

Avaliação da submedição de água em edificações residenciais unifamiliares: o caso das unidades de interesse social localizadas em Campinas, no estado de São Paulo

Water undermeasurement evaluation in single households: the case of social housing units in Campinas, São Paulo

Leonel Gomes Pereira
Marina Sangoi de Oliveira Ilha

Resumo

Estima-se que atualmente no Brasil cerca de 8% a 23% do volume de água potável produzido seja perdido em função da submedição. Em sistemas de abastecimento indireto, é comum a ocorrência de baixas vazões, devido à utilização de válvulas de bóia convencionais. Este trabalho apresenta um estudo de caso desenvolvido com o objetivo de determinar o volume não contabilizado (perdas) por submedição, identificar suas causas e obter, assim, subsídios necessários à proposição de medidas que conduzam à otimização da medição de água. Contempla duas etapas: uma investigação em campo e uma investigação laboratorial. A coleta de dados em campo foi efetuada mediante a instalação de medidores volumétricos em série com os medidores das edificações selecionadas e aferição dos medidores em faixas de vazão determinadas. A investigação laboratorial foi efetuada para a verificação do comportamento de uma torneira de bóia convencional e de uma de alta vazão ante uma mesma situação de abastecimento, avaliando-se a ocorrência da submedição. O estudo permitiu verificar o volume de água não contabilizado pelo hidrômetro, e ampliar o conhecimento sobre comportamento das vazões no setor de abastecimento abordado. Foi determinado um indicador de consumo das residências investigadas e realizada a avaliação dos medidores instalados quanto à precisão da medição, identificando as perdas por submedição, além da verificação do comportamento das torneiras de bóia.

Leonel Gomes Pereira
LM Projetos
Contajusta
Rua Maestro João de Túlio, 121
- Cambui
Campinas - SP - Brasil
CEP 13024-160
Tel.: (16) (19)3294-1721
E-mail: galileo@uol.com.br

Palavras-chave: Medição de água. Hidrômetro. Erro de medição. Submedição. Torneira de bóia.

Abstract

It is estimated that 8% to 23% of the total potable water in Brazil is lost due to undermeasurement. In indirect supply systems, low flows are common, as reservoirs are usually controlled by conventional ball cock faucets. This paper describes a case study case developed in 22 low-income houses located in Campinas, Sao Paulo. The aim was to determine losses caused by undermeasurement, identify their causes, and formulate actions to reduce this problem. The study was divided in two parts: a field survey and a laboratory investigation. In the laboratory, the performances of a conventional and an ultra high flow ball cock faucets under the same supply conditions were compared. The study allowed to determine the water volume not measured by the watermeter, and increase the knowledge about the water flow behaviour in the water supply sector investigated. A water consumption index of the studied households was determined, and an assessment of the measurement accuracy of water meters installed in that region, identifying undermeasurement losses, and the behavior of flow ball cocks.

Marina Sangoi de Oliveira
Ilha
Faculdade de Engenharia
Universidade Estadual de
Campinas
Rua Albert Einstein, 951
Cidade Universitária - Caixa-
Postal: 6021
Campinas - SP - Brasil
CEP 13083-970
Tel.: (16) 788-2387
E-mail: milha@fec.unicamp.br

Recebido em 14/12/07
Aceito em 02/07/08

Keywords: Water metering. Water meter. Under measurement. Ball cock faucets.

Introdução

É crescente a preocupação da sociedade com a escassez de água, especialmente nas regiões com grande densidade populacional, sendo de suma importância a gestão da demanda e consumo desse insumo.

Um dos principais requisitos para uma adequada gestão do uso da água é a existência de medição. A correta medição dos volumes de água constitui um importante aliado no combate ao desperdício, pois permite apurar os volumes reais utilizados em substituição à aplicação de taxas baseadas em consumos médios, além de possibilitar a detecção de vazamentos.

Existiam no país 30.585.732 ligações de água em 2002, das quais 18,2% não possuíam medidores para a contabilização dos volumes consumidos. O maior índice de ligações sem hidrômetro está na região Norte, onde 63% das edificações atendidas por sistema de abastecimento de água não possuíam medição (IBGE, 2002).

De sua vez, existem problemas relacionados com a medição de água, os quais podem ser classificados, em função de sua origem, em: decorrentes da ação das pessoas, tais como usuários finais e técnicos das concessionárias; e relacionados com as falhas do sistema de abastecimento de água e devidos ao medidor.

Os problemas decorrentes da ação das pessoas são as fraudes, o vandalismo, as ações que resultam em dificuldade ao acesso para leitura e manutenção dos medidores e as falhas na coleta e processamento das leituras.

Os problemas relacionados às falhas do sistema de abastecimento de água incluem variações bruscas de pressão, intermitência no abastecimento, desprendimento de materiais ferrosos e rompimentos na rede.

E, por fim, os relacionados ao medidor são defeitos de fabricação, desgaste por uso, baixa qualidade dos equipamentos e a submedição.

Devido às características construtivas dos hidrômetros utilizados no país e também às exigências das normas brasileiras, que indicam a necessidade de reservatórios de água nas edificações, a submedição, ou seja, a incapacidade de determinado hidrômetro de medir com exatidão quando submetido a vazões extremamente baixas, está presente em quase todas as ligações de água.

A magnitude da submedição depende não somente das características dos medidores utilizados, mas também do perfil do abastecimento, o qual, por sua vez, depende, entre outros, das características

geométricas do reservatório e da torneira de bóia empregada, além do perfil de consumo de água da edificação. Sanchez, Motta e Alvez (2000) estimam que o índice de submedição no Brasil esteja na faixa entre 8% e 23%.

Inserido nesse contexto, este trabalho consiste em uma avaliação da submedição de água em edificações residenciais e na proposição de alternativas para a minimização ou eliminação desse problema. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em um conjunto de residências de interesse social localizadas em Campinas, São Paulo.

Caracterização dos hidrômetros utilizados em edificações residenciais no Brasil

A medição da água em edificações residenciais pode ser feita basicamente de duas formas:

(a) indireta ou inferencial, em que o volume é obtido pela contabilização de outras grandezas, que são influenciadas pela passagem do fluxo da água, princípio de funcionamento dos medidores velocimétricos; e

(b) direta, em que, a partir de um recipiente de volume previamente conhecido, o volume é obtido pela contagem do número de vezes que esse recipiente foi enchido e posteriormente esvaziado, princípio de funcionamento dos medidores volumétricos.

O hidrômetro volumétrico tem seu princípio de funcionamento baseado na medida real de volumes a partir do enchimento e esvaziamento, de forma cíclica, de sua câmara. Essa característica torna-o bem mais sensível a baixas vazões que os velocimétricos. Alguns medidores têm seu início de funcionamento próximo da vazão de 1 litro por hora, porém seu uso ainda é muito restrito no Brasil.

