

VOLUME 3



SÉRIE BALANÇO HÍDRICO

GUIA **PRÁTICO**

**DE PROCEDIMENTOS PARA
ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO
NO PARQUE DE HIDRÔMETROS**





GUIA PRÁTICO

**DE PROCEDIMENTOS PARA
ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO
NO PARQUE DE HIDRÔMETROS**

1ª EDIÇÃO - 2015

DIRETOR-PRESIDENTE

Roberto Cavalcanti Tavares
Compesa/PE

DIRETOR VICE-PRESIDENTE

Mounir Chaowiche
Sanepar/PR

DIRETORES VICE-PRESIDENTES REGIONAIS

Danque Esbell da Silva
Caer/RR

Raimundo Nonato Farias Trigo
Agespisa/PI

Carlos Fernandes de Melo Neto
Deso/SE

José Taveira Rocha
Saneago/GO

Denise Cadete
Cesan/ES

Mounir Chaowiche
Sanepar/PR

CONSELHO FISCAL

Maurício Ludovice
Caesb/DF

Luciano Lopes Dias
Cosanpa/PA

Davi de Araújo Telles
Caema/MA

SECRETÁRIO-EXECUTIVO

Ubiratan Pereira

COORDENADOR DAS CÂMARAS TÉCNICAS

Joaquim Souza

ASSESSORA DE COMUNICAÇÃO

Luciana Melo

CÂMARA TÉCNICA DE DESENVOLVIMENTO OPERACIONAL - CDO

Paulo Roberto Cherem de Souza (COPASA) - Coordenador
Nelson Silva Júnior (SABESP) - Secretário
Airton Sampaio Gomes - Consultor da CDO
Isabel Cristina Pereira Alves (DESO) - Estruturação dos Guias

MEMBROS

AGESPISA

Joaquim R. M. F. de Carvalho
Manoel de Castro Dias

CAEMA

Ignácio Á. de Oliveira
Nelson José Bello Cavalcante
José Luiz R. Bastos

CAER

José Cesar
Oriedson M. da Silva

CAERD

América Maria R. de Lima V. F.
Débora Maria C. R. D. M. Reis
Mauro Berberian
Sérgio A. P. Ramos
Sérgio G. da Silva
Vagner M. Zacarini

CAERN

Ana Luiza de Araújo
Eduardo N. Cunha
Josildo L. dos Santos

CAESA

Evandro Luis de Oliveira
Raimundo S. dos Santos

CAESB

Amauri A. Tavares
Diogo Gebrim
Humberto B. Adamatti
Klaus D. Neder
Luiz Carlos H. Itonaga
Manoel E. de Almeida
Marcos P. da Costa Ribeiro
Nilce R. da Silva
Paulo R. V. Caldeira
Stefan I. Mülhofer
Ulisses A. Pereira

CAGECE

Cailiny Cunha
Luiz C. B. Pinto
Giordan R. Lima
Luiz R. C. Benevides
Simone V. de Queiroz

CAGEPA

José M. Victor

CASAL

Jorge B. Torres

CASAN

Andréia May
Heloise C. Schatzmann
Paulo Peressoni
Rodrigo M. Moure
Rodrigo S. Maestri

CEDAE

Gustavo Tannure
Jaime Azulay
Luis E. Freitas de Faria
Luiz C. Drumond

CESAN

Francine A. do Doelinger
Iranete G. Machado
Karla P. Vaccari

COMPESA

Daniel G. Bezerra
Maria L. Martins de Lima
Victor C. de Oliveira Pereira



COPASA

Paulo R. Cherem de Souza
Ricardo N. Coelho
Wellington J. Santos

CORSAN

Antônio C. Martins
Antônio C. Accorsi
Eduardo B. Carvalho
Gerson Cavassola
Jeferson Scheibler
Ricardo R. Machado

COSANPA

Ronald K. da Silva
Gilberto da Silva Drago

DEPASA

Alan de O. Ferraz
Dania Coutinho
Rodrigo B. da Fonseca Accioly

DESO

Ana Luiza C. de Almeida
Carlos A. Filho
Carlos F. de Melo Neto
Marcelo L. Monteiro
Max S. Kuhl
Carlos A. S. Pedreira

EMBASA

Alberto de Magalhães F. Neto
Glaucio C. de Souza
Rodolfo G. de Aragão

SABESP

Nelson Silva Junior

SANEAGO

Alexandre G. de Souza
Dioremides A. Cristaldo
Mario C. Guerino
Wanir José M. Júnior

SANEATINS

Ana C. Horner Silveira
Débora C. Muniz
Claudio R. Guimarães
Uilma H. C. Aguiar
Vanderlei Ângelo Bravin

SANEPAR

Kazushi Shimizu
Marcelo D. Depexe
Mauro O. de Lara

SANESUL

Marcus Tedesco
Sara de Souza M. Nogueira
Onfore A. de Souza
Karoline Franzini
Antonio Toshime Arashiro
Elthon S. Teixeira

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 7

GLOSSÁRIO DE TERMOS PARA ENTENDER BALANÇO HÍDRICO 10

1. O QUE SÃO VOLUMES PERDIDOS COM A SUBMEDIÇÃO DOS HIDRÔMETROS? 14

2. O QUE SÃO VOLUMES PERDIDOS POR ERROS NO MANUSEIO DE DADOS? 18

3. MÉTODO DA CURVA DE DESEMPENHO DA MEDIÇÃO 19

3.1 Recomendações para uso deste método 21

3.1.1 Determinação do IDM em função do tempo de instalação 22

3.1.2 Utilização de curva estimada ou adotada 26

3.1.3 Utilização de taxa constante de redução da eficiência da medição 27

3.2 – Confiabilidade dos resultados obtidos 28

4. MÉTODO DE ESTUDOS AMOSTRAIS COM LEVANTAMENTOS EM CAMPO DE PERFIS DE CONSUMO 33

4.1 Passo a passo do método 35

4.2 Um pouco mais de Estatística para compreender o método 38

5. RECOMENDAÇÕES FINAIS 43

REFERÊNCIAS 44



INTRODUÇÃO

Quando se analisam dados do SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (www.snis.gov.br) observa-se grandes desníveis entre as empresas do setor quanto à capacidade de enfrentar o desafio de operar os sistemas de abastecimento de água com elevados níveis de desempenho operacional. Altos níveis de desempenho são demandados pela sociedade, face à crescente escassez de recursos hídricos, notadamente nas regiões metropolitanas, e em face também da agenda ambiental com a qual o Brasil está comprometido junto à comunidade internacional.

Os desníveis atualmente existentes entre as organizações do setor abrem um espaço de oportunidades para ações de ajuda mútua e cooperação, com o objetivo de reduzir estas assimetrias e promover o desenvolvimento sustentável e equilibrado do setor em nosso País. O propósito desta série de publicações, dentre outros, é somar esforços com os diversos níveis governamentais envolvidos no assunto, rumo à melhoria da eficiência do setor de saneamento.

Em nível internacional, grandes avanços e muitas experiências exitosas têm ocorrido no enfrentamento da questão de elevar o nível de desempenho operacional nos sistemas de abastecimento de água. Pode-se citar a atuação vigorosa da *Water Loss Task Force*, da IWA – *International Water Association*, que segue trabalhando sobre o tema desde 1995, tendo já contribuído com grandes avanços, tornando-se a principal referência internacional no assunto, quanto aos desenvolvimentos de metodologias e entendimento apurado das perdas nos sistemas. Pode-se citar como exemplos deste esforço a sistematiza-

Foto: Shutterstock





GUIA PRÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO NO PARQUE DE HIDRÔMETROS

ção das metodologias existentes, anteriormente dispersas e pouco utilizadas, a melhor compreensão estabelecida sobre a relação entre vazamento e pressão, a modelagem de balanços hídricos, o desenvolvimento de indicadores de perdas mais adequados para análise e comparação dos sistemas, a análise de componentes das perdas, o emprego do conceito de Distrito de Medição e Controle como ferramenta de redução do tempo de conhecimento dos vazamentos entre muitas outras contribuições.

Neste contexto, uma ferramenta de especial importância para ajudar a entender o problema das perdas de água é a técnica chamada “balanço hídrico *top down*”, destinada a permitir a quantificação e a tipificação das perdas reais e aparentes nos sistemas. Esta abordagem é inovadora, pois os sistemas de informação tradicionais, como o SNIS, por exemplo, costumam avaliar os sistemas desde uma perspectiva comercial e financeira e sem separar as perdas reais das perdas aparentes, o que pode levar a estratégias equivocadas de combate às perdas.

Em um momento em que as grandes empresas do setor de saneamento estão implantando sistemas corporativos para a produção de balanços hídricos e o próprio SNIS está sendo repensado para atender às demandas do marco regulatório do saneamento brasileiro, a AESBE preocupada com a questão da uniformização terminológica e de procedimentos para a prática de modelagem de balanços hídricos no âmbito das empresas associadas, iniciou esta discussão, por meio da CDO – Câmara Técnica de Desenvolvimento Operacional, que acabou resultando na publicação desta “Série Balanço Hídrico”. Esta série contará com os seguintes Guias Práticos:

- Determinação do Volume de Entrada nos Sistemas de Abastecimento



Foto: Shutterstock

- Consumo Autorizado Não Faturado
- Estimativa de Submedição no Parque de Hidrômetros
- Consumo Não Autorizado e Volumes Não Apropriados por Falhas de Cadastro
- Balanço Hídrico e Indicadores de Desempenho Operacional





• Métodos Diretos para Obtenção de Perdas Reais.

A CDO reúne técnicos designados pelas empresas estaduais que possuem vínculo com a questão da gestão de perdas nos sistemas de abastecimento. Por seu regimento interno, à CDO compete elaborar propostas e atender necessidades técnicas da Instituição, em especial:

I – Oferecer subsídios para as manifestações da AESBE a respeito de problemas de ordem técnica relacionadas com a melhoria operacional das empresas membro;

II – Manter e disponibilizar material de referência sobre as atividades da CDO e provimento de conteúdo técnico para o portal da AESBE no que se refere ao seu escopo de atuação.

III – Criar grupos de trabalho para tornar mais ágil e eficiente o desenvolvimento de temas específicos relacionados ao escopo da CDO;

IV – Manter-se atualizada quanto aos desenvolvimentos técnicos e institucionais no âmbito das empresas e do setor, para a melhoria da eficiência na gestão operacional dos sistemas, promovendo a disseminação e intercâmbio de tecnologias e informações bem como a realização de eventos e capacitações;

Para a produção desta série de publicações, grupos de debate sobre o assunto foram montados no âmbito da CDO, de modo que os conteúdos ora publicados, foram fruto de consenso e aprovado pela Câmara Técnica.

