução institucionalizados das perdas aparentes;
- Desenvolvimento de meios e condições para o uso eficiente de energia elétrica no âmbito dos sistemas operados;

As perdas reais, conhecidas anteriormente também como perdas físicas, provêm de vazamentos em todo sistema, envolvendo a captação, a adução de água bruta e tratada, tratamento, reservação e a distribuição, além de procedimentos operacionais como lavagem de filtros e descargas na rede, quando estes provocam consumos superiores ao estritamente necessário para operação.

As perdas aparentes relacionam-se ao volume de água consumido, mas não contabilizado e originam-se de vários fatores, que estão representados na tabela 3.2. Representam o indicador de perdas de faturamento, ou seja, a relação entre o volume disponibilizado e o volume faturado.

O conceito de perdas físicas ou reais é mais facilmente compreendido, uma vez que está basicamente relacionado a vazamentos no sistema. No entanto, as perdas aparentes representam um campo com muitas variáveis e são de difícil quantificação, como relata Silva (1998), ao mostrar a distribuição das perdas na Região Metropolitana de São Paulo, onde as perdas de faturamento representam quase 50% das perdas totais. Ainda é necessário se estabelecer o quanto é possível reduzi-las, sem que se ultrapasse um limite justificável de investimentos, principalmente em setores em que o índice de perdas já é baixo e as medidas para redução já são pouco impactantes.

Tabela 3.2 - Perdas aparentes: Origem e magnitude (Silva, 1998, modificado)

PERDAS DE FATURAMENTO	ORIGEM	MAGNITUDE
	Ligações clandestinas/irregulares	Podem ser significativas, dependendo de: procedimentos cadastrais e de faturamento, manutenção preventiva, adequação de hidrômetros e monitoramento do sistema.
	Ligações não hidrometradas	
	Hidrômetros parados	
	Hidrômetros que submedem	
	Ligações inativas reabertas	
	Erro de leitura	
	Número de economias errado	

Em auxílio a essa necessidade, Moraes *et al.* (2007), analisaram sob o enfoque do combate às perdas aparentes o instrumento denominado *Ferramentas Metodológicas para Diagnósticos Situacionais*, do PMSS, apresentando os componentes essenciais para a redução das perdas aparentes, representados no esquema da figura 3.5, desenvolvido dentro dos conceitos da *metodologia de controle de perdas aparentes*, criada pelo Water Loss Task Force do IWA (Rizzo *et al.*, 2004). A caixa exterior representa o total de perdas aparentes, calculadas anualmente; a caixa interna menor, onde estão as perdas aparentes inevitáveis; a caixa do meio representa o nível econômico das perdas, onde as companhias de saneamento devem se esforçar para manter as perdas, sendo que esse índice pode diferir de uma empresa para outra, além de que esse nível poderá mudar, dependendo das tecnologias e da eficiência dos esforços empregados (Thornton e Rizzo, 2002). Segundo Moraes *et al.*, nesse esquema as setas representam as forças que devem atuar sobre os quatro componentes das perdas aparentes, ou seja, a submedição, os erros de leitura, as fraudes e a gestão dos dados comerciais e de cadastro, evitando que a caixa se expanda e reduzindo-a, se possível. Pode-se notar que as ações consideradas necessárias estão de acordo com os aspectos julgados responsáveis pelas perdas aparentes, como visto na tabela 3.2 e, inevitavelmente a gestão da micromedicação figura entre os grandes desafios no combate às perdas. Reduzir perdas aparentes requer soluções gerenciais, mais do que de engenharia.

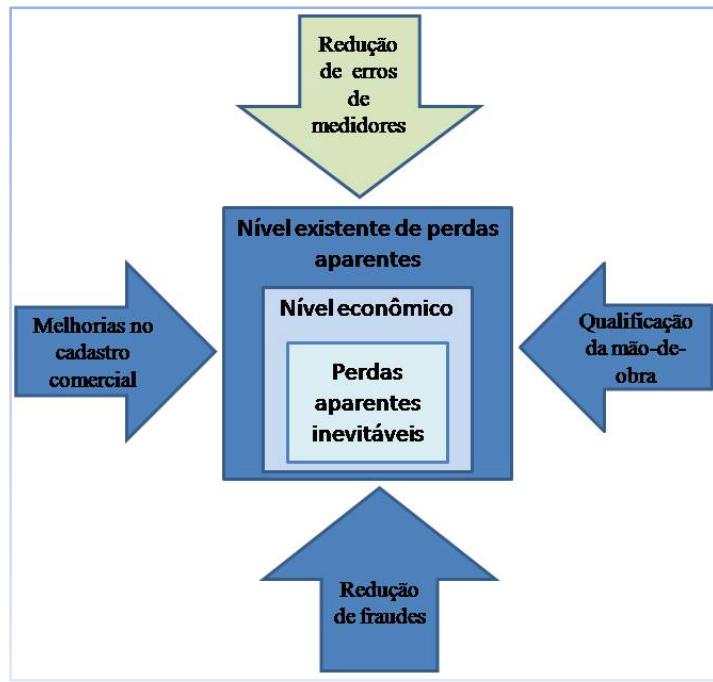


Figura 3.5 – Metodologia de controle de perdas aparentes (Moraes et al, 2007, modificado)

O combate às perdas aparentes requer medidas de correção nos sistemas de micromedição, de forma integrada entre sistema comercial, cadastro, detecção de fraudes e faturamento e cobrança, pois, segundo Silva (1998), a maior dificuldade para o controle das perdas aparentes e das perdas reais, está na questão do gerenciamento integrado. Garcia e Adani (2002) relatam o trabalho desenvolvido, em que a otimização da micromedição na Sanasa partiu da integração da gestão comercial e micromedição, iniciado em 1997, visando o controle de perdas. No âmbito da micromedição, foi estabelecido um programa de manutenções preditivas, preventivas e corretivas; adequação do laboratório para credenciamento junto ao INMETRO, que aconteceu em 1999; redimensionamento dos hidrômetros, com a adequação de 2368 hidrômetros, resultado em aumento de faturamento em torno de R\$ 39.000,00/mês; monitoramento sistemático dos grandes consumidores; padronização das ligações de água, com instalação de caixas especiais de proteção, para evitar fraudes.

3.2 FUNDAMENTOS DE MICROMEDIÇÃO

O Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), do Ministério das Cidades, considera a micromedição a medição do consumo realizado no ponto de

abastecimento de um usuário, independente de sua categoria ou faixa de consumo, com a utilização de hidrômetros, que podem também receber a denominação de micromedidores.

Micromedição sempre foi utilizada, desde a época da civilização romana, no combate ao desperdício de água, para que se pudesse garantir o abastecimento do maior número de pessoas, conforme cita Mendonça (1975) e já existia na Alemanha e Inglaterra em 1850, fazendo uso de hidrômetros velocimétricos, enquanto os hidrômetros volumétricos passaram a ser usados na França e Bélgica a partir de 1872.

A micromedição é uma atividade essencial ao controle e redução de perdas aparentes, uma vez que, segundo Leão et al. (2007) inibe o desperdício, fornece dados importantes sobre os volumes fornecidos aos clientes, realiza a cobrança real do volume consumido, disponibiliza dados para avaliação do comportamento e tendência dos usuários ao longo do tempo e contribui para uma maior disponibilidade de água para ser distribuída para a população.

3.2.1 Hidrômetros

Segundo a NBR 8009/97, o hidrômetro é um “instrumento destinado a indicar e totalizar, continuamente, o volume de água que o atravessa”. Geralmente são usados com o intuito de cobrança. Assim, os hidrômetros são largamente utilizados em micromedição, que pode ser entendida como a medição do volume consumido pelos clientes da companhia de saneamento, independente de sua categoria ou faixa de consumo, definido pelo Programa Nacional de Combate às Perdas (PNCDA), como “a medição permanente do volume de água consumido e que é registrado periodicamente por meio da indicação propiciada pelos hidrômetros”.

A medição de água pode ser feita de forma direta, lançando um volume em um reservatório de capacidade conhecida ou indireto, por meio das medições de grandezas influenciadas pela passagem de água (Alves *et al.*, 2004).

Os hidrômetros são classificados de acordo com as suas características construtivas e princípio de funcionamento, capacidade de medição ou classe metrológica, sendo que o conjunto dessas características é o que deve ser considerado para a escolha de um medidor adequado.

3.2.1.1 Características construtivas e princípio de funcionamento

Basicamente os hidrômetros são constituídos de três partes fundamentais: câmara de medição, que produz um movimento em função da quantidade de água que flui; um registrador ou relojoaria, responsáveis por converter os movimentos provocados pela água e indicar os consumos medidos; e o mecanismo que transmite o movimento produzido na câmara de medição ao registrador (Mendonça, 1975), pode ser do tipo mecânico ou magnético.

Hidrômetros podem ser do tipo volumétrico e do tipo taquimétrico ou velocimétrico. Essas características influenciam diretamente a precisão da medição, seu custo e vida útil.

- Hidrômetro Velocimétrico ou taquimétrico: Segundo a NBR NM 212 (ABNT), o hidrômetro tipo turbina ou de velocidade é um “instrumento instalado num conduto fechado, que consiste de um elemento móvel acionado diretamente pela velocidade do fluxo de água, cujo movimento é transmitido por meios mecânicos ou outros, ao dispositivo indicador”. A parte móvel pode ser uma palheta, uma turbina, ou hélice. Podem ainda ser do tipo monojato, onde um único jato tangencial incide diretamente sobre o componente móvel e aciona o mecanismo medidor, ou do tipo multijato (figura 3.6), onde vários jatos tangenciais acionam o funcionamento do hidrômetro. A passagem da água então faz girar o mecanismo móvel, que em geral é uma turbina, com velocidade proporcional à vazão, e o número de voltas desse mecanismo indica a velocidade de escoamento da água.

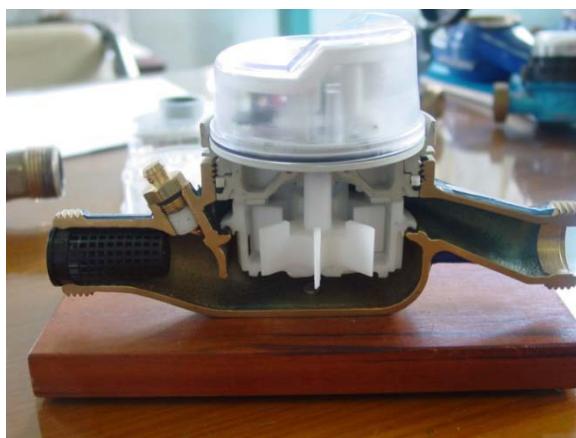


Figura 3.6 – Hidrômetro velocimétrico do tipo multijato

Os hidrômetros velocimétricos representam quase a totalidade dos hidrômetros usados no país (Sanchez *et al*, 2000), sendo que seu uso começou a ser amplamente difundido nos anos 1950. Seu uso deve-se principalmente ao custo mais baixo em relação aos medidores volumétricos, aliado ao fato de que atualmente é possível encontrar boa qualidade de alguns medidores desse tipo, compatível com medidores volumétricos. São do tipo monojato, multijato e Woltmann.

Nos medidores monojato, a turbina é acionada por um único jato de água, que a atinge de modo tangencial. Essa característica faz com que seus mancais sejam mais rapidamente desgastados e, dependendo da qualidade da água, sofra redução no orifício de passagem da água, o que, segundo Mendonça (1975), pode provocar elevados erros positivos. São mais sensíveis a perturbações na entrada. Sua aceitação deveu-se, no início, às suas dimensões mais compactas, menor custo e menor vazão mínima, embora atualmente os multijatos já possuam também essas características. Uma vantagem desse tipo de medidor é a sua facilidade de montagem, já que apresenta bom funcionamento na vertical e horizontal.

Os medidores multijatos (figura 3.7) são os mais utilizados no Brasil, e possuem na câmara de medição orifícios ou fendas que fazem com que a turbina seja acionada tangencialmente por vários jatos de água, criando forças que fazem com que a turbina gire com maior equilíbrio e assim sofrendo menor desgaste do que os do tipo monojato. São mais robustos, consequentemente mais caros, e mais sensíveis ao tipo de montagem. Oferecem maior facilidade de manutenção do que os monojato, pois suas partes são separadas da carcaça.



Figura 3.7– Movimento da água no medidor velocimétrico multijato (DMAE)

Os medidores do tipo Woltmann, são um caso de hidrômetro de jato único, que não possui câmara de medição, em que o fluxo passa no sentido do eixo da hélice e não tangencialmente. São medidores de boa exatidão, baixa perda de carga e robustez. Normalmente são fabricados em bitolas acima de 50 mm, para usuários industriais ou comerciais. Os medidores Woltmann podem ser do tipo horizontal (figura 3.8 a), vertical (figura 3.8 b), ou ainda do tipo turbina ou

hélice, que é muito semelhante ao horizontal, sendo que a diferença consiste basicamente em que o seu elemento móvel não preenche toda a seção de medição, tornando-o menos suscetível à presença de sólidos grosseiros na água (Frangipani, 2005).



Figura 3.8 – (a) Hidrômetro Woltmann horizontal; (b) Hidrômetro Woltmann vertical

- **Hidrômetro Volumétrico:** Funciona por meio do enchimento de uma pequena câmara cilíndrica, de volume definido e uma peça móvel (pistão, também chamado de êmbolo, ou um disco), e cuja passagem da água provoca um movimento a cada enchimento, que é transmitido ao trem redutor de engrenagens e assim indica o volume de água que passou pelo hidrômetro, já que o numero de oscilações ou voltas do êmbolo é proporcional ao volume escoado através do medidor (Nielsen, 2003).

Segundo Mendonça (1975), o mecanismo móvel no hidrômetro volumétrico pode ser do tipo disco nutante, êmbolo ou pistão rotativo, pistão oscilatório, pistão de movimento alternado ou parafuso. Atualmente, os mais usados são os de pistão rotativo e disco nutante (Alves *et al.*, 2004).

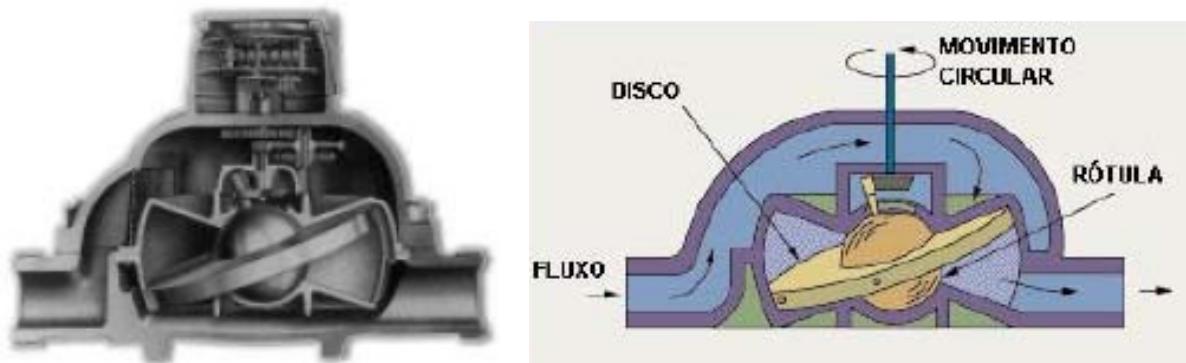


Figura 3.9 – (a) Hidrômetro volumétrico de disco nutante (Alves et al, 2004); (b) Características do hidrômetro volumétrico de disco nutante (Frangipani, 2005)

Hidrômetros volumétricos costumam ser mais precisos que os velocimétricos ou taquimétricos, segundo Rech (1999) e Alves *et al.*(2004), tendo como principal característica o funcionamento eficiente em vazões baixas, sendo que um hidrômetro volumétrico de Q_n igual a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ atinge o início de funcionamento com $1,0 \text{ L/h}$. Sua forma construtiva, contudo, faz com que também sejam mais sujeitos a defeitos de funcionamento. A existência de impurezas na água, como areia em suspensão, pode ser responsável pelo travamento do hidrômetro, o que exigiria uma grande agilidade para a manutenção, sob pena dos consumidores sofrerem com constantes falta de água. Além de que um custo mais elevado e maior perda de carga também fazem com que esse tipo de hidrômetro seja pouco utilizado.



Figura 3.10 – (a) Hidrômetro volumétrico - câmara e pistão oscilante; (b) Características do hidrômetro de pistão oscilante (Frangipani, 2005)

Contudo, em condições favoráveis de funcionamento, esses medidores são mais duráveis e apresentam maior exatidão, além de ficarem menos sujeitos a problemas de instalação, pois a posição de montagem não é tão importante quanto nos medidores velocimétricos. É possível, por exemplo, a utilização de filtros a montante do hidrômetro, evitando-se assim o travamento por matéria em suspensão, como o da figura 3.22 (a).

Uma característica importante dos medidores, especialmente quando se trata de submedição, é o mecanismo de transmissão e relojoaria utilizado, já que as suas partes podem apresentar problemas que retardem o início de funcionamento, provocar travamentos, sem que haja interrupção na passagem de água. Podem ser do tipo mecânico, com sistema registrador seco ou submerso, e magnético com relojoaria selada. Exceto no mecanismo submerso, os hidrômetros possuem uma placa separadora (ver figura 3.11), confeccionada em latão ou mais comumente em plástico, que separa a parte submersa da parte seca do hidrômetro, onde normalmente está o mecanismo registrador.

São considerados mecânicos, quando seu mecanismo de transmissão transfere os movimentos provocados pela água através de engrenagens que possuem um eixo que o liga diretamente ao mecanismo de registro, perfurando a placa separadora, caso não seja um sistema de relojoaria submersa. Podem ser também magnéticos, quando essa transferência é feita por meio de dois ímãs, chamados propulsor e seguidor, sem que haja furo na placa separadora. São considerados mais sensíveis que os medidores com transmissão mecânica, em função do menor número de peças, o que também reduz seu custo de fabricação. Os ímãs desse sistema magnético devem apresentar boa eficiência, pois, caso não tenham força suficiente para manter o acoplamento em altas vazões, em casos de aberturas bruscas de torneiras, por exemplo, podem provocar o que se chama de “arraste”, ou seja, a relojoaria permanecerá paralisada ou submedindo. Rech (1999) aponta como solução aumentar a força dos ímãs, embora isso traga como consequência a diminuição da sensibilidade do hidrômetro em baixas vazões, o que significaria uma submedição maior do que a provocada pelo “arraste”. Mendonça (1975) aponta como solução para a submedição os medidores com todas as engrenagens submersas, já que os erros diminuiriam pela ausência da placa separadora e do sistema de vedação, o que, por outro lado, pode provocar o depósito de partículas da água em suas engrenagens (Alves *et al.*, 2004).

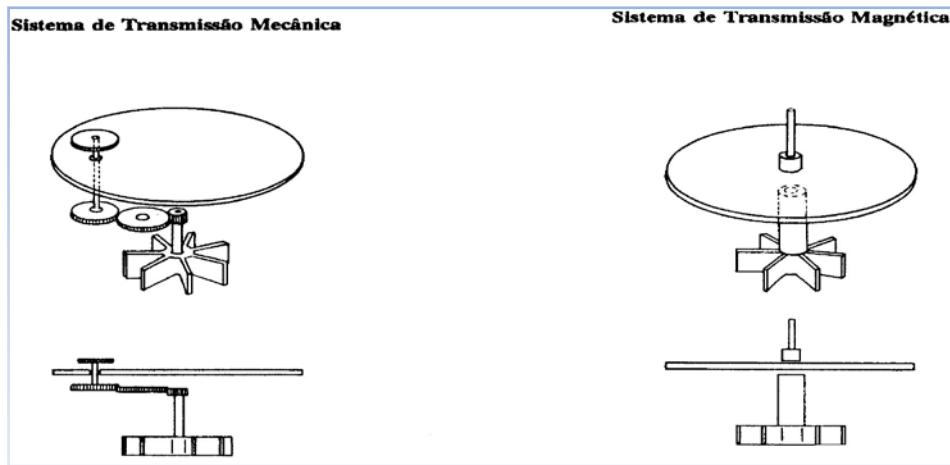


Figura 3.11 – Tipos de transmissão para medidores velocimétricos (Alves et al., 2004)

3.2.1.2 Normas técnicas e padrões para hidrômetros

Em todo o mundo, foram elaboradas normas técnicas e padrões que definem os valores de erros admissíveis para os medidores, os métodos que devem ser usados nos ensaios de verificação e características construtivas, por meio de organismos como a *American Water Works Association (AWWA)*. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e o Instituto de Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), são os responsáveis por estabelecer mecanismos que garantam a confiabilidade da medição de água fornecida à população, já que esses erros podem ser fatores de grande prejuízo às empresas que fornecem água, não só do ponto de vista financeiro como também aumentando o impacto ambiental causado por elas, bem como um aumento de custo para os consumidores.

As principais normas brasileiras estabelecendo os padrões para os hidrômetros para água fria, com Vazão nominal (Q_n) até $15 \text{ m}^3/\text{h}$, são descritas a seguir:

- NBR 8009:1997 – Define os termos empregados em hidrômetros taquimétricos, destinados à medição de água fria.
- NBR 8195:1997 – Estabelece o método de ensaio para verificação das principais características de hidrômetros taquimétricos. Define como devem ser as bancadas de ensaio, quais instrumentos devem ser utilizados para os testes dos hidrômetros e os procedimentos de ensaio com os respectivos erros admissíveis.

- ABNT NBR 14005:1997 – Estabelece padrões para os medidores para água de fria de 15 m³/h até 1500 m³/h, embora esses medidores não sejam regulamentados ainda pelo INMETRO.
- NBR NM 212:1999 – Elaborada para substituir as NBR 8193:1997 e NBR 8195:1997, tem por objetivo estabelecer as características técnicas, metrológicas e os métodos de ensaio dos medidores velocimétricos de água fria.
- NBR 8193:1999 – Fixa as condições mínimas exigíveis para aceitação dos hidrômetros taquimétricos para água fria e suas respectivas conexões. Trata das características construtivas e metrológicas, estabelecendo a faixa de erros admissíveis para os hidrômetros de até 15 m³/h de vazão nominal.
- NBR 8194:2005 – Padroniza as dimensões e conexões a serem usadas. A revisão de 2005 estabeleceu que os hidrômetros devem ser fabricados em uma das seguintes vazões nominais, em m³/h: 0,6; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 3,5; 5,0; 10,0; 15,0.
- NBR 15538:2007 – Especifica os critérios e procedimentos para a avaliação de desempenho de hidrômetros para água fria de vazão nominal até 2,5 m³/h, e traz como principal melhoria a ampliação das vazões de ensaio para avaliar os hidrômetros em bancada. Sua aplicação é feita considerando-se os termos e definições contidos na NBR NM 212:1999.
- Portaria 246 de 17/10/2000 do INMETRO – Tem como objetivo definir as características técnicas, metrológicas e métodos de ensaio, é aplicável aos hidrômetros para água fria, de 0,6 a 15 m³/h de vazão nominal. Esse regulamento mantém a maioria das definições contidas na NBR 8009:1997, com algumas modificações e acréscimos de outras definições.

Para hidrômetros para água fria com vazão nominal acima de 15 m³/h, existe a NBR 14005, embora esta Norma não seja regulamentada pelo INMETRO.

Os hidrômetros são fabricados de acordo com os valores de vazão a serem medidas, padronizadas pela portaria 246/2000 do INMETRO. Essa portaria estabelece que os hidrômetros devem ser fabricados para as vazões nominais de 0,6 – 0,75 – 1,0 – 1,5 – 2,5 – 3,5 – 5,0 – 6,0 – 10,0 e 15,0, expressos em m³/h.

A portaria 246/2000 é um dos principais instrumentos para a padronização e qualidade da micromedicação, também define os conceitos de vazões máxima, mínima, nominal e de transição, com algumas variações de terminologia em relação à NBR NM 212.

- Vazão máxima (Q_{max}) – Maior vazão, em m^3/h , na qual o hidrômetro funciona por um curto período de tempo, dentro dos erros máximos admissíveis, sem se danificar. Não deve ser confundida com a capacidade do hidrômetro, pois, embora o hidrômetro seja capaz de registrar tal vazão, o funcionamento por tempo prolongado sob essa condição provoca desgastes e mau funcionamento.
- Vazão nominal (Q_n) – maior vazão nas condições de utilização, expressa em m^3/h , nas quais o hidrômetro deve funcionar satisfatoriamente dentro dos limites de erros admissíveis. Corresponde a cinqüenta por cento da vazão máxima do hidrômetro.
- Vazão de transição (Q_t) – vazão, em escoamento uniforme, que define os campos de medição inferior e superior. Representa cinco por cento da vazão máxima.
- Vazão mínima (Q_{min}) – menor vazão, em m^3/h , a partir da qual o hidrômetro deve medir com erros admissíveis de acordo com as normas ou legislação.

O início do movimento do hidrômetro geralmente se dá abaixo da vazão mínima, e é caracterizado pelo vencimento das resistências do mecanismo medidor, sem, no entanto apresentar vazão que possa ser medida dentro da faixa de erros toleráveis (Rech, 1999).

3.2.1.3 Classe metrológica

Os hidrômetros são classificados, quanto a esse parâmetro, segundo a Norma ISO 4064 em A, B, C e D, embora a NBR 212/99 e a portaria 246/2000 do INMETRO definam apenas três classes, de A a C, pois a classe D aplica-se a hidrômetros volumétricos, pouco usados no Brasil. A tabela 3.3, mostra os valores de Q_{min} e Q_{max} para cada classe metrológica, de acordo com a ISO 4064.

O grau de precisão dos hidrômetros é menor nos de classe A e maior nos de classe C e D. Cada uma dessas classes define, para cada faixa de vazão nominal (Q_n), qual a vazão mínima (Q_{min}) e vazão de transição (Q_t) que o hidrômetro deve ser capaz de medir, com erros máximos admissíveis estabelecidos por normas técnicas, como apresentado na tabela 3.4. Isto implica em que os medidores tratados na Portaria 246/2000 apresentam erros mais elevados quanto menores forem as vazões sob as quais trabalham (Alves *et al.*, 2004).

Tabela 3.3 - Tabela ISO 4064 – Classes metrológicas (Nielsen, 2003)

Classe Metrológica	Valor numérico de Designação do medidor N (N = vazão nominal em m ³ /hora)			
	N < 15		N ≥ 15	
	Q min	Qmax	Qmin	Qmax
Classe A	0,04 N	0,10 N	0,08N	0,3N
Classe B	0,02 N	0,08 N	0,03N	0,2N
Classe C	0,01N	0,015 N	0,006N	0,015N
Classe D	0,0075 N	0,0115 N		

Tabela 3.4 – Classes de hidrômetros e correspondentes valores de Qmin e Qt (Portaria 246/2000, modificada)

Classes Metrológicas	Vazão nominal – Q _n (m ³ /h)										
	0,6	0,75	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	6,0	10,0	15,0	
A	Q_{mín}	0,024	0,030	0,040	0,040	0,100	0,140	0,200	0,240	0,400	0,600
	Q_t	0,060	0,075	0,100	0,150	0,250	0,350	0,500	0,600	1,000	1,500
B	Q_{mín}	0,012	0,015	0,020	0,030	0,050	0,070	0,100	0,120	0,200	0,300
	Q_t	0,048	0,060	0,080	0,120	0,200	0,280	0,400	0,480	0,800	1,200
C	Q_{mín}	0,006	0,0075	0,0010	0,015	0,025	0,035	0,050	0,060	0,100	0,150
	Q_t	0,009	0,0110	0,015	0,0225	0,0375	0,0525	0,075	0,090	0,150	0,225

3.3 ERROS DE MEDIÇÃO

Todos os equipamentos utilizados para medir vazão apresentam erros, que serão maiores ou menores de acordo com a tecnologia empregada. Os hidrômetros como todo equipamento de medição, podem apresentar erros de indicação quando os valores apresentados são maiores ou menores que as vazões que de fato escoaram pelo hidrômetro, sendo que os principais fatores que afetam a exatidão dos medidores de água são: suas características construtivas e princípio de funcionamento, como por exemplo, a diferença entre medidores volumétricos e

velocimétricos, que apresentam níveis de exatidão diferentes; a posição de montagem; a influência de sólidos em suspensão e depositados; e o uso de caixas d'água controladas por bóias, que geram pequenas vazões e fazem com que os hidrômetros trabalhem em faixas de vazões abaixo de valores para os quais são preparados. Usualmente chama-se de *sobremedição* e *submedição* as indicações maiores ou menores que os valores de vazão medidos, respectivamente.

Para que sejam mantidos dentro de limites confiáveis, de forma a não causar prejuízo aos consumidores e às companhias de abastecimento, são estabelecidas normas técnicas que definem qual a faixa de erros tolerável. A Portaria 246/2000 estabelece que os erros de medição devem ser calculados pela fórmula da equação 3.2, em que os valores são obtidos por meio de um ensaio em bancada. Fazer um ensaio de verificação dos erros de indicação consiste em comparar os valores indicados pelo hidrômetro ensaiado com os valores apresentados pelos instrumentos da bancada de aferição.

$$E = \frac{(Lf - Li) - Ve}{Ve} \times 100 \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:

E = Erro relativo em porcentagem;

Li = Leitura inicial do hidrômetro;

Lf = Leitura final do hidrômetro;

Ve = volume escoado.

A Portaria 246/2000 também prevê o mínimo de valores de vazão que devem ser usados no ensaio para a verificação dos erros para os hidrômetros taquimétricos novos e para os hidrômetros em funcionamento, mostrados na tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Vazões de calibração exigidas na Portaria 246/2000 (INMETRO)

Vazões de ensaio	Erro máximo admissível	
	Medidor novo	Medidor em uso
Entre Q_{min} e 1,1 Q_{min}	± 5%	± 10%
Entre Q_t e 1,1 Q_t	± 2%	± 5%
Entre 0,225 Q_{max} e 0,25 Q_{max}	± 2%	---
Entre 0,45 Q_{max} e 0,50 Q_{max}	± 2%	± 5%
Entre 0,90 Q_{max} e Q_{max}	± 2%	---

No caso dos hidrômetros volumétricos, Rech (1999) considera os valores constantes na tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Erros de indicação dos hidrômetros volumétricos

Hidrômetro	Faixa inferior de medição	Faixa superior de medição
Volumétrico	± 3,5 %	± 2,0 %

Em janeiro de 2008 entrou em vigor a primeira edição da NBR 15538:2007, que ampliou a quantidade de valores de vazões que devem ser usadas nos ensaios para aceitação de hidrômetros, buscando simular melhor as vazões típicas de consumo. A menor vazão de teste passa a ser a metade da vazão mínima e os ensaios devem acontecer em dez valores de vazões, conforme a tabela 3.8 e não mais em apenas cinco vazões. Comparando-se as duas tabelas com as vazões de calibração (tabelas 3.5 e 3.8), nota-se que a NBR 15538:2007 é mais específica quanto às vazões a serem utilizadas e contribui melhor para a verificação do funcionamento dos medidores em vazões baixas, notadamente onde acontecem os maiores índices de submedição. Outra grande contribuição da referida Norma é a exigência de desgaste cíclico em baixas vazões, além do ensaio de desgaste acelerado (fadiga) já previsto na Portaria 246/2000, seguido do ensaio de verificação final dos erros de indicação após desgaste, usando-se as mesmas vazões da verificação inicial, constantes da tabela 3.8. A aprovação ou reprovação dos hidrômetros do lote escolhido para ensaio fica condicionada,

além de serem aprovados em todos os outros ensaios, da obtenção de EP entre $\pm 5\%$ e $\pm 10\%$ e IDM entre 90% e 105% onde,

- EP é o erro ponderado, obtido pela associação entre o perfil de consumo e o erro relativo apresentado pelo hidrômetro durante os ensaios de calibração, expressos pela equação 3.3, Onde peso Q_x é o volume consumido em cada faixa de vazão/volume total consumido.

$$EP(\%) = \sum [Erro Q_x] \times (Peso Q_x) \quad (\text{Equação 3.3})$$

- IDM é o índice de desempenho da medição, relacionado com o desempenho na totalização do volume do medidor de água, obtido pela fórmula da equação 3.4.

$$IDM = 100 + EP \quad (\text{Equação 3.4})$$

O perfil de consumo deve ser levantado conforme metodologia descrita no anexo “C” da Norma, que define as características dos equipamentos que devem ser usados, bem como as faixas de vazões que devem ser consideradas, padronizando inclusive a forma de apresentação dos dados.

Tabela 3.7- Erros máximos admissíveis (ABNT NBR 15538:2007)

Faixas de vazão		Erros máximos (%)
Classe “B”	Classe “C”	
$Q_{min} \leq Q < 4 Q_{min}$	$Q_{min} \leq Q < 1,5 Q_{min}$	± 5
$4 Q_{min} \leq Q < 4 Q_{max}$	$1,5 Q_{min} \leq Q < Q_{max}$	± 2

A área hachurada no gráfico da figura 3.12 delimita a faixa de erros admissíveis, sendo de $\pm 5\%$ entre Q_{min} , inclusive e Q_t , exclusive (campo inferior de medição); $\pm 2\%$ entre Q_t , inclusive e Q_{max} , exclusive (campo superior de medição), representada na NBR 15538 pela tabela 3.7, que deixa claro a distinção entre as faixas de vazão para os medidores classe “B” e classe “C”, sendo que os erros encontrados na vazão $Q_{min}/2$ não são considerados para rejeição de lote.

Tabela 3.8 - Vazões de calibração exigidas na NBR 15538:2007 (ABNT)

Vazões	$Q_n = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$	$Q_n = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$	$Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$	$Q_n = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$
Classe	B	B	C	B
$Q_{\min}/2$	6	7,5	7,5	15
Q_{\min}	12	15	15	30
$1,5 Q_{\min} (\text{Qt C})$	*	*	22,5	*
$2 Q_{\min}$	24	30	30	60
$4 Q_{\min}$	48	60	*	120
$8 Q_{\min}$	96	120	120	240
$16 Q_{\min}$	192	240	240	480
$32 Q_{\min}$	384	480	480	960
Q_n	600	750	1500	1500
$1,5 Q_n$	900	1125	2250	2250
Q_{\max}	1200	1500	3000	3000
				5000
				5000

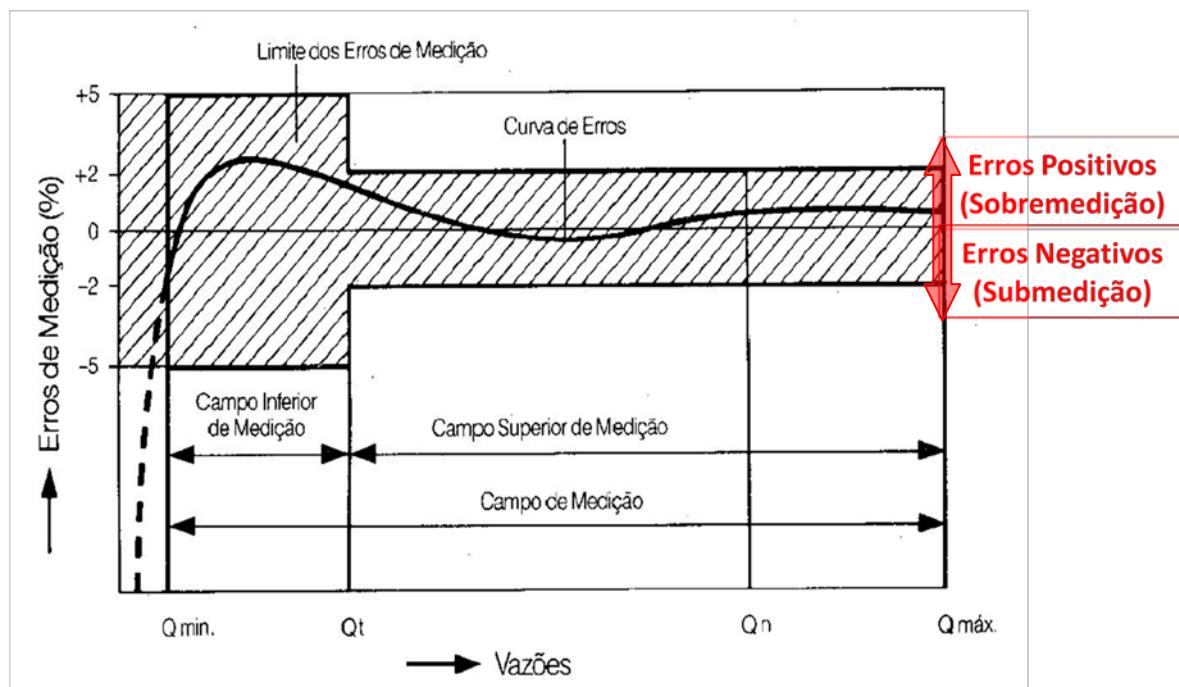


Figura 3.12 – Curva de erros (Alves et al., 2004, modificado)

Em Sanchez *et al.*(2000), os valores negativos na curva de erros representam os *erros negativos* ou *submedição*, e os valores positivos representam os *erros positivos* ou *sobremedição*.

A curva obtida em ensaios de calibração dos medidores apresenta características semelhantes à curva apresentada na figura 3.13.