De sua vez, devido ao baixo custo e simplicidade de manutenção, os medidores velocimétricos foram se popularizando no mundo e hoje são os instrumentos mais utilizados. No Brasil, representam a grande maioria. O funcionamento baseia-se na contagem do número de revoluções da turbina, que é movimentada pela passagem da água. O número de revoluções é diretamente proporcional à velocidade de escoamento (ALVES *et al.*, 2004). Entre as principais vantagens da utilização dos medidores velocimétricos, destacam-se:

(a) menor perda de carga e menor custo que os volumétricos; e

(b) possibilidade de funcionamento acima das vazões de projeto em situações extremas.

Por outro lado, esses equipamentos possuem uma vida útil menor que os volumétricos, além de necessitarem de uma série de cuidados na instalação, tais como posicionamento na horizontal e trechos retos de tubulação a montante e a jusante para regularização do fluxo, entre outros. Os principais tipos existentes são hidrômetros monojato (ou unijato), multijato, tipo Woltmann e compostos (ALVES *et al.*, 2004; COELHO, 1996).

Os hidrômetros utilizados para medição de volume de água fria no Brasil devem atender às exigências do Regulamento Técnico Metrológico, aprovado pela portaria do Inmetro n.º 246, de 17 de outubro de 2000 (INMETRO, 2000), que estabelece as condições a serem atendidas pelos hidrômetros de vazão nominal de 0,6 m³/h até 15 m³/h e temperatura inferior a 40 °C.

A Portaria n.º 246 e também a NBR 14005 (ABNT, 1997) definem quatro vazões características dos hidrômetros (Figura 1):

(a) vazão máxima ($Q_{máx}$): maior vazão, na qual o hidrômetro é exigido a funcionar por um curto período, dentro dos seus erros máximos admissíveis e mantendo seu desempenho metrológico. Essa vazão, que é denominada pela NBR 14005 (ABNT, 1997) de vazão de sobrecarga (Q_s), corresponde ao dobro da vazão nominal;

(b) vazão nominal (Q_n): maior vazão nas condições de utilização, na qual o medidor deverá funcionar continuamente, de maneira satisfatória, dentro dos erros máximos admissíveis. A denominação dos medidores é feita por esta vazão;

(c) vazão de transição (Q_t): vazão que define a separação dos campos de medição inferior e superior;

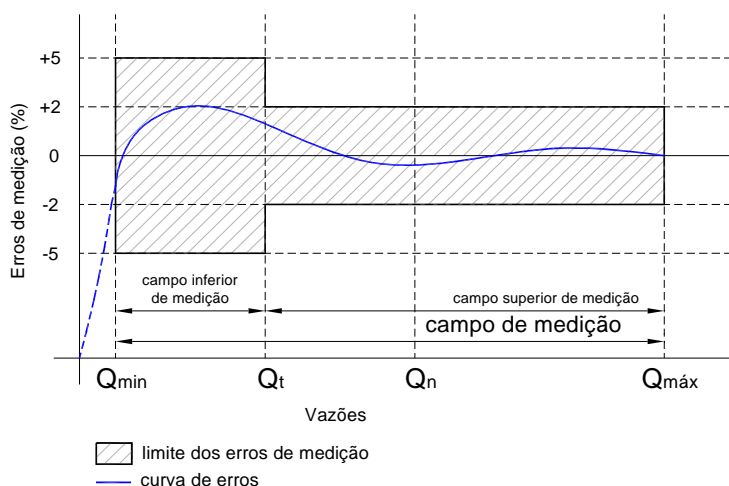
(d) vazão mínima ($Q_{mín}$): menor vazão na qual o hidrômetro fornece indicações que não possuam erros superiores aos máximos admissíveis.

Para ser homologado no Inmetro, o equipamento é submetido a uma série de oito ensaios, denominados ensaios para aprovação de modelo, e, além deles, também são realizados ensaios de verificação inicial após fabricação ou importação. Após serem aferidos individualmente, os medidores recebem um lacre de conformidade, o qual, normalmente, é instalado no parafuso de regulagem do medidor.

Os medidores velocimétricos de água fria são normalizados por meio dos seguintes documentos:

(a) NBR NM 212 (ABNT, 1999): determina as características técnicas, metrológicas e os métodos de ensaio dos medidores de vazão nominal até 15 m³/h e classes metrológicas A, B e C; e

(b) NBR 14005 (ABNT, 1997): determina as características técnicas, metrológicas e os métodos de ensaio dos medidores de vazão nominal de 15 m³/h a 1.500 m³/h.



Fonte: adaptado de ABNT (1997)

Figura 1 - Curva de erros do hidrômetro

Em outubro de 2005 foi publicada a norma ISO 4064 (ISO, 2005), a qual especifica as características técnicas, metrológicas, a perda de carga, condições de instalação, métodos de teste, entre outros, para medidores de água potável fria e quente até o diâmetro nominal DN 500.

Devido à sua abrangência, essa norma tornou-se o principal documento regulamentador para hidrômetros existentes, devendo ser adotada inclusive no Brasil. Porém, tal norma traz modificações significativas, principalmente com relação às vazões e às faixas de medição dos hidrômetros empregados atualmente no país, tornando-se um desafio para os fabricantes nacionais, além de redefinir todos os critérios adotados pela Portaria n.º 246 do Inmetro.

Atualmente, foi aprovada pela ABNT uma norma complementar às existentes, denominada “Hidrômetros para água fria – Ensaio para avaliação de desempenho de hidrômetros em alta e baixa vazões em hidrômetro até 2,5 m³/h de vazão nominal para água fria”, a qual propõe um método para avaliação do desempenho metrológico de medidores novos mediante a determinação do índice de desempenho metrológico IDM (ABNT, 2007).

Dimensionamento de hidrômetros em sistemas de abastecimento indireto e misto

No sistema indireto de abastecimento, entre a rede pública e os pontos de utilização existem um ou mais reservatórios. Em geral, para as condições brasileiras, a exigência de dois reservatórios (um inferior e outro superior) é para edificações com mais de quatro pavimentos. No caso de residências, é usual a previsão de reservatório superior (ILHA; GONÇALVES, 1994).

A escolha de um hidrômetro para ser instalado em uma ligação, seja de um edifício ou de uma residência, é efetuada pelas concessionárias de água e esgoto, as quais utilizam procedimentos variados, muitas vezes baseados em experiências de campo ou no aprimoramento dos métodos utilizados em outros locais.

No levantamento bibliográfico, foram identificados os métodos baseados na determinação:

- (a) o volume total consumido em determinado período;
- (b) da vazão instantânea; e
- (c) do perfil de abastecimento.

O método baseado na determinação do volume total consumido em determinado período é um dos mais utilizados pelas concessionárias. Para a sua aplicação, é necessária a caracterização do tipo de edificação e a quantificação da população que irá utilizá-la (agente consumidor). São empregadas tabelas que apresentam o consumo por agente consumidor, normalmente durante um dia.

O emprego do volume total consumido pressupõe uma vazão média de abastecimento constante, a qual é empregada, indiretamente, para a seleção do hidrômetro a ser usado. Porém, como o perfil do abastecimento é dependente de diferentes variáveis, essa hipótese, na maioria das vezes, não é verdadeira.