Por meio desta série de Guias Técnicos a AESBE passa a recomendar procedimentos de cálculo para as empresas associadas com o objetivo de aprimorar a elaboração do Balanço Hídrico dos seus sistemas de abastecimento e permitir um melhor gerenciamento das perdas de água e do volume de água não faturada. Desse modo, também se busca o alinhamento na elaboração de indicadores que permitam o compartilhamento de experiências entre os operadores e repercuta no desenvolvimento do saneamento básico brasileiro, uma das metas principais da AESBE.



GLOSSÁRIO

DE TERMOS PARA ENTENDER BALANÇO HÍDRICO

Os balanços hídricos são “balanços de massa” feitos com dados anuais, comerciais e operacionais, de uma mesma base física e temporal. Permitem a obtenção indireta dos volumes perdidos em vazamentos, chamados de perdas reais de água. O volume de perdas reais, de per si, é uma medida da ineficiência da infraestrutura do sistema, daí a necessidade de que os volumes correspondam a volumes reais e não àqueles porventura decorrentes de regras comerciais de negócio. Esta é uma questão chave: é imprescindível não esquecer que pela abordagem do balanço hídrico, o sistema é visto pela perspectiva da infraestrutura, dando a possibilidade da geração de indicadores adequados para a avaliação do fenômeno das perdas de água.

Pode-se entender a técnica do balanço hídrico como uma técnica de modelagem: como se sabe, um modelo é uma aproximação da realidade, já que a realidade mesma nunca poderá ser conhecida. O balanço hídrico, por definição, é modelado para um Grau de Confiança de 95% e as incertezas de medição / estimativas associadas a cada dado de entrada idealmente devem ser informadas nos modelos.

Para efeito da aplicação da técnica de balanço hídrico “Sistema” é algo cuja escala é definida pelo modelador e condiciona os dados de entrada: pode ser um setor de abastecimento qualquer, um DMC – Distrito de Medição e Controle, ou todo um sistema de abastecimento, parte dos sistemas de abastecimento operados, ou a totalidade deles.

1. No Brasil, muitas empresas costumam faturar um “consumo mínimo” quando os hidrômetros registram menos que um piso de 10 m³/mês por economia, no caso de usuários residenciais. Porém, para o balanço hídrico só importam os volumes efetivamente registrados pelos hidrômetros.



GLOSSÁRIO DE TERMOS DO BALANÇO HÍDRICO

VOLUME DE ENTRADA NO SISTEMA (VE)

Corresponde ao volume anual de água que ingressou efetivamente no(s) sistema(s) distribuidor(es). Seu equivalente no Glossário de Informações do SNIS é a informação AG006 – Volume de Água Produzido, assim definida: *“Volume anual de água disponibilizada para os sistemas distribuidores², compreendendo a água captada pelo prestador de serviços e a água bruta importada (AG016), ambas tratadas na(s) unidade(s) de tratamento do prestador de serviços, medido ou estimado na(s) saída(s) da(s) ETA(s) ou UTS(s). Inclui também os volumes de água captada pelo prestador de serviços ou de água bruta importada (AG016), que sejam disponibilizados para consumo sem tratamento, medidos na(s) respectiva(s) entrada(s) do sistema de distribuição.”*

VOLUME FATURADO (VF)

Corresponde à soma do **Volume Faturado Medido** com o **Volume Faturado Não Medido**.

VOLUME FATURADO MEDIDO (VFM)

Volume anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações de água e que deram origem ao faturamento. O conceito é quase equivalente ao da informação AG008 do SNIS: Volume de Água Micromedido, exceto pelo fato que o SNIS restringe os consumos aos das ligações ativas.

VOLUME FATURADO NÃO MEDIDO (VFNM)

Volume anual de água entregue nas ligações sem hidrômetros e que foram faturadas. É preciso atentar ao fato de que as estimativas utilizadas para efeito de faturamento podem estar distantes da realidade, sobrestimadas ou subestimadas. No caso de subestimação, haverá uma parcela adicional de **consumo autorizado não medido** não faturado para compensar o volume de água anual entregue. No caso de sobrestimação, o volume excedente da estimativa considerada mais realista deve ser desprezado.

CONSUMO AUTORIZADO FATURADO (CAF)

Corresponde ao **Volume Faturado**. O termo **“Consumo Autorizado Faturado”** serve para se contrapor com **“Consumo Não Autorizado”** e também com **“Consumo Autorizado Não Faturado”**.

2. O texto grifado diverge da definição do SNIS, que menciona **“água disponível para consumo”** o que não é verdade devido à ocorrência natural de perdas reais nos sistemas distribuidores.



GLOSSÁRIO DE TERMOS DO BALANÇO HÍDRICO	
CONSUMO AUTORIZADO (CA)	Corresponde à soma de Consumo Autorizado Faturado com Consumo Autorizado Não Faturado.
CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO (CANF)	Corresponde à soma de Volume Não Faturado Medido com Volume Não Faturado Não Medido
VOLUME NÃO FATURADO MEDIDO (VNFM)	Corresponde a volumes anuais medidos, cujo uso é autorizado pelo prestador de serviços, mesmo sem terem gerado faturamento. Exemplo: Usos próprios, purgas de rede, lavagem de reservatórios, combate a incêndios, etc.
VOLUME NÃO FATURADO NÃO MEDIDO (VNFM)	Corresponde a volumes anuais não medidos (portanto estimados), cujo uso é autorizado pelo prestador de serviços, mesmo sem terem gerado faturamento. Usos próprios, purgas de rede, lavagem de reservatórios, combate a incêndios, etc.
PERDAS APARENTES	Corresponde à soma dos volumes de Consumo Não Autorizado com os volumes de Inexatidão do Hidrômetros e Erros no Manuseio de Dados.
CONSUMO NÃO AUTORIZADO	Corresponde a volumes anuais de água entregues a usuários de forma não autorizada pelo prestador de serviços, como no caso de fraudes nos medidores, by passes e ligações clandestinas, ou outras formas peculiares à realidade do prestador de serviços.
SUBMEDIÇÃO DOS HIDRÔMETROS E ERROS NO MANUSEIO DE DADOS	Corresponde a volumes anuais de água entregues aos usuários que deixaram de ser registrados pelos hidrômetros, por ineficiência destes. Inclui ainda volumes não registrados devido a práticas erradas de leitura ou qualquer tipo de violação à integridade dos dados medidos pelos hidrômetros.
PERDAS REAIS	Corresponde ao volume anual obtido com a operação: Volume de Entrada – Consumo Autorizado – Perdas Aparentes, representando as perdas de água ocorridas em vazamentos no sistema.
PERDAS DE ÁGUA	Corresponde à soma do Volume de Perdas Aparentes com o Volume de Perdas Reais.

Figura 1 – Matriz do Balanço Hídrico

A matriz do balanço hídrico, que informa como os diversos componentes do balanço hídrico se relacionam é a seguir apresentada.

VOLUME DE ENTRADA	CONSUMO AUTORIZADO	CONSUMO AUTORIZADO FATURADO	VOLUME FATURADO MEDIDO	VOLUME FATURADO
			VOLUME FATURADO NÃO MEDIDO	
		CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO	VOLUME NÃO FATURADO MEDIDO	VOLUME DE ÁGUA NÃO FATURADA
			VOLUME NÃO FATURADO NÃO MEDIDO	
	PERDAS DE ÁGUA	PERDAS APARENTES	SUBMEDIÇÃO	
			CLANDESTINOS / FALHAS DE CADASTRO	
			FRAUDES	
			PERDAS REAIS	



GUIA PRÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO NO PARQUE DE HIDRÔMETROS

Introdução

O método do balanço hídrico é uma abordagem dita “de cima para baixo” para avaliação de perdas de água em um sistema de abastecimento público convencional, que utiliza como recurso a estimativa de perdas aparentes como modo de permitir o cálculo das perdas reais. Perda aparente corresponde à água que é distribuída, porém involuntariamente e/ou má gestão não é cobrada pelo prestador de serviços. Desta forma, perda aparente equivale a consumo. Para que o cálculo das perdas seja confiável, é imprescindível utilizar métodos que garantam o maior grau de acerto possível nas estimativas.

As perdas aparentes são geralmente constituídas por dois componentes principais: (i) Consumos Não

Autorizados e (ii) Submedição dos Hidrômetros e Erros no Manuseio de Dados. Este segundo componente será objeto deste Guia. Os Consumos Não Autorizados serão objeto de outro Guia específico.

No Brasil, a parcela da perda aparente provocada pela submedição dos hidrômetros costuma ser muito significativa, desta forma torna-se muito importante sua determinação na modelagem do balanço hídrico.

Neste Guia são apresentados dois procedimentos para estimar a submedição do parque de hidrômetros com diferentes níveis de complexidade e confiabilidade. Um método ou outro pode ser usado conforme a disponibilidade de dados para o sistema analisado.

1. O QUE SÃO VOLUMES PERDIDOS COM A SUBMEDIÇÃO DOS HIDRÔMETROS?

Define-se como sendo volumes perdidos com a submedição dos hidrômetros a parcela de volumes que é entregue aos usuários medidos, mas que não é registrada pelos medidores. Matematicamente:

$$\text{Volume por submedição} = \text{Volume Consumido} - \text{Volume Micromedido}$$

Ou, ajustando os termos da equação:

$$\text{Volume Consumido} = \text{Volume Micromedido} + \text{Volume por Submedição}$$

Conhecendo-se o volume micromedido e o percentual de submedição, que é o que normalmente

se determina nas companhias, o volume entregue pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Volume Consumido} = \text{Volume Micromedido} / (1 - \% \text{Submedição})$$

Ou seja, o conceito de submedição é estabelecido em relação ao volume total de água que foi entregue aos usuários, o que inclui obviamente o próprio volume por submedição. Frequentemente comete-se o equívoco de calcular o percentual de submedição em relação ao volume micromedido, o que seria incorreto em termos conceituais.

Conforme se observa na Figura 2, o componente “Submedição” aparece como parte do Volume de





Perdas Aparentes no Balanço Hídrico de um sistema de abastecimento. As perdas aparentes, por sua vez, exercem papel importante na determinação do volume de perdas reais.

Conforme sugerido pela matriz apresentada na Figura 2, o volume de perdas reais é obtido pela equação:

Perdas Reais = Volume de Entrada – Consumo Autorizado – Perdas Aparentes

Figura 2 – Matriz de Balanço Hídrico com destaque para o componente de submedição dos hidrômetros

Desta forma a confiabilidade da determinação de perdas reais depende em grande parte da confiabilidade da determinação de perdas aparentes. Nas perdas aparentes geralmente a submedição assume o papel principal, na maioria dos sistemas brasileiros. Vamos compreender por quê.