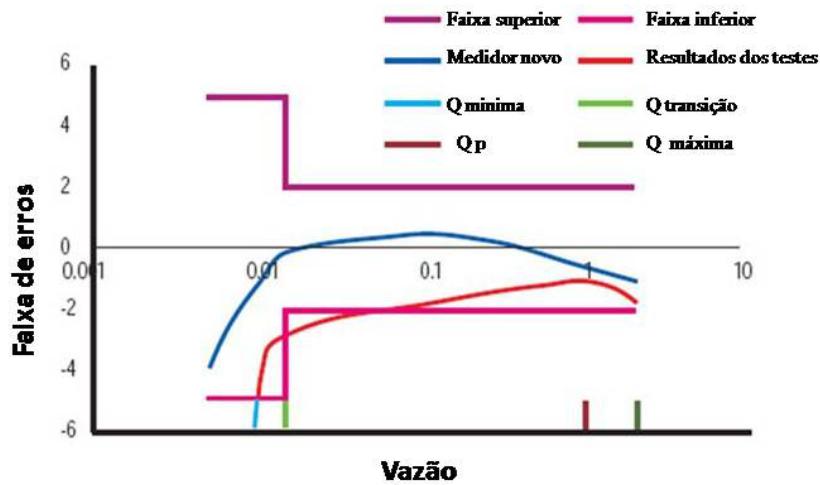


Figura 3.13 – Curva típica de exatidão de medidores de água (Rizzo, 2004)

3.3.1 Submedição

Segundo Nielsen *et al.* (2003), submedição é “situação de medição ineficaz, causada principalmente por super dimensionamento de um medidor, ou por fator externo ao mesmo, provocando perda de sensibilidade e consequente totalização a menor de volume efetivamente escoado”.

Dentre os trabalhos relacionados à medição de água com utilização de hidrômetros, vários deles enfocam o problema da submedição. Em comum, demonstram que as causas recorrentes da submedição em hidrômetros devem-se a problemas como:

- Características dos medidores – tipo, modelo, classes de vazões, classes metrológicas;
- Dimensionamento dos medidores;
- Condição de instalação;
- Condições de operação – vazões baixas ou elevadas;
- Condições de manutenção;

- Erros de leitura (fator humano);
- Condições do abastecimento – direto da rede ou com uso de caixa-d’água;
- Qualidade da água fornecida;
- Vida útil dos hidrômetros.

3.3.1.1 Influência do uso de caixas-d’água na submedição

No Brasil é comum nas residências o uso de abastecimento misto (Alves *et al.*, 2004), em que uma parte da água utilizada vem diretamente da distribuição e outra parte passa por um reservatório controlado por torneira do tipo bóia. Esse tipo de abastecimento provoca grandes oscilações nas vazões que passam pelo hidrômetro.

Arregui *et al.* (2005) afirmam que o uso de caixas d’água causa problemas de medição mesmo com hidrômetros de classes metrológicas elevadas, além de que o período de manutenção para garantir a exatidão da medição abaixo de níveis críticos teria que ser muito curtos. Para Cobacho *et al.* (2007) a única justificativa para o uso de caixas-d’água seria a freqüente interrupção, por escassez ou irregularidade no abastecimento, ressaltando os seguintes pontos negativos por seu uso:

- Desperdício de água, provocado por vazamentos após o reservatório, que para o usuário torna-se imperceptível, já que geralmente provocam vazões menores que a vazão de início de funcionamento do hidrômetro;
- Mesmo não havendo vazamentos nas instalações internas dos domicílios, as baixas vazões no fim do ciclo de enchimento da caixa provocam perdas aparentes;
- Dificuldade para distinguir os diferentes tipos de perdas do balanço hídrico, devido à deformação no padrão da curva de demanda;
- Desperdício de energia, necessária para prover pressão aos usuários do final da rede;
- Degradação da qualidade da água.

O estudo realizado por Cobacho *et al.* (2007), em 46 domicílios na Costa da Espanha, demonstra que há grande variação no perfil de consumo quando se usa abastecimento direto, abastecimento misto (domicílio parcialmente abastecido por caixa d’água) e todo abastecimento no domicílio feito por meio do reservatório, ilustrado na figura 3.14. Nessa figura, os gráficos mostram os percentuais do volume consumido nas residências, de acordo

com as vazões que ocorreram no abastecimento e os compara com os valores de referência para abastecimento sem caixa d'água. Observa-se que no sistema com abastecimento direto (sem caixa d'água) possui cerca de setenta por cento do volume usado nas vazões entre 250 e 1000 litros por hora. Quando o abastecimento total ou parcial de um domicílio passa a ser feito por meio de um reservatório, o volume consumido nesse domicílio não se altera em relação ao abastecimento direto. No entanto, as vazões de abastecimento se alteram significativamente.

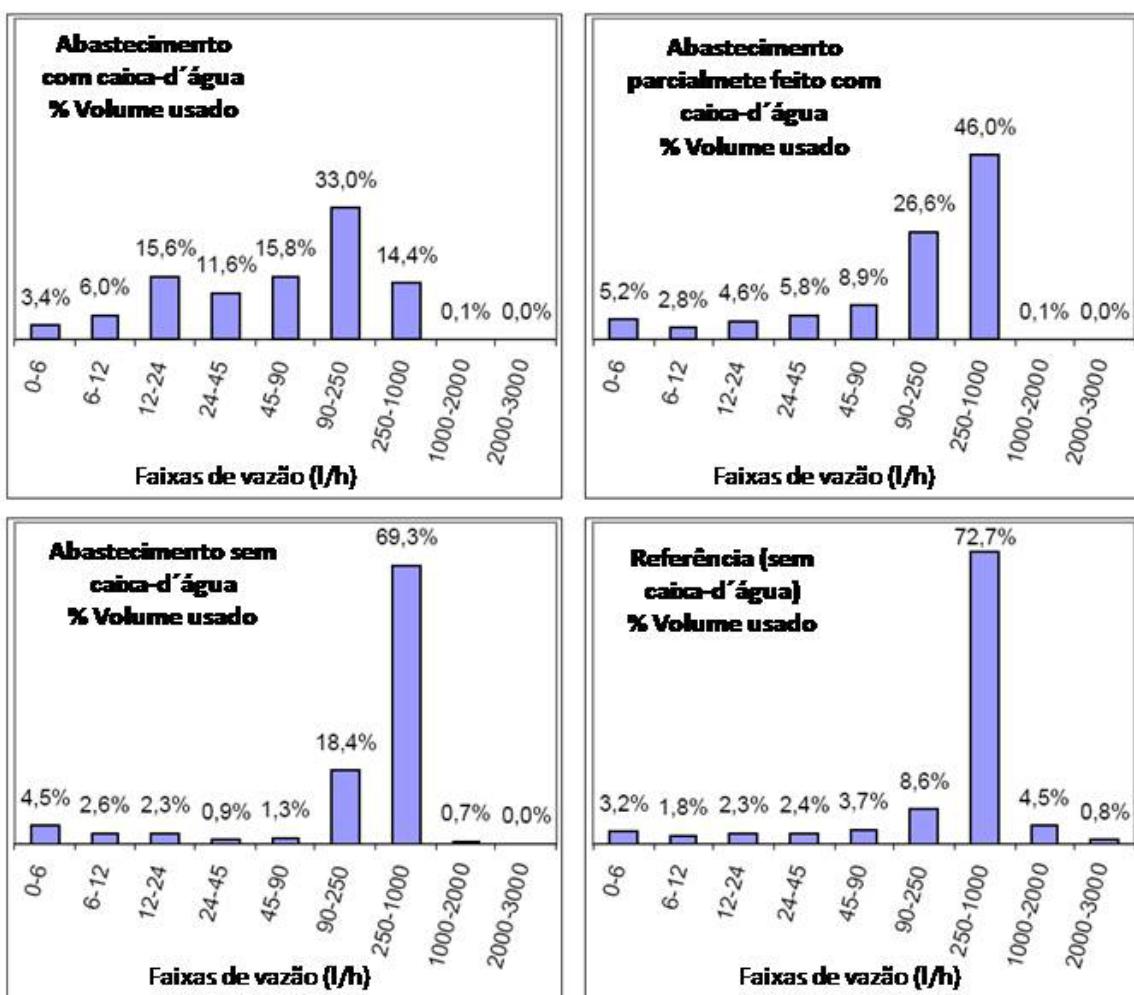


Figura 3.14 – Perfis de consumo para diferentes tipos de abastecimento (Cobacho et al., 2007, modificado)

O abastecimento direto não é sempre a melhor condição para determinados tipos de hidrômetros, pois, como já foi mencionado, consumos bruscos, como acionamento de descargas ou abertura de torneiras podem causar desgaste em medidores que não estejam corretamente especificados para essa condição, trazendo a necessidade de que sejam

dimensionados para vazões que comportem esses picos, enquanto no caso dos medidores com sistema de transmissão magnético, esse comportamento de vazão pode também provocar submedição. Conforme discutem Alves *et al.* (2004), é comum em residências, além das válvulas de descarga, que consomem vazões mais elevadas do que os sistemas de caixa acoplada, que em um mesmo ponto possa haver uma torneira para um tanque e a entrada de uma lavadora de roupas. Geralmente essa configuração não é levada em consideração no cálculo de vazão para dimensionamento do medidor e produz vazões de pico muito maiores do que a vazão dimensionada para uma condição onde só haveria uma torneira e o uso de caixas de descarga. Sanchez (1997) analisou o método de Hunter (método AWWA) e o método dos quadrados, para cálculo de vazão para dimensionamento de hidrômetros. Os cálculos hipotéticos mostrados nesse trabalho indicam, pelos dois métodos, para um mesmo tipo de imóvel residencial, a utilização de um hidrômetro de 3 m³/h e 5 m³/h, caso o abastecimento se dê com caixa d'água ou direto da rede, respectivamente, considerando uma pressão de 25 mca na rede. Logo, a existência de caixas d'água pode contribuir para que um medidor menor possa ser usado, por reduzir os picos de vazão, enquanto o abastecimento direto praticamente elimina a possibilidade do uso de hidrômetros de Qn igual 0,75 m³/h onde não haja caixa d'água instalada e as pressões sejam superiores a 15 mca, pois essa condição obrigaria o funcionamento do hidrômetro muito próximo de suas vazões máximas, por longos períodos. Segundo Miranda e Koide (2003), embora o uso de caixa d'água seja responsável pela elevação das perdas aparentes, a intermitência em muitos sistemas de abastecimento tornam essencial a sua utilização. Em adição, altas pressões na rede de distribuição costumam causar muitos prejuízos aos usuários, devido aos rompimentos nas tubulações internas das residências, especialmente no período noturno e também exigem que medidores maiores sejam usados. Na falta de meios para o controle adequado das pressões, o uso de caixas d'água poderia ser uma solução interessante para a companhia de saneamento, em relação ao dimensionamento de hidrômetros, uma vez que seu uso amortece esses picos de consumo e permite que medidores menores possam ser usados e para os usuários, que sofreriam menos com os danos causados por altas pressões e teriam o consumo reduzido. Não obstante, o que se observa é que se o abastecimento direto provoca desgastes nos medidores exigindo o uso de hidrômetros maiores que contemplam as vazões mais elevadas, o amortecimento causado pelos reservatórios é um dos maiores responsáveis pela submedição e, consequentemente, nos sistemas em que a utilização de reservatórios existe, as perdas aparentes representam um percentual muito mais significativo do que em sistemas que possuem abastecimento direto,

como mostrado na figura 3.15, onde Lambert (2001) já havia demonstrado a influência das caixas-d'água nas perdas aparentes, por meio dos dados retirados do International Data Set.

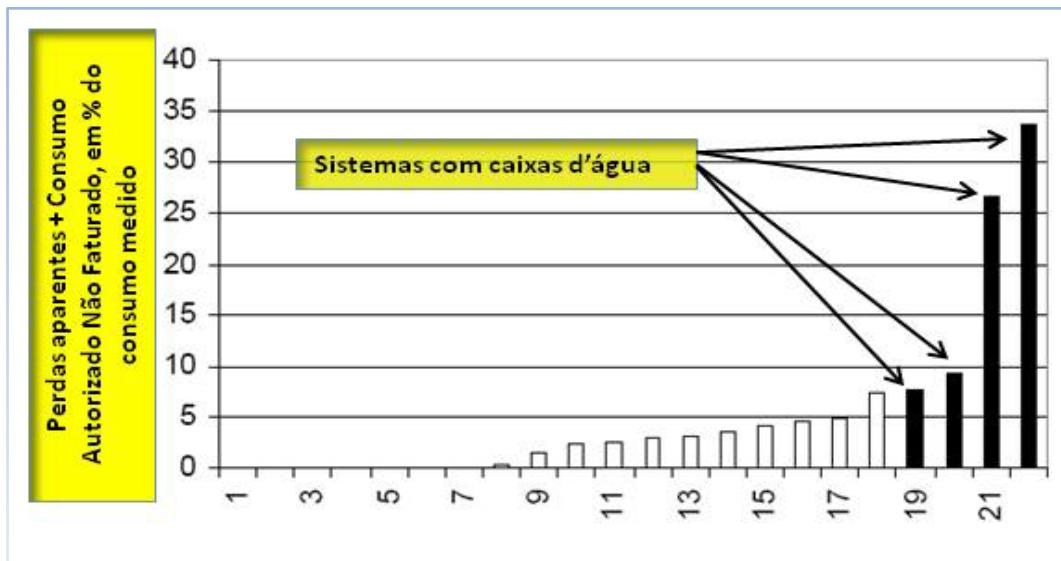


Figura 3.15 – Perdas aparentes e consumo autorizado não faturado, em relação ao consumo medido (Lambert, 2002)

A submedição causada pelo uso das caixas-d'água está relacionada às baixas vazões que ocorrem no final do ciclo de enchimento, devido aos dispositivos usados para controlar o nível desses reservatórios. Para Sanchez *et al.* (2000), se o medidor trabalha sempre em baixas vazões, os valores indicados podem ser bem menores do que os que de fato escoaram, sendo essa uma situação típica de instalações dotadas de caixas-d'água com válvulas tipo bóia, que são válvulas que abrem e fecham automaticamente, de acordo com a combinação entre o nível da caixa e a pressão de entrada, e são as mais utilizadas para esse controle. Quanto maior a superfície da lâmina de água, mais lento é o rebaixamento dessa lâmina com o consumo. Thornton e Rizzo (2002) ao estudar o comportamento das vazões em relação à vazão de início de funcionamento de um hidrômetro, demonstraram que se o nível da caixa sofre um rápido rebaixamento, a posição da bóia fará com que o enchimento do tanque aconteça com vazões mais altas, que acontecerão em “blocos de vazões”, representado na figura 3.16. Porém, se o consumo, mesmo contínuo, não for suficiente para um rebaixamento significativo da lâmina de água, mas suficiente para uma abertura parcial da torneira bóia, a caixa se encherá demoradamente com valores de vazões que podem estar abaixo da vazão mínima do hidrômetro, provocando submedição. É possível também se observar os diferentes comportamentos nos valores de vazão, para os diferentes tipos de abastecimento estudados

por Cobacho *et al.* (2007), na figura 3.17., o que converge com o estudo de Thornton e Rizzo (2002).

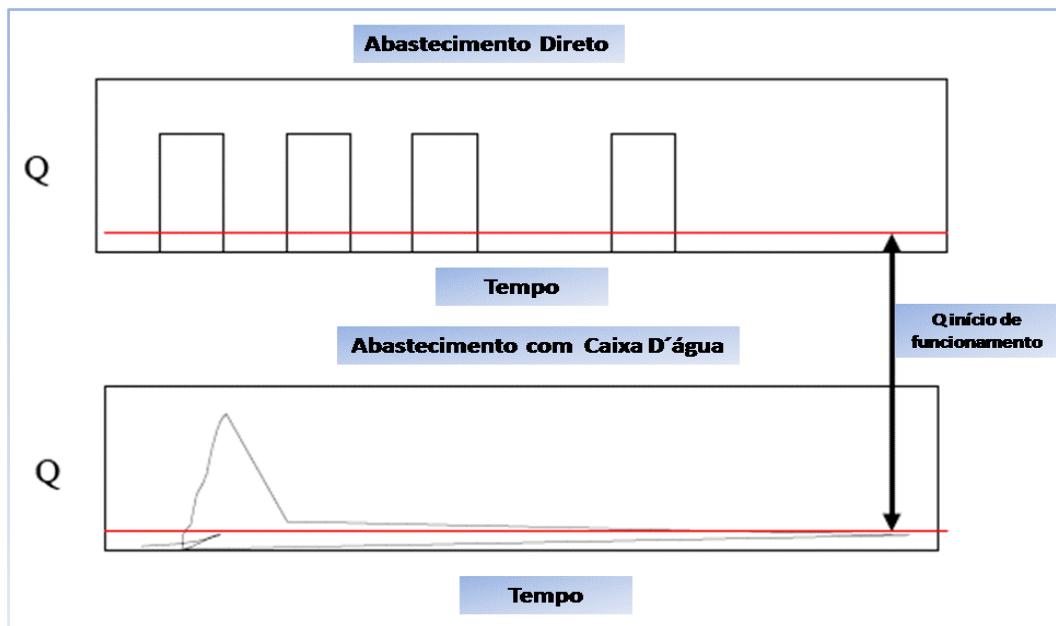


Figura 3.16 – Comportamento das vazões em abastecimento direto e com caixa-d’água
 (Thornton e Rizzo, 2002)

Para Thornton e Rizzo (2002) o abastecimento indireto, ou seja, com o uso de caixa-d'água, é um sistema complexo e o seu estudo requer que as seguintes variáveis sejam consideradas:

- Capacidade do reservatório;
 - Formato e dimensões - a área superficial da lâmina d'água formada;
 - Tipo e idade da torneira bóia utilizada;
 - Condição da instalação da torneira bóia;
 - Pressão da rede de abastecimento;

Rizzo (2005) procedeu ao estudo visando à quantificação da submedição causada pelas válvulas de controle das caixas d'água, do tipo bóia, em sistemas de abastecimento indireto, objetivando verificar a possibilidade de quantificar a submedição com medição e registro com *data logger* na entrada e na saída da caixa d'água, verificar a possibilidade de se eliminar essa perda usando-se outro dispositivo que não seja bóia e estimar quanto dinheiro se perde com essa submedição. Assim, instalaram-se medidores de classe metrológica D ($Q_n = 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$), novos e calibrados, na entrada e na saída de três caixas d'água, associados à *data loggers* programados com intervalos de aquisição a cada 5 minutos e pulsos por $\frac{1}{2}$ litro de água.

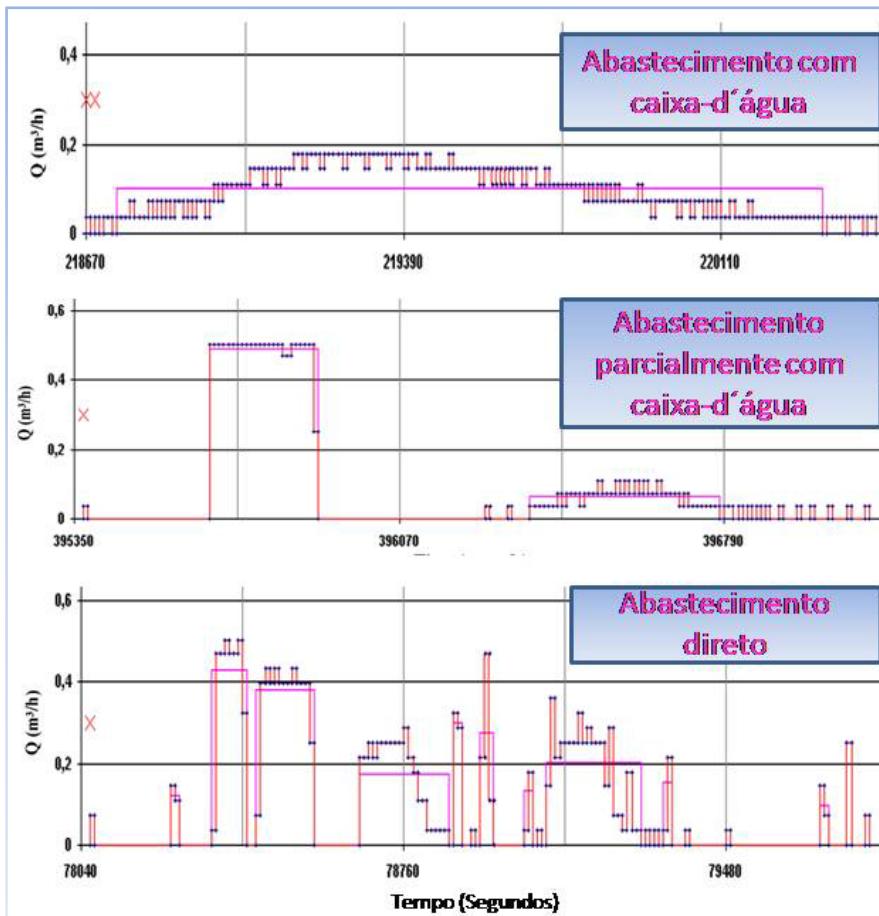


Figura 3.17 - Comportamento das vazões em abastecimento com caixa-d'água, abastecimento misto e sem caixa-d'água (Cobacho et al., 2007)

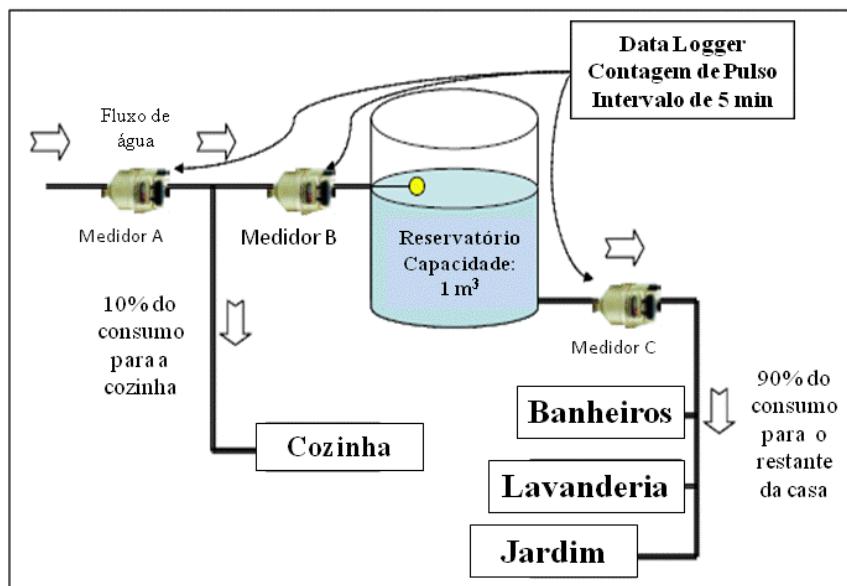


Figura 3.18 – Esquema de instalação dos equipamentos usados para determinar submedição (Rizzo, 2005, modificado)



Figura 3.19 - Disposição da instalação dos medidores e data loggers (Rizzo, 2005)

Os medidores na entrada das caixas apresentaram submedição que variou entre 5% a 9% em relação aos medidores da saída, o que se deve à baixa vazão de entrada na caixa aliada às vazões mais altas na saída para atender à demanda de consumo da residência. Arregui (2007) mostra, no entanto, que a submedição causada por caixas-d'água com bóias comuns pode chegar próximo a 20% para os hidrômetros com tempos funcionamento entre seis e oito anos, podendo chegar a 30% para hidrômetros mais antigos do que isso.

Em seguida, a válvula tipo bóia foi substituída por um sistema de solenóide controlado por um dispositivo capacitivo, mostrado na figura 3.20. Esse sistema só permite a passagem de vazões acima da vazão mínima do medidor. Os valores de vazão registrados na entrada da caixa d'água aumentaram e passaram a coincidir com os de saída, demonstrando que, de fato, o dispositivo tipo bóia provoca submedição. Caso fosse usado um medidor de classe com menor precisão do que o medidor usado, de classe D, provavelmente os valores de submedição observados seriam ainda maiores. Foi também observado que alterações na pressão de abastecimento também afetam os resultados.

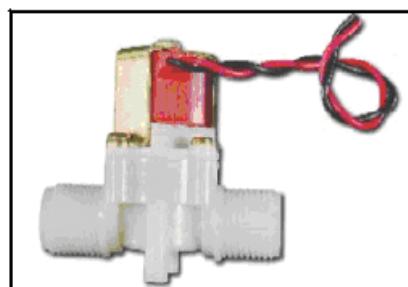


Figura 3.20 - Solenóide usado para controle do nível do reservatório

Os percentuais de submedição variam também dependendo do perfil de consumo, conforme mostra Charalambous et al. (2007). Usando a mesma metodologia de instalação proposta na

figura 3.18, foram monitorados três imóveis com características distintas, no mesmo prédio, sendo uma loja, um escritório e uma residência, abastecidos por caixas d'água separadas, apresentando os resultados conforme tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Comparaçāo de índices de submediāo de acordo com o tipo de uso do imóvel (Charalambous *et al.*, 2007)

Caixa-d'água	Tipo de imóvel	Período de teste: 20/11/2006 – 04/02/2007			
		Volume de entrada (m^3)	Volume de saída (m^3)	Diferença (m^3)	Diferença (%)
1	Escritório	0,9525	1,2080	0,2555	21,15
2	Loja	7,2800	7,5276	0,2476	3,29
3	Residência	20,7740	21,0990	0,3250	1,54

Pode-se observar que a maior submediāo ocorreu onde há o menor consumo e vazões baixas, já que a água no escritório só é usada para descargas sanitárias e lavagens de mãos.

A submediāo não pode ser reduzida a zero, pois isso iria requerer instrumentos de mediāo com 100% de acurácia. Mesmo os hidrômetros volumétricos mais precisos, como os de classe D, chegam a apresentar erros que variam entre 8% e 13% (Lambert, 1997, apud Gonçalves, 1998). No entanto, é possível a adoção de medidas que melhoraram a qualidade da mediāo, principalmente em sistemas em que não se pode abolir o uso de caixas-d'água. Alguns estudos têm demonstrado que o uso de válvulas magnéticas, controladoras de nível, ao invés de torneiras-bóia comuns evita que pequenas vazões no processo de enchimento do reservatório provoquem submediāo; ou a instalação de uma válvula redutora de vazão não medida, *Unmeasured Flow Reducer – UFR*, como mostrado na figura 3.21 b. Trata-se de uma válvula que é instalada próximo ao medidor e funciona por pressão diferencial, fazendo com que a água, em vazões consumidas abaixo da vazão mínima do medidor, passe em “batches” ou pulsos, e eleva a vazão para valores que podem ser medidos com erro menor. (Rizzo, 2007).

Segundo Rizzo, as válvulas magnéticas são de baixo custo, representando uma alternativa para a substituição das torneiras do tipo bóia encontradas no mercado.



Figura 3.21 – (a) Soluções para substituição de torneiras bóia: (b) Válvula magnética (esquerda) e redutor de vazão não medida por pressão diferencial (Rizzo, 2007)

3.3.1.2 Influência das características dos medidores na submedição

Para se resolver o problema da submedição há dois caminhos, segundo Sanchez *et al.* (2000):

- Adequação do tipo de medidor a ser usado, usando-se medidores com maior exatidão em baixas vazões e com vazões menores de início de funcionamento do medidor, ou seja, onde o hidrômetro começa a registrar algum valor, e sugere para isso medidores volumétricos ou de turbina com relojoaria submersa (úmidos), de classe metrológica “C”;
- Estimativa de volume de água não medido, com base nas características de vazão de trabalho do ponto de consumo e conhecimento dos erros de indicação em baixas vazões, o que depende de haver informações disponíveis sobre o sistema. A solução para se estimar o volume submedido é basear-se em dados reais tomados de levantamentos de perfil de consumo e determinação dos erros de indicação dos medidores, por meio da seleção de amostras significativas;

Pereira e Ilha (2006) avaliaram o índice de submedição de água existente em edificações de interesse social na cidade de Campinas. Considerou-se que as causas principais das perdas por submedição é o super dimensionamento dos medidores, aliados ao uso de caixas d’água controladas por bóias que mantém as vazões de entrada abaixo da vazão mínima, ou seja, a menor vazão na qual o hidrômetro fornece dados que não possuam erros superiores aos máximos admissíveis. O trabalho foi realizado em conjunto com a empresa *Sanasa*, de Campinas, tendo definido como área de interesse o bairro denominado Jardim Garcia, que possui aproximadamente 250 imóveis, de onde foi extraída uma amostra de 24 residências

para estudo. A partir da seleção aleatória de residências, foram utilizados medidores padrão do tipo volumétricos, capazes de medir vazões a partir de 2 L/h, com grau de precisão maior do que os instalados, em série com os hidrômetros existentes nas residências. A seguir, houve a substituição dos medidores classe B $\frac{3}{4}''$ e vazão máxima de 3.0 m^3/h , por outros classe B $\frac{3}{4}''$ com vazão máxima de 1.5 m^3/h , e os medidores retirados foram calibrados em bancada para a obtenção dos erros para cada faixa de vazão. Observou-se, com a substituição, que os índices de submedição, de 15,5% para os hidrômetros de maior vazão caíram para 8% com os de menor vazão.

Embora os resultados incentivem a adoção de medidores volumétricos, é necessário, para isso, que se garanta a qualidade da água quanto a materiais que possam travar ou que passa pelo hidrômetro, adotando-se medidas como o sistema de retenção desenvolvido pela Sanasa para manter os medidores volumétricos livres de sólidos, e que pode ser instalado no cavalete, conforme mostra a figura 3.22 a.



Figura 3.22 – (a) Filtro de retenção para prevenção de obstrução no hidrômetro; (b) Obstrução provocada por areia no filtro de um medidor do tipo volumétrico

A perda de exatidão pode ser causada pelo desgaste do hidrômetro, seja pelo tempo de instalação ou por excessivos volumes registrados, fatores que podem estar aliados à qualidade da água, ambiente de instalação, ou posição de montagem que danifica os mancais, bem como a existência de muito ar na rede, provocando aumento na rotação do mecanismo de medição. Freqüentemente a idade do medidor ou o volume por ele escoado é o indicador usado para sua substituição ou verificações programadas (Thornton e Rizzo, 2002). O manual M6 da AWWA, que trata de medidores de água, recomenda que os medidores em serviço sejam testados da seguinte forma, de acordo com o diâmetro e idade:

- 5/8" a 1", a cada dez anos;
- 1" a 4", a cada cinco anos;
- 4" e maiores que 4", todos os anos, já que esses medidores maiores geralmente estão instalados em grandes consumidores e problemas de inexatidão são mais impactantes no faturamento e controle.

Esse fator de inexatidão foi demonstrado no trabalho desenvolvido por Sanchez *et al.* (2000), sobre a submedição causada, em função do tempo de instalação dos hidrômetros, na cidade de Juazeiro, no estado da Bahia. A partir da curva padrão para medidores de classe B, considerando os erros máximos estabelecidos pelo INMETRO, mostra-se que se os medidores trabalharem freqüentemente em vazões baixas, os erros negativos são significativos. As caixas d'água com bóia também são apontadas no estudo como causadoras de submedição. Como formas para gerenciar a submedição, Sanchez *et al.* (2000) recomendam o uso de medidores com maior exatidão em baixas vazões, como medidores volumétricos ou de turbina úmidos, de classe C ou D, advertindo, no entanto, para o problema de que a substituição por classes mais elevadas não resolvem o problema da submedição, pois são mais sensíveis à qualidade da água e desgaste de engrenagens. Além disso, a utilização de medidores classe C ou D, apesar de mais caros, não teria impacto no faturamento, considerando-se os consumidores que pagam tarifa mínima. O trabalho de Sanchez *et al.* (2000) apresenta uma metodologia em que as etapas de realização têm grande importância para a quantificação de perdas provocadas por submedição, uma vez que é necessário que se conheça bem as características do sistema em estudo. Como pode ser visto em Costa (1999), o uso de perfil de consumo de uma região, por exemplo, não é necessariamente aplicável a outra. Simplificadamente, as etapas seguidas por Sanchez *et al.* (2000) foram:

- Seleção de setores piloto para estudo e análise cadastral, com as proporções de tempo de instalação dos medidores e faixas de consumo mensais;
- Determinação da curva de erros média dos hidrômetros utilizados, estratificados por faixa de consumo;
- Determinação do perfil de consumo típico dos consumidores residenciais do setor estudado (volume consumido em cada faixa de vazão), com o uso de *data loggers*;

- Cruzamento dos volumes consumidos com os erros esperados de indicação para o medidor instalado, determinando-se a porcentagem de volume não medido para cada categoria de tempo de instalação do medidor;
- Determinação a partir da aplicação da curva tarifária, do município, da perda de receita e retorno do investimento na substituição dos hidrômetros.

Os resultados obtidos, mostrados na tabela 3.10, indicam que os índices de submedição maiores ocorrem na faixa de menor consumo, ou seja, até $5 \text{ m}^3/\text{mês}$, em que, segundo dados do mesmo trabalho, 60% do abastecimento permanece em vazões próximas à vazão mínima do medidor, variando de zero a 40 litros por hora. Em 98% do volume nessa faixa de consumo, a vazão registrada fica próxima à vazão de transição de um hidrômetro classe B de Q_n igual a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Para as outras faixas de vazão, os percentuais de volume consumidos em vazões inferiores a 150 L/h são significativos e pode-se observar que influenciam diretamente os índices de submedição.

Tabela 3.10 - Índices de submedição (%), considerando-se categorias de consumo estratificadas (Sanchez et al., 2000, modificado)

Tempo de instalação (anos)	Consumo mensal (m^3)				
	Mínimo 5	Entre 8 e 17	Entre 17 e 24	Entre 47 e 56	Máximo 75
Medidores novos	37,5	9,5	5,2	3,2	1,2
0 a 5	62,5	28,6	23,0	15,2	5,9
5 a 10	65,6	31,8	25,7	17,2	4,7
Acima de 10	54,0	15,5	15,5	9,5	0,3

A conclusão do trabalho de Sanchez et al. (2000) leva à recomendação de substituição de hidrômetros de consumidores acima de $40 \text{ m}^3/\text{mês}$, a cada cinco anos. Para consumidores abaixo dessa faixa, não é economicamente interessante a substituição antes que apresentem algum defeito. Para consumidores que pagam taxa fixa, abaixo de $10 \text{ m}^3/\text{mês}$, não é interessante, do ponto de vista econômico, a instalação de hidrômetro, que levaria até 40,5 meses para retorno do investimento, sendo que a instalação apenas se justificaria para controle de desperdício. Um aspecto interessante do trabalho foi a verificação de que os hidrômetros com mais de 10 anos de uso apresentavam curvas médias de erro melhores que de medidores

mais novos, o que foi atribuído ao fato dos medidores com defeito serem trocados sistematicamente, logo restando instalados apenas o que apresentam melhor resistência, embora os resultados não possam ser generalizados. Outro fator que poderia levar a esse resultado seria o caso de haver calibrações e manutenções nos medidores com idade acima de cinco anos, como recomenda a Portaria 246 de 2000, do INMETRO. Observou-se ainda que cerca de 8% da vazão distribuída seria perdida ainda que fosse feita a adequação dos hidrômetros. Esse mesmo valor foi apresentado pela Sanasa, sendo esse volume o que ocorre em vazões abaixo do inicio de funcionamento dos medidores. Sanchez et al. (2000) indicam que os medidores mais adequados para instalação, para consumidores na faixa de 10 a 20 m³/mês são os de 0,75 m³/h, classe metrológica A ou B ou 1,5 m³/h de classe metrológica B, sendo que o último é também o mais adequado para consumidores acima de 20 m³/h.

Outros trabalhos que demonstram a necessidade de se estabelecer critérios para substituição dos hidrômetros foram desenvolvidos por Taborda (1998) e Davis (2005).

Taborda (1998) realizou um controle estatístico para conhecer o comportamento dos medidores instalados, em função do tempo de instalação, e para tentar conhecer o tempo de substituição, visando a reduzir a submedição. Segundo ele, a submedição diz respeito à inexatidão dos medidores em geral e aos efeitos de manutenção deficiente, mas também aos vazamentos nas redes domiciliares, que freqüentemente provocam vazões inferiores à vazão mínima do medidor, no qual um vazamento com vazão de cinco a oito litros por hora não será registrada em um medidor classe B, mas representará, anualmente, mais de quarenta metros cúbicos de perda por medidor.

Ao levantar o perfil de consumo em trinta usuários, Taborda (1998) monitorou com *data loggers* o consumo semanal, durante as 24 horas do dia. Verificou que, para 85% dos consumidores, os domésticos, que as vazões mais significativas estão na faixa de 100 L/h a 600 L/h, representando 55 a 60% do consumo, embora essas vazões permaneçam no máximo 2,5% do tempo real de consumo, enquanto que em cerca de 90% do tempo permanecem as vazões inferiores a 15 L/h, equivalentes a 10% do consumo total.