A título de ilustração, a Tabela 1 apresenta valores apresentados em Alves *et al.* (2004) para a determinação do consumo diário em edificações residenciais. A partir da determinação do consumo diário, os referidos autores recomendam o emprego dos dados constantes em tabelas para o dimensionamento dos hidrômetros, como os apresentados na Tabela 2.

No método baseado na determinação da vazão, é estimada a vazão máxima provável no sistema de abastecimento. Para tanto, usualmente é empregado o método dos pesos, o qual é recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998) para a estimativa de vazões para o dimensionamento de tubulações do sistema de distribuição de água fria.

Alves *et al.* (2004) recomendam acrescentar, para o caso de sistemas mistos de abastecimento, um valor de vazão referente à torneira de bóia, igual a 300 L/h e, além disso, que o resultado seja multiplicado por um fator de ajuste, em função da pressão na rede urbana.

Apesar da vantagem de empregar a vazão em vez do consumo total, nesse método não é considerada a interposição do reservatório, com o suprimento controlado por uma torneira de bóia. Essa interposição faz com que o perfil de vazões seja diferenciado do que ocorre em um sistema direto, em que a vazão de projeto poderia ser estimada por um método tal como o proposto.

Por fim, no método baseado no perfil de abastecimento, o dimensionamento do hidrômetro é efetuado a partir da estimativa do perfil de abastecimento, tomando-se como base edificações similares.

No caso de edificações existentes já ocupadas, o perfil pode ser obtido, por exemplo, por meio da instalação de equipamentos coletores de dados ligados a medidores equipados com emissores de sinal. O coletor armazena os dados de vazão em

função do tempo, fornecendo o comportamento da linha da vazão, ou traço de vazão, de onde podem ser obtidos os valores máximo, médio e mínimo para o período investigado. A partir desses dados,

pode ser selecionado o medidor mais apropriado à edificação em questão. A Figura 2 apresenta um exemplo de perfil de abastecimento referente ao período de um dia.

| Tipo do prédio | Consumo L/dia | Unidade | Fonte |
|---------------------------|---|-------------------------|---------------------------------------|
| Apartamentos | 200 | <i>per capita</i> | Macintyre (1996) |
| Apartamentos de luxo | 300 a 400 | por dormitório | |
| | 200 | por quarto de empregada | |
| Residência de luxo | 300 a 400 | <i>per capita</i> | |
| Residência de valor médio | 150 | <i>per capita</i> | |
| Residências populares | 120 a 150 | <i>per capita</i> | |
| Apartamento de zelador | 600 a 1.000 | unidade | |
| Prédios de apartamento | (6 x nº de banheiros) + (3 x nº de dormitórios) + (0,01 x área construída) + 30 | | Tomaz (2000) apud Alves et al. (2004) |

Tabela 1 - Consumo de água estimado para edificações residenciais

| Consumo estimado | | Hidrômetro adequado Q_{max} (m ³ /h) |
|-----------------------|-----------------------|--|
| (m ³ /mês) | (m ³ /dia) | |
| 0 – 90 | 0 – 3 | 1,5 |
| 0 – 180 | 0 – 6 | 3,0 |
| 120 – 250 | 4 – 8 | 5,0 |
| 210 – 350 | 6 – 12 | 7,0 |

Fonte: adaptado de Alves et al. (2004)

Tabela 2 - Seleção do medidor em função do consumo total estimado

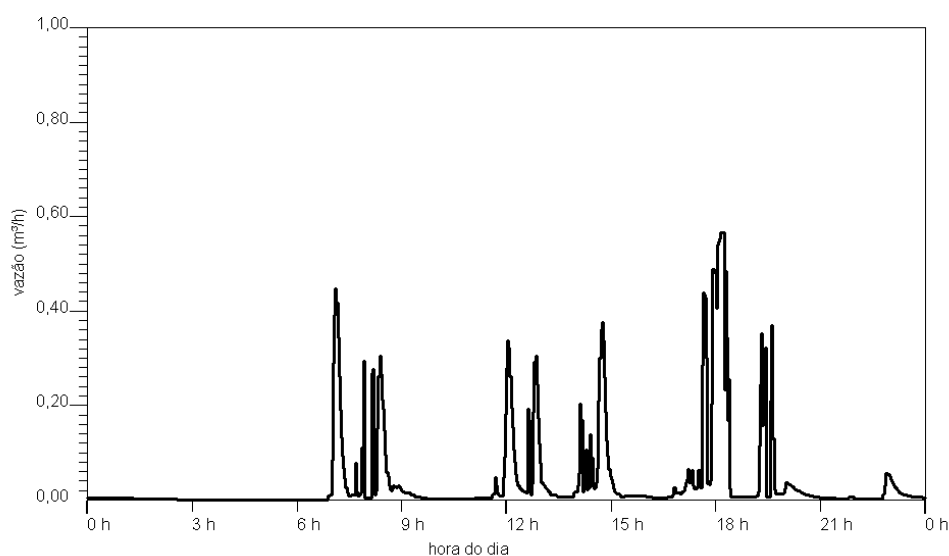


Figura 2 - Exemplo de perfil de abastecimento de uma residência

A seleção correta do medidor tem papel fundamental nos resultados a serem obtidos. O dimensionamento do medidor deve basear-se nas vazões de trabalho do ramal predial onde será instalado.

Destaca-se, portanto, que, a partir das características de cada equipamento, deve ser selecionado aquele que seja mais adequado ao perfil de abastecimento, levando-se em conta os seguintes parâmetros:

- (a) a vazão máxima do sistema não deverá ultrapassar a vazão máxima do medidor;
- (b) a vazão de operação deverá ser inferior à vazão nominal do medidor; e
- (c) a vazão mínima de operação deverá ser superior à vazão mínima do medidor, evitando-se a submedição.

Metodologia

Investigação de campo

A investigação de campo contemplou a realização das seguintes atividades: seleção das unidades a serem investigadas; definição dos instrumentos de coleta de dados; coleta de dados propriamente dita; e, por fim, foi efetuada a organização dos dados para as análises.

Seleção das unidades investigadas

Inicialmente, foram estabelecidos os critérios para a seleção do bairro para a realização da investigação de campo, quais sejam:

- (a) existência de apenas um ponto de entrada, dotado de estrutura de controle de pressão e macromedidor geral;
- (b) existência de edificações semelhantes e construídas em uma mesma época; e
- (c) facilidade de acesso para a realização das atividades em campo.

A partir disso, foi selecionado o bairro Jardim Garcia, que possui aproximadamente 250 residências com características semelhantes. Foram selecionadas aleatoriamente 22 residências para a coleta dos dados, tendo em vista o número de equipamentos de aquisição de dados e o tempo disponível para a realização da pesquisa.

As residências foram concluídas e entregues aos moradores no ano de 1972, e eram inicialmente dotadas de 1 banheiro, 1 cozinha, 1 área de serviço e 2 ou 3 dormitórios. Atualmente, algumas das unidades foram reformadas.