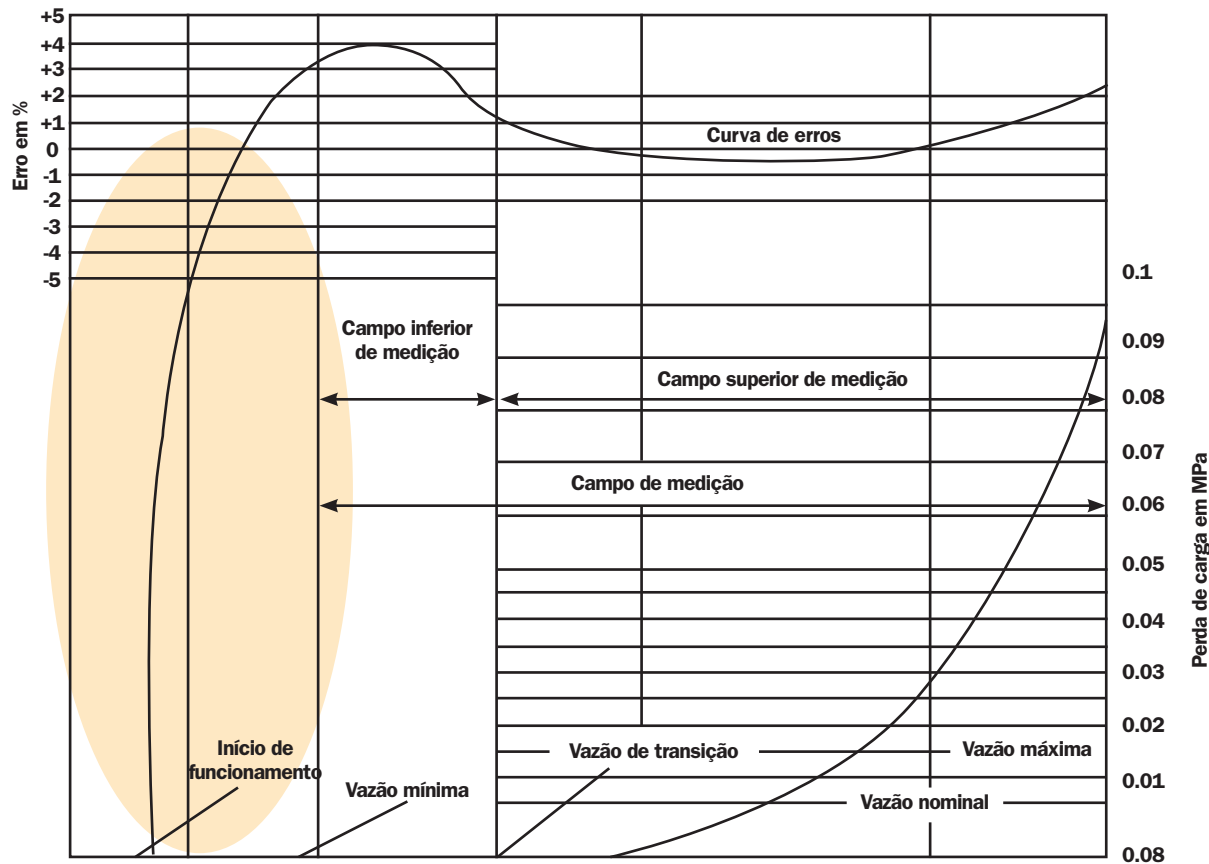
Os hidrômetros domiciliares nos sistemas de abastecimento de água brasileiros costumam ser do tipo velocimétrico, de classe B ou C, de capacidade nominal 0,75 m³/h, 1,5 m³/h ou 2,5 m³/h, dependendo do consumo do usuário.

Por norma, estes equipamentos apresentam como característica a curva de erros mostrada na Figura 3. Os limites de vazão que devem apresentar constam do Quadro 2.

VOLUME DE ENTRADA	CONSUMO AUTORIZADO	CONSUMO AUTORIZADO FATURADO	VOLUME FATURADO MEDIDO	VOLUME FATURADO
			VOLUME FATURADO NÃO MEDIDO	
	CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO	CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO	VOLUME NÃO FATURADO MEDIDO	VOLUME DE ÁGUA NÃO FATURADA
			VOLUME NÃO FATURADO NÃO MEDIDO	
	PERDAS DE ÁGUA	PERDAS APARENTES	SUBMEDIÇÃO	
			CLANDESTINOS / FALHAS DE CADASTRO	
			FRAUDES	
		PERDAS REAIS		

Devido a presença de caixas d'água dos usuários, que funcionam com boias, os consumos tendem a ocorrer, de forma significativa, em vazões baixas (menos que 30 litros/hora), zona em que os medidores são mais imprecisos (zona em destaque na Figura 3).

Figura 3 – Curva de Erros e Curva de Perda de Carga para hidrômetros taquimétricos para água fria



Quadro 2 - Vazões prescritas (L/h) normativamente segundo a classe metrológica e capacidade nominal dos hidrômetros domiciliares

Ocorre ainda que, com passar do tempo, e mesmo com o fato de não estarem instalados com perfeito nivelamento nos dois planos (horizontal e vertical) os medidores se desgastam, e a curva de erros sofre um abaixamento (Figura 4), aumentando os volumes de submedição.

CAPACIDADE E CLASSE METROLÓGICA	0,75 M³/H	1,5 M³/H	
	B	B	C
Vazão mínima	15	30	15
Vazão de transição	75	150	150
Vazão nominal	750	1500	1500
Vazão máxima	1500	3000	3000

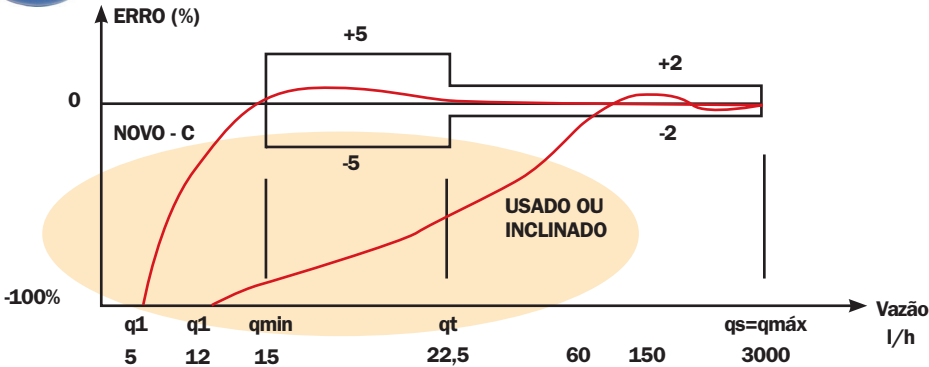
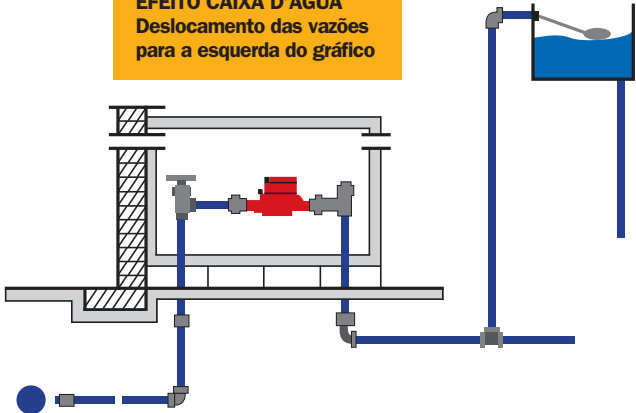
Figura 4 – Submedição: efeito caixa d’água, uso e inclinação (fonte: Sabesp)

HIDRÔMETROS MEDEM MENOS DO QUE EFETIVAMENTE É CONSUMIDO



Necessidade de melhoria tecnológica dos hidrômetros

EFEITO CAIXA D’ÁGUA
Deslocamento das vazões para a esquerda do gráfico





GUIA PRÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO NO PARQUE DE HIDRÔMETROS

A eficiência da medição poderia ser melhorada, caso a tecnologia dos medidores fosse trocada (por exemplo, medidores volumétricos), mas estes equipamentos apresentam custo inicial muito mais alto e são mais sensíveis à presença de impurezas na água. Nos últimos anos, têm aparecido no mercado medidores eletrônicos para uso domiciliar, robustos e sem partes móveis, mas seu uso no Brasil ainda é, experimental.

Algumas questões que emergem deste tema e podem suscitar o desenvolvimento da empresa prestadora de serviços são:

- A companhia possui especificações técnicas adequadas para a aquisição de hidrômetros e realiza testes de recebimento?
- A companhia possui um sistema de gerencia-

mento para orientar a manutenção do parque de hidrômetros?

- A companhia possui um Laboratório de Hidrômetros para levantar as curvas de erros dos medidores retirados, por manutenção preventiva ou corretiva?
- A companhia possui políticas de manutenção suficientemente estruturadas e respaldadas por estudos técnicos e conhecimento do seu parque de medidores?
- Os orçamentos para a micromedição são compatíveis com as necessidades?
- A companhia possui leituristas treinados para informar ocorrências que ajudam a manter o parque de medidores?

2. O QUE SÃO VOLUMES PERDIDOS POR ERROS NO MANUSEIO DE DADOS?

Alguns sistemas comerciais das empresas prestadoras de serviços foram projetados para resolver bem aspectos comerciais e financeiros dos sistemas de abastecimento, porém sem preocupação com o balanço de massas do sistema, melhor método disponível para avaliar o desempenho da infraestrutura. Alguns problemas podem ocorrer na prática, tais como:

- Ausência de leitura de hidrômetros, com faturamento pela média, de forma sistemática e por longos períodos;
- Manipulação do banco de dados de medição para resolver reclamações de contas altas, geral-

mente por vazamentos nas instalações dos usuários. Neste caso, o certo seria resolver o problema financeiramente, sem violar a integridade dos dados da medição;

- Troca de medidores, por qualquer motivo, durante o período entre duas leituras consecutivas. Neste caso, parte do consumo estaria no medidor antigo e parte no novo medidor. Alguns sistemas comerciais não estão preparados para resolver este tipo de situação.
- Ausência de leitura sistemática de hidrômetros em ligações cortadas. Neste caso, se o usuário violou o corte, seu consumo não será

- registrado e atribuído ao mês próprio;
- Retirada temporária de hidrômetros de ligações cortadas (inativas). Neste caso o usuário poderá violar o corte sem qualquer possibilidade de registro do consumo.

Dependendo da intensidade e da frequência com que estes problemas ocorrem, poderão afe-

tar a quantificação de perdas aparentes no balanço hídrico de 12 meses. Tais situações têm que ser avaliadas caso a caso, conforme as práticas de gestão comercial que estejam estabelecidas. Algumas vezes, em uma mesma empresa, os procedimentos comerciais variam, conforme a região em que ocorram.