Taborda (1998) selecionou 2800 amostras e agrupou-as em modelos e grupos etários, e pôde demonstrar que a perda de exatidão dos medidores se dá com o tempo de uso. Ao proceder ao cálculo da submedição, com base nos erros de medição encontrados nos ensaios e nos perfis

de consumo levantados, Taborda estabeleceu um erro médio ponderado. A figura 3.23 apresenta a evolução dos índices de submedição considerando a combinação entre o tempo de instalação dos medidores e o consumo mensal. Os resultados levaram à conclusão que a substituição dos hidrômetros residenciais, independente do consumo, e dos não-domésticos com consumos de até $29 \text{ m}^3/\text{mês}$, deve ser feita a cada cinco anos, enquanto que para os hidrômetros não domésticos, com consumo acima de $29 \text{ m}^3/\text{mês}$ o prazo de substituição deve ser de três anos.

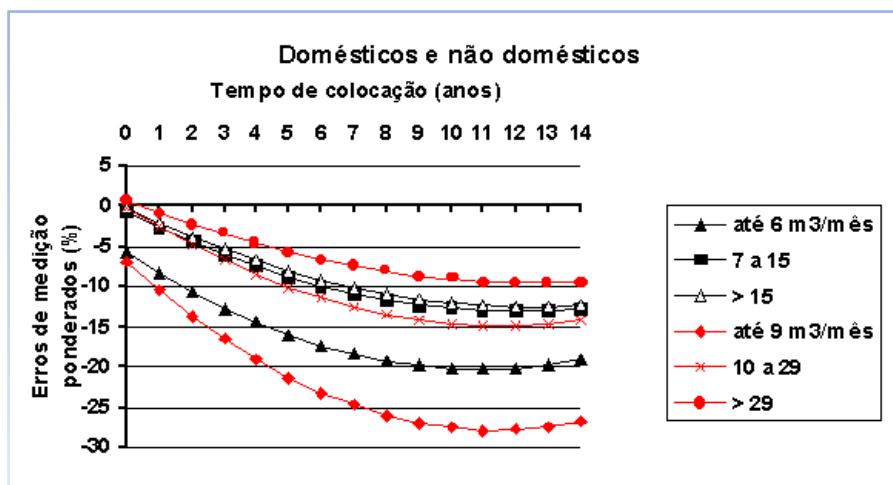


Figura 3.23 – Evolução da submedição por grupos etários

O desgaste provocado pelo tempo de uso também pode ser visto no trabalho de Sanchez (2000), em que os hidrômetros comparados apresentavam tempo de uso que variava entre hidrômetros novos e com mais de dez anos, aqui o desgaste e consequente perda de exatidão foi verificado em medidores com mesma idade, mesmo fabricante, porém com volumes de medição acumulados diferentes. Os medidores estudados foram colocados em operação em 1993. Foram retirados 132 medidores ao longo de um ano, agrupados por volume acumulado. Eles foram testados em bancada em três faixas de vazão: 0.94 L/min, 7,51 L/min e 56,37 L/min. Os valores de erros encontrados foram plotados contra a curva de erros do fabricante, para cada faixa de vazão considerada, podendo-se verificar que a perda de exatidão vai aumentando conforme o volume acumulado aumenta. O estudo mudou a política de substituição de hidrômetros na cidade onde foi realizado o estudo, sendo que acontecia a cada 10 anos, e agora é feito por volume acumulado.

A qualidade da água pode afetar sensivelmente os medidores, sejam eles volumétricos ou velocimétricos, caso haja partículas que se depositem no mecanismo de medição do hidrômetro e sólidos em suspensão na água. Os efeitos variam de acordo com o modelo e tipo de medidor. No caso de deposição, inicialmente a maioria dos medidores tendem a indicar sobremedição em médias e altas vazões e submedições em baixas vazões. Com o aumento de material depositado, cria-se resistência ao movimento das engrenagens, e todas as vazões podem passar a ser submedidas. Mello (2000) observou que a deposição de um micro-pó nos hidrômetros utilizados em sua pesquisa, provocou a sobremedição registrada durante o levantamento da curva de erros dos hidrômetros usados no experimento. Após a lavagem das partes internas dos hidrômetros e remoção da camada aderida, novas curvas de erros foram levantadas e mostraram que a medição voltou aos padrões normais, conforme pode ser comparado na figura 3.24, mantendo apenas a submedição, com algumas alterações, provocada pela inclinação dos hidrômetros.

No caso dos medidores volumétricos, pode haver obstrução do filtro interno, como mostra a figura 3.22(b), o que prejudicará muito a medição, além de uma possível obstrução e travamento do hidrômetro.

A figura 3.24 mostra também o efeito causado pela inclinação dos hidrômetros, já que o experimento realizado por Mello (2000) teve o como objetivo observar o comportamento de medidores do tipo unijato e multijato, de classe metrológica A e B, para vazões nominais de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ e fabricantes diferentes, ao trabalharem inclinados. A inclinação dos hidrômetros provoca uma perda de sensibilidade para baixas vazões, afetando o início de funcionamento do hidrômetro, como pode ser visto na figura 3.24, o que pode causar grande submedição, dependendo das características do abastecimento. Na pesquisa, Mello (2000) observou uma variação no índice de submedição entre 10% e 20%, de acordo com a inclinação provocada no hidrômetro.

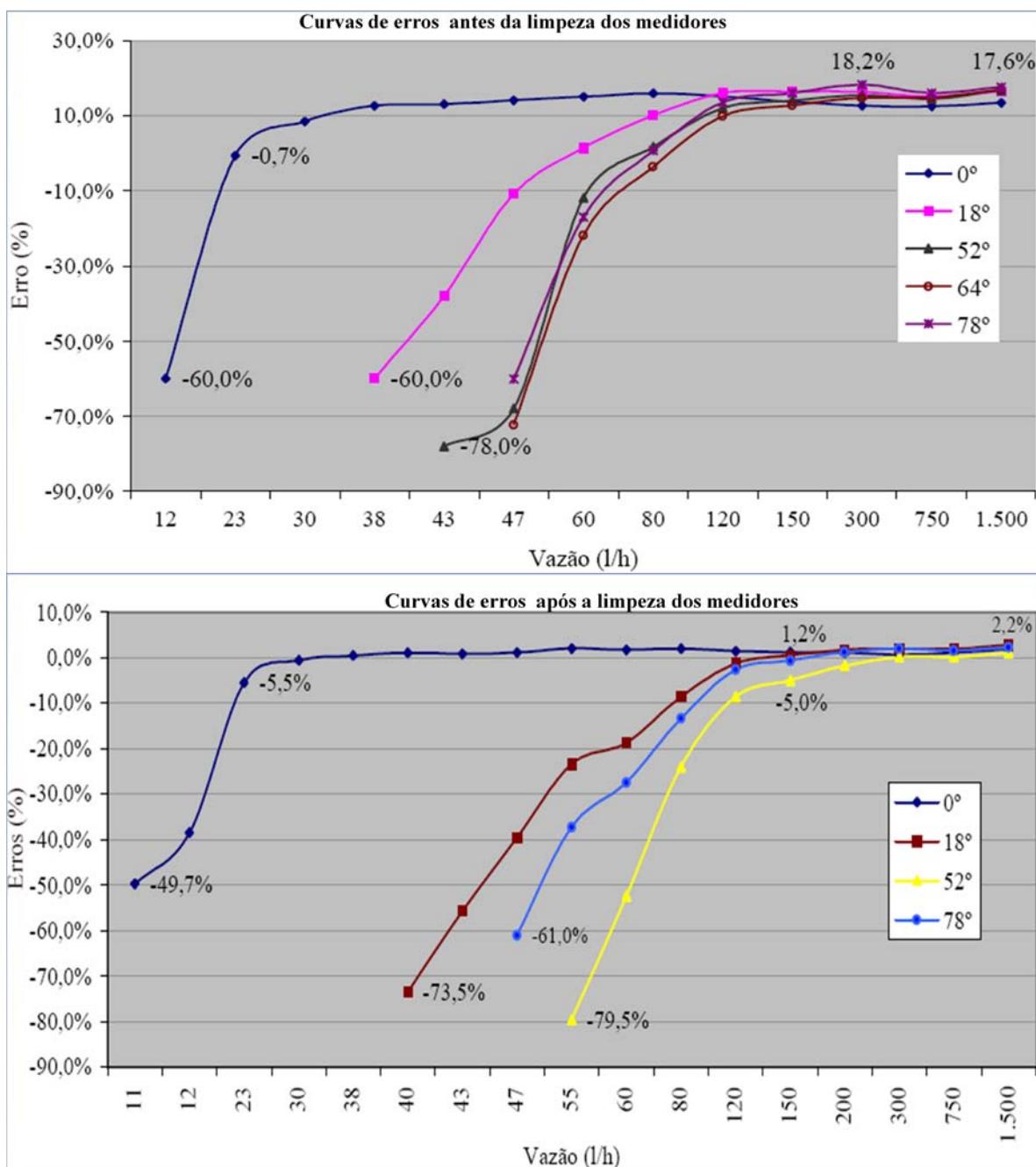


Figura 3.24 – Curvas de erros dos medidores nas posições de operação (Mello, 2000)

A posição de montagem dos medidores pode afetar muito o seu desempenho e reduzir sua vida útil, uma vez que alguns medidores são fabricados para operar apenas na posição vertical. Além disso, a existência de curvas ou outras conexões que provoquem turbulências no fluxo de água, a montante do medidor, também poderá afetar seu funcionamento, devendo-se sempre garantir uma distância que mantenha um nível de turbulência que não afete o funcionamento do medidor (Rizzo et al., 2004).

Arregui (2005) demonstrou que posição de montagem incorreta aumenta a fricção nas partes móveis do medidor, reduzindo sua vida útil e afetando a medição principalmente em baixas vazões. Dependendo do padrão de consumo, a perda de volume contabilizado pode variar entre 1% e 4%. Como exemplo, o erro causado na montagem a 45° de medidores de classe B e C, em vazão de 22.5 L/h, comparado com a medição dos medidores na posição correta, são mostrados na tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Perda de exatidão em medidores domésticos por inclinação (Arregui, 2005, modificado)

Montagem	Modelo 1 Classe C	Modelo 2 Classe B	Modelo 3 Classe B	Modelo 4 Classe C	Modelo 5 Classe C
Horizontal	1,5%	-0,6%	-5,7%	0,3%	0,2%
45°	-2,9%	-10,1%	-37,9%	-2,6%	-4,5%
Diferença	4,4%	9,5%	32,2%	-2,9%	4,7%

Alves *et al.* (2004) afirmam que os medidores de turbina tem seu funcionamento prejudicado quando trabalham inclinados, e os que são preparados para funcionar na posição vertical não estão normalizados. Assim, apenas os medidores volumétricos são indicados para esta finalidade, enquanto os hidrômetros com totalizadores inclinados têm sido considerados boa ferramenta contra a submedição, por evitarem que os leituras inclinem os hidrômetros para facilitar a leitura.

O padrão de consumo versus o dimensionamento do hidrômetro são comparações essenciais para se garantir uma boa medição. Contudo, muitas companhias quando fazem a aquisição de hidrômetros para um novo bairro, ainda não tem como prever as características dos imóveis que serão edificados, não sendo possível se levar em consideração características importantes como o tipo de abastecimento (direto ou indireto), tipos de descargas utilizadas, número de moradores, dentre outras. Além disso, sabe-se que, na prática, não é possível fazer esse levantamento para todas as unidades consumidoras, então se faz o levantamento por amostragem ou estima-se o consumo. Segundo Arregui (2005), a medição será ruim desde o primeiro dia, independente da qualidade metrológica do hidrômetro usado, caso esse tenha sido mal dimensionado. Esse fator provoca desde submedição, no caso de medidores maiores que o necessário, até o desgaste acelerado quando subdimensionado. A submedição causada

por um hidrômetro mal dimensionado é ilustrada na figura 3.25, em que um medidor tipo Woltmann de 50 mm, classe B, foi instalado em um grande consumidor, onde outro, de 40 mm, classe C, seria mais adequado, devido ao reservatório instalado pelo consumidor e demais mecanismos de controle de fluxo. Segundo o autor, como as vazões registradas ficaram abaixo de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ na maioria do tempo, ou seja, em apenas 0,16% do tempo superaram essa vazão, vale a pena ser usado, nesse caso, um medidor de 30 mm com vazão nominal de $5 \text{ m}^3/\text{h}$.

O mau dimensionamento dos hidrômetros, segundo Thornton (1998), fará inevitavelmente com que o hidrômetro trabalhe submedindo ou que apresente defeitos e fique fora de operação muito rápido, se for superdimensionado.

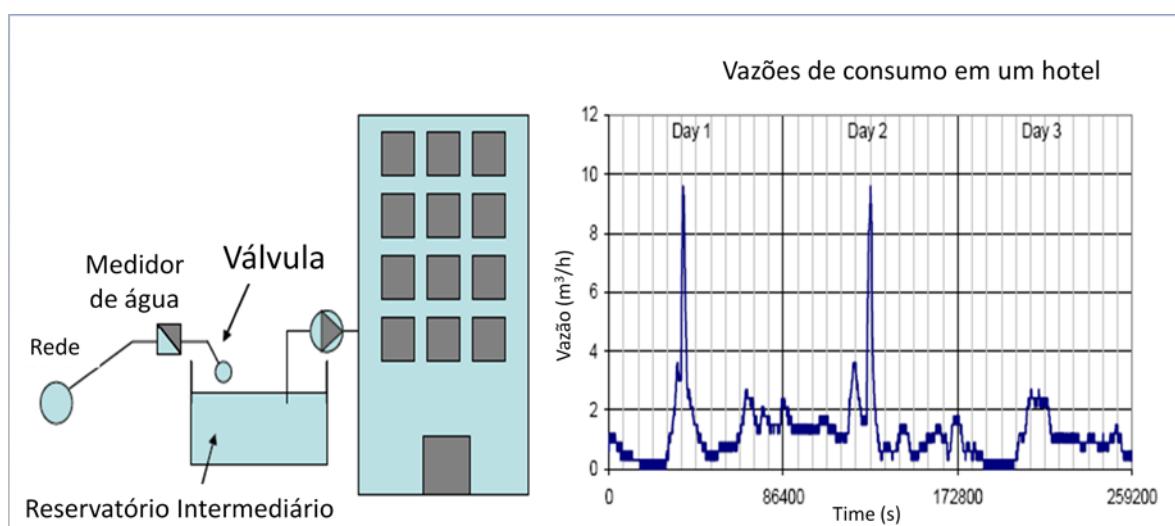


Figura 3.25 - Vazão amortecida pelo reservatório intermediário (Arregui, 2005)

Outro grande desafio que se apresenta atualmente é a correta estimativa das perdas por submedição. Miranda (2005) chama a atenção para a necessidade da padronização de indicadores, com a uniformização de termos e siglas, com uma metodologia simplificada para cálculos de erros prováveis nos fatores envolvidos no gerenciamento de perdas. No caso de hidrômetros, os itens selecionados para análise são o volume de água consumido medido, as características dos hidrômetros e condições de instalação, operação, manutenção e leitura. O trabalho lança luz sobre a necessidade de definição de critérios para estimação de volumes não medidos, bem como caracteriza o que é “erro”. Assim, considera que “erro” está relacionado aos erros de medição e do medidor, bem como os erros provenientes do sistema comercial. A relevância do trabalho de Miranda (2005) está em discutir a importância dos

indicadores e sua confiabilidade, sendo que, no caso da micromedicação, os volumes submedidos ou não medidos devem ser estimados e, portanto, necessitam de critérios claros e base de dados confiáveis para que possam ser corretamente representados no cálculo de perdas.

A estimativa dos valores submedidos e a estimativa dos erros envolvidos motivaram o trabalho de Costa *et al.* (1999), em que também se avaliou a submedição de hidrômetros de um setor de Mauá, objetivando a estimativa de um fator de submedição e discussão da aplicabilidade da metodologia e dos resultados a outras áreas de abastecimento. Para isto, foram escolhidas duas vertentes de trabalho:

- Comparação de volumes micromedidos com macromedidos, com posterior substituição dos hidrômetros, de varias idades, marcas e classes metrológicas para comparação dos resultados;
- Calibração de uma amostra dos medidores retirados, para estimativa do volume submedido.

Isolou-se o sistema de abastecimento para estudo e manteve-se apenas uma entrada, onde se instalou um macromedidor, visando à comparação do valor macromedido e do micromedido, supondo-se que a diferença entre os dois valores seria o volume submedido. Verificou-se que nos pontos de consumo os hidrômetros trabalhavam um tempo considerável em vazões abaixo da vazão mínima, além de que todos possuíam reservatório com caixa d'água. Também se controlou a pressão no sistema por cinco dias. No entanto, a falta de levantamento do perfil de vazão dos consumidores onde o trabalho foi realizado, afetou os resultados, pois se utilizou dados de outra pesquisa, feita em um sistema sem intermitência. Os hidrômetros coletados para teste eram do tipo monojato, com tempo de instalação inferior a 10 anos, e medidores multijato, com mais de 18 anos. Os medidores monojato forneceram indicações de vazões com erros dentro dos padrões esperados, enquanto os multijato apresentaram erros elevados, indicando submedição em vazões baixas e sobremedição em vazões intermediárias.

Costa *et al.* (1999) afirmam que a intermitência influencia diretamente na análise de submedição, tanto de macro quanto de micromedidores, já que ao final, os valores encontrados mostraram o valor micromedido maior que o macromedido. Recomendam que algumas medidas sejam tomadas para a confiabilidade dos resultados, como a instalação de

macromedidor previamente calibrado, dotados de registradores contínuos de pressão e vazão, principalmente para se controlar o abastecimento no período noturno; levantamento do perfil de consumo (volume consumido por faixa de vazão) dos pontos de consumo do sistema; retiro e calibração dos medidores novos instalados no sistema; realização dos testes em área livre de intermitência.

4 - METODOLOGIA

Partindo-se do pressuposto de que a existência de caixas-d'água com suas respectivas torneiras-bóia podem influenciar na submedição, a etapa experimental deste trabalho objetivou obter as informações listadas abaixo, para levantamento das equações que, combinadas, permitam estimar a submedição causada pelo uso de caixas-d'água controladas por torneiras tipo bóia.

- Variação do consumo ao longo do dia nas residências em estudo ($Q \times t$);
- Curva de Vazão x erro no hidrômetro usado nos domicílios selecionados (Erro x Q);
- Curva de nível da água no reservatório x vazão das bóias selecionadas para teste ($\Delta h \times Q$);
- Variação do nível em função do volume consumido do reservatório ($\Delta h \times V$).

A curva de vazão das bóias não é um dado fornecido pelos fabricantes, sendo que a vazão varia de acordo com a pressão de entrada e com o nível do reservatório que, por sua vez, varia com a vazão de saída (consumo). Assim, as vazões de entrada e saída no reservatório controlado por torneiras do tipo bóia, durante um determinado intervalo de tempo, não são iguais. A vazão que o hidrômetro registra é a vazão de entrada no reservatório, que dependendo da altura do nível da água no reservatório, estará abaixo dos valores de vazão mínima registrada pelo hidrômetro, ainda que o consumo, ou seja, a vazão que está saindo do reservatório esteja em faixas de vazão que o hidrômetro registraria com erros admissíveis.

Para a pesquisa de submedição em hidrômetros, provocada por torneiras do tipo bóia em reservatórios, o trabalho foi realizado em três etapas:

- Determinação da curva de funcionamento das bóias, por meio de um aparato em que, variando-se a pressão e realizando-se operações de abertura e fechamento das bóias, foi possível simular o enchimento e esvaziamento de uma caixa-d'água, seguindo os passos seguintes:
 - Projeto do aparato confeccionado para o teste das bóias;
 - Aquisição de material, equipamentos e confecção do aparato para os testes com as bóias;
 - Preparação do local, instalação e ajustes do modelo usado para os testes das bóias;

- Realização dos testes com as bóias;
- Estudo do perfil de consumo, a partir de instalação de equipamentos eletrônicos e hidrômetros mais precisos do que os usados pela companhia de saneamento local, em quatro residências selecionadas para a pesquisa, para o qual se realizou as seguintes atividades:
 - Escolha e caracterização da área para realização do estudo;
 - Escolha do método e equipamentos a serem utilizados;
 - Instalação dos equipamentos e monitoramento de vazão e pressão, para levantamento das curvas de consumo nas residências;
 - Aferição dos hidrômetros usados nos testes;
- Análise e cruzamento dos dados obtidos nas etapas anteriores, para obtenção dos valores de submedição.

4.1 LEVANTAMENTO DO PERFIL DE CONSUMO DOS DOMICÍLIOS

Os valores de pressão e vazão foram registrados em quatro residências em que o consumo médio varia entre 13 e 24 m³/mês, portanto dentro de uma faixa em que está o maior número de consumidores. A proposta original previa fazer o levantamento do perfil de consumo em residências providas por caixas-d'água, monitorando-se a entrada e a saída, e assim poderia ser observada a perda causada pela bóia utilizada. No entanto, a metodologia foi alterada, e optou-se por fazer o experimento em residências que não possuem caixa-d'água instalada, devido principalmente à dificuldade de instalação de hidrômetros nas saídas dos reservatórios, causada pelos seguintes fatores:

- A maioria das residências possui válvulas de descargas, com as saídas das caixas-d'água dimensionadas para 1" até 2" de diâmetro, enquanto os hidrômetros utilizados para o experimento são de ¾". A redução na saída da caixa impediria o funcionamento correto das válvulas;
- Reservatórios em pontos inacessíveis para instalação, apoiados sobre forros de gesso ou de madeira;

- Reservatórios antigos de amianto, com várias saídas, sendo que estas nem sempre de diâmetros iguais;
- Reservatórios que abastecem apenas uma parte da residência, sendo uma parte do consumo realizado por abastecimento direto.

As residências selecionadas para o trabalho possuem características construtivas semelhantes, porém com variação no número de ocupantes e hábitos de consumo, conforme informações mostradas na tabela 4.1. Em todos os domicílios, os hidrômetros que estavam instalados são velocimétricos, classe metrológica B e com mais de quatro anos de uso.

Tabela 4.1 – Dados sobre as residências selecionadas para o levantamento do perfil de consumo

Endereço	Hidrômetro			Nº de moradores	Consumo médio (m ³)
	Nº de série/Marca	Qmáx (m ³)	Instalação		
QE 44 Casa 07	Y03N769381 Elster	1,5	09/11/04	4	13
QE 44 Casa 08	A04F034889 Delta	3,0	03/09/04	7	13
QI 01 Casa 65	A03N641125 Elster	3,0	13/01/04	6	24
QI 01 Casa 85	A00N333362 ABB	3,0	05/09/00	2	21

A ocupação das residências varia durante os períodos do dia, o que influencia o perfil de consumo. Para se obter essa informação, uma planilha com o número de ocupantes foi preenchida pelo usuário em cada residência, nos períodos da manhã, tarde e noite.

A instalação dos equipamentos foi feita utilizando-se um sistema de mangueiras flexíveis conectadas ao cavalete, para permitir retornar o hidrômetro original ao final do registro dos dados, evitando que se fizesse alteração ou causasse danos à instalação do usuário, além de não se prejudicar a medição cobrança pela companhia de saneamento, seguindo arranjo utilizado por Sanchez *et al.* (2000).

Tabela 4.2 – Quantidade de pessoas/residência/periodo do dia

Endereço/Data Instalação	Quantidade de pessoas na residência/periodo																							
	1º dia			2º dia			3º dia			4º dia			5º dia			6º dia			7º dia			8º dia		
	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N
QE 44 Casa 08 (18/04 a 25/04/08)		1	6	4	7	7	7	3	7	3	0	7	3	1	7	3	0	7	3	0	7	3	1	
QE 44 Casa 07 (18/04 a 25/04/08)		2	4	4	4	6	5	5	5	3	2	5	3	2	5	3	2	5	3	1	5	3	2	
QI 01 Casa 65 (20/05 a 22/05/08)		2	4	2	2	4	2	2		1	1	1	1	1	3	3	3	3	1	1	1			
QI 01 CJ D C 85 (20/05 a 26/05/08)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	1	1	1			

Os hidrômetros utilizados para medição do consumo são volumétricos, com vazão nominal igual a 1,5 m³/h, classe C, sem saída pulsada e um sensor externo (figura 4.1) para conexão ao *data logger*. Foram instalados em série com os hidrômetros velocimétricos já existentes nas residências.



Figura 4.1 - Hidrômetro volumétrico com sensor (Sensus, 2008)

Os equipamentos foram instalados e operados por períodos de três a sete dias consecutivos, o que dependeu fundamentalmente da disposição do usuário em permanecer com a vazão de entrada reduzida, em função da válvula reguladora de pressão (VRP), instalada com o intuito de minimizar as oscilações da pressão da rede de abastecimento, que, mesmo durante o dia são altas e variam muito, ultrapassando 50 mca em algumas das casas. Instalou-se a válvula redutora antes dos hidrômetros. Ajustou-se a pressão para valores em torno de 10 mca, sendo esse o valor mais baixo que atendeu às necessidades dos moradores, por eles estarem habituados a pressões maiores. Regular a válvula para um valor menor de pressão do que a pressão da rede teve como objetivo se aproximar da condição em que há o abastecimento por caixas-d'água, ou seja, em que a pressão na saída de um reservatório, no tipo de domicílios

estudados, não passaria de 4 mca e sofreria apenas as variações provocadas pela variação do nível do reservatório e por transientes. Para assegurar que uma condição de pressão estabilizada foi mantida, a pressão foi registrada com um *data logger* durante o período de teste.



Figura 4.2– Instalação dos equipamentos para registro de vazão e pressão (1 = VRP; 2 = Hidrômetro volumétrico; 3 = Hidrômetro velocimétrico original; 4 = Caixa contendo o data logger de vazão e o de pressão e baterias auxiliares; 5 = mangueira flexível)

O armazenamento dos dados de vazão foi feito por um *data logger*, acoplado ao hidrômetro volumétrico, com intervalos de aquisição do dado de vazão a cada vinte segundos, e registro de um pulso por litro.

4.2 LEVANTAMENTO DA CURVA DA TORNEIRA BÓIA

O levantamento da curva de vazão das torneiras tipo bóia requer que se faça a variação do nível da água no reservatório, com a torneira submetida a pressões conhecidas e razoavelmente estáveis. Como há grande variedade de bóias no mercado, com características diferentes, verificou-se que as bóias mais comercializadas, segundo dados de alguns revendedores de Brasília, são as bóias das marcas aqui denominadas A e B. Outras marcas de menor custo, por sofrerem danos mais rapidamente, não são muito utilizadas. Nos revendedores de material hidráulico do Distrito Federal, há disponíveis bóias chamadas de *bóias de vazão total*, mas por custarem aproximadamente o dobro do valor cobrado para as bóias das marcas A e B, não são comumente instaladas em residências de padrão semelhante

às que foram selecionadas neste trabalho. Optou-se por testar as bóias constantes da tabela 4.3, nos diâmetros $\frac{1}{2}$ " e $\frac{3}{4}$ ".

Tabela 4.3 – Características e denominação das bóias utilizadas no experimento

Bóia	Marca	Diâmetro
1	A	1/2
2		3/4
3	B	1/2
4		3/4

O levantamento das curvas das bóias realizado (Vazão x altura da bóia), para cumprir o objetivo proposto neste experimento, requer condições de vazão e pressão controladas, pois as oscilações de pressão a montante da bóia causam alterações na vazão de saída dessa bóia. Os primeiros ajustes no aparato experimental aconteceram no laboratório de hidráulica da Universidade de Brasília. O fato de não haver controle da pressão da água no laboratório, que não ultrapassa 40 mca e sofre muita oscilação, além de que a vazão no ponto disponível para alimentação do aparato experimental não alcança a vazão máxima que a bóia pode fornecer, tornou necessário concluir o ajuste do experimento em outro local. O equipamento foi instalado na área da Elevatória de água bruta do Torto, vista na figura 4.13, onde efetivamente os ensaios das bóias ocorreram.

Foi feita uma derivação na adutora de recalque, utilizando-se aproximadamente cem metros de mangueira até o local. Utilizou-se duas válvulas redutoras de pressão (VRP), conforme figura 4.3. A primeira foi usada para reduzir a pressão de 160 mca na saída da derivação, no intuito de se evitar rompimentos na mangueira e conexões durante os testes, além de facilitar o ajuste das pressões na segunda VRP, instalada junto à caixa e usada para o controle das pressões definidas para cada teste. Para os testes com pressões de 50, 40 e 30 mca, a primeira VRP foi regulada para 80 mca. Para os testes de 23 e 17 mca, embora as VRPs usadas devessem suportar a redução da pressão de 160 mca para pressões muito baixas, o ajuste para essas pressões de teste não era conseguido facilmente, sendo que, nessas condições de pressão, uma redução ainda maior, de 160 para 60 mca, foi feita na válvula instalada junto à derivação.

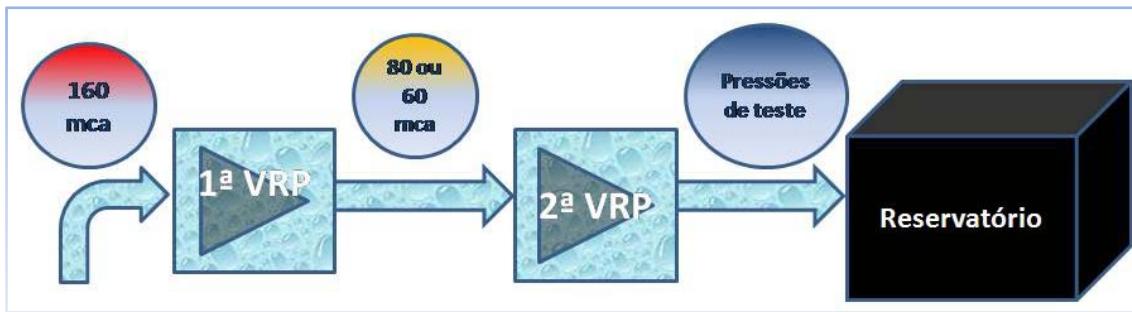


Figura 4.3– Configuração das VRPs utilizadas

Para o experimento, foi construída uma caixa em chapa de aço 18, com as seguintes dimensões: Largura: 0,70 m, Comprimento: 0,50 m, Altura: 0,50 m. Essas dimensões foram o tamanho mínimo necessário para comportar a bôia de maior comprimento de haste e permitir a instalação de todos os itens necessários ao experimento.

A caixa foi dotada de um vertedor retangular, para que o nível da água fosse mantido constante. Foi instalado um mecanismo móvel para permitir a movimentação ascendente e descendente da bôia, acoplada a um paquímetro digital (figura 4.4), possibilitando que fossem medidos deslocamentos de até 0,5 mm. Esse procedimento visa a simular o enchimento e esvaziamento da caixa d'água, invertendo-se a situação real, ou seja, ao invés da variação do nível da água, realizou-se a variação da altura da bôia.

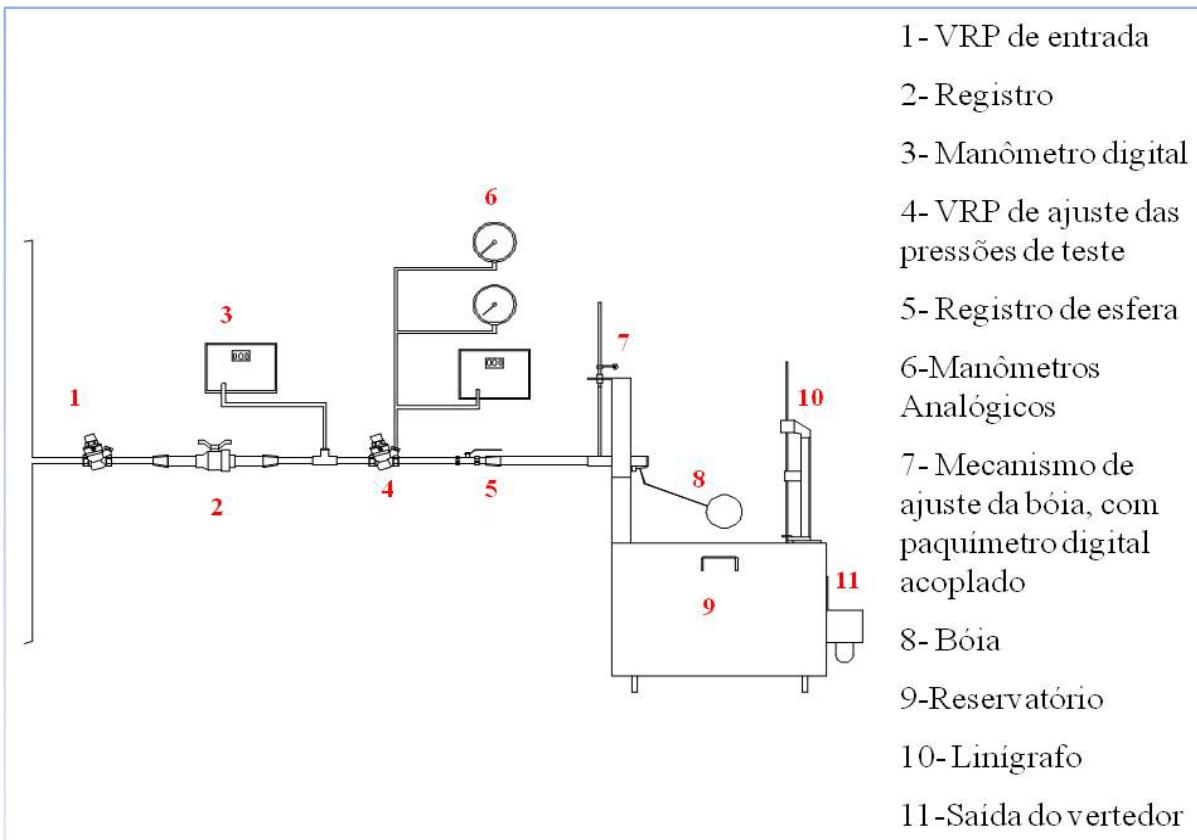


Figura 4.4 – Esquema da montagem do aparato experimental



Figura 4.5 – Vista geral da montagem do experimento

Foi construído um tubo coletor na caixa, na saída do vertedor, como é mostrado na figura 4.4, para medir a vazão, com o uso de provetas e baldes e com o auxílio de um cronômetro. Para

vazões muito baixas, foram utilizadas provetas de 50 mL, cortadas e com um funil adaptado, para a coleta da água direto da saída da bóia. Para vazões maiores, utilizaram-se provetas de 500 mL e 1000 mL, e ainda um balde com capacidade para oito litros. O balde utilizado tem graduação para leitura de volume e foi aferido.

A lâmina formada sobre o vertedor foi medida com o uso de um linígrafo, conforme mostra o esquema da figura 4.4. O linígrafo era ajustado, a cada troca de bóia, para a medição com o nível da água no limiar de extravasamento, e sem que a bóia estivesse imersa ou tocando a água.

As pressões a montante da bóia foram ajustadas usando-se uma válvula reguladora de pressão, para que a bóia fosse testada com vários valores de pressão. Foram realizados testes com pressões de 50, 40, 30, 23 e 17 mca, para cada uma das bóias ensaiadas. A válvula reguladora teve que ser substituída três vezes durante o período do experimento, por desgaste no mecanismo de regulagem da pressão, que não suportava os ajustes constantes.



Figura 4.6 – Paquímetro digital acoplado ao mecanismo de deslocamento da bóia

Instalou-se ainda manômetros analógicos e digitais, de forma redundante. Para o registro das pressões durante os testes, era considerada a pressão registrada pelo manômetro digital, tendo em vista que a precisão do digital é melhor e possibilita a leitura de pequenas variações de pressão. Contudo, foram instalados manômetros analógicos visando garantir que as variações

que de fato ocorressem pudessem ser mais facilmente percebidas e também verificar possíveis falhas de funcionamento do equipamento digital, como descarga de bateria, por exemplo. Um manômetro analógico de maior precisão e calibrado também foi instalado várias vezes durante o experimento, para manter a confiabilidade no funcionamento dos outros equipamentos de pressão.



Figura 4.7 – Volumes sendo coletados na saída do vertedor e diretamente na saída da bóia

4.2.1 Obtenção das curvas das bóias

A altura da bóia no aparato experimental foi ajustada e variada com o uso do mecanismo de deslocamento, mostrado na Figura 4.4. O teste de cada bóia iniciou-se com o ajuste do mecanismo de deslocamento da bóia no ponto mais baixo, em que a bóia estivesse completamente fechada. A subida da bóia, feita em intervalos de 0,5 mm possibilita observar o momento em que a bóia começa a permitir a passagem de vazão, momento em que a pressão a montante da bóia também começa a sofrer variações mais perceptíveis. Por ser um valor de vazão muito baixo, a medição nesse ponto foi feita com o auxílio de uma proveta adaptada, ainda na saída da bóia, visando reduzir o tempo de teste, já que o volume pouco alteraria o nível na caixa e o tempo de influência na vazão de saída no vertedor é mais lento nessa condição.