Definição dos instrumentos de coleta dos dados

Foram utilizados os seguintes instrumentos de coleta de dados:

- (a) sistemas automáticos de aquisição de dados de vazão compostos de hidrômetro volumétrico equipado com emissor de pulso e coletor eletrônico de dados;
- (b) manômetro analógico; e
- (c) medidores da concessionária existentes na edificação.

A medição de pressão foi efetuada com manômetros analógicos. Os dados de pressão foram coletados na ocasião da instalação do sistema automático de aquisição de dados. Utilizou-se como ponto de acoplamento do manômetro ao ramal predial a torneira de jardim, existente na edificação.

O levantamento do número de habitantes existentes em cada uma das residências foi efetuado por meio de entrevistas com os moradores.

A aquisição dos dados foi efetuada por meio de um conjunto de mangueiras e adaptadores flexíveis, que possibilitaram a instalação do medidor padrão em série com o medidor existente na tubulação de abastecimento das edificações selecionadas. Dessa forma, toda a coleta de dados foi realizada sem qualquer prejuízo à leitura e ao faturamento mensal do consumo de água da residência, não conflitando com o serviço da concessionária local. A Figura 3 ilustra o sistema de aquisição de dados empregado.

Coleta dos dados

A coleta de dados foi efetuada durante os meses de fevereiro, março e abril de 2004. A temperatura média ambiental foi de 24,3 °C nesse período (CEPAGRI, 2007).

Para cada uma das residências investigadas foram coletados dados de no mínimo 7 dias sem interrupção. Após a coleta dos dados em campo o medidor existente na edificação foi substituído por um novo medidor, previamente aferido. Essa substituição foi necessária para que o medidor inicialmente instalado também pudesse ser aferido.

No ato da instalação dos equipamentos também foram coletadas informações acerca da pressão instantânea disponível, com o auxílio de um manômetro analógico, e levantados os dados referentes ao número de habitantes em cada residência.



Figura 3 - Sistema de aquisição de dados em campo

Organização dos dados para as análises

Para a caracterização do consumo de água da amostra de edificações investigadas foram inicialmente determinadas as vazões médias, mínimas e máximas em cada hora do dia considerando-se os perfis individuais das 22 residências, o que resultou em um perfil típico “máximo, mínimo e médio”.

Na seqüência, para o cálculo do indicador de consumo (IC), foram determinados os volumes consumidos a cada dia, os quais foram divididos pelo número de moradores de cada residência. Para duas unidades não foi possível determinar o IC, pois não se dispunha do número de moradores. Assim, os dados das 20 residências foram agrupados em dias úteis e fins de semana (sábados e domingos). A partir disso, foram determinados os valores da média e desvio padrão, e também os valores extremos (máximos e mínimos) para cada casa isoladamente e para o conjunto de casas como um todo (20 unidades).

Por fim, para a avaliação do índice de submedição, todos os dados de vazão foram agrupados em faixas de vazão previamente determinadas. Foi adotada uma maior quantidade de faixas nas vazões iniciais, devido à necessidade de se conhecer o comportamento metrológico dos medidores nessas vazões, e também porque, a partir da vazão de transição, a curva de aferição dos medidores tende a ter um comportamento mais linear.

Todos os medidores foram aferidos em treze faixas de vazão. Para a determinação do erro médio ponderado (EMP) dos medidores foi determinada, inicialmente, a incidência dos valores de vazão encontrados para a amostra como um todo em cada uma das faixas de vazão consideradas. Cada

porcentagem obtida constitui o peso, que, multiplicado pelo erro médio verificado nos medidores, resulta no erro médio para a faixa em questão. A somatória dos erros de cada faixa determina o EMP para a amostra, calculado pela seguinte expressão:

$$EMP(\%) = \sum [(Erro_{Q_x})x(P_{Q_x})], \quad (1)$$

onde:

EMP: erro médio ponderado, percentual;

Erro_{Qx}: erro médio dos medidores na faixa de vazão, percentual; e

P_{Qx}: peso em função do perfil de consumo para cada faixa de vazão, adimensional.

Também foi determinado o índice de desempenho metrológico dos medidores, definido pelo projeto de norma 04:005.10-028 (ABNT, 2007) como sendo um parâmetro de avaliação de um hidrômetro ou de uma amostra, diretamente relacionado com a perda na totalização do volume, cuja expressão é a seguinte:

$$IDM = 100 + \sum P, \quad (2)$$

onde:

IDM: índice de desempenho metrológico, percentual; e

P: peso em função do perfil de consumo, adimensional.

Investigação laboratorial

A investigação laboratorial foi realizada com o objetivo de avaliar comparativamente o comportamento de torneiras de bóia convencionais

e de alta vazão no que se refere às vazões geradas e às parcelas não detectadas pelos hidrômetros.

Tanto as torneiras de bóia de alta vazão como as convencionais são normalizadas pela NBR 14534 (ABNT, 2000).

A referida norma estabelece os requisitos mínimos necessários para torneiras de bóias a serem instaladas em reservatórios prediais de água potável. As vazões mínimas das torneiras de bóia convencionais e de alta vazão são apresentadas na Tabela 3.

Verifica-se que a vazão mínima, no caso da torneira convencional de DN 20, usualmente empregada no controle do abastecimento de reservatórios de edificações residenciais unifamiliares, embora seja baixa, é superior às vazões de transição dos medidores usualmente utilizados para essas tipologias.

Porém, sabe-se que a partir do ponto onde há elevação do flutuador há uma redução gradual da vazão até o fechamento total, ou seja, as vazões são bastante inferiores aos valores apontados na tabela anterior.

A investigação laboratorial foi desenvolvida em duas etapas: montagem do aparato experimental e coleta e organização dos dados para as análises.

Montagem do aparato experimental

A investigação foi realizada no laboratório de hidrometria da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A. (Sanasa Campinas). Esse laboratório é dotado de reservatório elevado para alimentação das bancadas de aferição de hidrômetros, o que possibilita a execução do ensaio em pressões superiores a 150 kPa, por gravidade, sem a necessidade de utilização de bombas para pressurização.