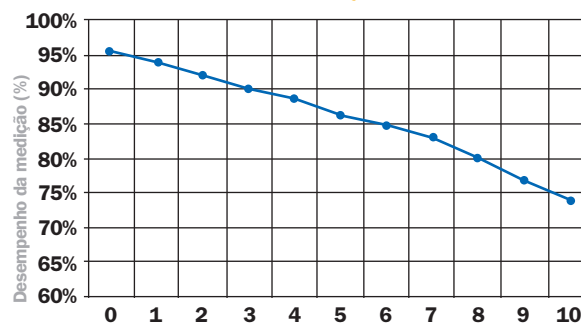
3. MÉTODO DA CURVA DE DESEMPENHO DA MEDIÇÃO

Este método de estimação da submedição se baseia na metodologia preconizada pela Norma ABNT NBR 15.538 – Medidores de água potável – ensaios para avaliação de eficiência, que consiste em determinar a submedição de um parque de hidrômetros a partir de uma Curva de Desempenho da Medição. Esta curva expressa a eficiência média da medição dos hidrômetros em função do tempo de instalação, de acordo com o exemplo da Figura 5. Desta forma, cada ano está associado a um Índice de Desempenho da Medição, que representa a porcentagem da água consumida que o hidrômetro consegue medir.

Para determinar a submedição média de um parque de hidrômetros, primeiramente é necessário classificar os hidrômetros existentes em função do tempo de instalação (ou idade do hidrômetro), com seus respectivos volumes micromedidos, conforme a Tabela 1. O volume pode ser expresso em m³ médio mensal ou anual.

Figura 5 - Exemplo de curva de desempenho da medição (valores estimados para hidrômetro classe B)

DESEMPENHO DA MEDIÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE INSTALAÇÃO



GUIA PRÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO NO PARQUE DE HIDRÔMETROS

Tabela 1 – Classificação do parque de hidrômetros por idade, quantidade e volumes medidos (exemplo)

A segunda etapa é a determinação da submedição (S) em função da idade do parque de hidrômetros (tempo de instalação), conforme Equação 1.

Equação 1

$$S_i = \frac{VM_i}{IDMi} - VM_i$$

IDADE (ANOS)	QUANTIDADE DE HIDRÔMETROS	VOLUME MICROMEDIDO MÉDIO ANUAL (M³)
0	4.598	500.112
1	7.093	910.488
2	7.975	1.104.392
3	7.227	1.089.276
4	4.185	580.380
5	3.035	423.808
6	2.787	405.688
7	3.235	473.376
8	3.155	428.080
9	3.352	459.945
10	3.510	420.325
Total	50.152	6.795.870

onde:

Si = Volume de Submedição para idade i, expressa em m³

IDMi = Índice de Desempenho da Medição para a idade i

VMi = Volume Micromedido de um conjunto de ligações com idade i, expresso em m³





A Tabela 2 apresenta uma demonstração da estimativa de submedição do parque de 50.152 hidrômetros, com idade máxima de 10 anos. A coluna do IDM apresenta valores da Figura 5.

Tabela 2 – Estimativa de submedição anual do parque de hidrômetros

IDADE (ANOS)	QUANTIDADE DE HIDRÔMETROS	VOLUME MICROMEDIDO MÉDIO ANUAL (M³)	IDM	ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO MÉDIA ANUAL (M³)	ESTIMATIVA DE CONSUMO ANUAL (M³)
0	4.598	500.112	95,00%	26.322	526.434
1	7.093	910.488	93,50%	63.296	973.784
2	7.975	1.104.392	92,00%	96.034	1.200.426
3	7.227	1.089.276	90,00%	121.031	1.210.307
4	4.185	580.380	88,50%	75.417	655.797
5	3.035	423.808	86,50%	66.143	489.951
6	2.787	405.688	85,00%	71.592	477.280
7	3.235	473.376	83,00%	96.957	570.333
8	3.155	428.080	80,00%	107.020	535.100
9	3.352	459.945	77,00%	137.386	597.331
10	3.510	420.325	74,00%	147.682	568.007
Total	50.152	6.795.870		1.008.879	7.804.749

Neste exemplo, a submedição anual é de aproximadamente 1,0 milhão de m³. A partir deste valor, é possível determinar uma estimativa para o volume consumido total, por meio da soma do Volume Micromedido com o Volume de Submedição. Assim, o volume entregue para consumo é de 7.804.749 m³, ou seja, um volume 14,8% superior ao registrado pelos hidrômetros.

3.1 Recomendações para uso deste método

No exemplo da Tabela 2, observa-se que o volume perdido por submedição corresponde a 14,0% do volume micromedido atual (6.795.870 m³). Entretanto,

o mesmo volume representa 12,9% do volume consumido total (7.804.749 m³). Desta forma, ao trabalhar com valores em porcentagem, é importante especificar adequadamente qual o valor de referência, pois quanto maior for a submedição, maior a diferença dos valores obtidos para submedição em relação ao micromedido ou ao consumido.

Os dados referentes às quantidades e volumes registrados pelos hidrômetros em função do tempo de instalação podem ser obtidos a partir do cadastro comercial da companhia de saneamento. Recomenda-se que a idade do hidrômetro seja determinada com base na data de instalação do hidrômetro e não no



ano de fabricação registrado na sua carcaça. Diversas companhias realizam recuperação de hidrômetros, por meio da aquisição de kit de relojoaria, com reutilização de carcaças usadas.

A Curva de Desempenho da Medição pode variar em função do tipo de hidrômetro, da classe metrológica e da vazão nominal. Portanto, recomenda-se a determinação de tantas curvas quantas forem necessárias, de acordo com os hidrômetros utilizados pela companhia de saneamento. A determinação da Curva de Desempenho da Medição pode ser realizada de acordo com os procedimentos descritos mais adiante.

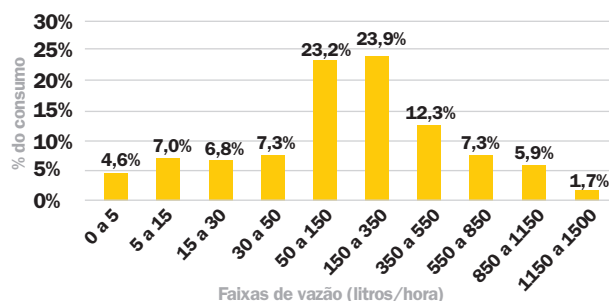
A situação ideal para a determinação da submedição de um parque de hidrômetros é que sejam realizados ensaios com amostras próprias da região de interesse. Entretanto, esta situação nem sempre é viável, seja por questões operacionais, financeiras ou mesmo devido ao tempo necessário para coletar amostras, realizar ensaios e compilar os dados. Desta forma, a seguir são apresentadas algumas alternativas para a determinação da curva de desempenho em função do tempo de instalação.

3.1.1 Determinação do IDM em função do tempo de instalação

O método para determinação da submedição do parque de hidrômetros utilizando o IDM – Índice de Desempenho da Medição – associa o desempenho do hidrômetro levantado em laboratório com o perfil de consumo da população, conforme recomendações e procedimentos descritos na norma ABNT NBR 15.538 - Medidores de água potável - Ensaios para avaliação de eficiência. A Figura 6 apresenta o perfil de consumo médio, conforme norma ABNT NBR 15.538.

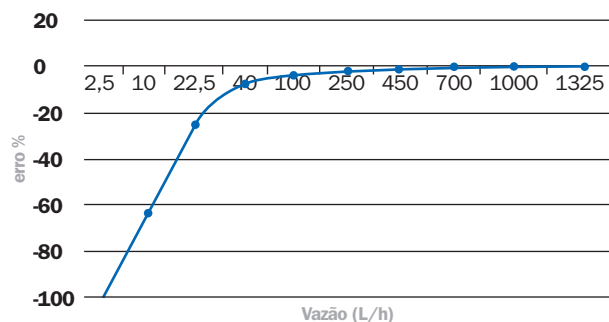
Figura 6 – Perfil de consumo médio segundo a ABNT NBR 15538

PERFIL DE CONSUMO MÉDIO



Para realizar uma boa estimativa da determinação da submedição do parque de hidrômetros, recomenda-se a estratificação dos hidrômetros em grupos, de acordo com o tempo de instalação (idade do hidrômetro). Para cada grupo, devem ser obtidas amostras de hidrômetros para levantamento da curva de erros em laboratório. Desta forma, obtém-se uma curva de hidrômetros com um ano, dois anos, três anos, e assim sucessivamente. A Figura 7 apresenta um exemplo de curva de erros.

CURVA DE ERROS – MÉDIA DE HIDRÔMETROS COM 5 ANOS DE INSTALAÇÃO



Para levantamento da curva de erros, é necessário realizar ensaios em laboratório nas vazões médias correspondentes às faixas do perfil de consumo apresentado na Figura 6, de acordo com os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Vazões para verificação dos erros associados ao perfil de consumo

FAIXAS DE VAZÃO L/H	VAZÕES PARA VERIFICAÇÃO DE ERROS L/H	PERFIL DE CONSUMO %
0 a 5	2,5	4,56
5 a 15	10	6,99
15 a 30	22,5	6,83
30 a 50	40	7,34
50 a 150	100	23,21
150 a 350	250	23,92
350 a 550	450	12,27
550 a 850	700	7,29
850 a 1150	1000	5,86
1150 a 1500	1325	1,73

Para cada hidrômetro ensaiado, determina-se o erro de medição (positivo ou negativo), de cada uma destas vazões. Ao se multiplicar o peso determinado pelo perfil de consumo pelo erro levantado em bancada, obtém-se o Erro Ponderado (EP), que representa a submedição do hidrômetro. O Índice de Desempenho da Medição (IDM) é determinado pela Equação 2.

Equação 2

$$IDM = 100 + EP_i$$



A Tabela 4 apresenta um exemplo de cálculo do IDM de um hidrômetro classe B com vazão nominal 1,5 m³/h, retirado de campo após 6 anos de instalação. A quarta coluna apresenta os erros levantados em bancada para cada faixa de vazão.

Tabela 4 – Exemplo para uma determinação de IDM – Índice de Desempenho da Medição

FAIXAS DE VAZÃO (L/H)	VAZÕES PARA VERIFICAÇÃO DE ERROS	PERFIL DE CONSUMO (%)	ERRO LEVANTADO EM BANCADA (%)	EMP (ERRO MÉDIO PONDERADO)
0 a 5	2,5	4,56	-100,00	-4,56
5 a 15	10	6,99	-65,00	-4,54
15 a 30	22,5	6,83	-28,90	-1,97
30 a 50	40	7,34	-8,20	-0,60
50 a 150	100	23,21	-2,70	-0,63
150 a 350	250	23,92	-1,60	-0,38
350 a 550	450	12,27	-0,82	-0,10
550 a 850	700	7,29	-0,75	-0,05
850 a 1150	1000	5,86	0,15	0,01
1150 a 1500	1325	1,73	-0,10	0,00
Erro Ponderado (EP) -12,84				Índice de Desempenho da Medição (IDM) 87,16

Neste exemplo, o IDM resultou em 87,16%, ou seja, de toda a água que passa pelo hidrômetro, 12,84% não é contabilizada devido à submedição. Observa-se que a submedição varia em função da vazão que passa pelo hidrômetro. Em geral, para vazões maiores, o erro tende a ser menor.