A partir do ponto de abertura, o ajuste de altura da bóia foi feito em intervalos de no máximo um milímetro em vazões abaixo de 30 litros por hora, por ser esse o valor de vazão mínima dos hidrômetros classe B, muito utilizados em residências no DF e, portanto, de maior interesse. Acima de 30 litros por hora, os intervalos de medição adotados foram maiores, chegando até 30 milímetros, provocando uma variação de vazão que não prejudicou a

obtenção da curva. Para cada altura ajustada, a vazão foi medida duas vezes e, caso os valores apresentassem discrepâncias, repetia-se a leitura. A lâmina de água formada sobre o vertedor também foi medida a cada ajuste da altura da bóia, para correção do nível, bem como era observado o valor de pressão no manômetro digital. A figura 4.9 mostra o procedimento usado para o experimento.

Cada uma das bóias foi testada em cinco pressões diferentes. Para cada um desses valores de pressão, foram feitas, no mínimo, três subidas e descidas para cada bóia. Assim, uma quantidade maior de ensaios, ou seja, de subidas e descidas, foi realizada nessas pressões, buscando-se a confiabilidade nos dados obtidos.



Figura 4.8 – Vista frontal da caixa (1 = linógrafo; 2 = vertedor retangular; 3 = caixa coletora da água extravasada; 4 = tubo na saída da caixa coletora para medição da vazão)

Antes do início dos testes com as bóias, foram realizadas algumas subidas e descidas para testar o funcionamento do aparato experimental e proceder aos ajustes para garantir que o procedimento poderia ser repetido nas outras bóias. A escolha da bóia para esse ajuste levou

em consideração suas características construtivas, com haste mais longa e maior curso de deslocamento.

Tabela 4.4 – Número de subidas e descidas realizadas com cada bóia, em cada uma das pressões de ensaio.

Bóia	Pressões de teste				
	50mca	40mca	30mca	23mca	17mca
1	5	5	5	5	5
2	5	4	4	4	4
3	5	5	5	3	3
4	5	5	5	4	4

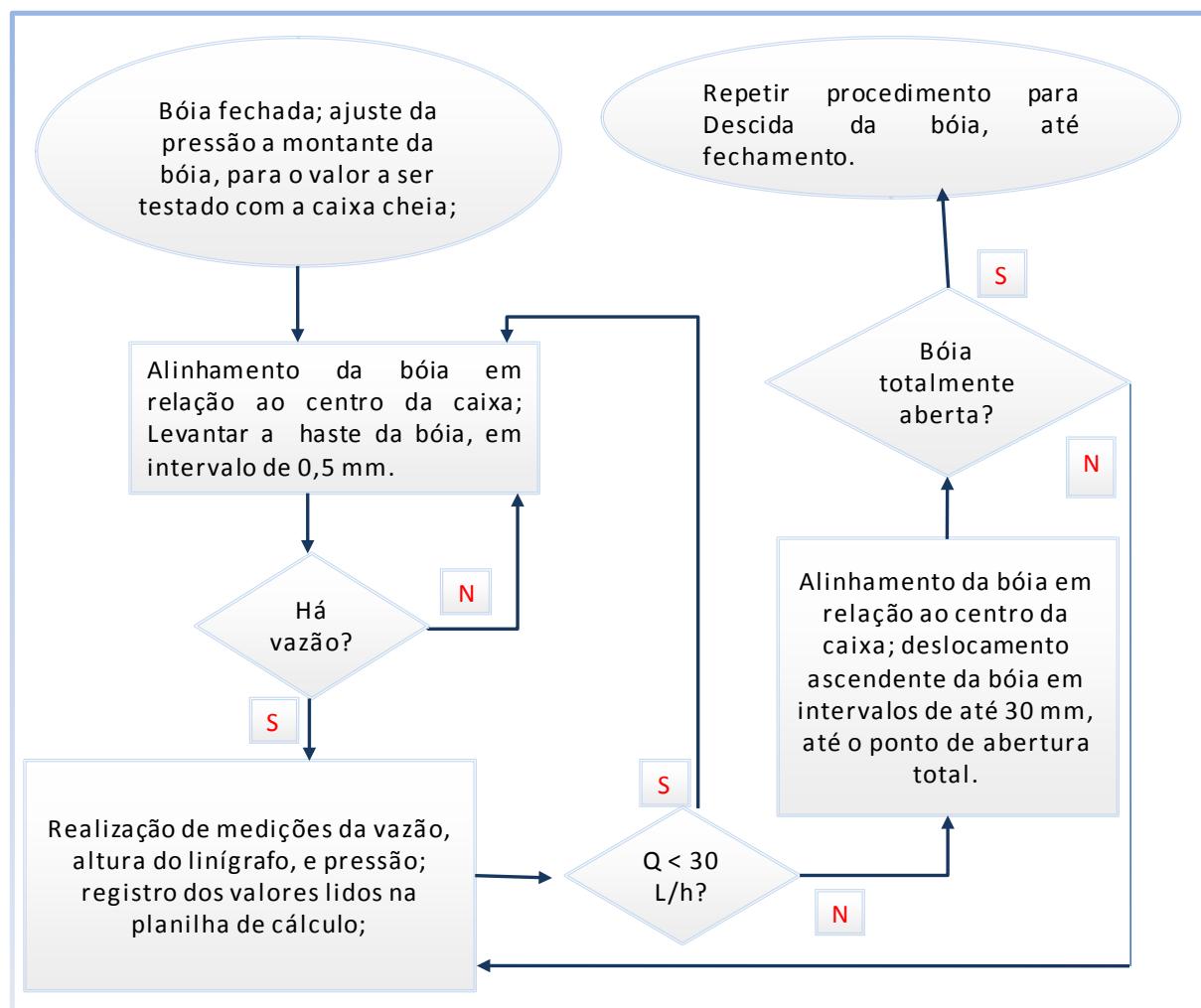


Figura 4.9 – Representação das etapas do levantamento da curva das bóias, para cada uma das bóias ensaiadas.

4.2.2 Determinação da curva de volume da caixa-d'água

Para o presente estudo, foi necessária também a simulação da abertura e fechamento da bóia em uma caixa-d'água de dimensões reais.

A partir dos valores de vazão registrados nas residências observadas. As caixas-d'água usadas em residências têm grande variação nos tamanhos, formatos e materiais de fabricação. Comumente são usados os reservatórios circulares com 1000 litros ou 500 litros de capacidade, e, segundo informações obtidas junto a alguns revendedores no Distrito Federal, as caixas mais vendidas atualmente são fabricadas em fibra de vidro. No entanto, durante a etapa de seleção de imóveis para o experimento, pôde-se constatar nas residências que ainda possuem caixas-d'água, a existência de reservatórios antigos, fabricados com amianto, de formato retangular.

Tabela 4.4 – Características das caixas-d'água encontradas no mercado

Material	Capacidade	Formato	Dimensões		
			Altura	Diâmetro superior	Diâmetro inferior
Fibrocimento	500	Circular	0,67	1,00	0,90
Polietileno	500	Circular	0,63	1,20	0,90
Fibra	500	Circular	0,58	1,15	1,00
Fibra	1000	Circular	0,8	1,40	1,17
Fibra	500	Circular	0,63	1,26	0,90

Dentre os tipos de reservatórios encontrados no mercado, os mais vendidos possuem, como característica comum, a forma de um tronco de cone e a altura dividida em patamares de aproximadamente dois centímetros, o que provoca a existência de variação de diâmetro ao longo da altura, como mostra a figura 4.10, o que é relevante no momento do levantamento da curva de volume da caixa.

Adotou-se então como modelo para o presente estudo, um reservatório circular confeccionado em fibra de vidro, com capacidade de 500 litros, destacado na tabela 4.4, por possuir apenas um patamar na metade da altura, tornando mais simples os cálculos para o levantamento da curva de volume acumulado no reservatório, em função do nível, sendo que a metade superior da caixa (29 centímetros) comporta toda a variação de altura da bóia, ou seja, as bóias testadas estarão totalmente abertas ou fechadas antes de atingir a metade inferior da altura da caixa.

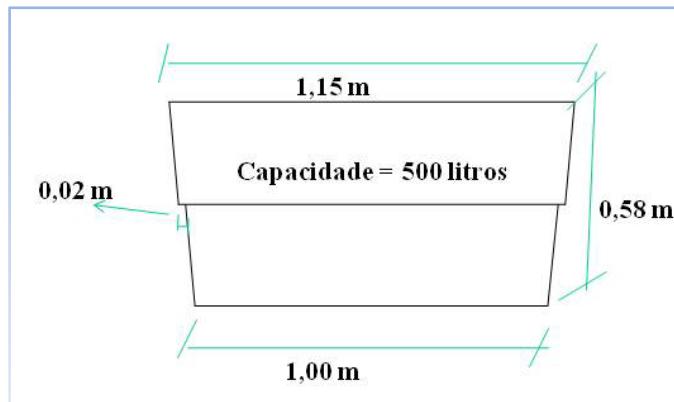


Figura 4.10 – Características do reservatório doméstico adotado como modelo

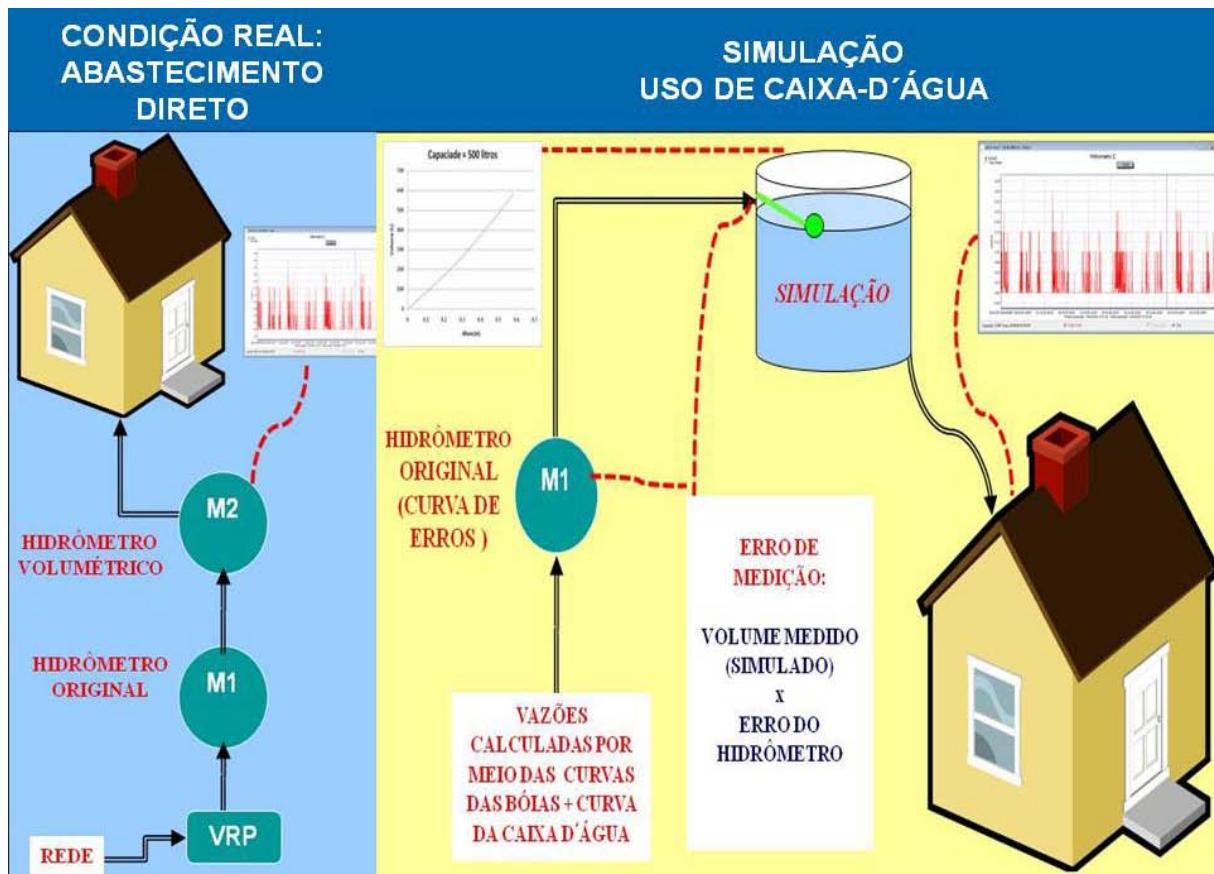
4.2.3 Calibração e levantamento da curva de erros dos hidrômetros

Os hidrômetros utilizados durante o levantamento do perfil de consumo nas residências foram calibrados em bancada, de acordo com a NBR 15538:2007 e a Portaria 246/2000 do INMETRO, para obtenção da curva de erros dos medidores. Para a calibração, foi usado o laboratório de calibração de hidrômetros da Caesb.

Foram realizados ensaios nas vazões definidas pela NBR 15538:2007, por ser mais abrangente que a Portaria 212/2000. Intercalou-se ainda os valores das vazões mais freqüentes encontradas nos registros do *data logger*, objetivando-se a obtenção de uma curva de erros mais representativa. Os ensaios foram realizados para as vazões da tabela 5.6, onde o erro apresentado é a média dos três ensaios realizados em cada vazão. Os hidrômetros de 1,5 litros por hora e os dois hidrômetros volumétricos foram ensaiados nas mesmas condições, pois todos os hidrômetros foram colocados em série na bancada, exceto para os ensaios nas vazões de 2200 litros por hora e 3000 litros por hora, quando o hidrômetro de menor capacidade foi retirado da bancada. Para efeito de comparação, foram calibrados também um hidrômetro novo e um hidrômetro antigo, com sinais de desgaste acentuado, retirado de uma residência onde estava instalado desde 1992.

4.2.4 Cálculo dos perfis de consumo e da submedição

O volume submedido foi calculado considerando-se o abastecimento direto e a existência hipotética de reservatório nos domicílios, conforme esquema da figura 4.11. Para os cálculos dos perfis de consumo e da submedição, usou-se um programa desenvolvido em linguagem PHP.



4.2.4.1 Cálculo dos perfis de consumo e da submedição com abastecimento direto

Para o cálculo da submedição com abastecimento direto, o programa desenvolvido utiliza-se da curva de erros dos hidrômetros dos domicílios selecionados para o estudo e as vazões registradas pelo *data logger*. A rotina de programação gera uma tabela contendo:

- O limite superior de cada faixa de vazão adotada;
- Os volumes consumidos em cada vazão registrada pelo *data logger*;
- O percentual de volume consumido, relação ao volume total, em cada faixa de vazão;
- Os erros de medição de cada um dos hidrômetros utilizados no experimento;
- O volume resultante da diferença entre o volume medido (dados obtidos do data logger) e do volume real escoado.

A vazão de entrada, levantada ao longo do período de análise é dividida em faixas de vazão previamente determinadas, estabelecidas de acordo com a curva de erros levantada para os hidrômetros e as vazões características para ensaios de calibração apresentadas na Portaria nº246 de 2000 e NBR 15538 de 2007. A divisão em faixas é uma alternativa adotada para se

quantificar a submedição porque não se consegue ajustar uma única equação que defina de forma razoavelmente precisa o valor do erro para cada vazão do hidrômetro.

O algoritmo para o cálculo do perfil de consumo e dos erros de medição está representado no fluxograma da figura 4.12.

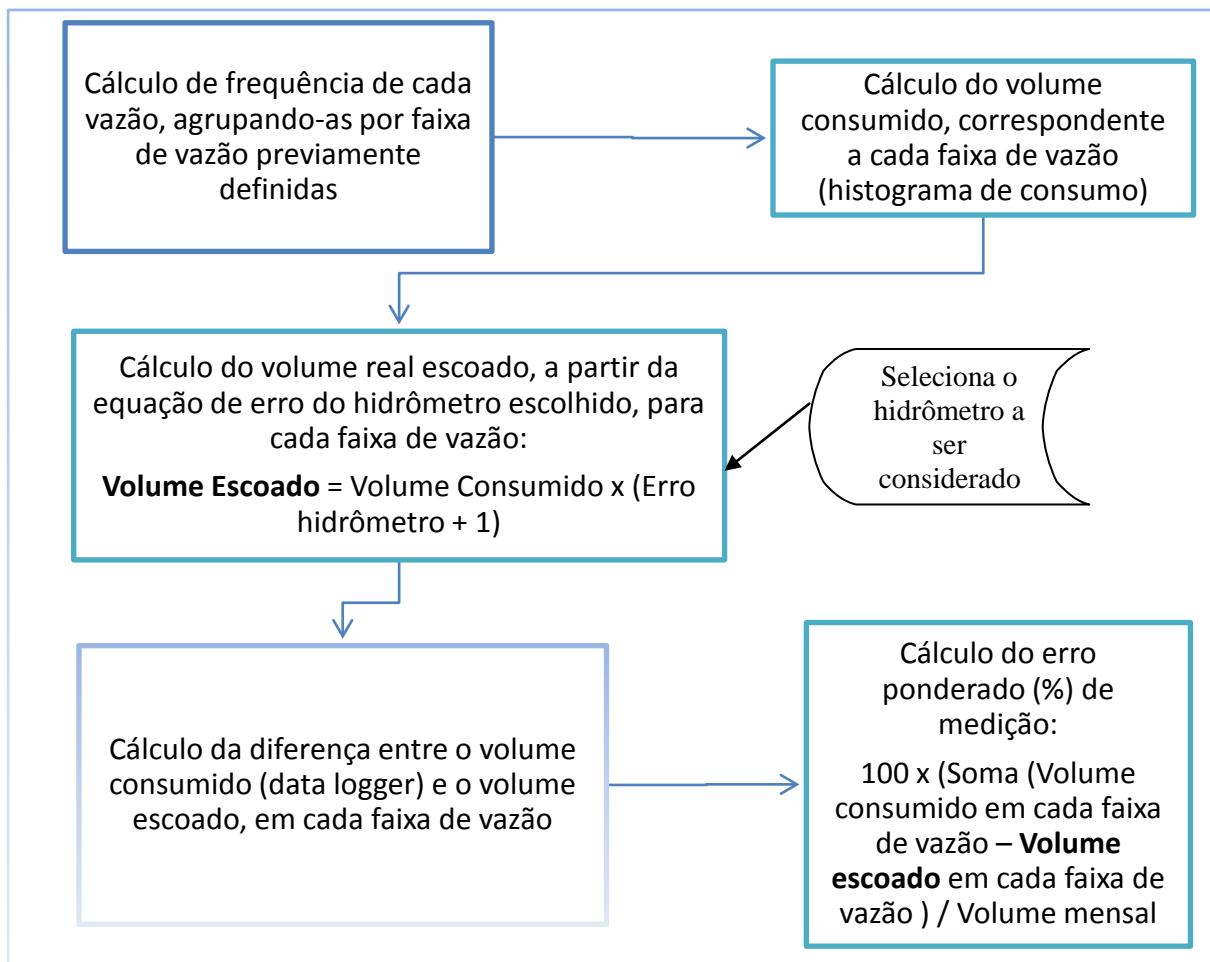


Figura 4.12 – Fluxograma para cálculo do perfil de consumo e dos erros de medição

4.2.4.2 Cálculo dos perfis de consumo e submedição considerando-se o uso de reservatório

O cálculo da submedição supondo a existência de caixa-d'água, foi realizado em duas etapas.

A primeira etapa foi a simulação da variação do nível em um reservatório, de marca e modelo encontrado facilmente no mercado e descrito no item 4.3.2., para obtenção das vazões de entrada no reservatório. Essa simulação foi feita pelo programa desenvolvido em linguagem

PHP, conforme algoritmo descrito na figura 4.14, em que as equações obtidas para as curvas de vazões das bóias, a equação para o cálculo da altura da caixa-d'água e os dados do consumo nos domicílios, obtidos pelos registradores eletrônicos, foram utilizados conforme o esquema da figura 4.13.

Vazão de saída do reservatório

Considera-se como sendo a vazão de saída do reservatório, os valores de vazão registrados nos domicílios pesquisados, pelo *data logger*.

A partir dos valores de vazão, calcula-se o volume consumido, usado então para o cálculo da variação de nível do reservatório.

Variação na altura do nível do reservatório

Provocada pela entrada e, ou saída de água do reservatório, processo que pode ocorrer simultaneamente.

A partir do cálculo do volume consumido e do volume que chega ao reservatório em um intervalo de tempo, pode-se conhecer qual a altura do nível nesse reservatório, usando-se a equação 5.1.

Vazão de entrada

É um valor teórico, obtido pela aplicação das equações das curvas das bóias (Como exemplo, ver tabela 5.1).

Para cada bóia, em determinada altura e pressão considerada, aplica-se a equação correspondente.

Posição da bóia no reservatório

O nível de água no reservatório define a posição da bóia.

A altura em que a bóia se encontra, é a variável usada para a equação desta bóia, na altura correspondente à sua posição e que fornece a vazão de entrada no reservatório.

Figura 4.13 – Fluxograma da simulação do nível em um reservatório doméstico

O fluxograma da figura 4.13 representa a o processo de interação entre os dados obtidos experimentos realizados:

- As vazões registradas ao longo do período de monitoramento nas residências, pelo *data logger*, foram consideradas como sendo as vazões de saída do reservatório. A partir desses dados de vazão de saída, calculou-se os volumes consumidos.

- O cálculo da altura da torneira bóia foi feito por meio da equação 5.1, que representa a variação do nível do reservatório, em função do volume de água consumido; a altura calculada é a variável usada nas equações das curvas das bóias;
- As curvas das bóias (tabelas A.1, A.2 e A.3 no anexo 1), foram utilizadas para o cálculo da vazão de entrada no reservatório;

A segunda etapa foi a construção do histograma das vazões de entrada no reservatório, obtidas pela simulação do uso de reservatório e o cálculo do erro de medição, por meio da aplicação das equações que representam as curvas de erros dos hidrômetros (tabela A.4).

Para a simulação do perfil de consumo com o uso de caixa-d'água, a rotina de programação possui uma função que subdivide o tempo de aquisição dos dados obtidos do *data logger*, programado para 20 segundos, em intervalos de 2 segundos. Isso fornece um cálculo do volume consumido mais preciso, pois a saída de vazão do reservatório não acontece a cada 20 segundos e sim no decorrer de 20 segundos. Esse é um fator relevante, pois a lâmina superficial da água no reservatório vai abaixando ou subindo ao longo do tempo, de acordo com o volume de água que entra ou sai da caixa. O posicionamento da bóia e seu grau de abertura depende do nível dessa lâmina. Assim, partindo-se do princípio de que a caixa está cheia inicialmente, com seu volume máximo, é calculado o volume de saída, baseado nas vazões registradas pelo *data logger*. Conhecido o volume de saída, o programa calcula a altura do nível da água na caixa, com o uso da equação 5.1. A partir da altura da lâmina, aplicam-se as equações obtidas no levantamento das curvas das bóias, que fornecem a vazão de entrada no reservatório. Como os processos de entrada e saída de água no tanque são independentes, mas podem ocorrer simultaneamente durante um período, a altura da lâmina d'água é calculada considerando-se a diferença entre o volume que entra e o que sai da caixa. Esse ciclo se repete até o fim da leitura do arquivo com as vazões registradas.

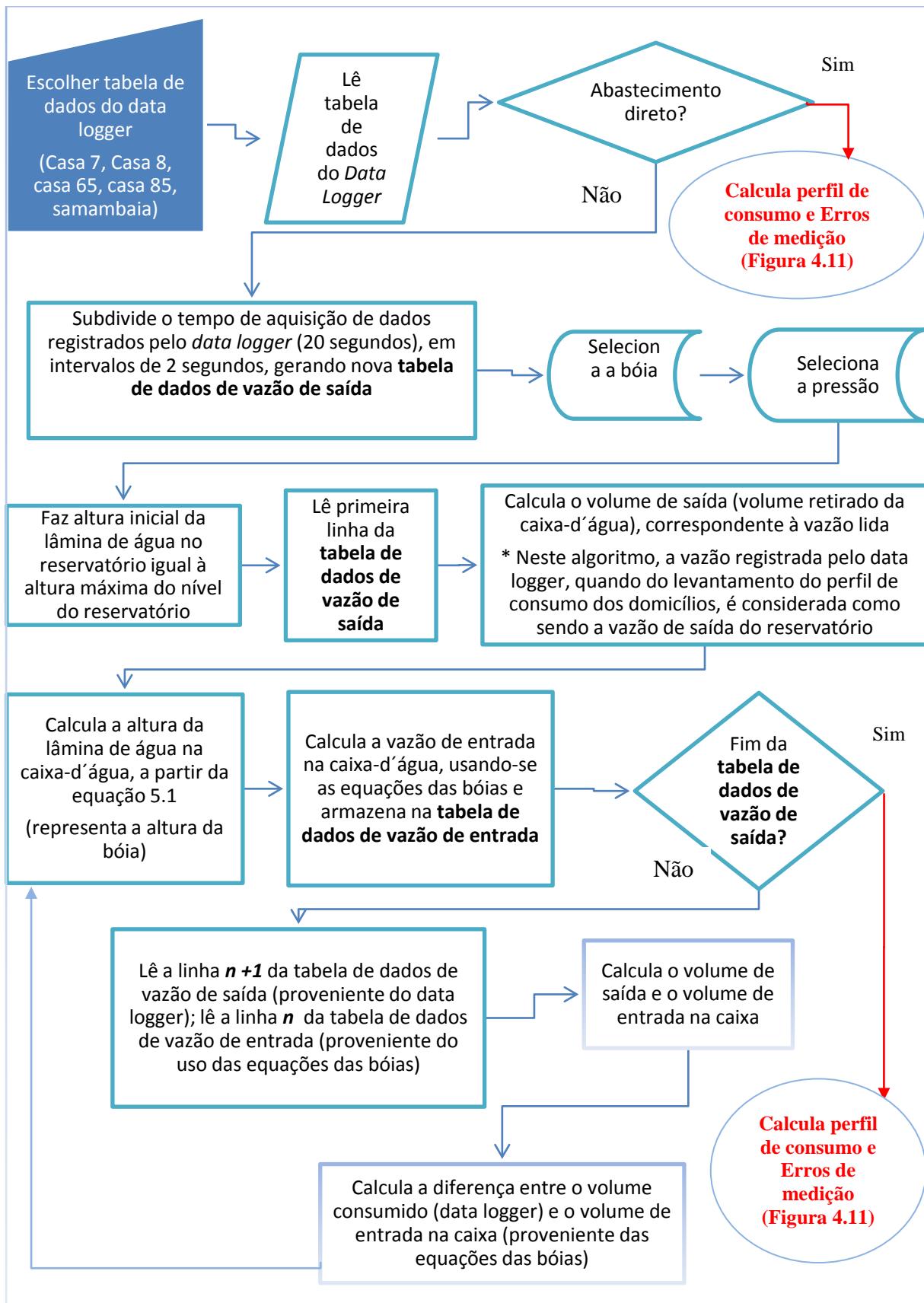


Figura 4.14 – Fluxograma para cálculo do perfil de consumo e dos erros de medição

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os perfis de consumo utilizados foram obtidos prioritariamente na cidade satélite denominada Guará, localizada no Distrito Federal, por ser um local de fácil de acesso, próximo ao parque de serviços de micromedicação da Caesb. A pesquisa foi desenvolvida em imóveis residenciais, escolhidos de acordo com o padrão de consumo e permissão de acesso pelos moradores, sendo imóveis que apresentam consumo baixo, pois esta condição é propícia à submedição em hidrômetros.

A região administrativa do Guará está situada na região sudoeste de Brasília, ocupa uma área de 45,46 km², sendo 10,23 km² de área urbana (CODEPLAN). Segundo dados da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a população do Guará em 2000 era de 115.385 habitantes, com previsão de cerca de 128.000 para o ano de 2005. A renda domiciliar mensal do Guará oscila entre 14,11 salários mínimos mensais e 3,76 salários mínimos mensais per capita. A cidade escolhida é abastecida pelo Sistema Rio Descoberto (figura 4.15), responsável por aproximadamente 67% da população do Distrito Federal.

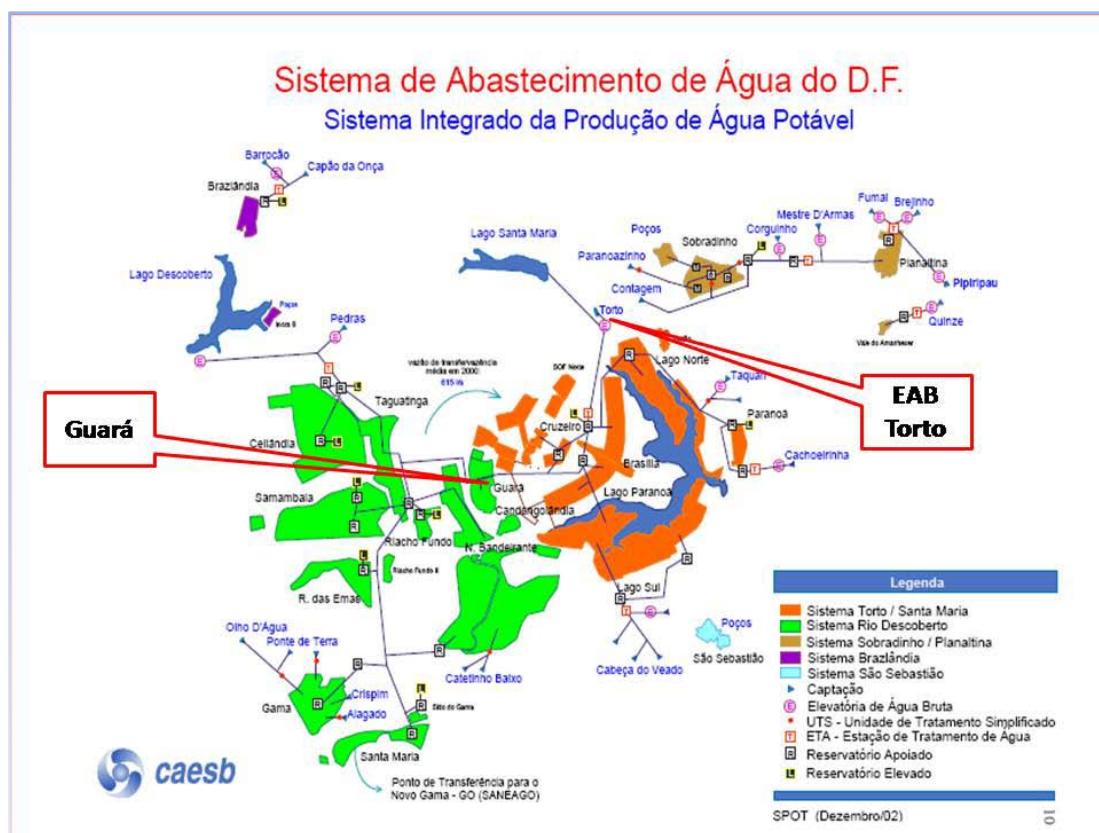


Figura 4.15 – Mapa do sistema de abastecimento do Distrito Federal (Caesb, 2007)

O Guará apresenta um percentual de perdas de 20,80% conforme dados de 2007, obtidos na Caesb, gerados pelo sistema de informações denominado *Siágua*, e apresentado na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Dados do abastecimento da cidade do Guará (Caesb, 2007, modificado)

Setor	População			Consumo		% Perdas
	Total (habitantes)	Abastecida (habitantes)	% de Atendimento	Volume Distribuído (m ³ /mês)	Volume Utilizado (m ³ /mês)	
Guará I, Guará II e Lúcio Costa, SCIA e Estrutural	130.027	130.027	100%	1.287.426	1.019.641	20,80

Segundo dados fornecidos pela área de micromedicação da Companhia de Saneamento do Distrito Federal (Caesb), em maio de 2007 a cidade satélite contava com 20.703 ligações e 21.566 hidrômetros instalados, abastecendo 39.513 economias, distribuídas por faixa de consumo de acordo com o gráfico da figura 4.16. Segundo os dados da empresa, apenas 145 unidades não possuem hidrômetro.

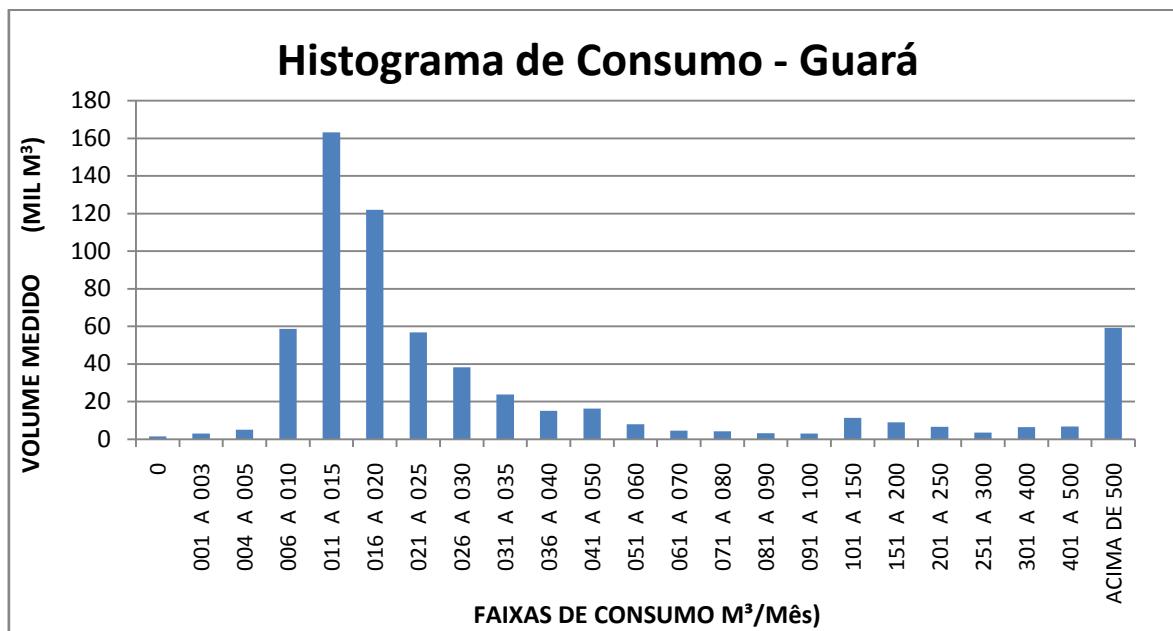


Figura 4.16 – Distribuição do consumo na cidade do Guará (Caesb, 2007)

A maioria dos hidrômetros tem menos de cinco anos de uso, conforme pode ser visto na figura 4.17, fator que contribui como discutido anteriormente, para a boa qualidade da medição.

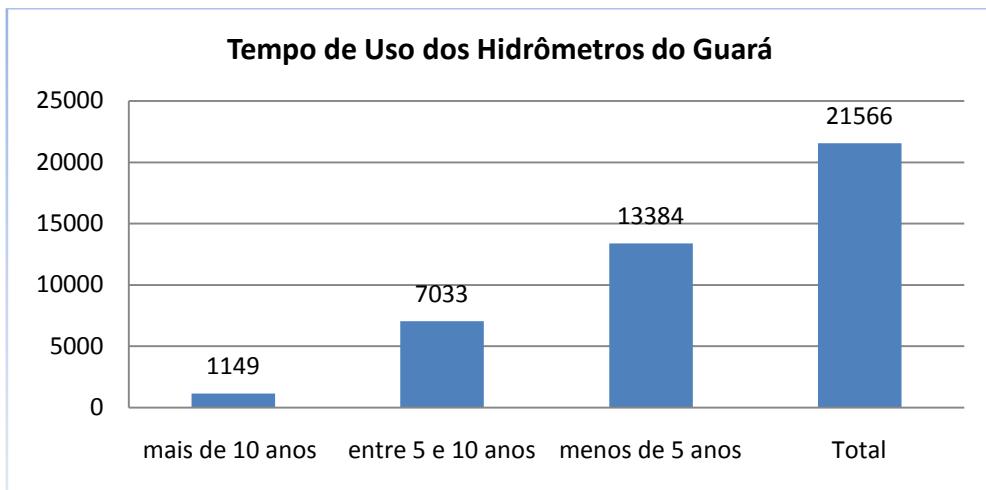


Figura 4.17 – Idade dos hidrômetros usados no Guará (Caesb, 2007, modificado)

Os dados do sistema de distribuição de água são disponibilizados pela Companhia de Saneamento do Distrito Federal (Caesb), conforme relação abaixo:

- Perfil de consumo dos usuários do Distrito Federal;
- Quantidade de ligações de água;
- Relação dos medidores instalados, por cidade satélite ou região administrativa, contendo o tempo de instalação, tipo, classe metrológica e classe de vazão;
- Volume de água consumido, obtido por meio dos dados da macromedição;
- Volume faturado;
- Percentual do consumo que é micromedido pela Caesb;
- Número de ligações sem hidrômetro;
- Numero de ligações hidrometradas que pagam até 10 m³/mês;
- Valor da tarifa vigente.

5 - RESULTADOS

Os resultados obtidos no levantamento das curvas das bóias, o perfil de consumo levantado com os registradores eletrônicos de dados e a curva de volume da caixa-d'água comercial, foram relacionados aos erros de medição da curva de erros, obtida pela calibração dos hidrômetros que foram usados no experimento. A seguir serão discutidos os resultados obtidos em cada etapa do experimento.