Foi instalado um reservatório de 500 L de capacidade, a jusante de uma das bancadas existentes nesse laboratório, dotado de um ramal de alimentação de PVC DN 25, onde foram interpostas as torneiras de bóias a serem investigadas e uma tubulação de saída para escoamento da água após cada etapa do ensaio. No ramal de alimentação foram instalados os instrumentos para a coleta de dados, que são os mesmos utilizados na investigação em campo, ou seja, sistema automático de aquisição de dados e manômetro analógico (Figura 4).

| Diâmetro nominal (DN) | Tipo de torneira de bóia | |
|-----------------------|--------------------------|------------------|
| | Convencional (L/s) | Alta vazão (L/s) |
| 15 | 0,08 | 0,25 |
| 20 | 0,11 | 0,40 |
| 25 | 0,14 | - |

Fonte: adaptado de ABNT (2000)

Tabela 3 - Vazão mínima para torneiras de bóia

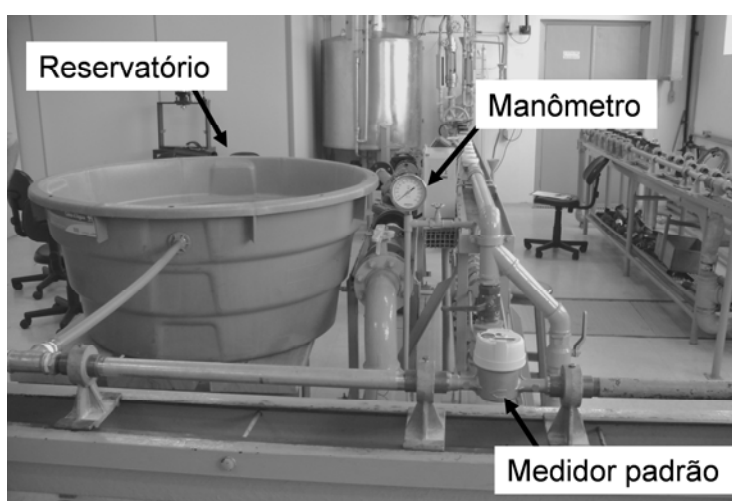


Figura 4 - Aparato experimental empregado para a realização dos ensaios em laboratório

Coleta dos dados e organização para a análise

Inicialmente, instalou-se um dos modelos de torneira de bóia na entrada do reservatório. Na seqüência foram colhidas as informações de leitura inicial do medidor e altura de lâmina d'água, medida a partir do fundo do reservatório. Para a garantia de vazão máxima da torneira de bóia no início do ensaio, tomou-se o cuidado de evitar que o flutuador tocasse a lâmina d'água no interior do reservatório.

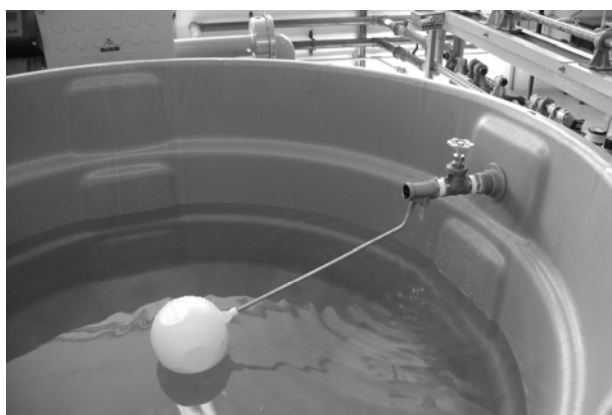
Após os procedimentos iniciais, o fluxo de água, bloqueado a montante da bancada, foi liberado e iniciou-se o ensaio. O horário de início e a pressão do sistema foram anotados. O sistema foi monitorado até o fechamento da torneira de bóia. No instante do fechamento, o horário de término do ensaio foi anotado.

Para a torneira de bóia de alta vazão foram repetidos os mesmos procedimentos descritos para os ensaios com o modelo convencional.

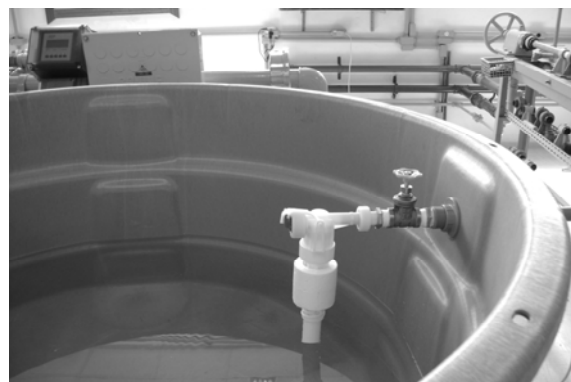
Para ambos os casos a altura inicial de lâmina d'água medida a partir do fundo do reservatório foi 0,065 m. As torneiras de bóia investigadas são as seguintes: tipo convencional de diâmetro nominal DN20 (3/4"), com haste de material metálico e bóia em polietileno; e de alta vazão DN 1/2", fabricada em material plástico. A Figura 5 apresenta os dois componentes estudados.

Os dados coletados foram dispostos em um gráfico de vazão em função do tempo, o que permitiu avaliar as vazões máximas e mínimas para cada modelo de torneira de bóia investigado.

Com os dados de horário e leitura do hidrômetro coletados no início e no término de cada ensaio, também foi possível obter o tempo de enchimento e o volume total para cada uma das duas instalações.



(a) torneira de bóia convencional



(b) torneira de bóia de alta vazão

Figura 5 - Torneiras de bóia utilizadas na investigação laboratorial

Resultados e análises

Investigação em campo

Da análise do perfil típico de abastecimento de água do bairro em estudo durante 24h, obtido a partir da determinação das vazões mínimas, médias e máximas de abastecimento em cada hora do dia, destaca-se que:

- (a) no período entre as 0h00 e as 6h00 da manhã as vazões médias são de pequena magnitude. Após esse horário até as 10h00 há uma elevação na vazão média, com um pico por volta das 8h00, provavelmente decorrente das atividades de higiene pessoal matinal;
- (b) a partir das 10h00 até aproximadamente as 16h00 situa-se o período de maior vazão média, correspondente a uma somatória de usos simultâneos, tais como preparação de alimentos, realização de limpezas em geral e uso em higiene pessoal; e
- (c) entre as 16h00 e as 18h00 as vazões voltam a ser de pequena magnitude. Após este período há um pico, provavelmente decorrente de higiene pessoal e preparo de alimentação no período noturno; esse pico começa a decrescer gradativamente após as 20h00.

A Figura 6 apresenta os valores médio, máximo e mínimo do IC para as 20 unidades investigadas nos dias úteis. A extremidade superior do traço indica o valor máximo, e a inferior, o valor mínimo. O marcador quadrado sobre o traço representa o valor médio do IC.

A Tabela 4 apresenta a distribuição dos valores médios do IC para a amostra como um todo, tanto para os dias úteis como para os fins de semana.

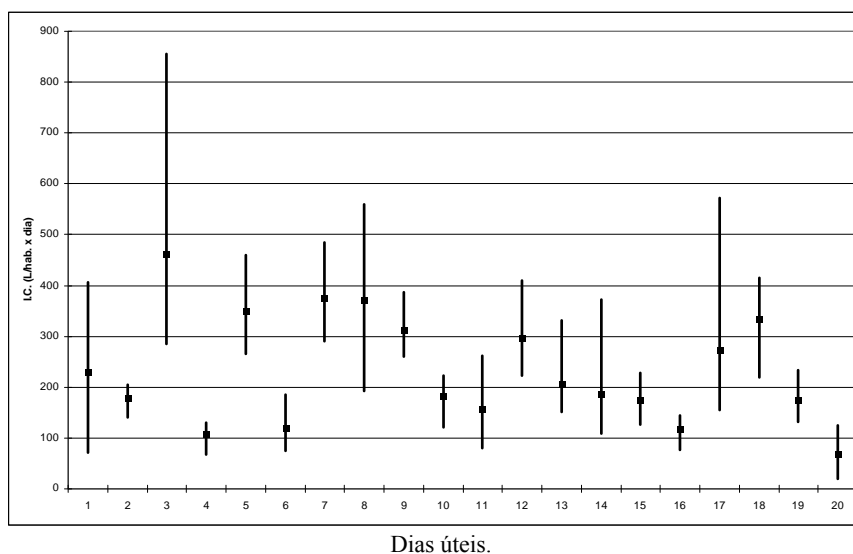


Figura 6 - Indicadores de consumo médio, máximo e mínimo para as 20 unidades investigadas

| Valor médio do IC (L/hab x dia) | Número de residências (porcentagem) | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| | dias úteis | fins de semana | todos os dias |
| IC < 100 | 1 (5%) | 0 | 1 (5%) |
| 100 ≤ IC ≤ 250 | 11 (55%) | 11 (55%) | 10 (50%) |
| 250 < IC ≤ 350 | 6 (30%) | 2 (10%) | 4 (20%) |
| IC > 350 | 2 (10%) | 7 (35%) | 5 (25%) |