Uma vez que existem variações no resultado da curva de erros levantada em laboratório, ao se comparar dois hidrômetros distintos, mesmo que possuam as mesmas características metrológicas

e sejam submetidos a condições de operação semelhante, é necessário determinar o IDM de uma grande quantidade de hidrômetros, para que os resultados obtidos apresentem confiabilidade estatística. A Tabela 5 apresenta um exemplo de curva de erros para 10 amostras de hidrômetros retirados com mais de 7 anos de uso. Para cada hidrômetro são determinados o Erro Ponderado (EP) e o Índice de Desempenho da Medição (IDM).

Tabela 5 - Exemplo de levantamento de erros de medição, erro ponderado e IDM

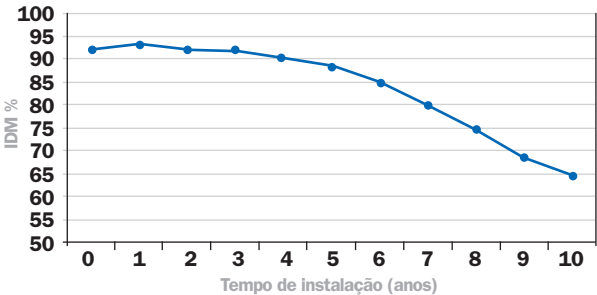
HIDRÔMETRO	ERRO DE INDICAÇÃO POR FAIXA DE VAZÃO (LITROS/HORA)										EP	IDM
	2,5	10	22,5	40	100	250	450	700	1000	1325		
1	-100,00	-100,00	-100,00	-86,55	-5,65	-11,76	-0,12	0,26	0,00	-0,36	-28,86	71,14
2	-100,00	-100,00	-100,00	-17,30	-3,17	-1,96	-2,01	-1,22	0,68	-0,95	-21,17	78,83
3	-100,00	-100,00	-26,18	-5,84	-2,17	-1,47	-2,51	-2,31	-1,77	-1,53	-15,23	84,77
4	-100,00	-87,02	-10,71	-6,34	-3,17	-3,43	-3,10	-2,90	-2,94	-3,10	-14,21	85,79
5	-100,00	-100,00	-39,17	-0,89	-2,17	-1,65	-2,48	-2,91	-2,89	-5,13	-15,96	84,04
6	-100,00	-100,00	-14,24	-3,87	-5,64	-2,14	-2,08	-3,70	-0,05	-1,15	-15,18	84,82
7	-100,00	-89,51	-100,00	-100,00	-5,84	-13,51	-3,07	-1,62	-1,61	-1,73	-30,19	69,81
8	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-11,10	-1,16	-2,08	-2,21	-2,30	-2,32	-29,17	70,83
9	-100,00	-100,00	-19,70	-7,36	4,78	-3,31	-3,36	-3,18	-3,44	-4,08	-14,03	85,97
10	-100,00	-100,00	-26,18	-6,37	-0,19	1,13	-0,28	-0,51	0,77	1,28	-13,58	86,42
Média	-100,00	-97,65	-53,62	-33,45	-3,43	-3,93	-2,11	-2,03	-1,36	-1,91	-19,76	80,24

O IDM médio desta amostra é 80,24%, ou seja, em média há submedição de 19,76% para este grupo de 10 hidrômetros. Uma vez que existem variações na eficiência da medição dentro da amostra, pode-se determinar o desvio-padrão e a margem de erro da amostra, bem como determinar a quantidade mínima de amostras para reduzir a margem de erro até um valor considerado adequado (maiores detalhes no item 3. 2 – Confiabilidade dos resultados obtidos).

Se o mesmo processo for realizado para amostras com hidrômetros de todos os anos de instalação, é possível gerar uma curva de eficiência do hidrômetro em função do tempo, composta pelo IDM de todos os anos, conforme o exemplo apresentado na Figura 8. Recomenda-se que os dados sejam estratificados de acordo com a classe metrológica, a vazão nominal e as faixas de consumo médio, de forma a aumentar a confiabilidade e precisão dos resultados obtidos.

Figura 8 - Exemplo de curva de eficiência da medição (dados fictícios)

EFICIÊNCIA DA MEDIÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE INSTALAÇÃO





Para resultados mais confiáveis em relação às peculiaridades de cada local, é possível realizar o levantamento do perfil de consumo de áreas menores, ao invés de adotar o perfil recomendado pela NBR 15.538.

O anexo C da norma NBR 15.538 também apresenta um procedimento para determinação do perfil de consumo.

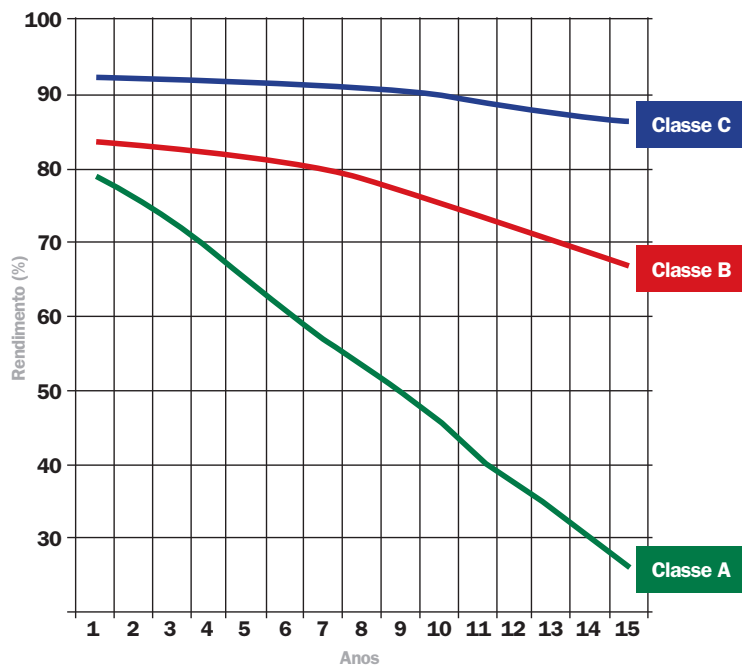
3.1.2 Utilização de curva estimada ou adotada

No caso de não haver possibilidade de realizar ensaios em laboratório para uma grande quantidade de amostras, que sejam representativas de todas as idades de hidrômetros instalados,

podem-se adotar valores de IDM obtidos em outros estudos. Por exemplo, Nielsen et al. (2003) apresentam um gráfico (Figura 9) com curvas do desempenho em função do tempo de instalação para hidrômetros classe A, B e C, baseado em levantamentos de campo e laboratório, em ligações de água com consumos mensais de 0 até 30 m³. Cabe salientar que estas curvas foram elaboradas com base em hidrômetros de vazão nominal 1,5 m³/h e limita-se a residências unifamiliares com abastecimento indireto, ou seja, dotadas de reservatório domiciliar. Os autores salientam que os resultados podem ser alterados à medida que se disponha de mais informações.

Figura 9 - Eficiência da medição em função do tempo (Nielsen et al., 2003)

RENDIMENTO DE MEDIDORES VELOCIMÉTRICOS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE INSTALAÇÃO

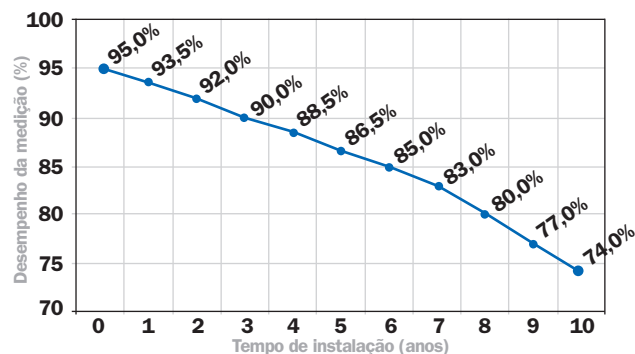




A Figura 10 apresenta uma sugestão de valores que podem ser adotados para estimar a submedição de um parque de hidrômetros classe B. Esta curva foi estimada a partir de dados obtidos das seguintes companhias de saneamento: COPASA, SANEPAR e CAESB.

Figura 10 - Sugestão de curva de desempenho para hidrômetros classe B

DESEMPENHO DA MEDIÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE INSTALAÇÃO



É importante salientar que esta curva apresenta valores estimados, pois não foi elaborada com uma quantidade de hidrômetros suficiente para garantir a confiabilidade do resultado. Entretanto, na ausência de dados próprios, acredita-se que é possível adotar tal curva para estimar a submedição de um parque de hidrômetros.

3.1.3 Utilização de taxa constante de redução da eficiência da medição

Diversos estudos demonstram que há redução da eficiência da medição em função do tempo de instalação, entre os quais há trabalhos que sugerem

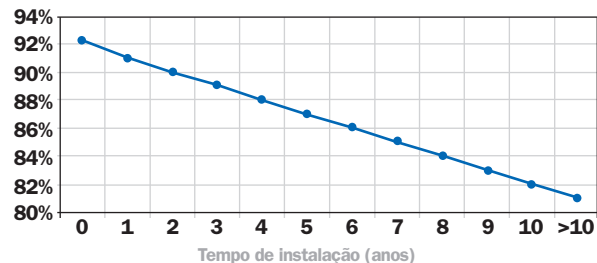
a adoção de uma taxa linear para a redução anual da eficiência da medição. Por exemplo, Arregui et al. (2010) afirmam que é possível adotar taxas que variam entre 0,1% até 0,9%. De acordo com Ferréol (2005) e Depexe e Gasparini (2012), a eficiência do parque cai aproximadamente 1% ao ano.

A utilização de uma taxa constante também facilita a elaboração de modelos econômicos para submedição, com o objetivo de subsidiar o planejamento de investimentos para renovação do parque. Neste sentido, Wyatt (2010) utiliza a taxa anual de 0,5% para cálculo do período ótimo de troca dos hidrômetros, com base no consumo médio, no custo de substituição do hidrômetro e no preço da tarifa da água.

Desta forma, utiliza-se o mesmo procedimento descrito anteriormente, mas ao invés de adotar uma curva de redução da eficiência da medição baseada no levantamento do IDM, adota-se uma curva baseada em uma eficiência inicial acrescida de uma taxa de redução anual. Por exemplo, caso se adote uma eficiência inicial de 92% e uma taxa de redução de 1% ao ano, obtém-se a curva apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Exemplo de curva de redução da eficiência da medição com redução de 1% ao ano

EFICIÊNCIA DA MEDIÇÃO



Para cada situação é possível determinar curvas diferentes, de acordo com o conhecimento e experiência das pessoas que atuam na gestão do parque de hidrômetros. De acordo com a idade média do parque, do tipo de hidrômetro, da classe metrológica, deve-se estimar uma curva cuja aplicação apresente resultados coerentes. Evidentemente, este método é menos preciso do que os métodos apresentados anteriormente.

3.2 Confiabilidade dos resultados obtidos

A confiabilidade do resultado obtido para a estimativa da submedição de um parque de hidrômetros depende dos dados utilizados. Para a determinação do erro médio em função do tempo de instalação, deve-se calcular a média de uma quantidade de hidrômetros suficientemente grande para que as variações individuais não distorçam o resultado. Ao se analisar uma amostra relativamente pequena, por exemplo, de 10 hidrômetros, se um hidrômetro apresentar um valor discrepante, provocado por uma causa especial de variação, é possível que a média calculada fique comprometida.