5.1 VAZÕES DA BÓIA EM FUNÇÃO DE SUA ABERTURA

Os ensaios com cada uma das bóias, ao serem realizados em uma determinada pressão, apresentaram uma grande variação nos valores de vazão para uma mesma altura de deslocamento da bóia, além de que os pontos de abertura e fechamento geralmente não coincidiram a cada repetição. A nuvem de pontos obtida apresentou maior dispersão, quanto maior foi a pressão ajustada para o teste, sendo que a bóia 1 foi a que apresentou maior instabilidade, conforme pode ser verificado nas figuras 5.1 e 5.2, que mostram a dispersão dos valores de vazão em cada bóia, para as pressões escolhidas para ensaio. Com qualquer pressão, a região de maior dispersão dos pontos ocorre quando do início de abertura e do fechamento, devido à maior força aplicada ao mecanismo da bóia, o que praticamente não acontece mais quando a bóia atinge o nível de aproximadamente 10 mm e a vazão começa a se estabilizar (ver gráficos na figura 5.2), o que não foi válido apenas para os ensaios da bóia 1. Nas pressões mais altas, ou seja, em 50, 40 e 30 mca, a turbulência causada no reservatório, pelas vazões maiores, provocou maiores oscilações e o consequente desalinhamento das bóias.

Foi observado que as bóias da marca A apresentavam maior instabilidade, causada em parte pela característica de suas hastes, que são mais extensas que as hastes das bóias da marca B e de uma eventual folga no encaixe da haste (figura 5.3), que provocam dificuldade de estabilização devido a uma oscilação lateral da bóia. Por esse motivo, a bóia dessa marca, no diâmetro de $\frac{3}{4}$ de polegada, adquirida originalmente, foi substituída por outra, escolhida cuidadosamente no revendedor, o que reduziu significativamente a dispersão dos valores obtidos nos testes e apresentando a melhor condição de teste, conforme mostra a figura 5.2.

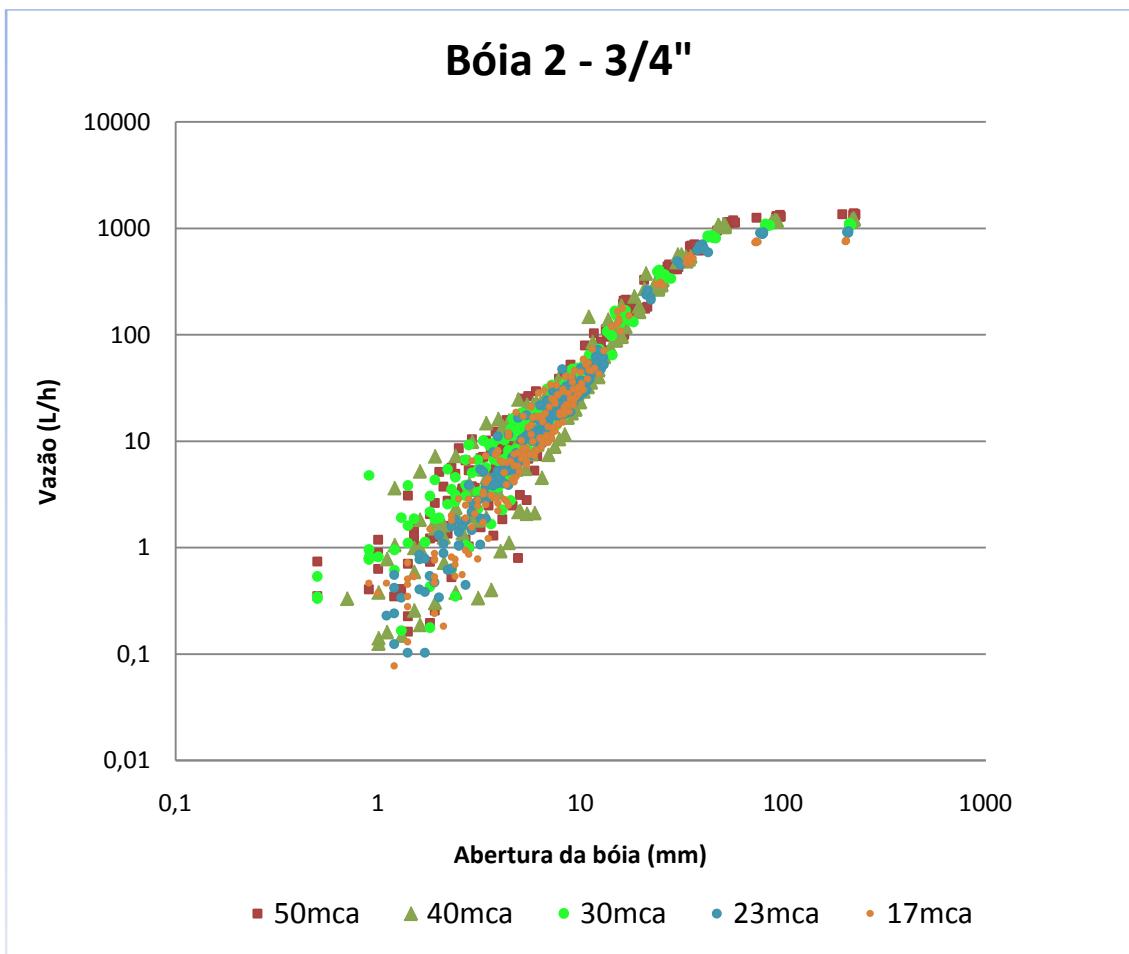
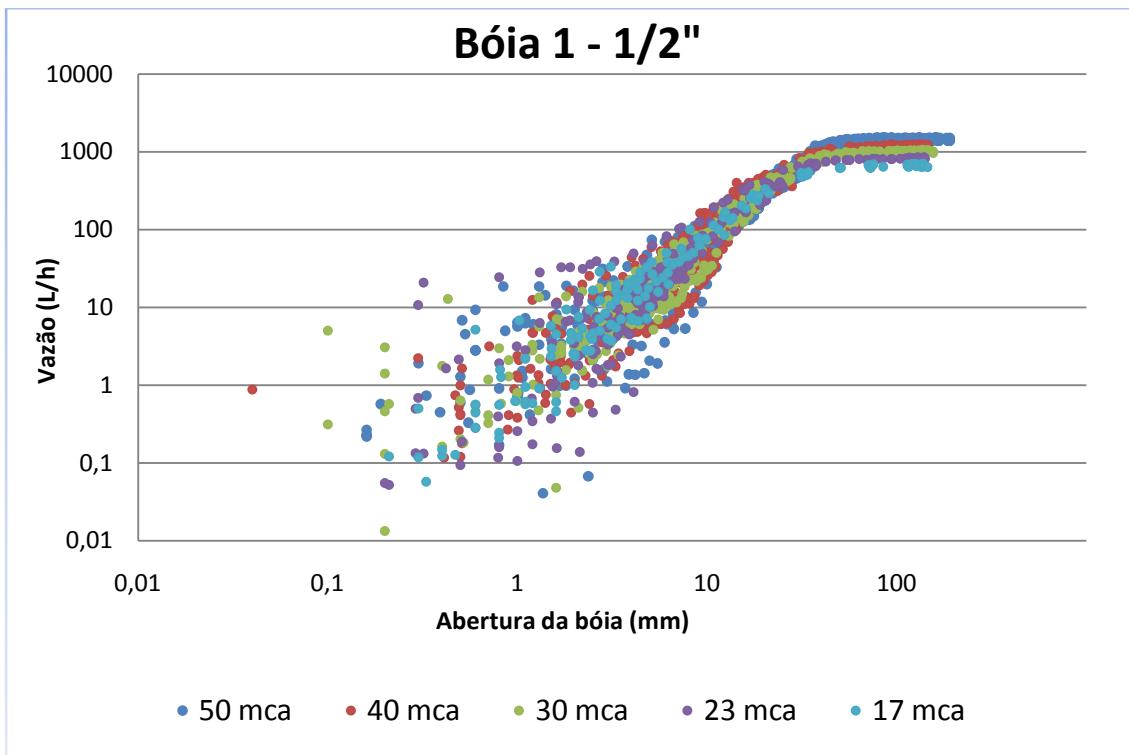


Figura 5.1 – Comportamento das vazões nas bóias da marca A para cada valor de pressão

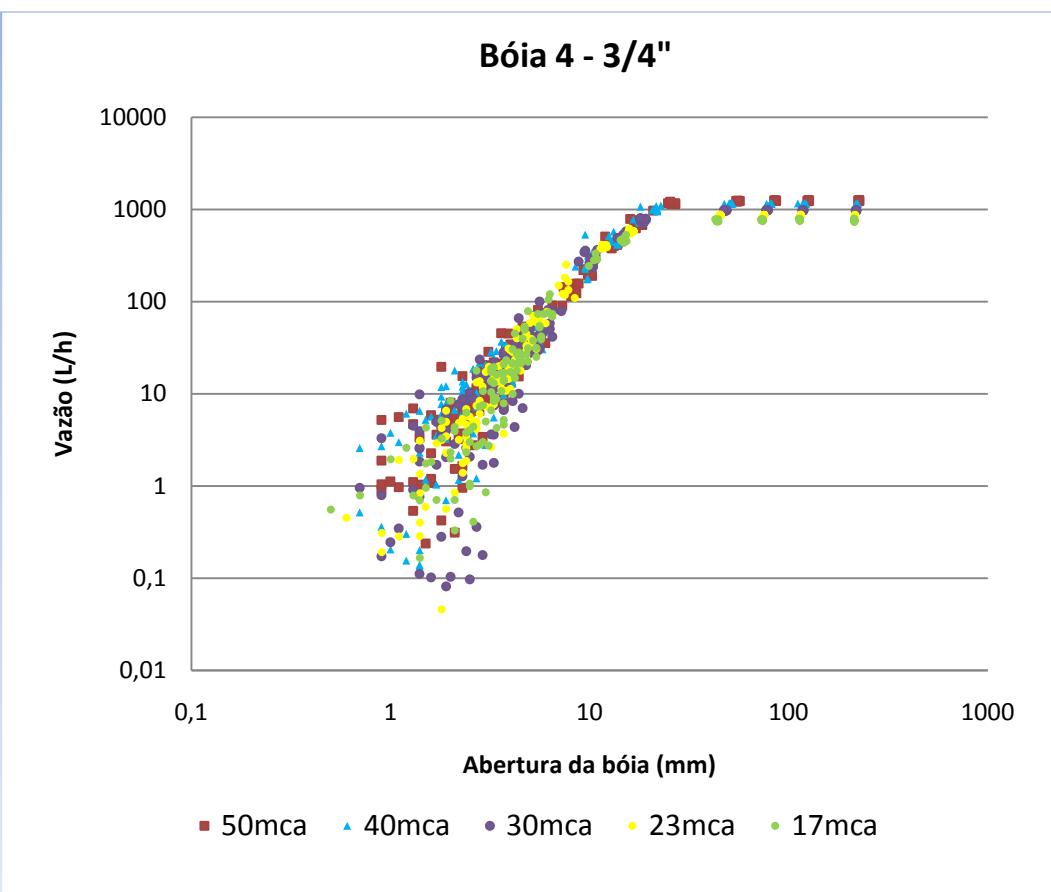
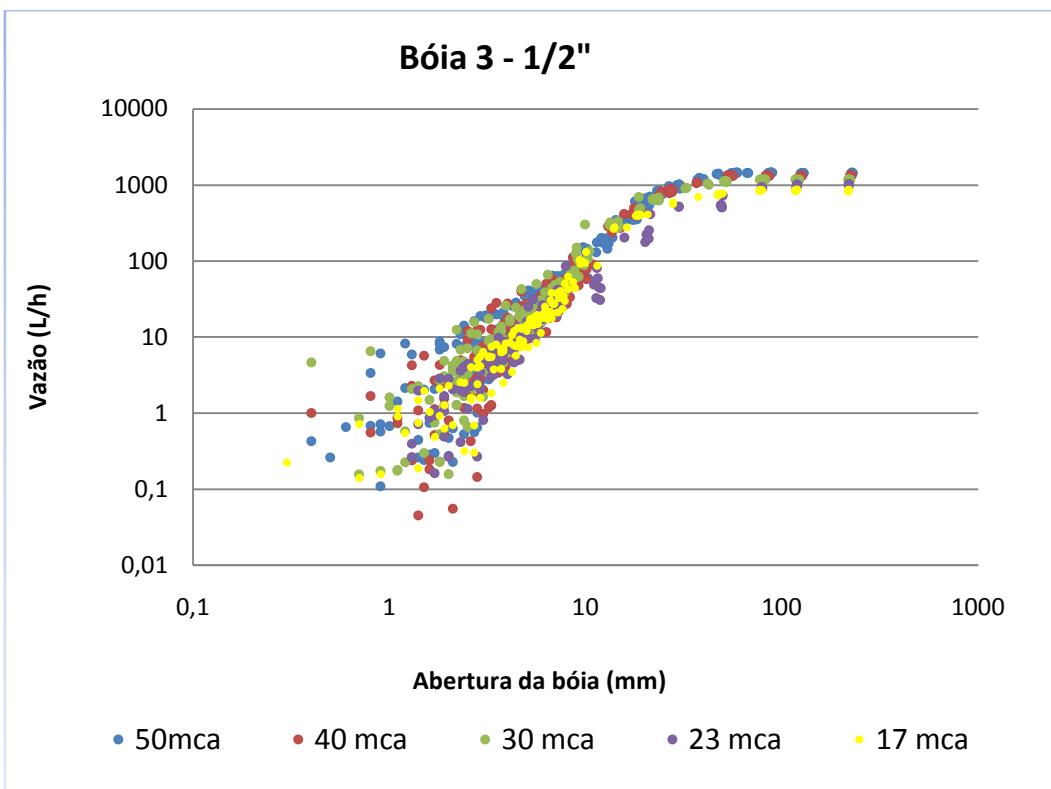


Figura 5.2 – Comportamento das vazões nas bóias da marca B para cada valor de pressão



Figura 5.3 – Detalhe da cabeça da bóia 1 – folga no mecanismo de encaixe da haste

A pressão é um fator determinante no tempo necessário para início de funcionamento e fechamento da bóia, bem como para as vazões máximas obtidas. Na figura 5.4, pode-se observar que quanto menor a pressão, maior a variação de nível necessária para o inicio de abertura e fechamento da bóia, sendo que o deslocamento, considerando-se desde a maior pressão de teste até a menor, foi de 13,6 mm para a bóia 4, e de 22,9 mm para a bóia 2. Assim, se a bóia 4 começa a permitir passagem de vazão com 1 mm de deslocamento trabalhando sob uma pressão de 50 mca, em 17 mca ela abriria com 14,6 mm, aproximadamente. No entanto, esse fator praticamente não influencia a vazão que sai da bóia no início do ciclo de abertura, ou seja, pode-se observar na figura 5.4, que as vazões são muito parecidas até que a bóia alcance uma altura em que já esteja aberta o suficiente para produzir uma vazão mais estável. Essa consideração também é válida para quando a bóia está fechando. A partir de certa altura as vazões ficam muito parecidas, para qualquer pressão de trabalho. Geralmente essa estabilização ocorre para vazões acima de 600 litros por hora.

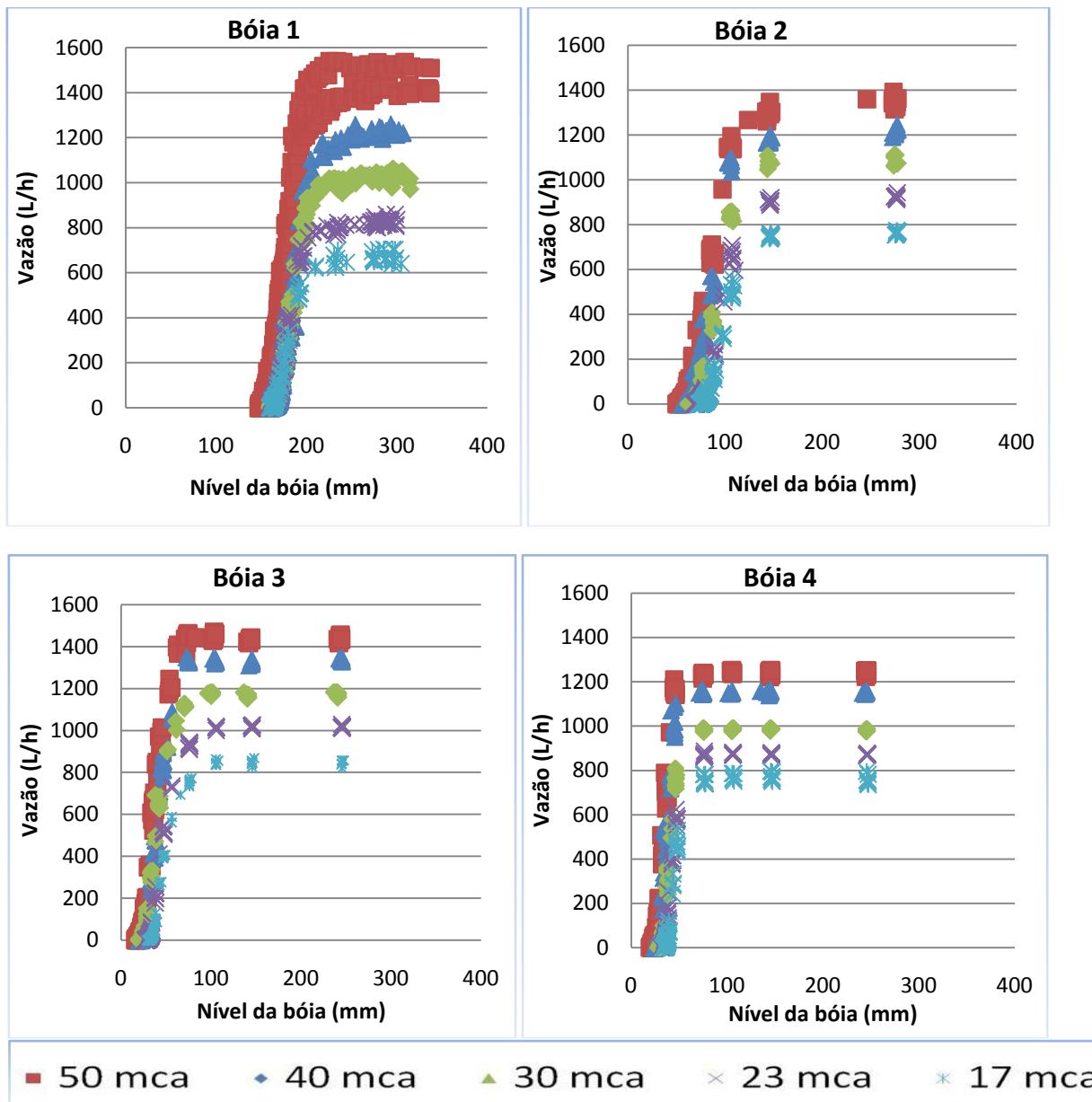


Figura 5.4– Curvas de vazões obtidas em cada uma das bóias e representação da distância de deslocamento da haste até o ponto de início de funcionamento da bóia

As bóias do fabricante *A*, devido ao maior comprimento de sua haste e maior peso, em relação às bóias da marca *B*, começaram a subir a partir de um deslocamento de cerca de 50 mm para a bóia de $\frac{3}{4}$ e 150 mm para a bóia de $\frac{1}{2}$ polegada, muito maior do que o necessário para as bóias *B*, que começam a abrir com deslocamento em torno de 20 mm de variação do nível. Isso pode representar uma redução na capacidade de armazenamento da caixa- d'água, porém tem pouca influência nos valores de vazão fornecidos pela bóia, conforme mostra a figura 5.4.

As vazões fornecidas pelas bóias são muito semelhantes, em cada uma das pressões analisadas, como pode ser observado no gráfico da figura 5.4. A bóia da marca *A*, de $\frac{1}{2}$

polegada, foi a que apresentou os maiores valores de vazão na pressão de 50 mca. Contudo, em 17 mca apresentou a menor vazão. Esse comportamento pode ser atribuído ao mecanismo de encaixe dessa bóia, que não permite que ela se mantenha alinhada, provocando grandes oscilações nas vazões, conforme já comentado anteriormente. A utilização de uma bóia melhor construída, no caso a bóia 2, reduziu esse efeito e, embora ainda com valores de vazão mais dispersos do que as bóias da marca *B*, no inicio do ciclo, apresentou vazões muito semelhante ao das bóias *B*, em relação às vazões produzidas.

Devido à grande dispersão dos valores de vazão obtidos, a curva para cada bóia, para cada pressão utilizada, foi ajustada dividindo-se a curva original por trechos, conforme mostra a figura 5.5. A partir dos pontos do gráfico definiu-se uma linha de tendência e sua respectiva equação para que se pudesse estimar, para determinado valor de abertura da bóia, qual a vazão correspondente. Para cada trecho obteve-se uma equação diferente. Foram testadas diferentes linhas de tendência e escolhida a equação que melhor se ajustou às vazões no trecho considerado. Um exemplo das curvas obtidas pode ser visto na figura 5.6, com os gráficos do ajuste para bóia 1, na pressão de 50 mca.

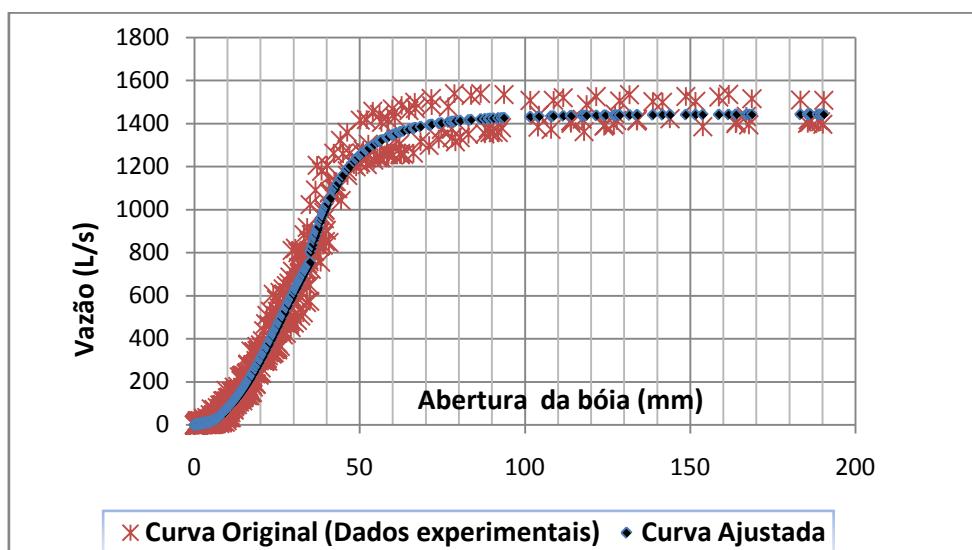
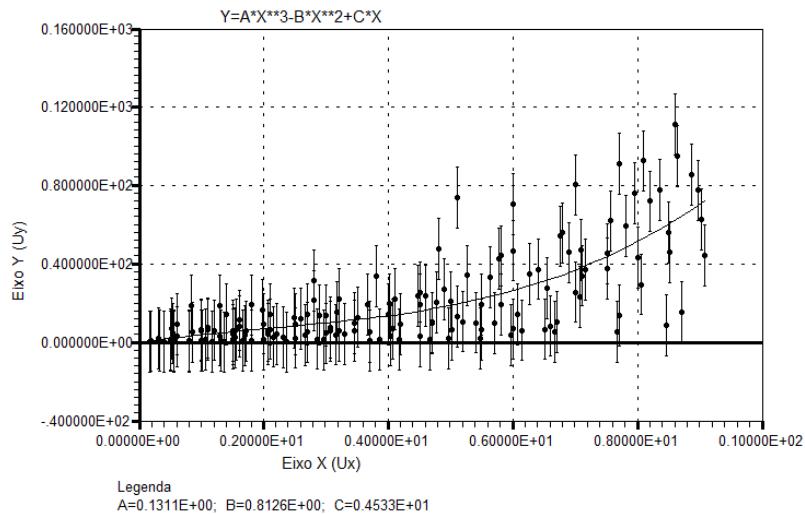
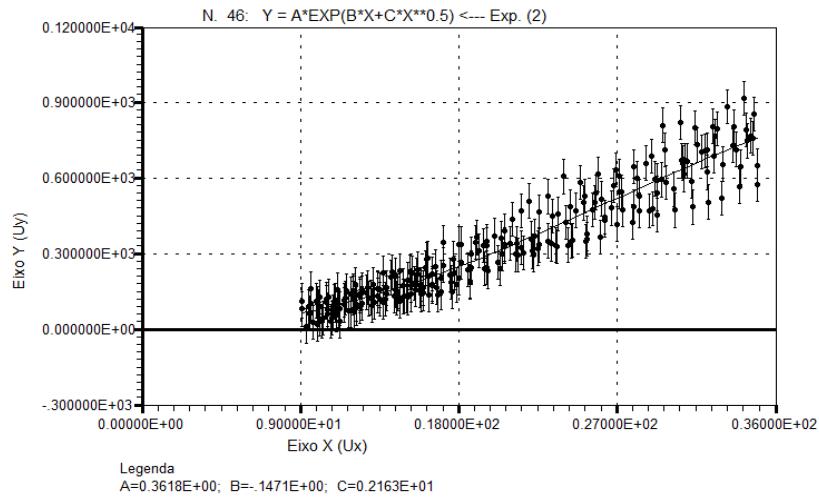


Figura 5.5 – Curva original obtida no experimento para a bóia 1 na pressão de 50 mca

50mca_tr1



50mca_trecho 2



50mca_trecho3

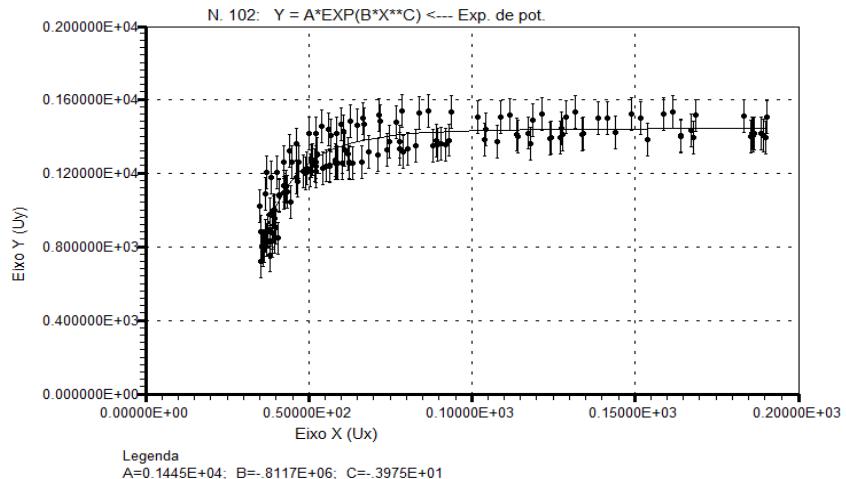


Figura 5.6 – Curvas ajustadas para a bóia 1 na pressão de 50 mca

As equações obtidas após o ajuste das curvas estão exemplificadas na tabela 5.1. Os gráficos e as tabelas com as equações das curvas das demais bóias estão no anexo A1. As bóias *B*, por apresentarem menor oscilação, também propiciaram maior facilidade no ajuste das curvas, o que reduziu o número de trechos necessários para o ajuste das curvas de cada uma das bóias.

Tabela 5.1– Equações de ajuste das curvas - Bóia 2

BÓIA 2		
TRECHO	PRESSÃO = 50 mca	
1	$x < 10$	$y = 0,408x^2 + 0,171x + 0,214$
2	$10 \leq x < 73,7$	$y = 0,9713x^{1.878} - 14,35 * \text{EXP}(0,06964x)$
4	$x \geq 73,7$	$y = 1323$
TRECHO	PRESSÃO = 40 mca	
1	$x < 14,6$	$y = 0,4192x^2$
2	$14,6 \leq x < 87,4$	$y = -1600 + 1414 * \text{EXP}(0,06964x)$
3	$x \geq 87,4$	$y = 1201$
TRECHO	PRESSÃO = 30 mca	
1	$x < 13,5$	$y = 0,4149x^2$
2	$13,5 \leq x < 81,7$	$y = -24,49x - 251,1$
3	$x \geq 81,7$	$y = 1083$
TRECHO	PRESSÃO = 23 mca	
1	$x < 21$	$y = 0,354x^2$
2	$x > 21$	$y = 919,8 * \text{EXP}(-6,76 * \text{EXP}(-0,07507x))$
TRECHO	PRESSÃO = 17 mca	
1	$x < 23,8$	$y = 0,4731x^2$
2	$x \geq 23,8$	$y = 762,4 * \text{EXP}(-6,854 * \text{EXP}(-0,08151x))$

5.2 LEVANTAMENTO DA CURVA DA CAIXA-D'ÁGUA

Após a escolha da caixa-d'água de fibra de vidro, utilizou ajustou-se uma curva de variação de nível de água em função da variação de volume, obtendo-se a equação 5.1. A curva obtida pode ser vista na figura 5.6.

$$h = 0,00000005\text{volume}^3 - 0,003\text{volume}^2 + 1,11\text{volume} + 29 \text{ (mm)} \quad \text{Eq. 5.1,}$$

Sendo:

h = nível da água na caixa;

Volume = volume de saída da caixa, calculada a partir dos dados de vazão registrados pelo *data logger*.

A equação 5.1 foi obtida para uma caixa específica, pois a grande quantidade de reservatórios domiciliares disponíveis no mercado, com formatos e tamanhos diversos, não permite que uma única equação represente essa variação do nível da água na caixa, (Δh).

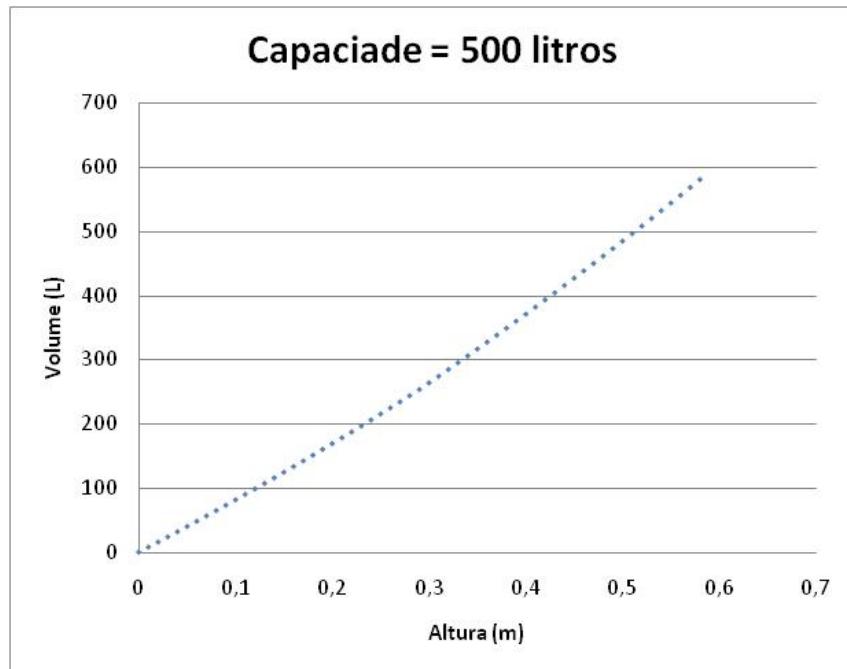


Figura 5.7 - Curva ajustada para a caixa-d'água

5.3 PERFIS DE CONSUMO

Os perfis de consumo foram registrados em quatro residências da região escolhida para estudo, a cidade do Guará, no Distrito Federal. Embora os equipamentos tenham sido programados para ficarem instalados durante sete dias, com consentimento prévio dos responsáveis pelos imóveis estudados, isso não foi possível em todas as residências, já que era necessário ter acesso ao domicílio para instalação e retirada dos equipamentos, pois todos os cavaletes ficam dentro do terreno das casas, e isso exige a presença de alguém para abrir o portão para o instalador. Além disso, a redução da pressão para valores em torno de 13 mca durante o período de teste causou incômodo a alguns moradores, insatisfeitos com a pressão menor do que a usual, fazendo com que o final do período de registro fosse abreviado.

Procurou-se registrar um período que incluísse dias úteis e finais de semana, para se obter um perfil representativo do consumo do domicílio, que têm consumo diferenciado no final de semana, quando um número maior de pessoas permanece na residência.

Os hidrômetros velocimétricos já existentes nas residências e os hidrômetros volumétricos, instalados em série no cavalete, foram lidos no início e final do período de registro das vazões.

Os valores de volume apurados para o período de medição em cada residência são mostrados na tabela 5.2, bem como a vazão média, a estimativa do volume mensal consumido, considerando um período 31 dias, e a diferença percentual entre os volumes medidos pelo hidrômetro volumétrico e velocimétrico, que dão uma idéia aproximada do índice de medição.

Tabela 5.2 – Volumes, vazões médias e percentuais de diferença na medição de volumes para as residências analisadas

Endereço	Hidrômetro	Idade do medidor	Volume (m³)	Vazão média (L/h)	Volume mensal (m³)	Diferença (%)
QE 44 casa 7 Guará II	Velocimétrico	4 anos	3,55	21,14	15,73	0,40
	Volumétrico	Novo	3,54	21,06	15,67	
QE 44 casa 8 Guará II	Velocimétrico	4 anos	2,28	13,54	10,08	-0,92
	Volumétrico	Novo	2,30	13,67	10,17	
QI 01 casa 65 Guará I	Velocimétrico	4 anos	1,56	32,04	23,84	-0,58
	Volumétrico	Novo	1,57	32,23	23,98	
QI 01 casa 85 Guará I	Velocimétrico	8 anos	2,72	18,62	13,85	-3,40
	Volumétrico	Novo	2,82	19,28	14,34	

As diferenças dos valores registrados pelos dois tipos de hidrômetros, o volumétrico e velocimétrico, é muito pequena.

Os *data loggers* instalados forneceram dados de vazão e pressão. O registro da pressão visou unicamente garantir que possíveis anomalias nos registros de vazão pudessem ter sua causa identificada mais facilmente e possibilitar a observação do comportamento das pressões na rede, já que na Quadra 44, onde duas casas foram analisadas, a pressão sofre grande variação, chegando a valores próximos a 50 mca durante o período diurno. A figura 5.8 mostra um gráfico gerado pelo registrador de pressão, após a instalação da VRP.

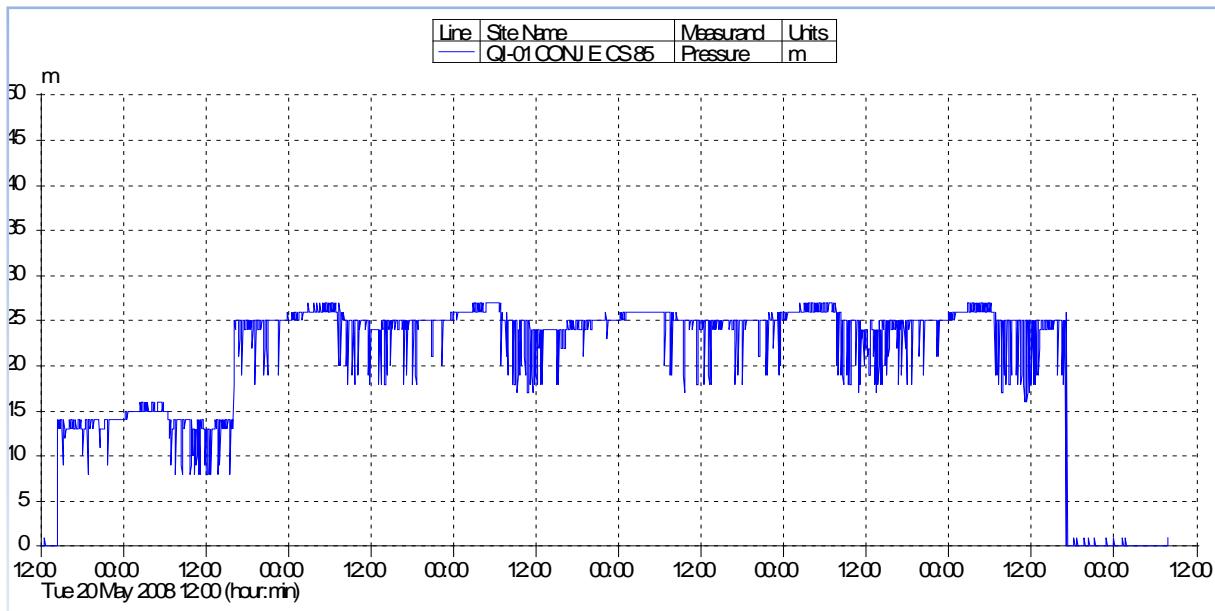


Figura 5.8 – Variação de pressão ao longo do tempo em uma das residências em estudo

Todas as pressões foram ajustadas usando-se uma VRP, para valores em torno de 10 mca, à exceção da casa 85, em que, em função de reclamação dos moradores, no segundo dia, a pressão inicialmente ajustada em um valor próximo a 13 mca, foi reajustada para 23mca. Isso explica a alteração de pressão observada na figura 5.8 no segundo dia do monitoramento. Nos outros casos, a pressão ajustada pela VRP variou pouco durante o dia, com uma ligeira alteração no período noturno.