Tabela 4 - Distribuição dos valores médios do IC em 20 residências

Da análise da tabela anterior, vê-se que 70% dos valores do IC médios (todos os dias) encontram-se na faixa entre 100 e 350 L/hab x dia. Já para os dias úteis, esse percentual sobe para 85%, enquanto nos finais de semana cai para 65%. Nota-se um incremento no IC acima de 350 L/hab x dia nos fins de semana.

Considerando-se apenas a faixa onde se concentra o maior número de valores de IC nos dias úteis (faixa de 100 a 250 L/hab x dia, em 11 das 20 residências investigadas) o IC médio é de 167 L/hab x dia. Já para os valores de IC que se encontram na faixa de 251 a 350 L/hab x dia, o valor médio do IC é igual à de 337 L/hab x dia.

Os medidores empregados neste trabalho foram aferidos em 13 faixas de vazão, e não somente nas três constantes na NBR NM 212 (ABNT, 1999). A partir das aferições individuais, obteve-se uma aferição média, com a determinação da curva

característica dos medidores, à qual foi acrescentada a curva do medidor padrão, conforme ilustra a Figura 7.

As linhas de cor preta constantes na referida figura determinam os limites aceitáveis de erro para os medidores de vazão máxima 3,0 m³/h, enquanto as de cor vermelha determinam os limites para os medidores de vazão máxima de 1,5 m³/h. Os limites apresentados referem-se a medidores novos.

Verifica-se, da análise da figura anterior, que os erros de medição diminuem com o incremento da vazão, desde que não se extrapole o campo de medição característico de cada equipamento, o qual se estende até a sua vazão máxima.

A Figura 8 apresenta a incidência média das vazões, para a amostra como um todo, nas diferentes faixas consideradas.

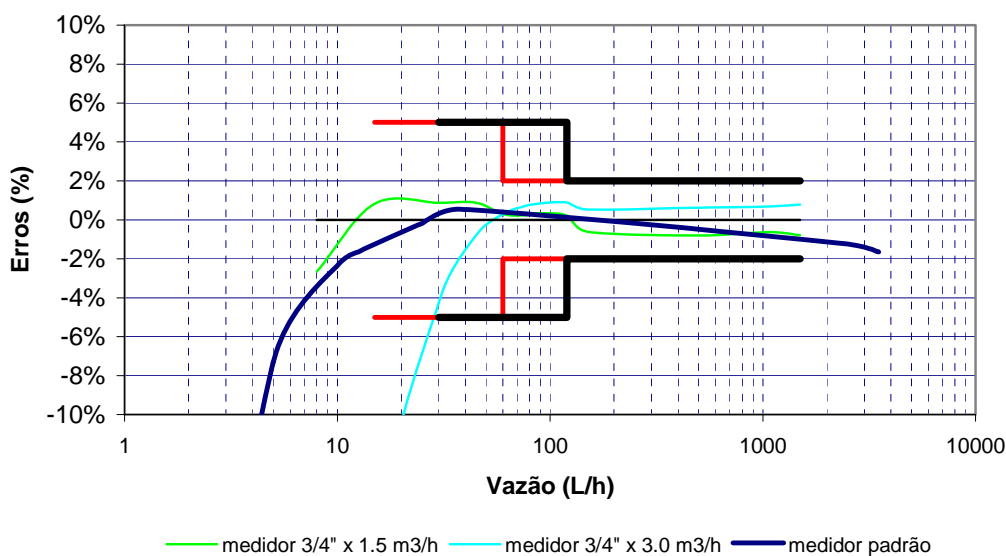


Figura 7 - Curva característica média dos medidores classe B e do medidor padrão

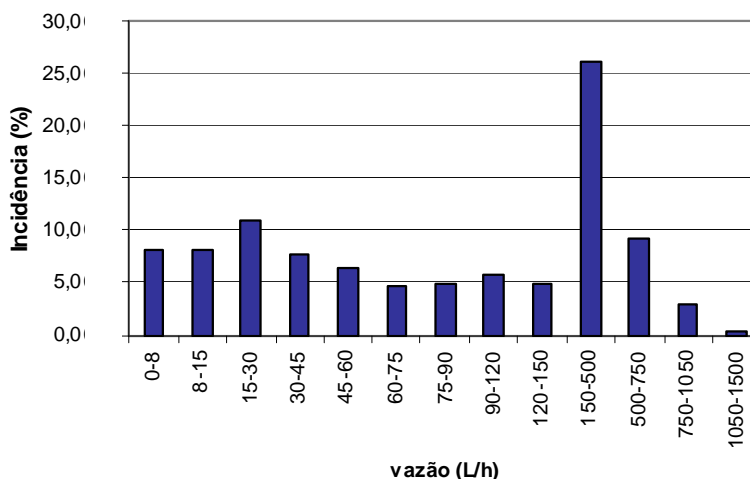


Figura 8 - Incidência das vazões médias nas faixas de vazão consideradas - todas as unidades

Verifica-se que existe uma concentração das vazões (um pouco mais de 25% dos valores medidos) na faixa de 150 a 500 L/h.

Da análise dos resultados obtidos na aferição realizada com os hidrômetros retirados de campo, ressalta-se:

- (a) na primeira faixa de aferição, até 8 L/h, todos os medidores permaneceram parados (sem movimentação da relojoaria). Nesta faixa encontram-se 8,03% do total das vazões levantadas em campo;
- (b) na segunda faixa, que vai de 8 a 15 L/h, 10 dos 22 medidores continuaram parados, sendo o erro médio encontrado superior a 65% negativo. Nesta

faixa encontram-se 8,20% das vazões, que, somados à primeira faixa, representam 16,23% do total;

- (c) na terceira faixa, entre 15 e 30 L/h, onde se encontra a vazão mínima para o medidor em questão, um medidor ainda permaneceu parado, e a média de erros encontrada foi de 18,11% negativo;

(d) a Portaria n.º 246 (INMETRO, 2000) determina que o erro absoluto máximo para a vazão mínima dos medidores usados seja de 10%; aplicando-se esse parâmetro aos demais medidores, oito estariam inaptos para utilização.