Desta forma, é importante salientar que, apesar de trabalharmos com valores médios, existe uma faixa de variação em torno desta média, na qual a maior parte das unidades estará concentrada. Quanto maior for a dispersão em torno da média, maior será esta faixa para um determinado nível de confiança. Desta forma, ao invés de afirmar que “a submedição média de um determinado lote de hidrômetros é de 6%” é possível utilizar os procedimentos descritos a seguir para se obter uma informação mais precisa, por exemplo, “a submedição média de um determinado lote de hidrômetros é de 6% ± 0,50% em 95% dos casos”.

Sempre que for necessária uma informação mais precisa, por exemplo, reduzindo a faixa de variação (“6% ± 0,20% em 95% dos casos”) ou aumentando o grau de confiança (6% ± 0,50% em 99% dos casos), será necessário aumentar o tamanho da amostra.

Assim, o tamanho da amostra necessária depende do nível de confiança desejado, da precisão requerida e do desvio-padrão de uma amostra. A Equação 3 apresenta a forma de cálculo do tamanho da amostra, com base na distribuição *t-student* (SPIEGEL, 1977). Este tipo de distribuição é usado sempre que o tamanho da amostra “n” é pequeno, geralmente menor que 30. Para valores maiores de “n” a distribuição de *t-student* começa a convergir para a distribuição normal de probabilidades.

Equação 3

$$n \geq \left(\frac{t_c X_s}{e} \right)^2$$

Onde,

n = tamanho da amostra

tc = valor da tabela t-student

S = desvio-padrão amostral

e = margem de erro requerida

Para utilizar esta equação, deve-se selecionar uma amostra piloto e realizar os ensaios necessários. Com base nos resultados obtidos, calcula-se o desvio-padrão “S” da amostra piloto.

Para determinar a constante “t”, utiliza-se a tabela t-student para teste bilateral (Tabela ao final do capítulo), da seguinte forma:

- Para obter Graus de Liberdade calcula-se “n - 1”



- Para encontrar o valor de “t” na tabela, procura-se o grau de liberdade na primeira coluna e o nível de confiança nas demais colunas.

Por exemplo, para uma amostra piloto de tamanho igual a 10 (Graus de Liberdade igual a 9) e para um Intervalo de Confiança (1-a) de 99%, teremos $t=3,2498$.

Para determinar a quantidade de hidrômetros a serem submetidos a ensaio de laboratório, é necessário inicialmente realizar um ensaio com uma amostra pequena. Com base nos resultados obtidos, determina-se o desvio-padrão da amostra. Uma vez que o tamanho da amostra é conhecido, verifica-se qual o valor de “t” e determina-se a margem de erro com base na Equação 4, que é determinada a partir da Equação 3, isolando-se a variável “e”.

Equação 4

$$e = \frac{t_c X_s}{\sqrt{n}}$$

Assim, obtém-se a precisão da amostra piloto, que permite determinar a faixa de variação dos valores dentro do Intervalo de Confiança desejado. Verifica-se então se o valor obtido é satisfatório. Caso a margem de erro encontrada não seja satisfatória, deve-se calcular o tamanho da amostra necessária para se atingir a margem de erro desejada.

Por exemplo, a Tabela 6 apresenta os erros obtidos em ensaio para a vazão de 100 l/h da amostra composta por 10 hidrômetros apresentadas anteriormente na Tabela 5. A média das amostras é $-3,43$ e o desvio-padrão é $4,16$. Com base nestes valores, obtém-se o valor de $t = 2,2622$ para um Intervalo de confiança de 95% com 9 graus de liberdade.

Tabela 6 – Margens de erro em uma amostra de hidrômetros para a vazão 100 l/hora

HIDRÔMETRO	ERRO PARA 100 L/H
1	-5,65
2	-3,17
3	-2,17
4	-3,17
5	-2,17
6	-5,64
7	-5,84
8	-11,1
9	4,78
10	-0,19
Média	-3,43
Desvio-padrão	4,16

A aplicação da Equação 4 resulta na precisão obtida de 2,98, ou seja, o erro médio de medição é $-3,43\% \pm 2,98\%$.

$$e = \frac{2,2622 \times 4,16}{\sqrt{10}} = 2,98$$

Desta forma, com base nesta amostra, o erro médio para a vazão de 100 litros/hora varia de $-0,45\%$ até $-6,41\%$ em 95% dos casos. Considerando que esta é uma faixa de variação muito grande, é necessário aumentar a amostra para se obter um resultado

mais confiável. Por exemplo, se a precisão requeri-
da for de ± 0,50% em 95% dos casos (ao invés de
2,98%), obtém-se o seguinte:

$$n \geq \left(\frac{t \times s}{e} \right)^2$$
$$n \geq \left(\frac{2,2622 \times 4,16}{0,50} \right)^2 = 354$$

Portanto, é necessária uma amostra de pelo me-
nos 354 hidrômetros para se obter uma faixa de erro
de ± 0,50% em 95% dos casos, desde que as no-
vas amostras mantenham o mesmo desvio-padrão.
Recomenda-se recalcular a média, desvio-padrão e
precisão à medida que se aumenta o tamanho da
amostra, pois alterações no desvio-padrão também
podem alterar o tamanho da amostra necessária.

Tabela 7 - Valores críticos
de t – teste bilateral

GRAUS DE LIBERDADE	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (A)							
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01	0,005
	NÍVEL DE CONFIANÇA (1-A)							
	80%	85%	90%	95%	97%	98%	99%	99,5%
1	3,0777	4,1653	6,3137	12,7062	21,2051	31,8210	63,6559	127,3211
2	1,8856	2,2819	2,9200	4,3027	5,6428	6,9645	9,9250	14,0892
3	1,6377	1,9243	2,3534	3,1824	3,8961	4,5407	5,8408	7,4532
4	1,5332	1,7782	2,1318	2,7765	3,2976	3,7469	4,6041	5,5975
5	1,4759	1,6994	2,0150	2,5706	3,0029	3,3649	4,0321	4,7733
6	1,4398	1,6502	1,9432	2,4469	2,8289	3,1427	3,7074	4,3168
7	1,4149	1,6166	1,8946	2,3646	2,7146	2,9979	3,4995	4,0294
8	1,3968	1,5922	1,8595	2,3060	2,6338	2,8965	3,3554	3,8325
9	1,3830	1,5737	1,8331	2,2622	2,5738	2,8214	3,2498	3,6896
10	1,3722	1,5592	1,8125	2,2281	2,5275	2,7638	3,1693	3,5814
11	1,3634	1,5476	1,7959	2,2010	2,4907	2,7181	3,1058	3,4966
12	1,3562	1,5380	1,7823	2,1788	2,4607	2,6810	3,0545	3,4284
13	1,3502	1,5299	1,7709	2,1604	2,4358	2,6503	3,0123	3,3725
14	1,3450	1,5231	1,7613	2,1448	2,4149	2,6245	2,9768	3,3257
15	1,3406	1,5172	1,7531	2,1315	2,3970	2,6025	2,9467	3,2860
16	1,3368	1,5121	1,7459	2,1199	2,3815	2,5835	2,9208	3,2520
17	1,3334	1,5077	1,7396	2,1098	2,3681	2,5669	2,8982	3,2224

GUIA PRÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO NO PARQUE DE HIDRÔMETROS

GRAUS DE LIBERDADE	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (A)							
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01	0,005
	NÍVEL DE CONFIANÇA (1-A)							
	80%	85%	90%	95%	97%	98%	99%	99,5%
18	1,3304	1,5037	1,7341	2,1009	2,3562	2,5524	2,8784	3,1966
19	1,3277	1,5002	1,7291	2,0930	2,3457	2,5395	2,8609	3,1737
20	1,3253	1,4970	1,7247	2,0860	2,3362	2,5280	2,8453	3,1534
21	1,3232	1,4942	1,7207	2,0796	2,3278	2,5176	2,8314	3,1352
22	1,3212	1,4916	1,7171	2,0739	2,3202	2,5083	2,8188	3,1188
23	1,3195	1,4893	1,7139	2,0687	2,3132	2,4999	2,8073	3,1040
24	1,3178	1,4871	1,7109	2,0639	2,3069	2,4922	2,7970	3,0905
25	1,3163	1,4852	1,7081	2,0595	2,3011	2,4851	2,7874	3,0782
26	1,3150	1,4834	1,7056	2,0555	2,2958	2,4786	2,7787	3,0669
27	1,3137	1,4817	1,7033	2,0518	2,2909	2,4727	2,7707	3,0565
28	1,3125	1,4801	1,7011	2,0484	2,2864	2,4671	2,7633	3,0470
29	1,3114	1,4787	1,6991	2,0452	2,2822	2,4620	2,7564	3,0380
30	1,3104	1,4774	1,6973	2,0423	2,2783	2,4573	2,7500	3,0298
31	1,3095	1,4761	1,6955	2,0395	2,2746	2,4528	2,7440	3,0221
32	1,3086	1,4749	1,6939	2,0369	2,2712	2,4487	2,7385	3,0149
33	1,3077	1,4738	1,6924	2,0345	2,2680	2,4448	2,7333	3,0082
34	1,3070	1,4728	1,6909	2,0322	2,2650	2,4411	2,7284	3,0020
35	1,3062	1,4718	1,6896	2,0301	2,2622	2,4377	2,7238	2,9961
36	1,3055	1,4709	1,6883	2,0281	2,2595	2,4345	2,7195	2,9905
37	1,3049	1,4701	1,6871	2,0262	2,2570	2,4314	2,7154	2,9853
38	1,3042	1,4692	1,6860	2,0244	2,2546	2,4286	2,7116	2,9803
39	1,3036	1,4685	1,6849	2,0227	2,2524	2,4258	2,7079	2,9756
40	1,3031	1,4677	1,6839	2,0211	2,2503	2,4233	2,7045	2,9712
41	1,3025	1,4670	1,6829	2,0195	2,2483	2,4208	2,7012	2,9670
42	1,3020	1,4664	1,6820	2,0181	2,2463	2,4185	2,6981	2,9630
43	1,3016	1,4657	1,6811	2,0167	2,2445	2,4163	2,6951	2,9592
44	1,3011	1,4651	1,6802	2,0154	2,2428	2,4141	2,6923	2,9555
45	1,3007	1,4645	1,6794	2,0141	2,2411	2,4121	2,6896	2,9521
46	1,3002	1,4640	1,6787	2,0129	2,2395	2,4102	2,6870	2,9488
47	1,2998	1,4635	1,6779	2,0117	2,2380	2,4083	2,6846	2,9456

GUIA PRÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO NO PARQUE DE HIDRÔMETROS