O registro das vazões ocorreu em períodos de no mínimo três e no máximo sete dias consecutivos. O *data logger* utilizado tem capacidade de armazenamento de 32 Kb e foi programado para coletar os dados a cada 20 segundos, e registro de 1 pulso por litro, como pode ser visto na figura 5.9, com os dados de um registrador usado e a programação. A figura 5.10 mostra um dos gráficos obtidos com o registro das vazões na casa da QE 44, casa 07.

Informações Gerais	
LoqBox	
Modelo:	LoqBox DA
Número de Série:	6038253
Versão do Firmware:	1.09
Capacidade da Memória:	32765 aquisições
Vazão [l/s]	
Entrada:	Contato Seco
Valor:	Aquisições por valor instantâneo
Offset:	0
Informações da Coleta	
Título:	Hidrometro.2
Intervalo entre aquisições:	20 s
Número total de aquisições:	30237
Início das Aquisições:	Start via Palm
Final das Aquisições:	Data: 25/04/2008 Horário: 16:00:00
Momento da coleta:	segunda-feira, 28 de abril de 2008 às 08:08:21
Primeira aquisição:	sexta-feira, 18 de abril de 2008 às 16:01:06
Última aquisição:	sexta-feira, 25 de abril de 2008 às 15:59:46

Figura 5.9 – Dados de configuração do data logger utilizado

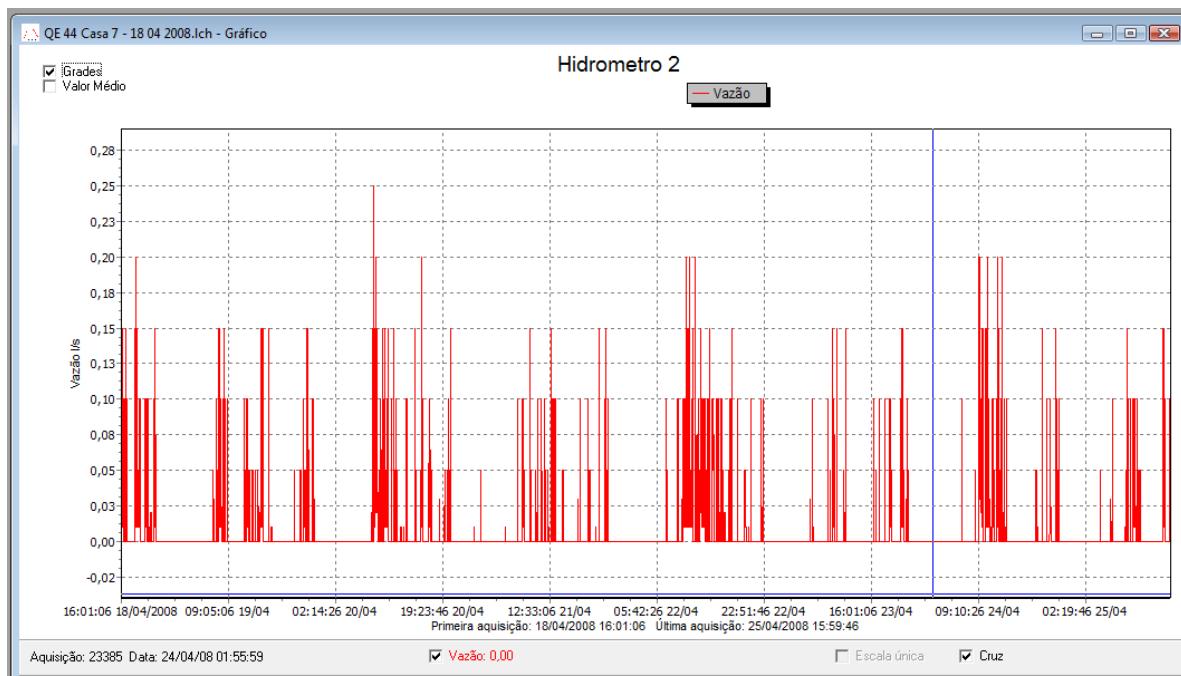


Figura 5.10 – Vazões registradas na casa 7 da QE 44

Em todas as residências observadas na região do Guará, os perfis de consumo não foram muito diferentes, em relação ao volume total consumido, apesar da variação do número de moradores em cada domicílio, devido aos hábitos de consumo e ao tempo de permanência no imóvel. O volume consumido mensalmente por cada imóvel onde foi realizada a pesquisa, demonstra que eles encontram-se na faixa que representa cerca de 75% dos consumidores do

Distrito Federal, ou seja, entre seis m³/mês e 25 m³/mês. Os volumes apurados pelos registradores eletrônicos estão apresentados na tabela 5.3, bem como o tempo total de aquisição dos dados, em segundos.

Tabela 5.3 – Volume mensal, calculados a partir dos valores registrados e consumos médios (Caesb, 2007)

Endereço	Volume (m³)	Tempo (s)	Volume mensal (m³)	Consumo médio mensal (m³)
QE 44 casa 7 - Guará II	3,364	604740	14,419	13
QE 44 casa 8 - Guará II	2,059	603820	8,839	13
QI 01 casa 65 - Guará I	1,530	176180	22,516	24
QI 01 casa 85 - Guará I	2,644	527820	12,984	21

O consumo da casa 8 sofreu um decréscimo significativo em relação à média de consumo do imóvel, fornecido pela Caesb. Isto se deveu à ação da VRP, que ficou instalada na casa durante 20 dias, pois houve problemas durante o primeiro registro e foi necessário repetir a medição. A pressão da rede no local oscila em torno de 50 mca e foi reduzida, durante a fase de registros do consumo, para um valor em torno de 15 mca. Segundo demonstraram os moradores, a conta de água também caiu cerca de quarenta por cento em relação ao mês anterior. A redução na pressão também causou a redução no consumo da casa 85, como pode ser verificado na tabela 5.3.

Houve uma diferença entre os volumes lidos no medidor volumétrico e os que o *data logger* registrou, causado pela forma de aquisição dos dados, o que se deve ao fato de o período de aquisição ter sido programado para um intervalo de 20 segundos, com o registro da vazão instantânea. Isso faz com o volume totalizado pelo *data logger* seja inferior ao volume lido diretamente no hidrômetro. Para a finalidade desse trabalho, que é o estudo da metodologia, esse não é um impedimento para a utilização dos dados e a NBR 15538, que entrou em vigor em 2008, sugere o tempo de 15 segundos de intervalo de aquisição, no caso de levantamento de perfil de consumo. Contudo, para estimar a submedição com a metodologia aqui apresentada, é recomendável, para a determinação mais precisa dos valores de submedição, que se utilize um registrador com maior capacidade de memória, em que se possa programar um intervalo menor para o tempo de aquisição das vazões, além de uma melhor aproximação

dos valores registrados, melhorando assim os resultados. Os registros do *data logger* não apresentaram valores de vazão inferiores a 36 litros por hora (0,01 litro por segundo), devido, além do tempo de aquisição programado, ao fato de que a vazão foi registrada em litros por segundo, com aproximação de apenas duas casas decimais e devido à limitação de capacidade de memória, o que contribui para que valores menores não sejam detectados. No caso do *data logger* que foi utilizado neste experimento, poderia ter sido usado o registro da vazão média, ao invés da instantânea, o que ainda não seria suficiente para eliminar o problema.

O arquivo de texto gerado pelo registrador eletrônico, contendo os valores de vazão, foi usado para a obtenção dos perfis de consumo. Nesse trabalho, esse arquivo é lido por meio de um programa desenvolvido para este fim. O algoritmo elaborado fornece os perfis de consumo para cada uma das residências, separadamente, conforme mostra o gráfico da figura 5.11, onde estão mostrados os percentuais de volume consumidos por faixa de vazão e os limites superiores de cada faixa definida para o cálculo dos perfis.

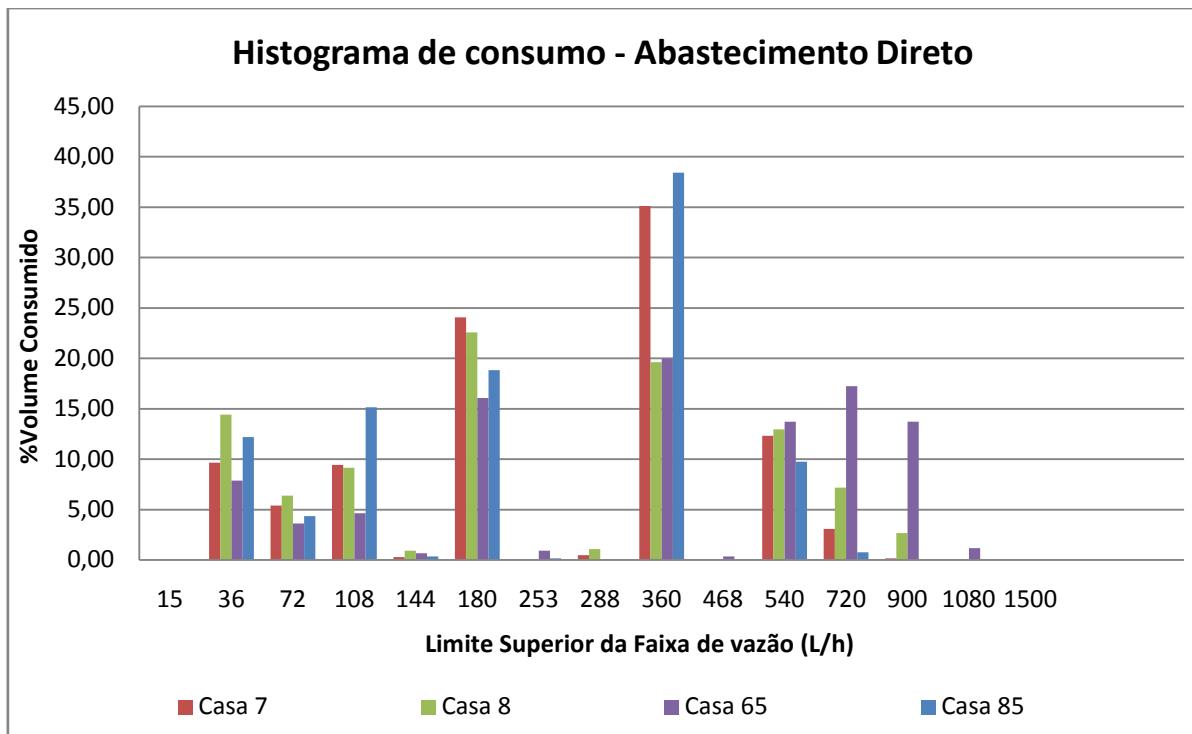


Figura 5.11 – Perfis de consumo registrados nas residências estudadas, com abastecimento direto

A partir da simulação dos perfis de consumo das casas, supondo-se nelas a existência de uma caixa-d'água controlada por torneira-bóia, obteve-se os histogramas de consumo, levando-se em conta cada uma das bóias utilizadas e em cada uma das pressões de ensaio dessas bóias.

Um exemplo para comparação do perfil de consumo com abastecimento direto e do perfil de consumo com abastecimento por meio de reservatório, está ilustrado nas figuras 5.12 (a), 5.12 (b), 5.12 (c) e 5.12 (d). Os perfis de consumo registrados mostraram que não há um consumo noturno significativo.

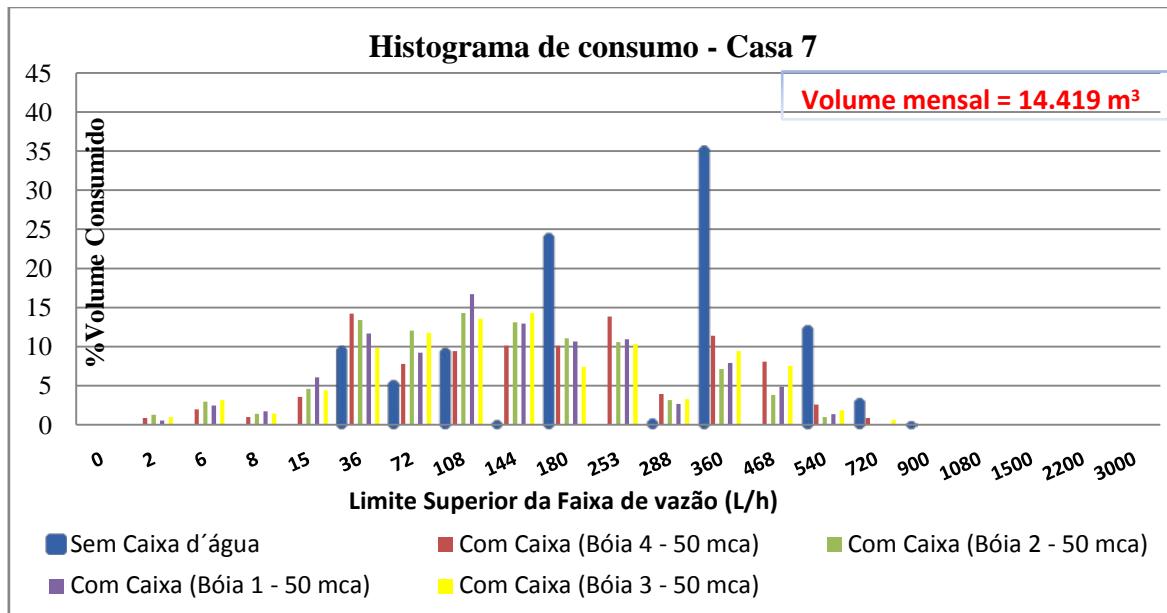


Figura 5.12 (a) – Perfis de consumo registrados, com abastecimento direto e com a simulação do uso de caixa-d’água controlada pelas bóias – Casa 7

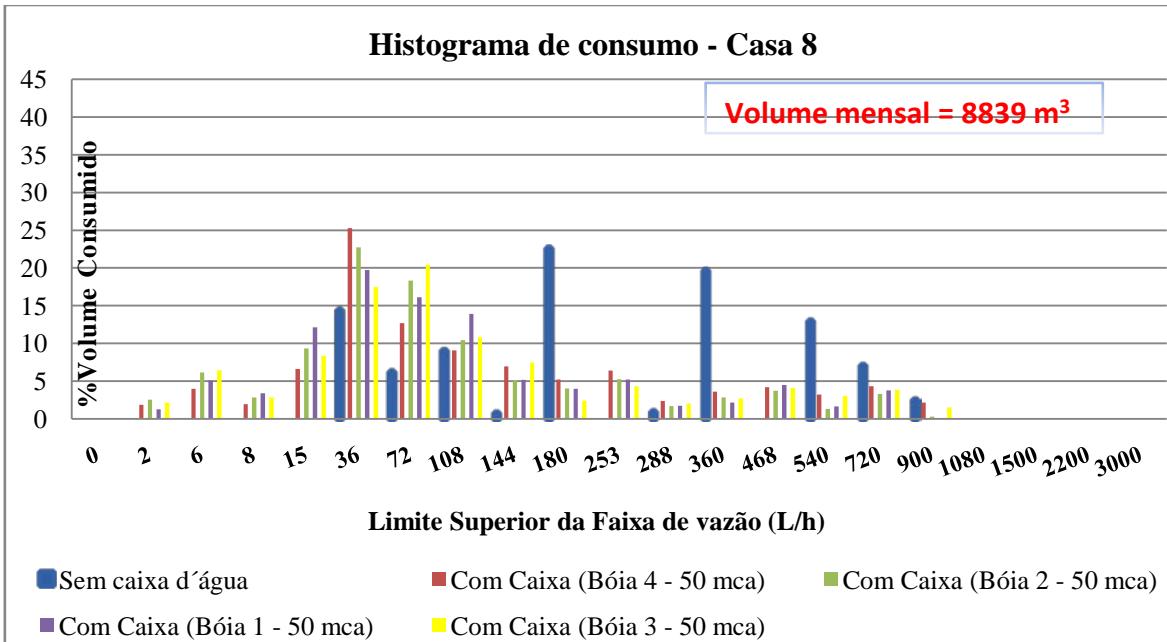


Figura 5.12 (b) – Perfis de consumo registrados, com abastecimento direto e com a simulação do uso de caixa-d’água controlada pelas bóias – Casa 8

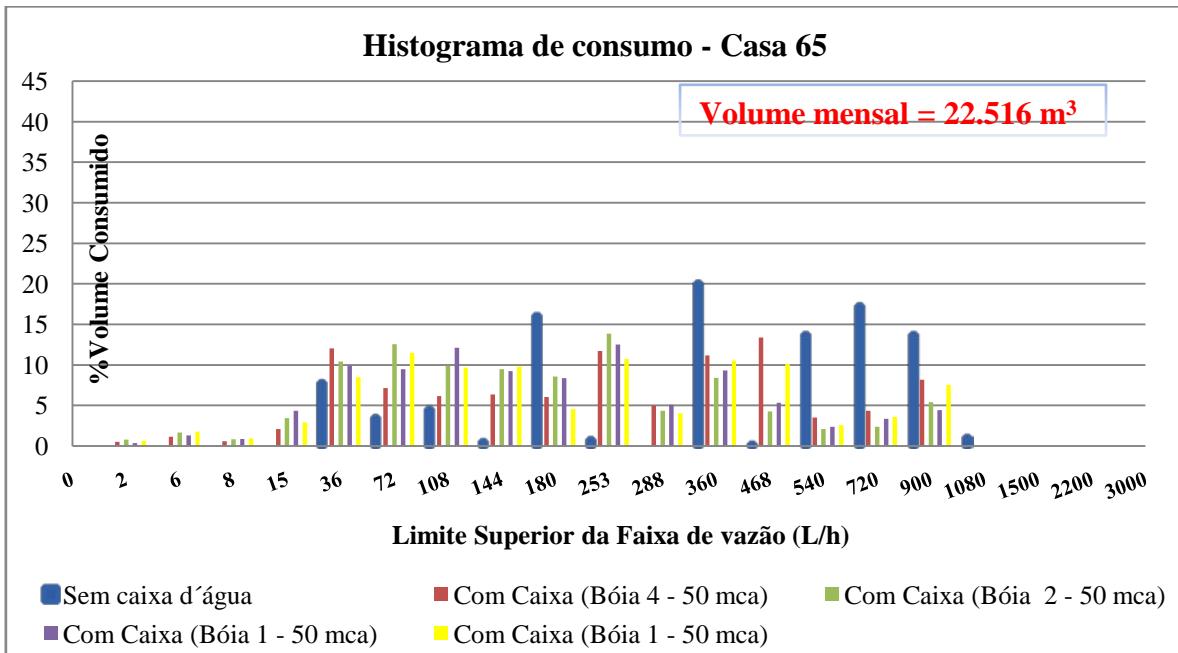


Figura 5.12 (c) – Perfis de consumo registrados, com abastecimento direto e com a simulação do uso de caixa-d’água controlada pelas bóias – Casa 65

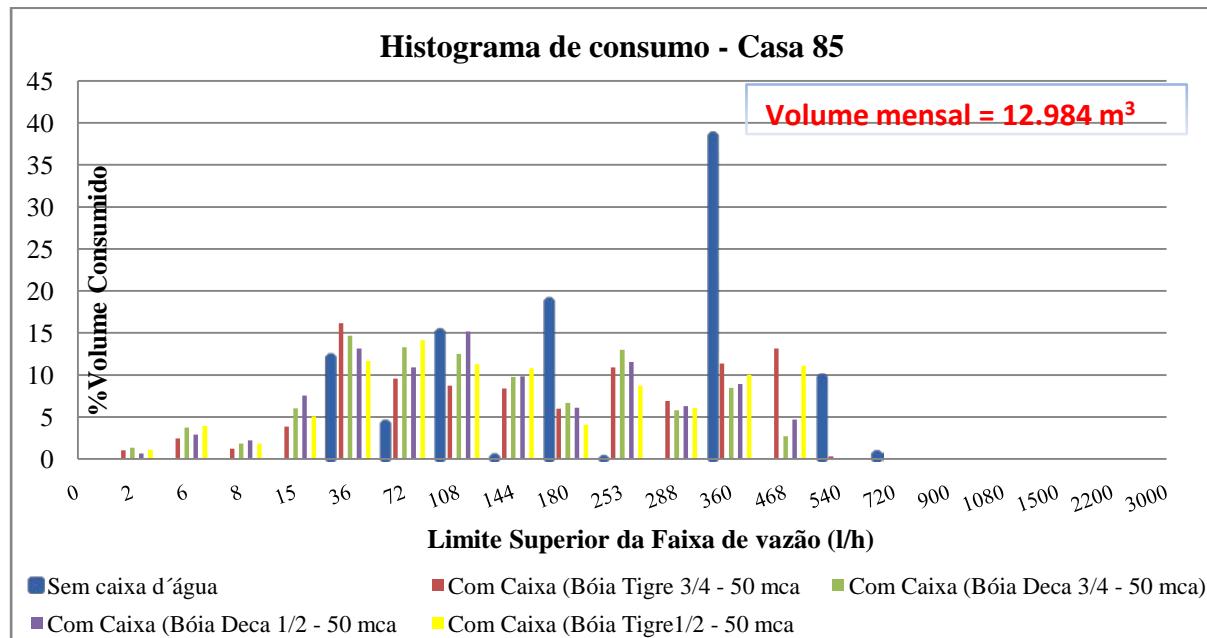


Figura 5.12 (d) – Perfis de consumo registrados, com abastecimento direto e com a simulação do uso de caixa-d’água controlada pelas bóias – Casa 85

Pode-se observar nos valores encontrados na simulação e apresentados na figura 5.13, que o uso de caixa-d’água, controlada por bóias de vazão proporcional ao nível da bóia, como as

utilizadas neste experimento, faz com que um maior percentual do volume total seja consumido em vazões abaixo de 30 L/h por hora, que é a vazão mínima dos hidrômetros originais dos domicílios estudados. No caso do abastecimento direto, cujos dados foram registrados pelo *data logger*. Thornton e Rizzo (2002) e Cobacho *et al.* (2007), conforme citado no capítulo 3 deste trabalho, já haviam demonstrado essa modificação no perfil de consumo. As figuras 3.14, 3.16 e 3.17 mostram como as vazões abaixo das vazões mínimas medidas pelos hidrômetros (Qmin), representam um percentual muito pequeno do consumo, quando o abastecimento é direto, enquanto a ocorrência de vazões baixas aumenta no caso de abastecimento misto ou por caixa-d'água.

Tabela 5.4 – Tempo de permanência das vazões durante o período de consumo, com abastecimento direto e simulação do uso de caixa-d'água (Casa 7)

Faixa de vazão (L/h)	ABASTECIMENTO DIRETO				BÓIA 1 (1/2") PRESSÃO =50 mca			
	Tempo (s)	Volume Consumido (L)	% Volume Mensal	% Tempo	Tempo (s)	Volume Consumido (L)	% Volume Mensal	% Tempo
0-2	520860	0,00	0,00	86,13	20	0,00	0,00	0,00
2-6					289558	135,54	0,54	47,88
6-8					77132	425,36	2,47	12,75
8-15					30294	224,36	1,74	5,01
15-36					66810	869,46	6,07	11,05
36-72	32460	1391,43	9,65	5,37	62008	1102,00	11,66	10,25
72-108	9080	778,63	5,40	1,50	23032	2061,91	9,23	3,81
108-144	10580	1359,71	9,43	1,75	22822	2038,85	16,71	3,77
144-180	240	41,81	0,29	0,04	12542	1720,19	12,92	2,07
180-253	16200	3472,09	24,08	2,68	8070	1599,07	10,64	1,33
253-288					6436	1731,72	10,94	1,06
288-360	200	69,21	0,48	0,03	1194	488,80	2,66	0,20
360-468	11820	5065,39	35,13	1,95	2990	1411,62	7,92	0,49
468-540					1504	560,90	4,89	0,25
540-720	2760	1774,98	12,31	0,46	328	12,98	1,34	0,05
720-900	520	445,54	3,09	0,09	0	0,00	0,00	0,00
900-1080	20	21,63	0,15	0,00	0	0,00	0,00	0,00
1080-1500					0	0,00	0,00	0,00
1500-2200					0	0,00	0,00	0,00
2200-3000					0	0,00	0,00	0,00
TOTAL	604740	14420,42	100	100	604740	14382,76	100	100

Na simulação do abastecimento por meio de caixa-d'água, embora os percentuais de volumes consumidos sejam pequenos em vazões menores que 15 litros por hora, o tempo de

permanência nessas vazões ultrapassa sessenta por cento do tempo total de abastecimento registrado, como demonstra a tabela 5.4, onde estão listados os valores percentuais de volume consumido e tempo de permanência em cada faixa de vazão, para a condição real do imóvel estudado, ou seja, com abastecimento direto da rede e em uma condição de simulação do uso de uma caixa-d'água controlada por bóia para abastecimento da casa. O exemplo constante na tabela é relativo à simulação para a bóia 1, considerando-se uma pressão de 50 mca, próxima do valor de pressão na rede que abastece a *casa 7*.

5.4 CALIBRAÇÃO DOS HIDRÔMETROS

Após a realização dos levantamentos dos perfis de consumo nas residências, os hidrômetros foram retirados e levados para a bancada de calibração, certificada pelo INMETRO. Foram realizados ensaios nas vazões definidas pela NBR 15538:2007, por ser mais abrangente que a Portaria 212/2000, além de terem sido incluídos alguns valores de vazão registrados pelo *data logger* e não previstos na referida Norma, para que se pudesse construir uma curva de erros mais representativa. Como os ensaios de cada hidrômetro foram feitos em valores de vazão definidas, conforme mostrados na tabela 5.5, ajustou-se as curvas de erros obtidas, gerando assim as equações que pudessem representar todos os trechos dessas curvas. A definição dessas equações teve como finalidade o cálculo dos erros de medição por meio da rotina de programação criada em PHP, pois os valores de vazão gerados pelo programa, durante a simulação do uso de caixa-d'água, não são valores exatos, diferentemente dos valores que foram registrados pelo *data logger*. A figura 5.13 mostra o gráfico das curvas de erros obtidos em bancada.

Os erros foram calculados por meio da equação 3.1. As médias dos valores dos erros obtidos durante os três ensaios realizados para cada hidrômetro, em cada vazão, estão apresentados tabela 5.6.

Como esperado, o hidrômetro novo foi o que apresentou melhor resultado, enquanto o início de funcionamento do hidrômetro que estava sendo usado desde 1992 só aconteceu quando a vazão de teste alcançou a marca de 36 litros por hora, sendo que os erros negativos permaneceram acima de 3% até a vazão de 180 litros por hora.

Tabela 5.5 – Erros dos hidrômetros, obtidos em ensaios de calibração

Vazões (L/h)	Qn = 1,5	Qn = 1,5	Qn = 1,5	Qn = 0,75	Qn = 1,5	Qn = 1,5	Qn = 1,5	Qn = 1,5
	Novo	Casa 8	Casa 65	Casa 7	Casa 85	ANTIGO	Volumétrico	Volumétrico
2	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-71,92	-71,94
6	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-4,76	-8,79
8	-99,66	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-4,56	-7,24
15	-34,82	-99,33	-100,00	-43,20	-92,98	-100,00	-0,10	-3,11
36	2,12	-12,46	-26,40	-6,50	-16,13	-100,00	1,79	1,00
72	2,33	-7,33	-5,98	-2,32	-6,33	-17,75	2,33	1,33
110	2,72	0,40	-1,92	0,40	1,72	-7,23	1,39	1,39
140	1,29	-1,03	-1,03	-0,03	1,29	-4,01	1,29	0,96
180	1,23	1,23	-0,27	0,57	1,40	-2,43	-1,76	1,23
250	0,80	0,63	-0,20	0,80	3,80	-2,70	0,97	0,97
360	0,09	1,26	0,09	-0,24	0,26	-1,74	0,92	0,09
550	-0,37	0,84	0,10	0,02	-0,13	-1,22	0,57	0,23
700	-0,39	1,01	0,40	0,07	-0,23	-1,17	0,44	0,10
1000	-0,22	0,79	0,77	-0,13	-0,32	-1,06	0,39	0,00
1500	-0,33	0,28	0,67	-0,23	-0,20	-1,10	0,08	-0,38
2200	-0,73	-0,43	0,36	*	0,28	-1,31	-0,35	-0,53
3000	-0,58	-0,32	0,62	*	0,40	-1,68	-0,30	-0,30

As equações obtidas a partir do ajuste dessas curvas encontram-se na tabela A4, no anexo II.

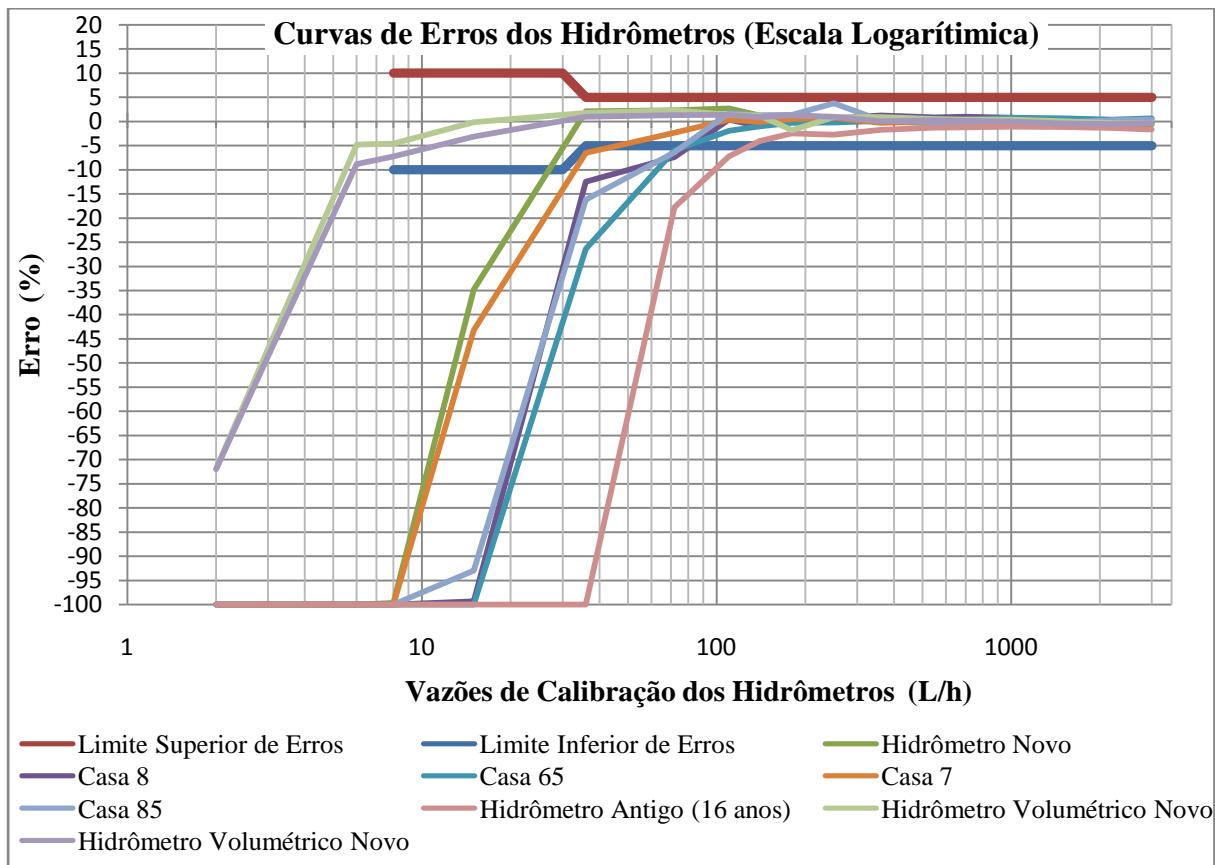


Figura 5.13 – Curvas obtidas com a calibração em bancada dos hidrômetros usados no experimento

O limite superior e o limite inferior de erros, apresentados no gráfico da figura 5.12, representam os limites de erros aceitáveis para um medidor em uso, do tipo volumétrico de classe B, de acordo com a Portaria 246/2000 do INMETRO, conforme já discutido no item 3.2 deste trabalho.

Na figura 5.13, pode-se ver que, dentre os hidrômetros originais dos domicílios estudados, a curva de erros que melhor se aproximou da curva de erros do hidrômetro novo foi o da casa 7, que é um hidrômetro classe B, de vazão nominal igual a 0,75 m³/h. Todos os outros hidrômetros retirados dos domicílios e testados em bancada apresentaram erros fora do limite aceitável, sendo o pior caso o hidrômetro mais antigo, com dezesseis anos de instalação, usado para comparação. Deve-se ressaltar que esses hidrômetros, caso estivessem em boas condições, deveriam trabalhar dentro dos limites aceitáveis de erros, a partir de 30 L/h, que é a vazão mínima, de acordo com a Portaria 246/2000, para que um hidrômetro classe B funcione dentro da faixa admissível de erros.

5.5 QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME SUBMEDIDO NAS RESIDÊNCIAS

A submedição foi calculada Inicialmente para cada uma das residências estudadas, considerando-se primeiramente para a condição real, ou seja, de abastecimento direto, com base nos dados levantados no perfil de consumo e dos erros encontrados em cada um dos hidrômetros. O programa para o cálculo do erro de medição fornece, para cada um dos domicílios pesquisados, os dados contidos na tabela 5.7.

Os erros de medição para todos os domicílios pesquisados, considerando-se abastecimento direto, estão mostrados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Erro de medição considerando-se abastecimento direto

Domicílio	Casa 7	Casa 8	Casa 65	Casa 85
Erro de medição (%)	-0,46	-2,63	-1,16	-1,86

Tabela 5.7 – Cálculo do erro de medição, considerando-se abastecimento direto

Faixa de vazão (L/h)	ABASTECIMENTO DIRETO					
	Tempo (s)	Volume Consumido (L)	% Volume Mensal	% Tempo	Hidrômetro 4	
					Erro do Hidrômetro (%)	Volume medido errado (L)
0-2	520860	0	0	86,13	-100	
2-6					-100	
6-8					-100	
8-15					-100	
15-36					-43,19	
36-72	32460	1391,43	9,65	5,37	-6,52	-90,76
72-108	9080	778,63	5,4	1,5	0,04	0,34
108-144	10580	1359,71	9,43	1,75	0,06	0,88
144-180	240	41,81	0,29	0,04	0,09	0,04
180-253	16200	3472,09	24,08	2,68	0,11	3,75
253-288					0,15	
288-360	200	69,21	0,48	0,03	0,17	0,12
360-468	11820	5065,39	35,13	1,95	0,22	10,94
468-540					0,28	
540-720	2760	1774,98	12,31	0,46	0,32	5,75
720-900	520	445,54	3,09	0,09	0,43	1,93
900-1080	20	21,63	0,15	0	0,54	0,12
1080-1500					0,65	
1500-2200					0,9	
2200-3000					1,32	
Volume mensal = 14420,42			Total do volume medido errado = -66,89			
Erro de medição (%) = Total do volume medido errado/Volume mensal = -0,46						

Os erros de medição calculados por meio do perfil de consumo podem ser comparados com a diferença entre os volumes totalizados pelos hidrômetros volumétricos e velocimétricos, durante o período do levantamento do perfil de consumo nos domicílios estudados e apresentados na tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Diferença entre os volumes registrados pelo hidrômetro volumétrico e pelo hidrômetro original da residência (velocimétrico)

Domicílio	Casa 7	Casa 8	Casa 65	Casa 85
(Volume acumulado no hidrômetro volumétrico – Volume acumulado no hidrômetro velocimétrico) (%)	0,92	0,401	-0,58	-3,4

Pode-se observar que, em caso de abastecimento direto, tanto a comparação entre os volumes registrados nos hidrômetros, quanto o cálculo do erro considerando-se o perfil de consumo, os erros de medição não ultrapassam 5%. No caso dos hidrômetros das casas 7, 8 e 65, que têm menos do que cinco anos de uso, não ultrapassou 1%, sendo que em dois deles houve sobremedição. O hidrômetro com oito anos de uso apresentou submedição, com erro igual a 3,4%. Contudo, ao se utilizar o perfil de consumo para o cálculo dos erros de medição, todos os hidrômetros apresentaram erros negativos, ou seja, submedição, embora os erros encontrados sejam menores que 5%, estando dentro dos limites de erro aceitáveis pela Portaria 246/2000.

Em seguida, os resultados apresentados na tabela 5.6 (sem bóia) podem ser comparados com os valores estimados a partir da simulação considerando-se o uso de caixa-d'água. Aplicando-se as equações levantadas para as curvas das bóias e da equação de volume levantada para uma caixa-d'água, obteve-se os valores mostrados na tabela 5.9.

Em geral, as bóias 3 e 4, da marca *B*, provocam uma submedição menor, o que provavelmente deve-se ao fato de serem mais estáveis, fornecendo valores mais constantes de vazões em cada altura ajustada durante os ensaios, pois sofrem menor deslocamento lateral, fator que afeta a abertura da bóia e consequentemente a vazão por ela fornecida. No entanto, embora seja evidente que o uso de torneiras do tipo bóia no controle de nível das caixas-d'água agrava a submedição provocada por abastecimento indireto, pode-se observar nos gráficos da figura 5.14, que os dois tipos de bóia testados neste experimento, em dois diâmetros diferentes, apresentaram comportamentos semelhantes.