Por sua vez, a análise dos dados resultantes da aferição dos medidores novos indica que:

(a) na primeira faixa de vazões, os medidores, apesar de novos e de vazão nominal inferior a dos retirados, não possuem capacidade de medição, porém na segunda e terceira faixas os valores encontrados são significativamente melhores que os apresentados pelos medidores retirados, representando um ganho na precisão da medição; e

(b) na segunda faixa de vazões, o valor mínimo encontrado, 7,67% negativo, extrapola os valores determinados pelo Inmetro para medidores novos, que são de $\pm 5\%$ entre Q_{\min} (inclusive) e Q_t (exclusive).

A Tabela 5 apresenta o índice de submedição, tanto para os hidrômetros retirados de campo como para os novos.

Da análise da tabela anterior, vê-se para a tipologia analisada que o medidor classe B de $\varnothing 3/4'' \times 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ apresenta melhores resultados se comparado ao medidor classe B de $\varnothing 3/4'' \times 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$, considerando-se apenas as vazões normalizadas e o perfil de abastecimento obtido.

Embora não existam diferenças significativas de custo entre os dois modelos de hidrômetros apresentados, o medidor de $\varnothing 3/4'' \times 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ainda é pouco utilizado pelas companhias de saneamento no Brasil.

Além desse medidor, outros modelos poderiam ser também utilizados. Entre as alternativas existentes no mercado estão os medidores velocimétricos classe metrológica C e os medidores volumétricos.

Os resultados obtidos para o índice de desempenho metrológico, determinados por meio da expressão apresentada no item anterior, são os seguintes:

Para medidores com vazão máxima igual a $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$\text{IDM} = 100 + (-15,454)$$

$$\text{IDM} = 84,546\%$$

Para medidores com vazão máxima igual a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$\text{IDM} = 100 + (-8,235)$$

$$\text{IDM} = 91,765\%$$

Verifica-se que o IDM para as unidades investigadas aumentou consideravelmente com a utilização de medidores de mesma classe metrológica, porém de menor vazão máxima. O IDM seria ainda superior com a utilização de medidores classe C volumétricos.

Investigação Laboratorial

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos nos ensaios com as torneiras de bóia convencional e de alta vazão. As linhas pontilhadas apresentadas na figura indicam as vazões nominal (Q_n), de transição (Q_t) e mínima (Q_{\min}) dos medidores originalmente encontrados nas residências investigadas (medidor velocimétrico classe metrológica B – diâmetro $3/4 \times 3 \text{ m}^3/\text{h}$). Para os dois ensaios a pressão medida foi de 180 kPa .

| Faixas de vazão (L/h) | Perfil de abastecimento encontrado na amostra (Peso) | Hidrômetro retirado de campo | | Hidrômetro novo | |
|-----------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|
| | | Média de erros de aferição (%) | Pesos em função do perfil de abastecimento | Média de erros de aferição (%) | Pesos em função do perfil de abastecimento |
| 0-8 | 8,03 | -100,00 | -8,030 | -100,00 | -8,030 |
| 8-15 | 8,20 | -66,35 | -5,441 | -2,67 | -0,219 |
| 15-30 | 10,86 | -18,11 | -1,966 | 0,83 | 0,090 |
| 30-45 | 7,72 | -4,24 | -0,327 | 0,88 | 0,068 |
| 45-60 | 6,38 | -0,78 | -0,050 | 0,88 | 0,056 |
| 60-75 | 4,72 | 0,28 | 0,013 | 0,30 | 0,014 |
| 75-90 | 4,83 | 0,69 | 0,033 | 0,23 | 0,011 |
| 90-120 | 5,74 | 0,85 | 0,049 | 0,34 | 0,020 |
| 120-150 | 4,86 | 0,89 | 0,043 | 0,21 | 0,010 |
| 150-500 | 26,18 | 0,53 | 0,139 | -0,62 | -0,162 |
| 500-750 | 9,17 | 0,63 | 0,058 | -0,79 | -0,073 |
| 750-1050 | 2,92 | 0,70 | 0,020 | -0,62 | -0,018 |
| 1050-1500 | 0,39 | 0,79 | 0,003 | -0,78 | -0,003 |
| erro médio ponderado | | | -15,454 | | -8,235 |

Tabela 5 - Índice de submedição encontrado para a amostra de residências investigadas

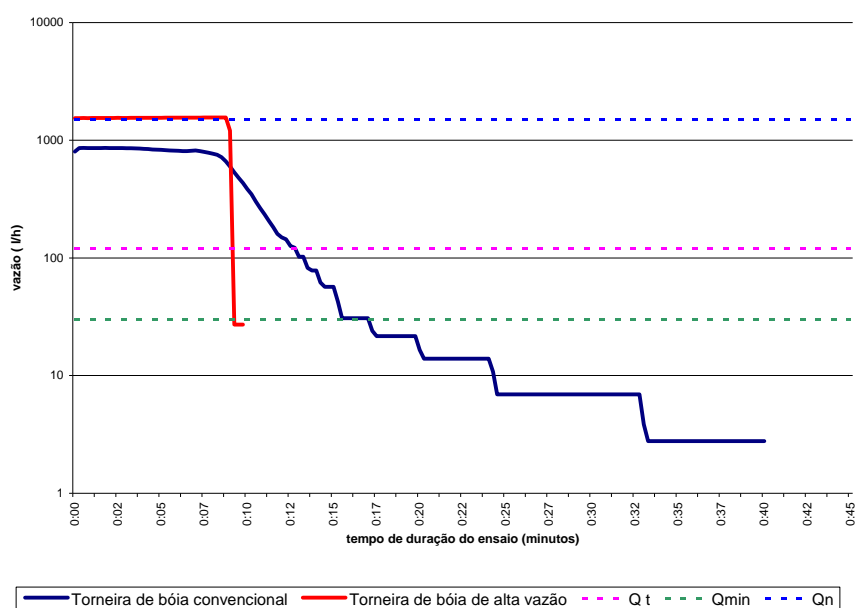


Figura 9 - Comportamento das vazões ao longo do tempo - torneiras de bóia convencional e de alta vazão investigadas

Da análise da figura anterior destaca-se que, para a torneira de bóia de alta vazão, durante todo o período de enchimento do reservatório, os valores de vazão verificados são levemente superiores à vazão nominal (Q_n) do medidor, e, quando o nível de fechamento é atingido, o sistema interrompe o fluxo de entrada da água de forma rápida. A utilização desse dispositivo elimina a submedição.

Por outro lado, deve-se observar as características do medidor a ser utilizado com esse componente, para que seus limites ideais de funcionamento não sejam excedidos. As torneiras de bóia de alta vazão não devem ser utilizadas com medidores de vazão nominal inferior a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Já para a torneira de bóia convencional verifica-se que parte do enchimento ocorre na faixa abaixo da vazão mínima ($Q_{\text{mín}}$), o que ocasiona a submedição.