GRAUS DE LIBERDADE	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (A)							
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01	0,005
	NÍVEL DE CONFIANÇA (1-A)							
	80%	85%	90%	95%	97%	98%	99%	99,5%
48	1,2994	1,4629	1,6772	2,0106	2,2365	2,4066	2,6822	2,9426
49	1,2991	1,4625	1,6766	2,0096	2,2351	2,4049	2,6800	2,9397
50	1,2987	1,4620	1,6759	2,0086	2,2338	2,4033	2,6778	2,9370
55	1,2971	1,4599	1,6730	2,0040	2,2279	2,3961	2,6682	2,9247
60	1,2958	1,4582	1,6706	2,0003	2,2229	2,3901	2,6603	2,9146
65	1,2947	1,4567	1,6686	1,9971	2,2188	2,3851	2,6536	2,9060
70	1,2938	1,4555	1,6669	1,9944	2,2152	2,3808	2,6479	2,8987
75	1,2929	1,4544	1,6654	1,9921	2,2122	2,3771	2,6430	2,8924
80	1,2922	1,4535	1,6641	1,9901	2,2095	2,3739	2,6387	2,8870
85	1,2916	1,4527	1,6630	1,9883	2,2071	2,3710	2,6349	2,8822
90	1,2910	1,4519	1,6620	1,9867	2,2050	2,3685	2,6316	2,8779
95	1,2905	1,4513	1,6611	1,9852	2,2032	2,3662	2,6286	2,8741
100	1,2901	1,4507	1,6602	1,9840	2,2015	2,3642	2,6259	2,8707
150	1,2872	1,4469	1,6551	1,9759	2,1909	2,3515	2,6090	2,8492
200	1,2858	1,4451	1,6525	1,9719	2,1857	2,3451	2,6006	2,8385
250	1,2849	1,4440	1,6510	1,9695	2,1826	2,3414	2,5956	2,8322
300	1,2844	1,4432	1,6499	1,9679	2,1805	2,3388	2,5923	2,8279
350	1,2840	1,4427	1,6492	1,9668	2,1790	2,3370	2,5899	2,8249
400	1,2837	1,4423	1,6487	1,9659	2,1779	2,3357	2,5882	2,8227
450	1,2834	1,4420	1,6482	1,9652	2,1770	2,3347	2,5868	2,8210
500	1,2832	1,4417	1,6479	1,9647	2,1763	2,3338	2,5857	2,8195
1000	1,2824	1,4406	1,6464	1,9623	2,1732	2,3301	2,5807	2,8133
1500	1,2821	1,4403	1,6459	1,9615	2,1722	2,3288	2,5791	2,8112
2000	1,2820	1,4401	1,6456	1,9612	2,1716	2,3282	2,5783	2,8102
2500	1,2819	1,4400	1,6455	1,9609	2,1713	2,3278	2,5778	2,8095
3000	1,2818	1,4399	1,6454	1,9608	2,1711	2,3276	2,5775	2,8091
3500	1,2818	1,4398	1,6453	1,9606	2,1710	2,3274	2,5772	2,8088
4000	1,2818	1,4398	1,6452	1,9606	2,1709	2,3273	2,5771	2,8086
4500	1,2817	1,4398	1,6452	1,9605	2,1708	2,3272	2,5769	2,8084
5000	1,2817	1,4398	1,6452	1,9604	2,1707	2,3271	2,5768	2,8083
10000	1,2816	1,4396	1,6450	1,9602	2,1704	2,3267	2,5763	2,8076
100000	1,2816	1,4395	1,6449	1,9600	2,1701	2,3264	2,5759	2,8071

O valor de t-student também pode ser obtido em planilha eletrônica, por meio da função INV.T.BC (nível de significância; graus_liberdade) no Microsoft Excel® ou no LibreOffice Calc®.



Foto: Shutterstock

4. MÉTODO DE ESTUDOS

AMOSTRAIS COM LEVANTAMENTOS EM CAMPO DE PERFIS DE CONSUMO

Por este método, pesquisa-se uma amostra aleatória estratificada do universo de hidrômetros a estudar. O universo deve ser constituído pelos hidrômetros domiciliares que estejam funcionando, excluídas as áreas de habitação subnormal, pelas naturais dificuldades de realização de serviços de campo neste tipo de área.

A amostra deve ser estratificada segundo características como: capacidade do hidrômetro, tempo de instalação e classes de consumo. Outras características ainda podem ser observadas, como

fabricante do hidrômetro, abastecimento direto ou indireto, ou quaisquer outras características que se considerem relevantes para o caso em estudo.

Serão realizados os ensaios de campo em áreas do sistema distribuidor com pressão dentro do padrão e não sujeitas a intermitências, ainda que ocasionais.

Por exemplo, um estudo do IPT feito em 2005 para a Sabesp (Yoshida, O.) trabalhou com a amostra apresentada no Quadro 3.



**Quadro 3 – Amostra para
hidrômetros em instalações
com caixas d'água (IPT, 2005)**

CARACTERÍSTICAS DO HIDRÔMETRO		CONSUMO (M ³ /MÊS) DA RESIDÊNCIA	NÚMERO DE HIDRÔMETROS NA AMOSTRA	
TIPO	TIPO			
A	00-05	00-10	13	10%
A	00-05	10-20	20	16%
A	00-05	20-30	14	11%
A	00-05	30+	8	6%
A	06-10	00-10	12	10%
A	06-10	10-20	21	17%
A	06-10	20-30	4	3%
A	06-10	30+	8	6%
A	11+	00-10	7	6%
A	11+	10-20	13	10%
A	11+	20-30	2	2%
A	11+	30+	2	2%
SUBTOTAL			124	100%
Y	00-05	00-10	56	25
Y	00-05	10-20	75	34
Y	00-05	20-30	19	9
Y	00-05	30+	24	11
Y	06-10	00-10	13	6
Y	06-10	10-20	21	9
Y	06-10	20-30	5	2
Y	06-10	30+	4	2
Y	11+	00-10	2	1
Y	11+	10-20	3	1
Y	11+	20-30	0	0
Y	11+	30+	0	0
SUBTOTAL			222	100
TOTAL			346	2





4.1 Passo a passo do método

1. Determinação da população e da amostra. Neste passo, define-se o universo de hidrômetros a estudar e levanta-se um perfil com as características deste universo, que servirão para estratificar a amostra. Como já foram mencionadas, estas características podem ser capacidade do hidrômetro, tempo de instalação, classes de consumo, tipo de abastecimento (com ou sem caixa d'água), fabricante do hidrômetro, etc. Normalmente neste passo já se determina o Intervalo de Confiança desejado para o estudo, geralmente 95,5%, e o tamanho da amostra que se deseja pesquisar. A margem de erro do estudo será uma decorrência destes dois fatores.

2. Preparação da amostra. Com o perfil pronto e o tamanho da amostra segundo as características desejadas seleciona-se aleatoriamente no banco de dados os elementos da amostra, respeitadas, ainda que de forma aproximada, as proporções relativas determinadas pelo perfil. Preparam-se previamente enquetes que serão feitas nas residências ou comércios que serão estudados. Estas enquetes dizem respeito às características e condições das instalações, dos hidrômetros, dos pontos e hábitos de consumo dos usuários pesquisados.

3. Preparação de kits de medição. Os kits são compostos por um hidrômetro padrão, classe C ou D, calibrado em bancada de laboratório para conhecimento prévio de sua curva de erros. A este hidrômetro será acoplado um sensor de pulso e um data logger, para registro dos dados. Conforme a sensibilidade do hidrômetro padrão escolhido, cada pulso representará 1 litro, ou 0,1 litro. O conjunto pode incluir ainda um sensor de pressão manométrica. O kit de medição será instalado em série com o hidrômetro do usuário, por um ciclo de 7 dias, com a

finalidade de levantar o perfil de consumo do usuário. A quantidade de kits a preparar dependerá do tamanho da amostra, do período programado para a coleta dos dados e da logística em geral adotada para a realização das pesquisas.

Figura 12 - Exemplo de kit de medição (IPT, 2005)



4. Realização das enquetes e instalação dos kits de medição. Com toda a logística pronta, vai-se a campo para a realização das entrevistas com os usuários, obtenção de permissão instalar os equipamentos e coleta dos dados. Os equipamentos precisarão ficar em local abrigado e não sujeito a vandalismos ou furto. Todas as instalações deverão ser fotografadas. O kit de medição é instalado em série com o medidor do usuário.

GUIA PRÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO NO PARQUE DE HIDRÔMETROS

Figura 13 – Exemplo de kit de medição instalado (IPT, 2005)



Fachada



Ligação original



Kit instalado

Essas imagens estão em qualidade muito baixa. Solicito o envio de imagens em resolução superior para uma impressão satisfatória



Ligação após troca de hidrômetro

5. Retirada do kit de medição e substituição do hidrômetro local. Após uma semana de medições, o kit é retirado e o hidrômetro do usuário é substituído e levado a laboratório para levantamento de sua curva de erros em bancada padronizada. A retirada dos hidrômetros deve ser feita de forma cui-

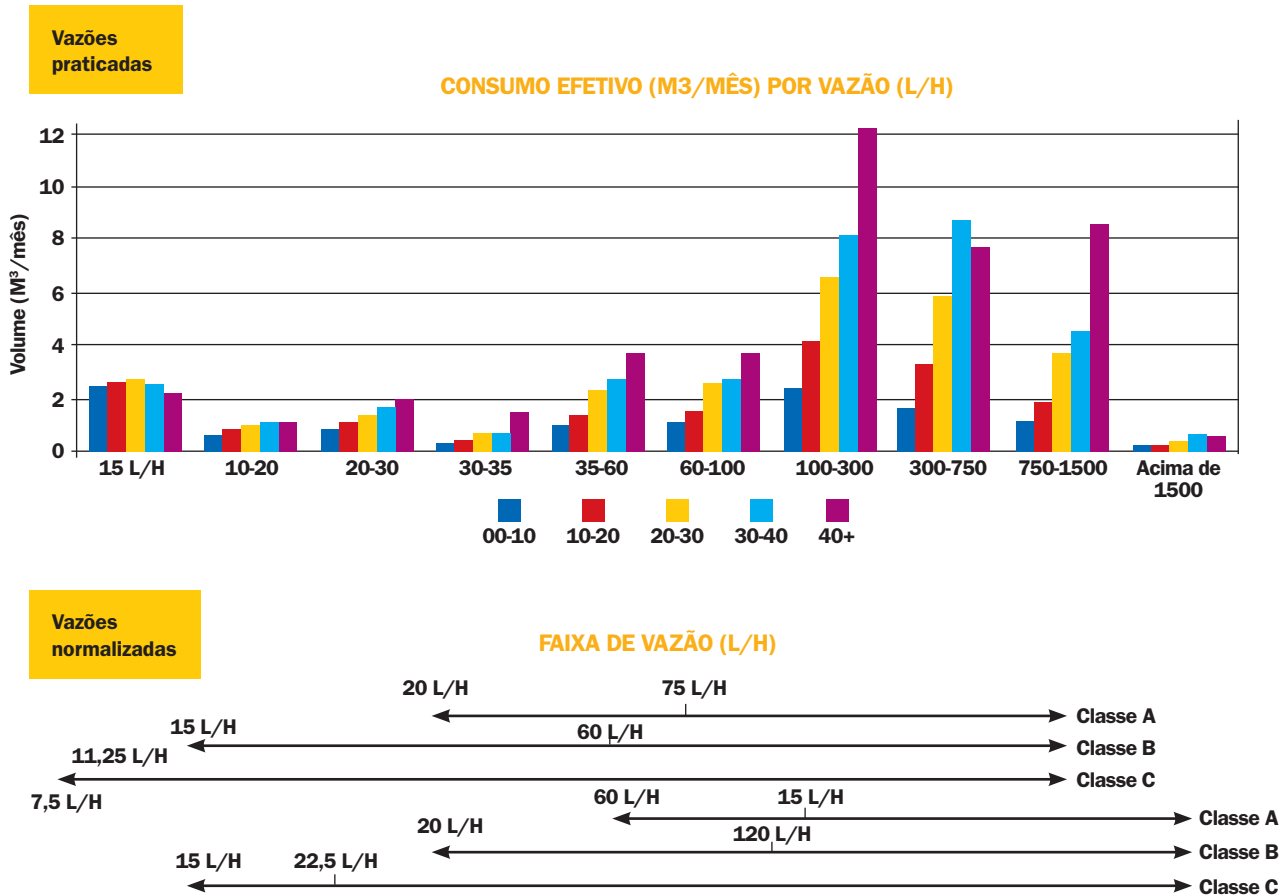
dada, para que não fiquem secos ou submetidos a choques ou movimentação excessiva durante o transporte.