Quanto à influência da pressão na submedição em sistemas abastecidos por caixas-d'água, os gráficos da figura 5.14 mostram que a pressão exerce pouca influência. Com a simulação do

uso da caixa-d'água, o que afetou esses índices foi principalmente a característica da caixa-d'água escolhida para a simulação e a curva de erros dos hidrômetros considerados, aliados ao perfil de consumo. Para a obtenção dos valores apresentados na tabela 5.9 considerou-se as curvas de erros dos hidrômetros originais dos domicílios.

Tabela 5.9 – Índices de submedição encontrados para cada um dos domicílios analisados, simulando-se a existência de caixa-d'água controlada por bóia

Bóia	Pressão (mca)	Casa 7	Casa 8	Casa 65	Casa 85
1	17	-8,46	-26,64	-9,55	-16,35
	23	-8,91	-27,88	-10,06	-17,24
	30	-7,59	-23,63	-8,43	-14,64
	40	-7,84	-24,37	-8,68	-15,07
	50	-8,04	-25,97	-9,07	-16,01
Média Bóia 1		-8,168	-25,7	-9,158	-15,86
2	17	-9,09	-26,78	-8,49	-16,86
	23	-8,21	-25,27	-7,85	-15,83
	30	-8,8	-26,65	-9,6	-16,71
	40	-8,61	-26,15	-9,48	-16,44
	50	-8,38	-25,53	-9,22	-16,01
Média Bóia 2		-8,618	-26,08	-8,928	-16,37
3	17	-8,39	-23,98	-8,6	-14,81
	23	-8,2	-23,64	-8,55	-14,54
	30	-8,42	-24,71	-9,01	-15,24
	40	-7,72	-23,64	-8,48	-14,55
	50	-7,99	-23,92	-8,47	-14,62
Média Bóia 3		-8,144	-23,98	-8,622	-14,75
4	17	-6,36	-18,57	-6,56	-11,26
	23	-7,2	-20,45	-7,45	-12,49
	30	-6,23	-19,29	-6,89	-11,67
	40	-6,75	-20,32	-7,17	-12,29
	50	-6,2	-18,81	-6,57	-11,29
Média Bóia 4		-6,548	-19,49	-6,928	-11,8
Média Geral		-7,8695	-23,81	-8,409	-14,7
Média Geral					
Desvio Padrão		0,865884	2,777625	1,001748	1,86346
Intervalo de Confiança (95%)		0,379483	1,217325	0,439027	0,816682

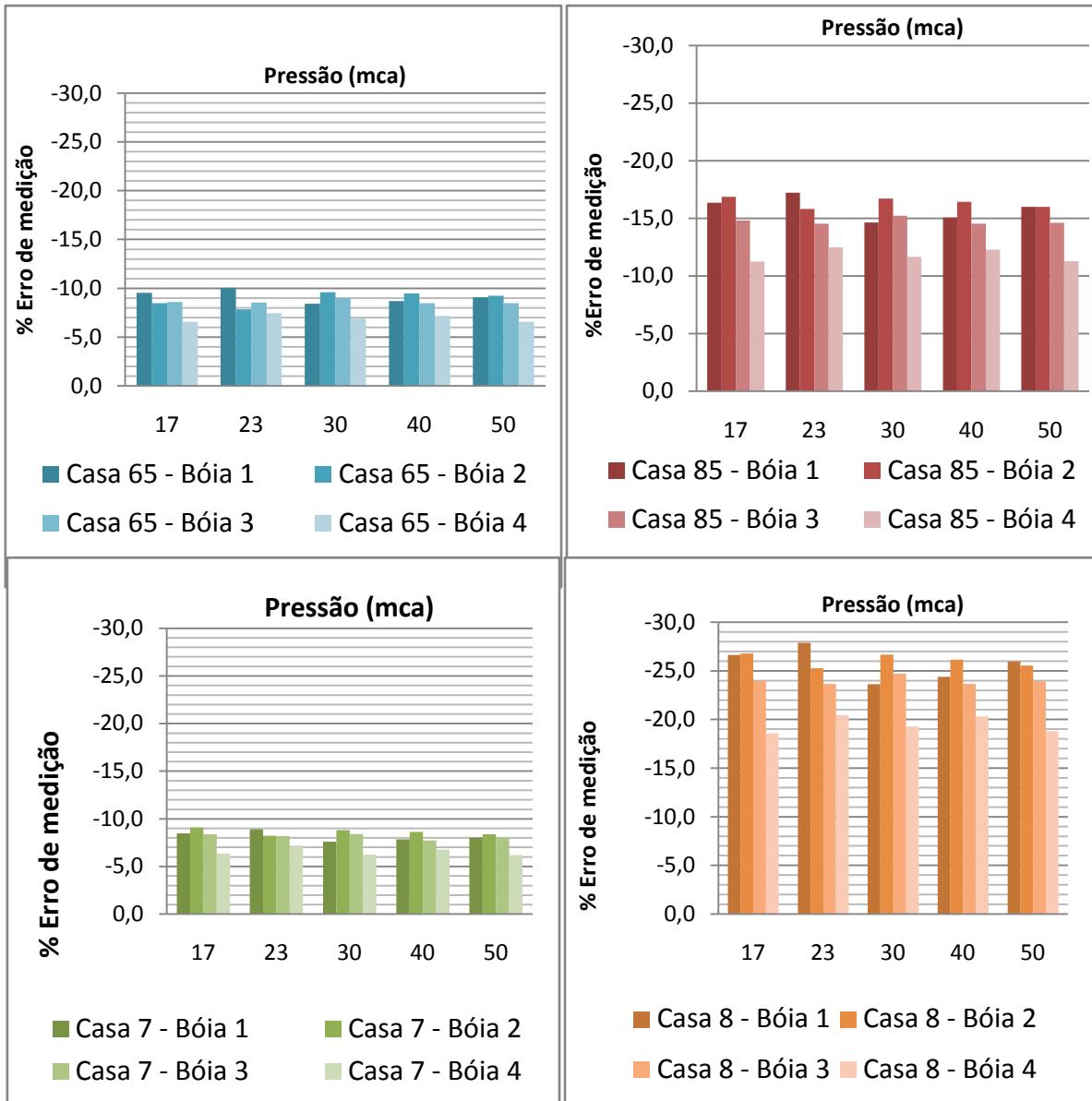


Figura 5.14 – Submedição simulada para as casas 7, 8, 65 e 85, considerando-se todas as 4 bóias utilizadas e as cinco pressões de ensaio, com a curva de erro dos hidrômetros

Nos resultados mostrados da figura 5.14, foram consideradas as curvas de erros dos hidrômetros originais de cada consumidor analisado. Para que se compreenda os valores de submedição apresentados, é necessário observar o histograma de vazões (figura 5.11) e os erros dos respectivos hidrômetros (tabela 5.5). Os hidrômetros retirados das residências e testados em bancada apresentaram erros negativos até a vazão 72 L/h, exceto o hidrômetro mais antigo, ensaiado para comparação, que apresentou submedição até a vazão de 140 L/h. Tomando-se como exemplo a casa 8, que apresentou a maior submedição, pode-se observar na tabela 5.5 que o hidrômetro desse imóvel apresentou erros negativos consideráveis. Os

primeiros registros de vazão só ocorreram quando atingida uma vazão de cerca de 36 L/h, ainda com erros elevados. A curva de erros do hidrômetro daquele domicílio, aliada a um consumo de 57,73% do volume em vazões até 72 L/h, quando o abastecimento é indireto, conforme pode ser observado nas figuras 5.15, provocam a submedição elevada.

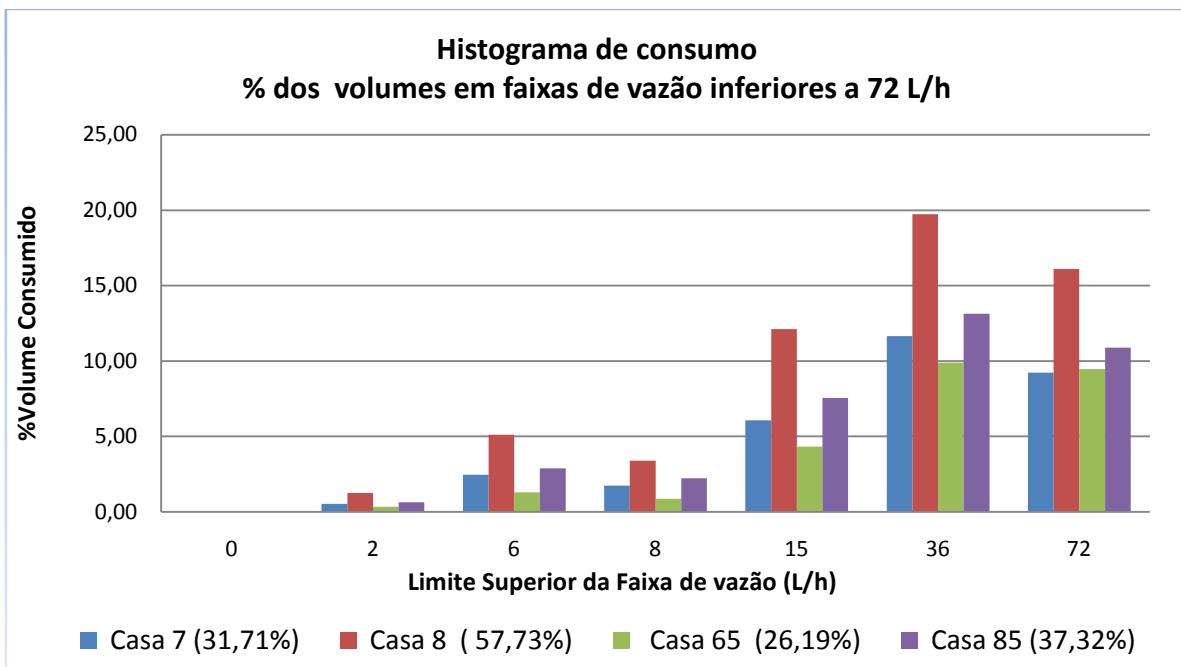
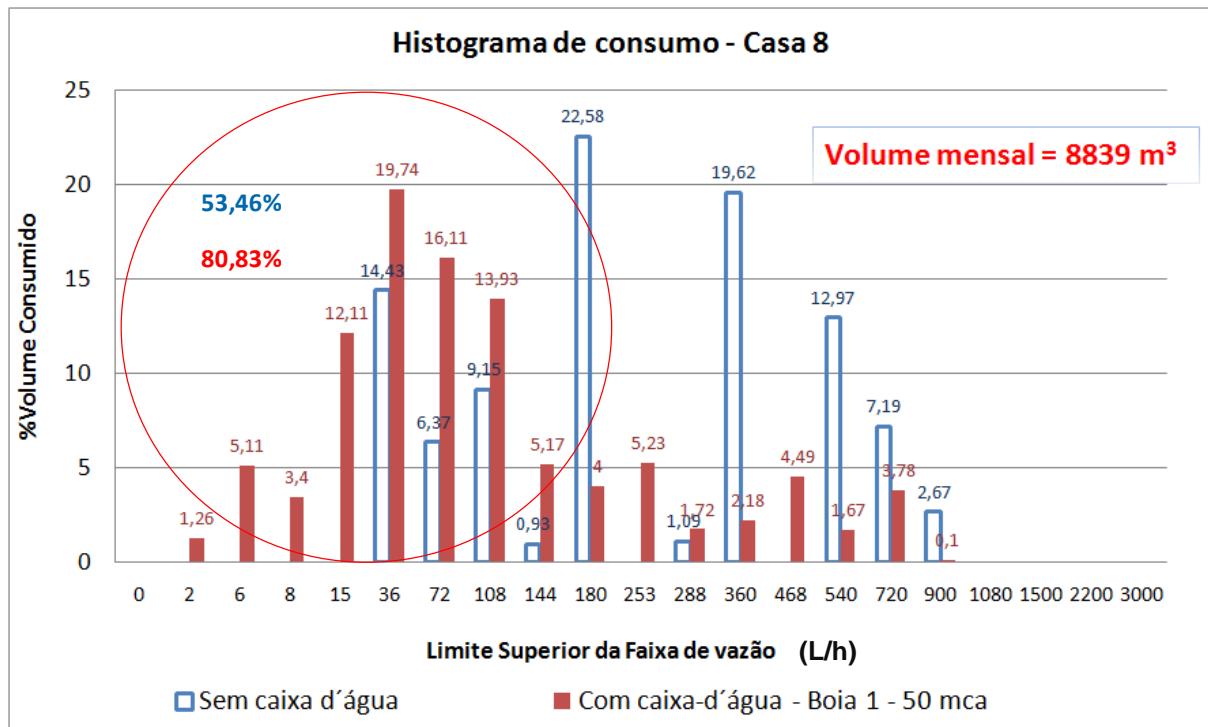


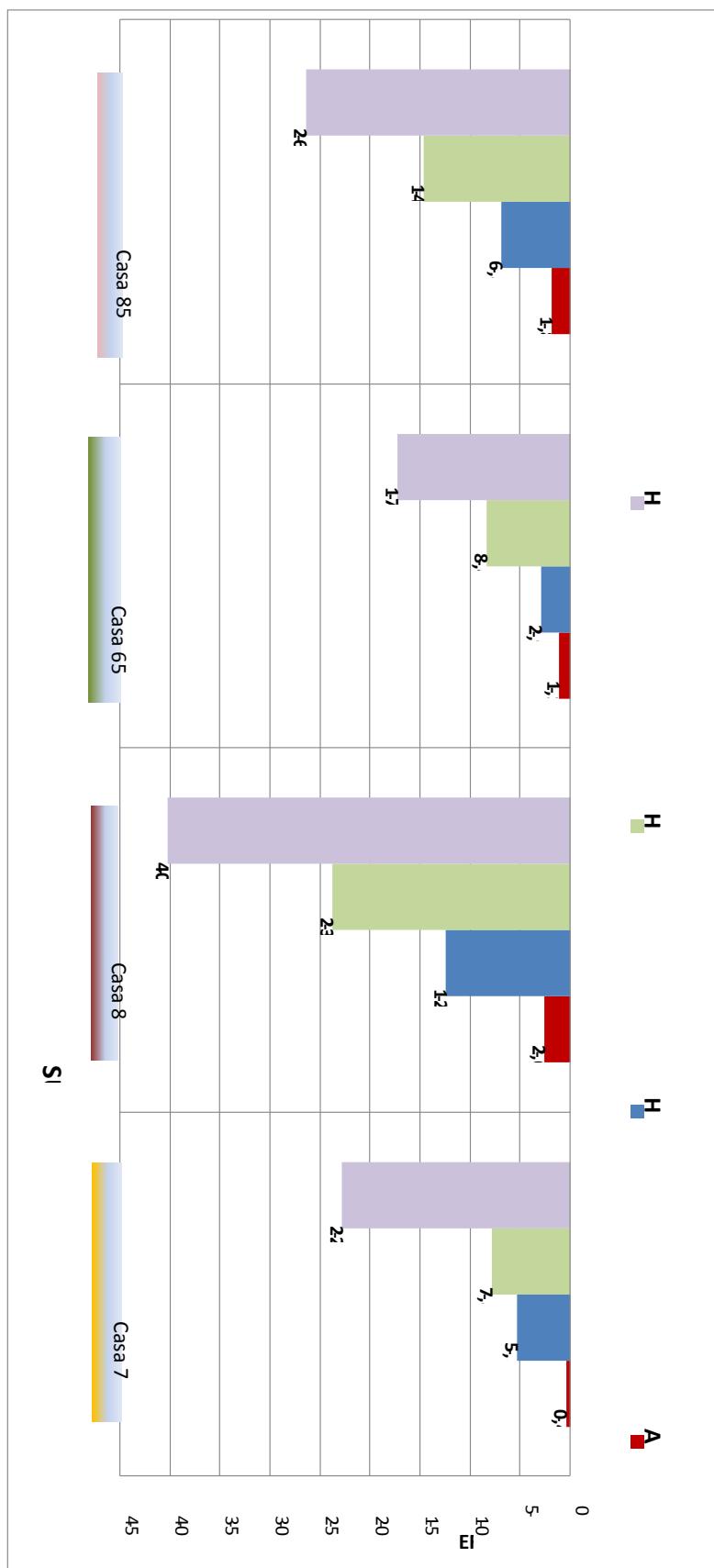
Figura 5.15 – Histograma de consumo com os percentuais de consumo nas vazões até 72 L/h, considerando-se o uso de caixa-d'água

O perfil de consumo obtido por meio da simulação do uso de reservatório domiciliar mostra que o abastecimento indireto faz com que o maior percentual de volume seja consumido em vazões até 180 L/h, diferentemente do que ocorre no abastecimento direto, como mostra figura 5.16.



Figuras 5.16 – Percentuais de volume consumido em vazões até 180 L/h

A submedição provocada pelo uso de reservatórios domiciliares controladas por bóias pode ser agravada ou atenuada, de acordo com o hidrômetro utilizado e do perfil de consumo. A figura 5.17 mostra o comportamento da submedição, para cada uma das casas. Os valores foram obtidos conforme mostrado na figura 5.9, aplicando-se, por meio de simulação, as curvas de erros de um hidrômetro novo e de um hidrômetro antigo, a cada um dos perfis de consumo registrados. As tabelas com os cálculos análogos ao da tabela 5.9 podem ser vistas no anexo V.



Figuras 5.17 – Submedição dos diferentes hidrômetros, considerando-se o perfil de consumo de cada domicílio

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo sobre fatores que provocam submedição representa um passo fundamental para o cálculo das perdas aparentes. Embora muitos trabalhos enfoquem o problema das perdas reais, estimar corretamente o consumo não medido, especialmente os volumes submedidos, ainda requer esforços das companhias de saneamento.

A medição correta e uma boa estimativa dos volumes não medidos, além de contribuir para o controle de perdas de faturamento, contribuem para a preservação ambiental, à medida que leva o consumidor a controlar melhor o uso da água e assim um menor volume tem que ser disponibilizado, evitando a degradação ambiental provocada por todo o processo para produção e entrega da água.

A submedição sofre forte influência dos sistemas abastecidos com caixas-d'água controladas por torneiras do tipo bóia, de uso comum no Brasil e em outros países onde a intermitênci no sistema ainda é uma realidade, e portanto uma situação difícil de ser eliminada pelos prestadores de serviços de saneamento. No entanto, pouco ainda se conhece sobre o problema e não há ainda metodologias aplicáveis ao setor de saneamento, que propicie a correta estimativa dos valores submedidos devido á essa configuração de abastecimento.

O presente trabalho apresentou uma metodologia visando contribuir para a compreensão e quantificação da submedição em hidrômetros, em sistemas dotados de caixas-d'água controladas por bóias e buscando também mostrar, por meio de da revisão bibliográfica, os outros aspectos envolvidos nessa questão, como a necessidade de se ter um parque de medição confiável, ou seja, com medidores bem dimensionados, calibrados periodicamente e mantidos de acordo com as normas pertinentes.

As bóias testadas neste trabalho são as mais utilizadas no mercado o Distrito Federal e apresentam comportamentos semelhantes do ponto de vista da influência na submedição, liberando a entrada de água em vazões inferiores às mínimas para o correto funcionamento do hidrômetro. O tipo ou diâmetro dos tipos das bóias testadas neste estudo não é o fator preponderante para aumentar ou reduzir a submedição. A submedição será maior ou menor em função da área superficial do reservatório e o perfil de consumo dos usuários, combinados com a qualidade e as condições de funcionamento do hidrômetro utilizado.

Não foram testadas neste trabalho as bóias chamadas no comércio local de “bóias de alta vazão”, que não liberam vazões pequenas. Esse tipo de bóia, pouco utilizada pelos consumidores, pode reduzir consideravelmente a submedição.

O padrão de consumo dos moradores tem grande influência na submedição, conforme foi demonstrado nesse trabalho, pois a má qualidade da medição do hidrômetro, aliado a um perfil onde o maior percentual consumido seja em baixas vazões, provocará maior submedição. Os erros de medição obtidos pela simulação do uso de reservatório, realizada neste trabalho, mostram que a submedição provocada pelo uso de reservatórios domésticos pode ser muito elevada, mesmo com a utilização de hidrômetros novos, podendo ultrapassar 40%, dependendo do perfil de consumo.

O reservatório utilizado neste trabalho, para o levantamento da curva de volume empregada na simulação do abastecimento indireto, com capacidade de 500 litros de armazenamento, possui um diâmetro inferior aos reservatórios de 1000 litros de capacidade, que podem ter um diâmetro superior até 30% maior do que este que foi usado, o que aumenta a área superficial e consequentemente aumenta a submedição.

Assim, em domicílios dotados de caixas-d’água, é recomendável que se priorize a substituição e calibração periódica dos medidores, aliando-se esta medida ao estudo do perfil de consumo dos usuários do serviço de abastecimento, pois o conhecimento sobre o padrão de consumo permite a tomada de decisões a respeito da priorização de medidas como a substituição, calibrações e dimensionamento de hidrômetros, buscando minimizar as perdas causadas por submedição.

Cabe ressaltar que a metodologia empregada no experimento desta pesquisa, requer maior refinamento para que se chegue a valores mais precisos de submedição, onde alguns aspectos devem ser observados e implementados, pois o abastecimento indireto é um sistema complexo, e seu estudo requer o conhecimento de todas as suas variáveis. Para melhorar a precisão dos dados obtidos nessa pesquisa, são necessárias as seguintes medidas:

- Utilizar registradores com maior capacidade de memória, para propiciar um tempo de aquisição menor, uma melhor aproximação de casas decimais e assim melhorar o levantamento do perfil de consumo;
- Aumentar a amostra de imóveis pesquisados;

- Levantar a curva de volume de outras caixas-d'água;
- Estudar o funcionamento das bóias chamadas “bóias de alta vazão”, que potencialmente podem reduzir a submedição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, H. (1998). “Indicadores de desempenho de sistemas de abastecimento de água – trabalho em curso no âmbito do IWSA”. 4º Congresso da Água. Lisboa, Portugal.
- Alves, W. C., Peixoto, J. B., Sanchez, J. G, Leite, S. R. (2004). “Micromedição. Documento Técnico de Apoio nº D3”. Ministério das Cidades. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília, DF, 171 p.
- Arregui F., Cabrera E. Jr., Cobacho R., Garcia-Serra, J. (2005). “Key Factor Affecting Water Meter Accuracy Leakage2005”. *Anais do Leakage 2005 do IWA*, 90-99, Halifax, Nova Scotia, Canada.
- Arregui F., Cabrera Jr. E., Cobacho R., Garcia-Serra, J. (2007). “Reducing Apparent Losses Caused By Meters Inaccuracies”. *IWA Publishing Online*. American Water Works Association (2004)
- Barreto, G. C., Gomes, D. M., Reis Jr, J. C. F., Rodrigues, J. S. N. e Pereira, J. A. R. (2007). “Perda de água na distribuição e seus impactos no consumo de energia elétrica em sistema de abastecimento”. *Anais do 24º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária*, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. (2007 a). Sinopse de Sistema de Abastecimento de Água do Distrito Federal – SIÁGUA. Brasília, Distrito Federal, Brasil.
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. (2007 b). Sistema Comercial - SICOC. Brasília, Distrito Federal, Brasil.
- Charalambous, B., Charalambous, S., Loannou, I. (2007). “Meter Under-Registration Caused Ball Valves in Roof Tanks”. *Water Loss 2007*, Bucareste, Romenia.
- Chern, J. M., Wang, C. C., Ma, H. C. (2007). Performance test and flow visualization of ball valve. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Volume 31, May 2007, p. 505-512. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2006.04.019>

Cobacho, R., Arregui, F., Cabrera, E. e Cabrera, E. Jr (2007). “Private Water Storage Tanks: Evaluanting Their Inefficiencies”. *Efficient 2007: 4º IWA Specialised Conference on Efficient Use of Urban Supply*, Jeju Island, Korea, 8p.

Coelho, C. E. O. (2005). “Gestão estratégica em redução de perdas através da micromedicação”. Monografia. Ministério das cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Programa de Modernização do Setor de Saneamento, Escola Internacional da Água para o Desenvolvimento (Hydroaid), Brasília, DF.

Costa, A. J. M. P., Sanchez, J. G., Alves, W.C., Hernandez, N. C. (1999). “Análise de Consumo e Estimativa de Perdas em Sistema Sujeito a Intermitência d Abastecimento”. Anais do 20º Congresso da Associação Brasileiro de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Davis, S. E. (2005). “Residential water Meter Replacement”. *Anais do Leakage 2005 do IWA*, 116-125, Halifax, Nova Scotia, Canadá.

Farley, M. (2001). “Leakage Management and Control – A Best Practice Training Manual”. Organizaçao Mundial de Saúde, Genebra, Suíça. 169 p.

Farley, M. e Liemberger, R. (2005). “Developing a non-revenue Water reduction strategy: planning and implementing the strategy”. Water Science and Technology: Water Supply, Vol. 5, N° 1, IWA Publishing, p. 41-50.

Georgia Environmental Protection Division. (2007). “EPD Guidance Document - Water meter calibration, repair, and replacement program”. Manual. Watershed Protection Branch. Disponível em <http://www.conservewatergeorgia.net/index.html>

Gomes, A. S., Chilanti, N. e Freitas, O. G. (2006). “Ferramentas Metodológicas para Diagnóstico Situacional - Sistemas de Abastecimento de Água”. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS. Unidade de Gerenciamento do Programa. Brasília, DF.

Gonçalves, E. e Lima, C. (2005). “Guia Prático Para Controles de Pressão na Rede operação de válvulas reguladoras”. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política

Urbana. Programa Nacional de Combate Ao Desperdício de Água – PNDCA. Documentos Técnicos de Apoio. Brasília, DF.

Gonçalves, E. (1998). “Metodologias para Controle de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água – Estudo de Casos da CAESB”. Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH.DM – 010A/98, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 173p.

Gularte, C. B. (2005). “Um Estudo da Submedição na Parcela de Hidrômetros Residenciais do Parque de Blumenau - SC, através de uma Metodologia Proposta para Caracterização do Parque de Hidrômetros e Estimativa de seu Desempenho Metrológico”. *35ª Assembléia Nacional da Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento*, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

IBGE. (2005). “Pesquisa de Informações Básicas Municipais. Perfil dos Municípios Brasileiros. Meio Ambiente 2002”. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro.

Itonaga, L. C. H. (2005. “Estudo da Aplicação de Modelos de Redes de Água no Controle de Perdas em Casos Reais”. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM-80/2005, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 201p.

Kwan, Chin-Tarn.(2005) “A study of process and die design for ball valve forming from stainless steel tube”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v 26, n 9-10, October, 2005, p 983-990.

Lambert, A. O. (2001) “International Report: Water Losses Management and Techniques”. *Water Supply*, Volume 2, IWA Publishing, 2002, p 1–20.

Lambert, A.O. e Hirner, W. (2000). Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures”. IWA, The blue pages.

Leão, N. F., Paiva, E. B., Ribeiro, A. J. Z. e Matos, L. C. (2007). “A importância da implantação de um projeto de micromedicação para o desenvolvimento de uma política de gestão, controle e redução de perdas”. Anais do 24º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Nielsen, M. J., Trevisan, J., Bonato, A. e Sachet, M. A. C. (2003). “Medição de Água, Estratégias e Experimentações”. Companhia de Saneamento do Paraná, Paraná, Brasil, 200 p.

Mello, E. J. (2000). “As perdas não físicas e o posicionamento do medidor de água”. *Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Mendonça, S. R. (1975). “Manual do Reparador de Medidores de Água”. BNH/ABES/CETESB, São Paulo, Brasil, 178p.

Miranda, E. C.e Koide, S. (2003). “Indicadores de perdas de água: O que de fato eles indicam?“. *Anais do 22º Congresso da Associação Brasileiro de Engenharia Sanitária*, Joinville, Paraná, Brasil.

Miranda, E. C. (2005). “Indicadores de perda de água em sistemas de abastecimento: Qual o nível de credibilidade dos valores obtidos?“. *23º Congresso da Associação Brasileiro de Engenharia Sanitária*, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Miranda, E. C. (2007). “Modernização do setor de saneamento no Brasil”. Revista COM+ÁGUA. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ano 2, número 4, Brasília, DF.

Moraes, H. T., Gomes, A. S. e Jerozolimski, T. (2007). “Perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água: Estruturação dos meios para seu combate”. *Anais do 24º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária*, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Pereira, L. G. e Ilha, M. S. O (2006). “Avaliação da submedição de água em edificações residenciais de interesse social localizadas em Campinas”. *11º Encontro Nacional de Engenharia Ambiental*, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Rebouças, A. “Uso Inteligente da Água”. (2004). 1ª ed., Escrituras, São Paulo, Brasil, 207p.

Rech, A. L. (1999). “Água, Micromedicação e Perdas”. 2a ed., Scortecci, São Paulo, Brasil, 189 p.

Rizzo, A., Pearson, D., Stephenson, M. e Harper, N. (2004). “Apparent water loss control: a practical approach”. Water 2, IWA publishing, junho, 44-45 p.

Rizzo, A., Cilia, J. (2005). “*Quantifying Meter Under-Registration Caused by the Ball Valves of Roof Tanks (for Indirect Plumbing Systems)*”. Anais do Leakage 2005 do IWA, 100-115, Halifax, Nova Scotia, Canadá.

Rizzo, A., Bonello, M. e Galea, S.(2007). “*Trials to quantify and reduce in-situ meter under-registration*”. Anais do Water Loss 2007, Bucareste, Romenia.

Sanchez, J. G.(1997). “Dimensionamento de hidrômetro e análise de traço”. Anais do 19º Congresso da Associação Brasileiro de Engenharia Sanitária, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

Sanchez, J. G., Alves, W.C., Hernandez, N. C. (1999). “Análise de Consumo e Estimativa de Perdas em Sistema Sujeito a Intermitência d Abastecimento”. Anais do 20º Congresso da Associação Brasileiro de Engenharia Sanitária, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

Sanchez, J. G.(2000). “*Estimativa de volume de água não medido em residenciais por perda de exatidão nos hidrômetros, na cidade de Juazeiro – BA*”. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Silva, R. T. (1998). “*Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água*”. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. Programa Nacional de Combate Ao Desperdício de Água – PNDCA. Documentos Técnicos de Apoio. Brasília, DF.

Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS. (2005). Programa de Modernização do Setor de Saneamento.

Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS. (2006). Programa de Modernização do Setor de Saneamento.

Tardelli Filho, J. (2004). Controle e Redução de Perdas. In: Tsutyia, M, T. Abastecimento de água. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, cap.10, p. 475-525.

Taborda, C. (1998). “*Melhorar a Qualidade da Medição*”. 4º Congresso da Água, Lisboa, Portugal. Disponível em <http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/145.pdf>. Consultado em 08/01/2007.

Thornton, J. e Rizzo, A. (2002). “*Apparent Losses, How Low Can You Go?*”. Leakage Management Conference Proceedings do International water Associations (IWA), Chipre.

Tomaz, P. (1998). “Conservação da Água”. São Paulo, Brasil, 286 p.

Torres, L. D. S. e Torres, A. S. (2004). Uso eficiente Del Água. International Water and Sanitation, Cinara Instituto de Investigación y Desarrollo em Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Tsai, C.C., Chang, C.Y.; Tseng, C.H. (2004). **Optimal design of metal seated ball valve mechanism.** *Structural and Multidisciplinary Optimization*, v 26, n 3-4, February, 2004, p 249-255.

ANEXO I – EQUAÇÕES DAS BÓIAS

Tabela A1- Equações da Bóia 1

BÓIA 1		
TRECHO	PRESSÃO = 50 mca	
1	$X < 9,11$	$y = 0,115x^3 - 0,572x^2 + 3,480x + 1,192$
2	$9,11 \leq X < 35,06$	$y = -0,024x^3 + 1,893x^2 - 17,60x + 91,56$
3	$35,06 \leq X < 101,6$	$y = 0,009x^3 - 2,048x^2 + 152,7x - 2404,$
4	$X > 101,6$	$y = -0,015x^2 + 4,562x + 1126,$
TRECHO	PRESSÃO = 40 mca	
1	$X < 7,7$	$y = -0,025x^3 + 0,827x^2 + 0,213x + 1,060$
2	$7,7 \leq X < 24,43$	$y = -0,100x^3 + 4,528x^2 - 37,90x + 110,6$
3	$24,43 \leq X < 40,2$	$y = -0,674x^3 + 66,24x^2 - 2102,x + 22280$
4	$X > 40,2$	$y = -0,033x^2 + 7,945x + 767,3$
TRECHO	PRESSÃO = 30 mca	
1	$X \leq 5,1$	$y = 0,4229x^2 + 1,6766x$
2	$5,1 < X < 27,53$	$y = -0,0774x^3 + 3,9211x^2 - 36,99x + 120,37$
3	$27,53 \leq X < 70,79$	$y = 0,011x^3 - 1,857x^2 + 108,9x - 1242$
4	$X > 70,79$	$y = -0,015x^2 + 3,785x + 792,9$
TRECHO	PRESSÃO = 23 mca	
1	$X < 5,14$	$y = 0,349x^3 - 2,601x^2 + 7,467x$
2	$5,14 \leq X < 20$	$y = -0,215x^3 + 7,824x^2 - 66,51x + 192,8$
3	$20 \leq X < 42,32$	$y = -0,148x^3 + 12,01x^2 - 291,7x + 2555$
4	$X > 42,32$	$y = 5E-06x^3 - 0,006x^2 + 1,584x + 712,9$
TRECHO	PRESSÃO = 17 mca	
1	$X < 5,11$	$y = 0,2796x^2 + 1,5254x$
2	$5,11 \leq X < 31,41$	$y = -0,054x^3 + 2,557x^2 - 16,83x + 53,51$
3	$X > 31,41$	$y = -0,029x^2 + 6,251x + 347,9$

Tabela A2 – Equações da Bóia 4

BÓIA 4		
PRESSÃO = 50 mca		
1	$x < 6,5$	$y = -0,2583x^3 + 2,937x^2 - 2,3279x$
2	$6,5 \leq x < 30$	$y = -0,018x^3 + 0,4174x^2 + 60,695x - 352,45$
3	$x \geq 30$	$y = 1244$
PRESSÃO = 40 mca		
1	$x < 6,4$	$y = 1,3648x^2 + 0,5652x$
2	$6,4 \leq x < 26$	$y = -0,0482x^3 + 2,3077x^2 + 26,331x - 145,06$
3	$x \geq 26$	$y = 1154$
PRESSÃO = 30 mca		
1	$x < 7,3$	$y = 1,775479x^2 - 1,1092x$
2	$7,3 \leq x < 25$	$y = -1,1907x^2 + 86,854x - 453,9$
3	$x \geq 25$	$y = 980$
PRESSÃO = 23 mca		
1	$x < 7$	$y = 0,306x^3 - 0,345x^2 + 0,722x$
2	$7 \leq x \leq 30$	$y = 0,015x^3 - 2,142x^2 + 93,65x - 437,1$
3	$30 < x \leq 220$	$y = -0,000x^2 + 0,108x + 866,3$
PRESSÃO = 17 mca		
1	$x < 6,6$	$y = 0,367x^3 + 0,0214x^2 - 0,0989x$
2	$6,6 \leq x < 24$	$y = -0,9889x^2 + 67,76x - 316,01$
3	$x \geq 24$	$y = 763$

Tabela A3 – Equações da Bóia 3

BÓIA TIGRE DE 1/2"		
TRECHO	PRESSÃO = 50 mca	
1	$x < 10,4$	$y = 0,0425x^3 + 0,392x^2 + 0,7816x$
2	$10,4 \leq x < 55$	$y = -0,0025x^3 - 0,3759x^2 + 63,818x - 522$
3	$x \geq 55$	$y = 1440$
TRECHO	PRESSÃO = 40 mca	
1	$x < 10,9$	$y = 0,0425x^3 + 0,392x^2 + 0,7816x$
2	$10,9 \leq x < 53$	$y = 0,0035x^3 - 0,9375x^2 + 77,014x - 640,21$
3	$x \geq 53$	$y = 1333$
TRECHO	PRESSÃO = 30 mca	
1	$x < 10,5$	$y = 0,1388x^3 - 0,4143x^2 + 2,1583x$
2	$10,5 \leq x < 54$	$y = -0,3361x^2 + 43,618x - 209,99$
3	$x \geq 54$	$y = 1169$
TRECHO	PRESSÃO = 23 mca	
1	$x < 7,9$	$y = 0,1228x^3 - 0,1718x^2 + 1,0201x$
2	$7,9 \leq x < 70$	$y = -9E-05x^4 + 0,0192x^3 - 1,6853x^2 + 74,892x - 450,13$
3	$x \geq 70$	$y = 1017$
TRECHO	PRESSÃO = 17 mca	
1	$x < 9$	$y = 0,0669x^3 + 0,0606x^2 + 0,443x$
2	$9 \leq x < 55$	$y = -0,2348x^2 + 30,883x - 146,33$
3	$x \geq 55$	$y = 847$