Avaliação comparativa de alternativas para a redução da submedição

A Quadro 1 apresenta uma comparação qualitativa das alternativas estudadas no presente trabalho

para a redução da submedição em ligações residenciais cujo abastecimento é do tipo indireto ou misto, com controle do reservatório efetuado por torneira de bóia, sendo os critérios adotados:

- custo: custos envolvidos na implantação da alternativa;
- dependência do usuário final: dependência que a alternativa tem das ações do usuário final, seja no momento de sua implantação inicial, seja em uma reforma;
- facilidade de implantação em edificações existentes: considera as intervenções necessárias para a implantação da alternativa em edificações já construídas;
- facilidade de implantação em novas edificações: considera as intervenções necessárias para a implantação da alternativa em edificações a serem construídas; e
- qualidade de medição: refere-se à qualidade da medição no quesito precisão.

| Alternativa | Custo | Dependência do usuário | Implantação em edificações existentes | Implantação em edificações novas | Qualidade da medição |
|--|-----------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Hidrômetro classe B $\varnothing \frac{3}{4}$ x 1,5 m ³ /h de vazão máxima e torneira de bóia convencional | ★★★ ★★ | ★★★ ★★ | ★★★ ★★ | ★★★ ★★ | ★★★ |
| Hidrômetro classe C volumétrico e torneira de bóia convencional | ★ | ★★★ ★★ | ★★★ ★★ | ★★★ ★★ | ★★★ ★★ |
| Hidrômetro classe C velocimétrico e torneira de bóia convencional | ★ | ★★★ ★★ | ★★★ ★★ | ★★★ ★★ | ★★★ ★ |
| Hidrômetro classe B $\varnothing \frac{3}{4}$ x 3,0 m ³ /h de vazão máxima e torneira de bóia de alta vazão | ★★★ ★★ | ★ | ★ | ★★ | ★★★ ★★ |
| Utilização de abastecimento do tipo direto | ★★★ ★★ | ★ | ★ | ★★★ ★★ | ★★★ ★★ |

Legenda: ★ - muito pouco atrativo ★★ - pouco atrativo ★★★ - atrativo ★★★★ - muito atrativo ★★★★★ - muitíssimo atrativo

Quadro 1 - Avaliação qualitativa de alternativas estudadas para a redução da submedição

Da análise da tabela anterior verifica-se que a utilização de medidores classe B de $\varnothing \frac{3}{4}$ x 1,5 m³/h de vazão máxima ou medidores classe C do tipo volumétrico ou velocimétrico resultarão num ganho de desempenho metrológico e conseqüentemente reduzirão a submedição em edificações com as mesmas características das apresentadas neste trabalho. Para as demais alternativas apresentadas, a dependência do usuário final aparece como o principal entrave para a sua aplicação.

Considerações finais

O desenvolvimento deste trabalho teve como foco principal a determinação dos volumes não contabilizados devido à submedição. A causa principal desse problema é o dimensionamento inadequado dos medidores empregados em sistemas de abastecimento indireto ou misto, em que é comum a ocorrência de baixas vazões, devido ao emprego de torneiras de bóia convencionais.

Entre os resultados obtidos, já comentados ao longo do presente trabalho, destacam-se:

(a) analisando-se as vazões mínimas obtidas em campo, vê-se que parte do volume consumido não seria contabilizada, o que constitui a submedição;

(b) cerca de 70% dos indicadores de consumo (IC) médios (todos os dias) encontram-se na faixa entre 100 e 350 L/hab x dia. Já para os dias úteis, esse percentual sobe para 85%;

(c) considerando-se a faixa em que se concentra o maior número de valores de IC (dias úteis), o IC médio é de 167 L/hab x dia;

(d) aproximadamente 25% do volume contabilizado pelo medidor padrão utilizado estão concentrados em vazões abaixo da mínima para o medidor $\varnothing \frac{3}{4}$ x 3,0 m³/h, enquanto para o medidor $\varnothing \frac{3}{4}$ x 1,5 m³/h esse valor é de aproximadamente 15%; e

(e) o índice de desempenho metrológico (IDM) para os medidores com vazão máxima igual a 3 m³/h é igual a 84,5%; já para os medidores com vazão máxima igual a 1,5 m³/h o IDM é igual a 91,8%.

Já para a investigação laboratorial destaca-se:

(a) que a torneira de bóia de alta vazão, além de possibilitar um enchimento mais rápido do reservatório, não opera em vazões abaixo dos limites estabelecidos para os medidores velocimétricos, eliminando os problemas com a submedição; e

(b) que se deve observar as características do medidor a ser utilizado com torneiras de bóia de alta vazão, para que os limites ideais de funcionamento do medidor não sejam excedidos.

Por fim, verificou-se que a utilização de medidores classe B de $\varnothing \frac{3}{4}$ x 1,5 m³/h de vazão máxima ou medidores classe C do tipo volumétrico ou velocimétrico resultarão num ganho de desempenho metrológico e, conseqüentemente, reduzem a submedição em edificações com as mesmas características das apresentadas neste trabalho. Já para a utilização de torneiras de bóia

de alta vazão, a intervenção do usuário final aparece como principal barreira para a obtenção de bons resultados.

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros recomenda-se a reprodução deste estudo para diferentes tipologias, com o objetivo de se obterem subsídios para o correto dimensionamento de medidores, reduzindo-se o problema de submedição.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15538/2007**:

Hidrômetros para água fria - Ensaio para avaliação de desempenho de hidrômetros em alta e baixa vazões em hidrômetro até 2,5 m³/h de vazão nominal para água fria. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626/1998**:

Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14534/2000**:

Torneira de bóia para reservatórios prediais de água potável - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2000.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14005/1997**:

Medidor velocimétrico para água fria, de 15 m³/h até 1.500 m³/h de vazão nominal. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 212/1999**:

Medidores Velocimétricos de Água Fria até 15,0 m³/h. Rio de Janeiro, 1999.

ALVES, W. C.; PEIXOTO, J. B.; SANCHEZ, J. G.; LEITE, S. R. **Micromedição**. Brasília: Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, 2004. 171 p. Documento Técnico de Apoio - DTA - A3.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI UNICAMP. **Clima de Campinas**. Disponível em: <<http://orion.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>>. Acesso em: 30 out. 2007.

COELHO, A. C. **Medição de água política e prática**. Recife: Comunicarte, 1996. 360 p.

ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M. **Sistemas prediais de água fria**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994. 106 p. Boletim Técnico BT/PCC/008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4064-1**: Measurement of water flow in fully charged closed conduits. Meters for cold potable water and hot water. Part 1: Specifications. [s.l.], 2005.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 1996. 739 p.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Portaria n.º 246, de 17 de outubro de 2000**: INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2000.

SANCHEZ, J. G.; MOTTA, S. A.; ALVES, W. C. Estimativa de volume de água não medido em ligações residenciais por perda de exatidão nos hidrômetros, na cidade de Juazeiro - BA. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2000.

TOMAZ, P. **Previsão de consumo de água**: interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos. São Paulo: Navegar, 2000. 250 p.