Tabela A4 – Equações das curvas de erros dos hidrômetros

Hidrômetro 1 (Novo)	
x<=8	y = -100
8> x<36	y = 1,4481x ² - 24,043x
36>= x<140	y = -0,0003x ² + 0,0619x
140>= x<540	y = -0,00004x ² + 0,0167x
x>=540	y = 0,00000008x ² - 0,0004x
Hidrômetro 2 e Hidrômetro 5	
x<=8	y = -100
8 >x<36	y = -99,331
36 >= x<140	y = -0,00005x ³ + 0,012x ² -0,713x
x>=140	y = 0,000000006x ³ -0,000003x ² +0,003x-0,037
Hidrômetro 3	
x<=15	y = -100
15>x<110	y = -0,00005x ³ + 0,012x ² - 0,731x
x110>=x<360	y = -0,0003x ² + 0,0619x
360>= x<720	y = -0,0000004x ² + 0,0004x
x>=720	y = 0,0004x
Hidrômetro 4	
x<=8	y = -100
8>x<36	y = 1,3743x ² - 23,494x
36>=x<=72	y = 0,0041x ² -0,3288x
x>72	y = 0,0006x
Hidrômetro 6	
x<72	y = -100
x>=72	-0,0000005x ² + 0,0022x - 3,2564
Hidrômetro 7 (Volumétrico)	
x<4	y = -71,9170063802943
4>= x<6	y = -12
6>= x<15	y = -4,55559005332676
15>=x<36	y = -0,100502310143362
x>=36	y = 0,596851344754957

**ANEXO II – RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DOS
HIDRÔMETROS**

Tabela A5 – Média dos erros dos hidrômetros calibrados

ANEXO III – PERFIS DE CONSUMO REGISTRADOS

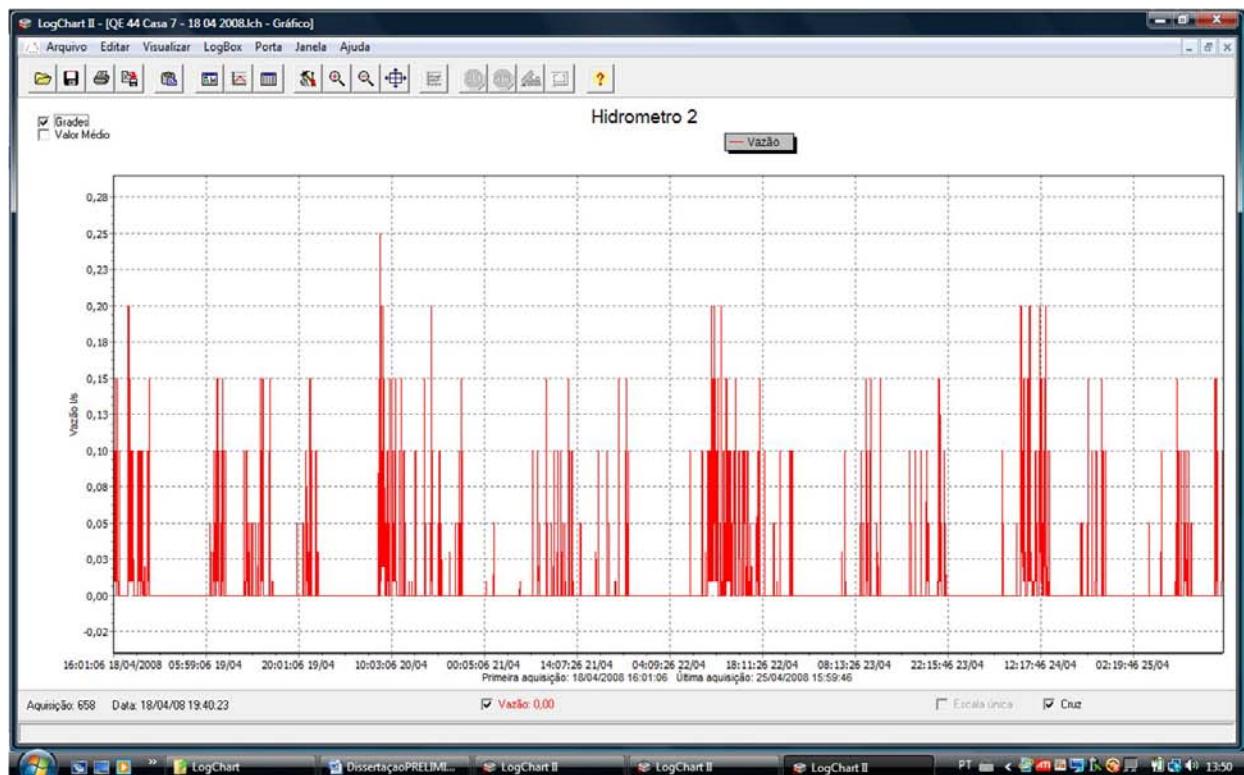


Figura A1 – Perfil de consumo da casa 07

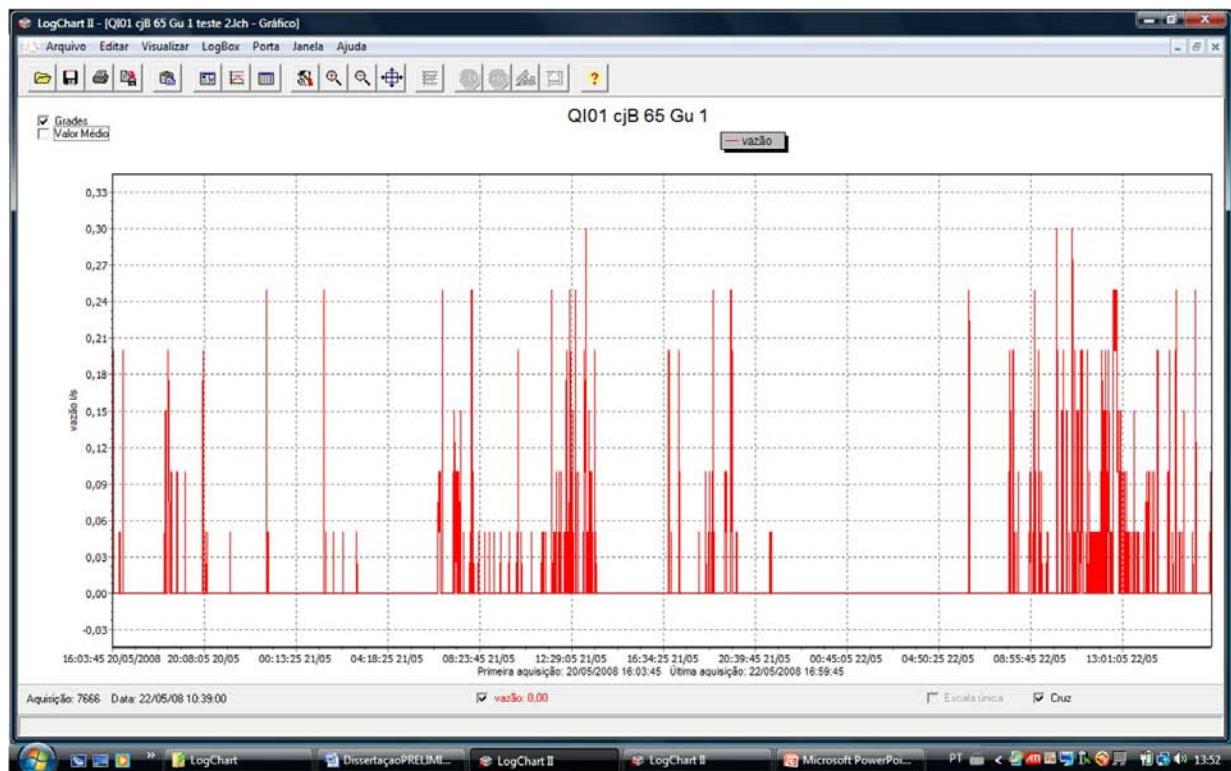


Figura A2 – Perfil de consumo da casa 65

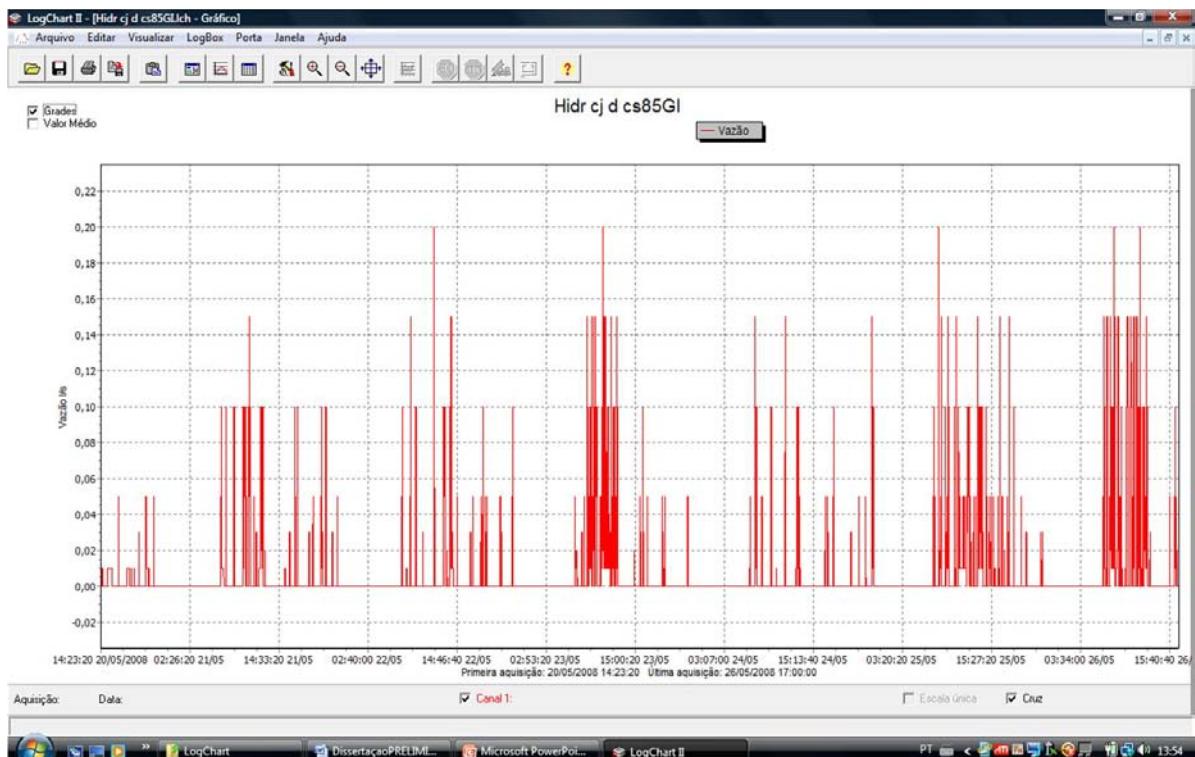


Figura A1 – Perfil de consumo da casa 85

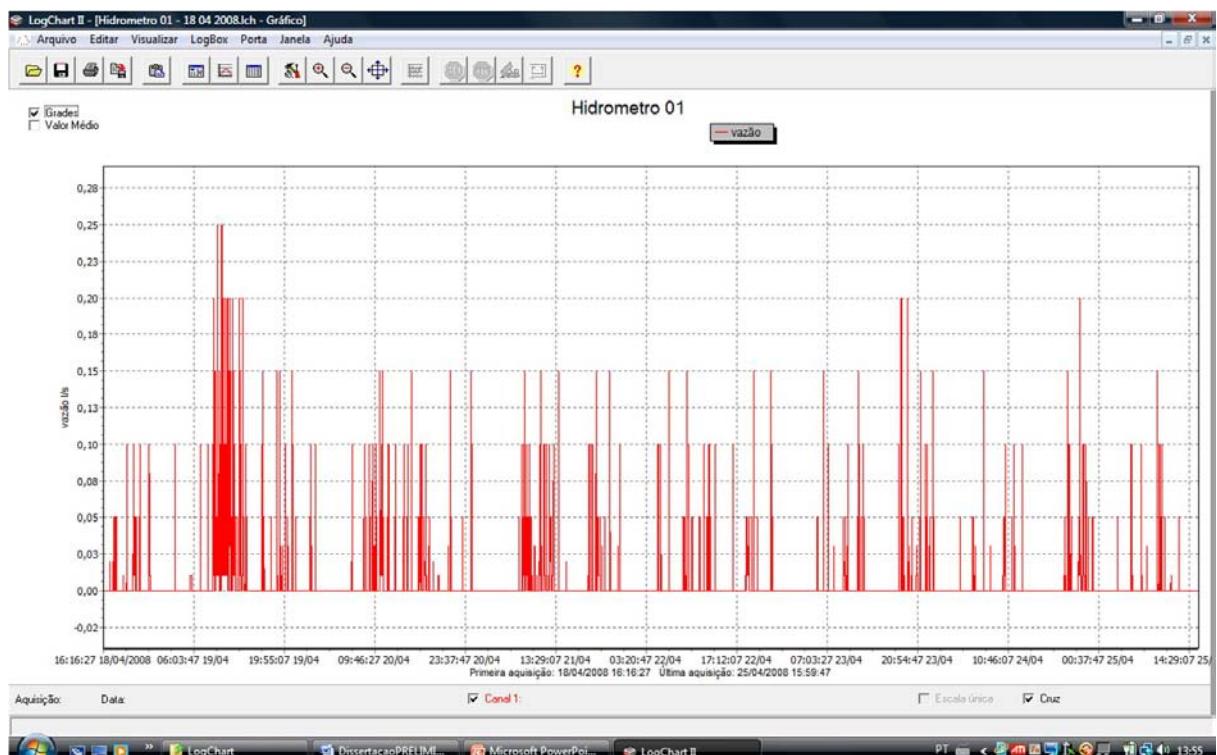


Figura A1 – Perfil de consumo da casa 8

**ANEXO IV – FUNÇÕES PARA CÁLCULO DO HISTOGRAMA
DE CONSUMO E DA SUBMEDIÇÃO**

```

<?PHP
//
// Função para o cálculo de frequência de determinada vazão entre faixas pré-determinadas
// Entradas:
// $array - contém as vazões a serem testadas frente às faixas determinadas
// $faixas - contém os limites superiores dos intervalos a serem utilizados para o histograma
// $percentual_do_volume_de_entrada - contém o percentual de cada vazão em relação ao
total do volume medido pelo LOGCHART
//
// Saídas:
// $volume_por_faixa - contém a totalização do percentual que cada faixa representa em
relação ao total do volume medido pelo LOGCHART.
// Em poucas palavras, o $volume_por_faixa é a soma de cada vazão que pertence àquela
faixa
// calcula_frequencia_tabela - A própria função retorna a quantidade de ocorrências de vazões
para cada faixa (contador)
//
function calcula_frequencia_tabela ($array, $faixas, &$volume_por_faixa,
&$percentual_do_volume_de_entrada) {
$j = sizeof($array);
$z = sizeof($faixas);
if ($j>1) {
    for ($i=0; $i<$j; $i++) {
        $achei=false;
        for ($k=0; $k<sizeof($faixas); $k++) {
            if ($array[$i]<= $faixas[$k]) {
                $achei=true;
                $meuarray[$k]=$meuarray[$k]+1;
                if ($faixas[$k]==0)
                    $volume_por_faixa[$k]=0;
                else
                    $volume_por_faixa[$k]=$volume_por_faixa[$k]+$percentual_do_volume_de_entrada[$i];
                //echo "<BR>Vazao " . $array[$i] . " - Volume " . $volume_por_faixa[$k] . " - % " .
                $percentual_do_volume_de_entrada[$i];
                break;
            }
        }
        if (!$achei) {
            echo "<br>Não achei ";
        }
    }
    return ($meuarray);
}
}

// Função para selecionar que hidrômetro será utilizado para o cálculo
// Entradas:

```

```

// $funcao - número do hidrômetro a ser utilizado (atualmente 1, 2, 3, 4, 6 e 7)
// $x - vazão de referência para cálculo da margem de erro
//
// Saídas:
// func_hidrometro - A própria função retorna a margem de erro para o hidrômetro e a vazão
// considerados
//
function func_hidrometro ($funcao, $x) {
    if ($funcao==1)
        return (hidrometro_1($x));
    elseif ($funcao==2)
        return (hidrometro_2($x));
    elseif ($funcao==3)
        return (hidrometro_3($x));
    elseif ($funcao==4)
        return (hidrometro_4($x));
    elseif ($funcao==6)
        return (hidrometro_6($x));
    elseif ($funcao==7)
        return (hidrometro_7($x));
    }

//
// Função para calcular a margem de erro do hidrometro 1
// Entradas:
// $x - vazão de referência para cálculo da margem de erro
//
// Saídas:
// hidrometro_1 - A própria função retorna a margem de erro para a vazão considerada
//
function hidrometro_1 ($x) {
    if ($x<=8)
        return (-100);
    elseif ($x>8 and $x<36)
        return (1.4481*pow($x,2) - 24.043*$x);
    elseif ($x>=36 and $x<140)
        return (-0.0003*pow($x,2) + 0.0619*$x);
    elseif ($x>=140 and $x<540)
        return (-0.00004*pow($x,2) + 0.0167*$x);
    elseif ($x>=540)
        return (0.0000008*pow($x,2) - 0.0004*$x);
}

//
// Função para calcular a margem de erro do hidrometro 2
// Entradas:
// $x - vazão de referência para cálculo da margem de erro
//
// Saídas:

```

```

// hidrometro_2 - A própria função retorna a margem de erro para a vazão considerada
//
function hidrometro_2 ($x) {
    if ($x<=8)
        return (-100);
    elseif ($x>8 and $x<36)
        return (-99.331);
    elseif ($x>=36 and $x<140)
        return (-0.00005*pow($x,3) + 0.012*pow($x,2)-0.731*$x);
    elseif ($x>=140)
        return (0.000000006*pow($x,3) - 0.000003*pow($x,2) + 0.003*$x - 0.037);
}

//
// Função para calcular a margem de erro do hidrometro 3
// Entradas:
// $x - vazão de referência para cálculo da margem de erro
//
// Saídas:
// hidrometro_3 - A própria função retorna a margem de erro para a vazão considerada
//
function hidrometro_3 ($x) {
    if ($x<=15)
        return (-100);
    elseif ($x>15 and $x<110)
        return (-0.00005*pow($x,3)+0.012*pow($x,2) - 0.731*$x);
    elseif ($x>=110 and $x<360)
        return (-0.00008*pow($x,2) + 0.0196*$x);
    elseif ($x>=360 and $x<720)
        return (-0.0000004*pow($x,2) + 0.0004*$x);
    elseif ($x>=720)
        return (0.0004*$x);
}

//
// Função para calcular a margem de erro do hidrometro 4
// Entradas:
// $x - vazão de referência para cálculo da margem de erro
//
// Saídas:
// hidrometro_4 - A própria função retorna a margem de erro para a vazão considerada
//
function hidrometro_4 ($x) {
    if ($x<=8)
        return (-100);
    elseif ($x>8 and $x<36)
        return (1.3743*pow($x,2) - 23.494*$x);
    elseif ($x>=36 and $x<110)
        return (0.0041*pow($x,2) -0.3288*$x);
}

```

```

elseif ($x>=110)
return (0.0006*$x);
}

// 
// Função para calcular a margem de erro do hidrometro 6
// Entradas:
// $x - vazão de referência para cálculo da margem de erro
//
// Saídas:
// hidrometro_6 - A própria função retorna a margem de erro para a vazão considerada
//
function hidrometro_6 ($x) {
if ($x<72)
return (-100);
elseif ($x>=72)
return (-0.0000005*pow($x,2) + 0.0022*$x - 3.2564);
}

// 
// Função para calcular a margem de erro do hidrometro 7
// Entradas:
// $x - vazão de referência para cálculo da margem de erro
//
// Saídas:
// hidrometro_7 - A própria função retorna a margem de erro para a vazão considerada
//
function hidrometro_7 ($x) {
if ($x<4)
return (-71.91700638);
elseif ($x>=4 and $x<6)
return (-12);
elseif ($x>=6 and $x<15)
return (-4.555590053);
elseif ($x>=15 and $x<36)
return (-0.10050231);
elseif ($x>=36)
return (0.596851345);
}

// 
// Função para selecionar que bóia será utilizada para o cálculo
// Entradas:
// $tipo_da_boia - indica que bóia será utilizada (1 para DECA de 1/2", 2 para DECA de 3/4",
// 3 para TIGRE de 1/2" e 4 para TIGRE de 3/3")
// $altura - altura que indica a abertura da bóia
// $pressao - pressão da água considerada para o cálculo
//
// Saídas:

```

```

// escolhe_boia - A própria função retorna a vazão de entrada da bóia considerada
//
function escolhe_boia ($tipo_da_boia, $altura, $pressao) {
    if ($tipo_da_boia==1)
        return (boia_deca_12($altura, $pressao));
    elseif ($tipo_da_boia==2)
        return (boia_deca_34($altura, $pressao));
    elseif ($tipo_da_boia==3)
        return (boia_tigre_12($altura, $pressao));
    elseif ($tipo_da_boia==4)
        return (boia_tigre_34($altura, $pressao));
}

//
// Função para calcular vazão de entrada de água
// Entradas:
// $altura - altura ou "abertura" da bóia
// $pressao - pressão da água considerada para o cálculo
//
// Saídas:
// boia_deca_12 - A própria função retorna a vazão de entrada para a altura (ou abertura)
// considerada
//
function boia_deca_12 ($altura, $pressao) {
    if ($pressao==50) {
        if ($altura<9.11)
            return ((0.115*pow($altura, 3)) - (0.572*pow($altura,2)) + 3.480*$altura + 1.192);
        elseif ($altura>=9.11 and $altura<35.06)
            return ((-0.024*pow($altura, 3)) + (1.893*pow($altura,2)) - 17.6*$altura + 91.56);
        elseif ($altura>=35.06 and $altura<101.6)
            return ((0.009*pow($altura, 3)) - (2.048*pow($altura,2)) + 152.7*$altura + 2404);
        elseif ($altura>=101.6)
            return ((-0.015*pow($altura, 2)) - 4.562*$altura + 1126);
    }
    if ($pressao==40) {
        if ($altura<7.7)
            return ((-0.025*pow($altura, 3)) + (0.827*pow($altura,2)) + 0.213*$altura + 1.060);
        elseif ($altura>=7.7 and $altura<24.43)
            return ((-0.100*pow($altura, 3)) + (4.528*pow($altura,2)) - 37.90*$altura + 110.6);
        elseif ($altura>=24.43 and $altura<40.2)
            return ((-0.674*pow($altura, 3)) + (66.24*pow($altura,2)) - 2102*$altura + 22280);
        elseif ($altura>=40.2)
            return ((-0.033*pow($altura, 2)) + 7.945*$altura + 767.3);
    }
    if ($pressao==30) {
        if ($altura<7.5)
            return ((-0.073*pow($altura, 3)) + (1.254*pow($altura,2)) - 1.273*$altura + 2.085);
        elseif ($altura>=7.5 and $altura<27.53)
            return ((-0.099*pow($altura, 3)) + (5.085*pow($altura,2)) - 56.47*$altura + 220.1);
    }
}

```

```

elseif ($altura>=27.53 and $altura<70.79)
return ((0.011*pow($altura, 3)) - (1.857*pow($altura,2)) + 108.9*$altura + 1242);
elseif ($altura>=70.79)
return ((-0.015*pow($altura, 2)) - 3.785*$altura + 792.9);
}
if ($pressao==23) {
if ($altura<5.14)
return ((0.349*pow($altura, 3)) - (2.601*pow($altura,2)) + 7.467*$altura);
elseif ($altura>=5.14 and $altura<20)
return ((-0.215*pow($altura, 3)) + (7.824*pow($altura,2)) - 66.51*$altura + 192.8);
elseif ($altura>=20 and $altura<42.32)
return ((-0.148*pow($altura, 3)) + (12.01*pow($altura,2)) - 291.7*$altura + 2555);
elseif ($altura>=42.32)
return ((-0.000005*pow($altura, 3)) - (0.006*pow($altura,2)) + 1.584*$altura + 712.9);
}
if ($pressao==17) {
if ($altura<5.11)
return ((-0.503*pow($altura, 3)) + (4.047*pow($altura,2)) - 4.510*$altura + 1.783);
elseif ($altura>=5.11 and $altura<31.41)
return ((-0.054*pow($altura, 3)) + (2.557*pow($altura,2)) - 16.83*$altura + 53.51);
elseif ($altura>=31.41)
return ((-0.029*pow($altura, 2)) - 6.251*$altura + 347.9);
}
}

```

```

//
// Função para calcular vazão de entrada de água
// Entradas:
// $altura - altura ou "abertura" da bôia
// $pressao - pressão da água considerada para o cálculo
//
// Saídas:
// boia_deca_34 - A própria função retorna a vazão de entrada para a altura (ou abertura)
// considerada
//
function boia_deca_34 ($altura, $pressao) {
if ($pressao==50) {
if ($altura==0)
return (0);
elseif ($altura<10)
return ((-0.0008*pow($altura, 3)) - (0.4207*pow($altura,2)) + 0.1152*$altura + 0.2769);
elseif ($altura>=10 and $altura<38.2)
return ((0.0079*pow($altura, 3)) - (0.0175*pow($altura,2)) + 11.876*$altura - 83.789);
elseif ($altura>=38.2 and $altura<73.7)
return ((-0.7308*pow($altura,2)) + 96.943*$altura + 1979.8);
elseif ($altura>=73.7 and $altura<222.3)
return ((-0.009*pow($altura,2)) + 3.336*$altura + 1065);
elseif ($altura>=222.3)

```

```

return ((1.562*pow($altura, 2)) - 703*$altura + 80447);
}

if ($pressao==40) {
if ($altura<14.6)
return ((0.018*pow($altura, 3)) + (0.118*pow($altura,2)) + 1.154*$altura - 0.897);
elseif ($altura>=14.6 and $altura<47.4)
return ((-0.071*pow($altura, 3)) + (5.104*pow($altura,2)) - 92.63*$altura + 597.5);
elseif ($altura>=47.4)
return ((-0.013*pow($altura, 2)) + 4.543*$altura + 882);
}

if ($pressao==30) {
if ($altura<13.5)
return ((0.022*pow($altura, 3)) + (0.073*pow($altura,2)) + 1.164*$altura - 0.177);
elseif ($altura>=13.5 and $altura<81.7)
return ((-0.036*pow($altura, 3)) + (3.177*pow($altura,2)) - 60.78*$altura + 442.1);
elseif ($altura>=81.7)
return ((-0.018*pow($altura, 2)) + 5.704*$altura + 732.5);
}

if ($pressao==23) {
if ($altura<21)
return ((0.0054*pow($altura, 3)) + (0.2525*pow($altura,2)) + 0.6027*$altura - 1.3103);
elseif ($altura>=21 and $altura<76.8)
return ((-0.173*pow($altura, 3)) + (15.79*pow($altura,2)) - 440.9*$altura + 4140);
elseif ($altura>=76.8)
return ((0.0003*pow($altura,2)) + 0.070*$altura + 894);
}

if ($pressao==17) {
if ($altura<23.8)
return ((0.0386*pow($altura, 3)) - (0.1487*pow($altura,2)) + 1.7226*$altura - 1.7796);
elseif ($altura>=23.8 and $altura<72.4)
return ((-0.275*pow($altura, 3)) + (25.19*pow($altura,2)) - 738.9*$altura + 7339);
elseif ($altura>=72.4 and $altura<202)
return ((-3.449*pow($altura,2)) + 512.2*$altura - 18269);
elseif ($altura>=202)
return ((-1.755*pow($altura, 2)) + 719.5*$altura - 72941);
}

// Função para calcular vazão de entrada de água
// Entradas:
// $altura - altura ou "abertura" da bóia
// $pressao - pressão da água considerada para o cálculo
//
// Saídas:
// boia_tigre_12 - A própria função retorna a vazão de entrada para a altura (ou abertura)
// considerada
//
function boia_tigre_12 ($altura, $pressao) {

```

```

if ($pressao==50) {
if ($altura<10.4)
return ((0.0425*pow($altura, 3)) - (0.392*pow($altura,2)) + 0.7816*$altura);
elseif ($altura>=10.4 and $altura<55)
return ((-0.0025*pow($altura, 3)) - (0.3759*pow($altura,2)) + 63.818*$altura - 522.6);
elseif ($altura>=55)
return (1440);
}
if ($pressao==40) {
if ($altura<10.9)
return ((0.0425*pow($altura, 3)) + (0.392*pow($altura,2)) + 0.7816*$altura);
elseif ($altura>=10.9 and $altura<53)
return ((0.0035*pow($altura, 3)) - (0.9375*pow($altura,2)) + 77.014*$altura - 640.21);
elseif ($altura>=53)
return (1333);
}
if ($pressao==30) {
if ($altura<10.5)
return ((0.1388*pow($altura, 3)) - (0.4143*pow($altura,2)) + 2.1583*$altura);
elseif ($altura>=10.5 and $altura<54)
return ((0.3361*pow($altura,2)) + 43.618*$altura - 209.99);
elseif ($altura>=54)
return (1169);
}
if ($pressao==23) {
if ($altura<7.9)
return ((0.1228*pow($altura, 3)) - (0.1718*pow($altura,2)) + 1.0201*$altura);
elseif ($altura>=7.9 and $altura<70)
return ((-0.00009*pow($altura, 4)) + (0.0192*pow($altura,3)) - (1.6853*pow($altura,2)) +
74.892*$altura - 450.13);
elseif ($altura>=70)
return (1017);
}
if ($pressao==17) {
if ($altura<9)
return ((0.0669*pow($altura, 3)) + (0.0606*pow($altura,2)) + 0.443*$altura);
elseif ($altura>=9 and $altura<55)
return ((-0.2348*pow($altura,2)) + 30.883*$altura - 146.33);
elseif ($altura>=55)
return (847);
}
}

// Função para calcular vazão de entrada de água
// Entradas:
// $altura - altura ou "abertura" da bóia
// $pressao - pressão da água considerada para o cálculo
//

```

```

// Saídas:
// boia_tigre_34 - A própria função retorna a vazão de entrada para a altura (ou abertura)
// considerada
//
function boia_tigre_34 ($altura, $pressao) {
    if ($pressao==50) {
        if ($altura<6.5)
            return ((-0.2583*pow($altura, 3)) + (2.937*pow($altura,2)) - 2.3279*$altura);
        elseif ($altura>=6.5 and $altura<30)
            return ((-0.018*pow($altura, 3)) - (0.4174*pow($altura,2)) + 60.695*$altura - 352.45);
        elseif ($altura>=30)
            return (1244);
    }
    if ($pressao==40) {
        if ($altura<6.4)
            return ((1.3648*pow($altura,2)) + 0.5652*$altura);
        elseif ($altura>=6.4 and $altura<26)
            return ((-0.0482*pow($altura, 3)) + (2.3077*pow($altura,2)) + 26.331*$altura - 145.06);
        elseif ($altura>=26)
            return (1154);
    }
    if ($pressao==30) {
        if ($altura<7.3)
            return ((1.775479*pow($altura,2)) - 1.1092*$altura);
        elseif ($altura>=7.3 and $altura<25)
            return ((-1.1907*pow($altura,2)) + 86.854*$altura - 453.9);
        elseif ($altura>=25)
            return (980);
    }
    if ($pressao==23) {
        if ($altura<7)
            return ((0.306*pow($altura, 3)) - (0.345*pow($altura,2)) + 0.722*$altura);
        elseif ($altura>=7 and $altura<30)
            return ((0.015*pow($altura, 3)) - (2.142*pow($altura,2)) + (93.65*pow($altura,1)) - 437.1);
        elseif ($altura>=30 and $altura<220)
            return ((0.0004*pow($altura,2)) + (0.108*pow($altura,1)) + 866.3);
        elseif ($altura>=220)
            return (220);
    }
    if ($pressao==17) {
        if ($altura<6.6)
            return ((0.367*pow($altura, 3)) + (0.0214*pow($altura,2)) - 0.0989*$altura);
        elseif ($altura>=6.6 and $altura<24)
            return ((-0.9889*pow($altura,2)) + 67.76*$altura - 316.01);
        elseif ($altura>=24)
            return (763);
    }
}
?>

```

**ANEXO V – TABELAS DE CÁLCULO DOS ÍNDICES DE
SUBMEDIÇÃO EM CADA DOMICÍLIO CONSIDERANDO-SE
AS CURVAS DE ERROS DO HIDRÔMETRO NOVO E DO
HIDRÔMETRO ANTIGO**

Tabela A6 – Cálculo da submedição considerando-se o hidrômetro novo e o hidrômetro antigo

Bóia	Pressão	HIDRÔMETRO NOVO				HIDRÔMETRO ANTIGO			
		Casa 7	Casa 8	Casa 65	Casa 85	Casa 7	Casa 8	Casa 65	Casa 85
1	17	-5,88	-13,7	-3,22	-7,44	-21,43	-38,62	-15,84	-24,85
	23	-6,18	-14,04	-3,19	-7,72	-24,11	-42,3	-18,45	-27,83
	30	-4,74	-11,59	-2,4	-6,22	-26,11	-45,41	-20,16	-29,85
	40	-5,09	-12,22	-2,71	-6,66	-25	-43,72	-19,68	-29
	50	-5,23	-12,5	-2,6	-6,76	-24,68	-43,28	-18,93	-28,52
	Média Bóia 1	-5,424	-12,81	-2,824	-6,96	-24,266	-42,666	-18,612	-28,01
2	Desvio	0,528492	0,920608	0,326717	0,545087	1,560623	2,259271	1,506538	1,711362
	Int. Conf	0,463235	0,806934	0,286375	0,477781	1,367921	1,980302	1,320514	1,500047
		-4,96076	-12,0031	-2,53763	-6,48222	-22,8981	-40,6857	-17,2915	-26,51
		-5,88724	-13,6169	-3,11037	-7,43778	-25,6339	-44,6463	-19,9325	-29,51
	17	-6,46	-15,05	-3,75	-8,57	-24,62	-43,12	-15,58	-28,63
	23	-5,39	-13,12	-2,9	-7,18	-24,36	-43,27	-15,31	-28,45
3	30	-6,13	-14,43	-3,43	-8,08	-25,29	-44,54	-19,01	-29,35
	40	-5,87	-14,01	-3,25	-7,79	-24,82	-43,66	-18,59	-28,92
	50	-5,52	-13,31	-2,98	-7,33	-25,75	-45,23	-19,31	-29,64
	Média Bóia 2	-5,874	-13,984	-3,262	-7,79	-24,968	-43,964	-17,56	-28,998
	Desvio	0,392051	0,712281	0,308895	0,505213	0,495556	0,802611	1,744064	0,44224
	Int. Conf	0,343642	0,62433	0,270753	0,44283	0,434366	0,703506	1,528712	0,387633
4		-5,53036	-13,3597	-2,99125	-7,34717	-24,5336	-43,2605	-16,0313	-28,6104
		-6,21764	-14,6083	-3,53275	-8,23283	-25,4024	-44,6675	-19,0887	-29,3856
	17	-6,06	-13,59	-3,54	-7,67	-22,78	-40,2	-18,27	-26,77
	23	-5,89	-13,31	-3,5	-7,5	-21,59	-38,15	-17,1	-25,3
	30	-6,18	-13,83	-3,79	-7,92	-22,19	-39,57	-17,64	-26,1
	40	-5,18	-12,26	-2,9	-6,78	-22,41	-39,81	-17,1	-26,21
50	50	-5,56	-12,88	-3,16	-7,18	-22	-39,02	-16,99	-25,71
	Média Bóia 3	-5,774	-13,174	-3,378	-7,41	-22,194	-39,35	-17,42	-26,018
	Desvio	0,362966	0,555647	0,312051	0,396384	0,398126	0,711534	0,481788	0,493858
	Int. Conf	0,318147	0,640076	0,27352	0,456613	0,348966	0,819648	0,422298	0,568898
		-5,45585	-12,5339	-3,10448	-6,95339	-21,845	-38,5304	-16,9977	-25,4491
		-6,09215	-13,8141	-3,65152	-7,86661	-22,543	-40,1696	-17,8423	-26,5869
6	17	-4,18	-9,6	-2,33	-5,25	-17,37	-30,98	-13,71	-19,97
	23	-5,09	-11,26	-3,07	-6,36	-18,73	-32,98	-14,83	-21,71
	30	-3,98	-9,32	-2,2	-5,06	-19,14	-33,81	-14,74	-21,98
	40	-4,52	-10,31	-2,57	-5,7	-20,68	-36,08	-16,06	-23,79
	50	-3,67	-8,69	-1,96	-4,66	-23,77	-41,36	-18,5	-26,72
	Média Bóia 4	-4,288	-9,836	-2,426	-5,406	-19,938	-35,042	-15,568	-22,834
7		0,486925	0,881785	0,377603	0,582601	2,187486	3,55708	1,64445	2,289547
		0,426801	1,015768	0,330978	0,671125	1,917381	4,097563	1,441398	2,637434
		-3,8612	-8,82023	-2,09502	-4,73488	-18,0206	-30,9444	-14,1266	-20,1966
		-4,7148	-10,8518	-2,75698	-6,07712	-21,8554	-39,1396	-17,0094	-25,4714
	Média Geral	-5,34	-12,451	-2,9725	-6,8915	-22,8415	-40,2555	-17,29	-26,465