6. Preparação de perfis de consumo típicos. Os perfis de consumo levantados nos elementos da

amostra são organizados de modo a compor perfis de consumo médio por faixa de consumo mensal, ou outras características, como tipo ou idade dos hidrômetros. Neste ponto será necessário escolher um modelo de avaliação da submedição. No caso do estudo do IPT para a Sabesp em 2005,

adotaram-se perfis de consumo por faixas de consumo mensal. A Figura 14 ilustra a conclusão daquela pesquisa, onde se apontava a inadequação da maioria dos hidrômetros então utilizados frente às características de consumo efetivo dos consumidores domiciliares que utilizam caixas d'água.

Figura 14 - Não adequação das características dos hidrômetros do mercado às vazões efetivas em consumidores do rol comum (fonte: IPT, 2005)





7. Levantamento da curva de erros dos hidrômetros locais substituídos. Os hidrômetros estudados têm suas curvas de erros levantadas em bancada padronizada, sendo apuradas curvas médias segundo as características dos medidores ensaiados: por capacidade, classe metrológica, idade, fabricante, etc.

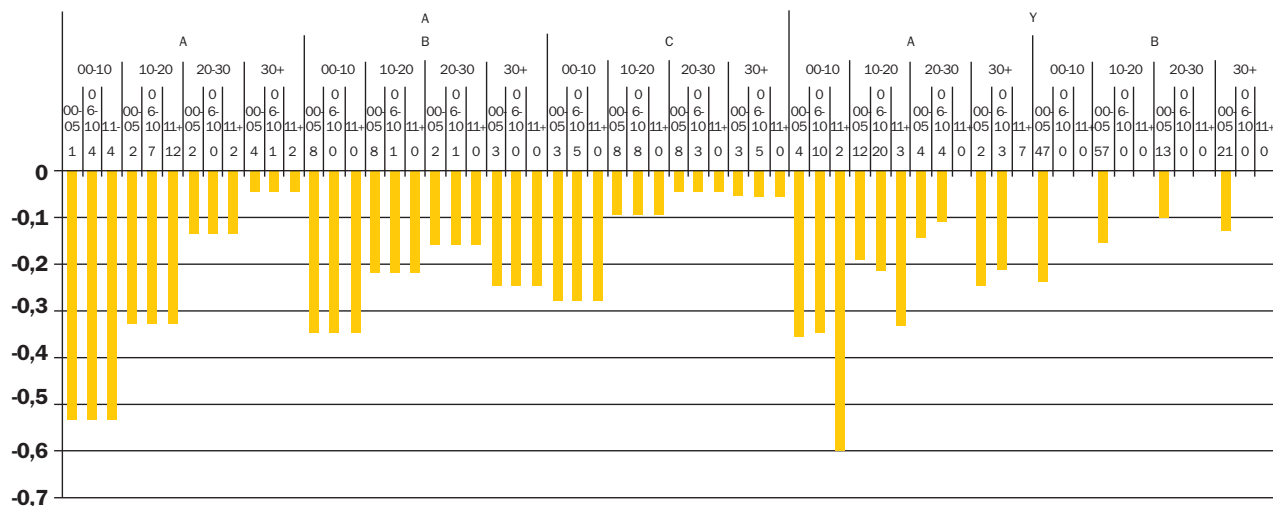
8. Determinação da Submedição. As submedições são determinadas individualmente para cada elemento da amostra, e posteriormente são agregadas para compor médias segundo a estratificação proposta e projeção para todo o parque.

9. Projeções de submedição. As curvas de erros médios apuradas segundo os parâmetros que foram estipulados podem ser usadas para prever a submedição de outros parques de medidores similares em outras cidades, devidamente confrontadas com os perfis de consumo típicos, de maneira similar ao explicado no capítulo 3.

4.2 Um pouco mais de Estatística para compreender o método

Segundo Lapponi, devido à variabilidade amostral, as possíveis amostras aleatórias de mesmo tamanho retiradas da mesma população terão médias diferentes, a não ser que o tamanho “n” da amostra seja suficientemente grande, o que é desejável. Como estimar a média de uma população com apenas uma amostra? Definindo-se um Intervalo de Confiança, pode-se estimar a média da população com base na média amostral. O Intervalo de Confiança definirá de forma objetiva a credibilidade da estimativa. O Intervalo de confiança é o intervalo de valores que contém a média da população com uma determinada probabilidade

Figura 15 – Submedição por tipo de hidrômetro, classe metrológica, faixa de consumo e idade em estudo do IPT (2005). A escala de erros está em fatores unitários.





de acerto. Este intervalo é construído a partir da amostra aleatória retirada da população.

O intervalo de confiança determina a probabilidade de acerto da estimativa, por exemplo, se IC=90%, a probabilidade de acerto será 90% e, conseqüentemente, diz-se que o nível de significância α será 10%.

Dessa maneira, o nível de significância α no processo de estimativa define o intervalo de confiança IC=(1- α) medindo-se ambos com valores unitários. Distribuindo o nível de significância α nas duas caudas da distribuição normal, o nível de significância em cada cauda será $\alpha/2$. A figura 16 mostra o nível de significância tolerado α nas duas caudas e o desvio padrão normalizado identificado como $Z_{\alpha/2}$.

Vale dizer, se a variável x tem distribuição normal, pode ser transformada para a forma padrão reduzida, $Z_{\alpha/2}$, subtraindo-se sua média e dividindo-se pelo seu desvio padrão:

Equação 5

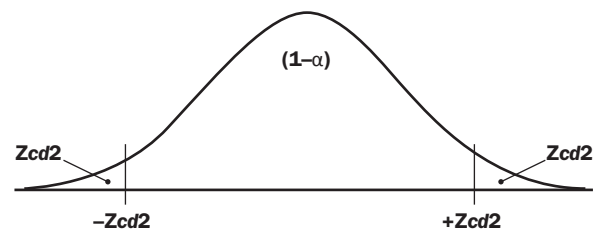
$$Z_{\alpha/2} = (X - \mu) / S$$

Nesta forma reduzida a distribuição passa a ter média $\mu = 0$ e desvio padrão $S = 1$. Usando-se esta mesma fórmula, podemos entender o desvio padrão como sendo:

Equação 6

$$S = (x - \mu) / Z_{\alpha/2}$$

Figura 16 – Desvio Padrão Normalizado $Z_{\alpha/2}$



A estimativa da média da população com intervalo de confiança $(1-\alpha) \times 100$, sendo conhecido o desvio padrão da população, é obtida na fórmula:

Equação 7

$$\mu = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} X \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Onde,

μ = média da população

$\bar{X}$ = média da amostra

$Z_{\alpha/2}$ = fator de abrangência para o Intervalo de Confiança (ou desvio padrão normalizado)

S = desvio padrão da população (estimado pelo desvio padrão da amostra);

n = número de elementos da amostra

Como o desvio padrão da população geralmente não é conhecido assume-se o desvio padrão da amostra como a melhor estimativa deste parâmetro.

A segunda parte desta equação é na verdade a margem de erro em torno da média da amostra.

A relação entre o nível de significância tolerado α , o intervalo de confiança $(1-\alpha)$ e o desvio padrão normalizado $Z_{\alpha/2}$ está apresentada na tabela seguinte.

Tabela 8 – Relação entre nível de significância tolerado α , intervalo de confiança $(1-\alpha)$ e desvio padrão normalizado $Z_{\alpha/2}$ (também chamado fator de abrangência)

α	$\alpha/2$	$(1-\alpha) \times 100$	$Z_{\alpha/2}$
0,20	0,100	80%	$\pm 1,282$
0,15	0,075	85%	$\pm 1,444$
0,10	0,050	90%	$\pm 1,645$
0,05	0,025	95%	$\pm 1,960$
0,01	0,005	99%	$\pm 2,576$

A Equação 7, para calcular a média populacional, é similar à equação 8, para calcular a média populacional usando-se a distribuição **t-student**, usual quando o número de elementos da amostra (n) é pequeno. Para estimar a média da população

considerando as duas caudas da distribuição t e (n-1) graus de liberdade, aplica-se a expressão.

Equação 8

$$\mu = X \pm tc X \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Como na equação 7, o segundo termo da equação 8 representa a margem de erro em torno da média amostral.

Como a distribuição **t-student** converge cada vez mais para a distribuição normal à medida que o tamanho da amostra “n” vai aumentando não se cometerá um erro apreciável usando-se o critério de normalidade da distribuição.

Exemplo prático de cálculo de erro na estimativa de submedição:

Uma empresa realizou um estudo de submedição por classes de consumo e chegou aos seguintes resultados, mostrados na planilha abaixo:

Tabela 9 – Exemplo de cálculo: preparação para a determinação do erro da estimativa de submedição por faixas de consumo

FAIXAS DE CONSUMO	VOLUME MICROMEDIDO	SUBMEDIÇÃO	VOLUME DE SUBMEDIÇÃO	NÚMERO DE ELEMENTOS DA AMOSTRA	DESVIO PADRÃO
0 a 10	4.659.145	-25%	1.553.048	143	20%
11 a 15	3.399.628	-18%	746.258	112	15%
16 a 20	2.785.852	-15%	491.621	79	13%
21 a 30	3.147.133	-13%	470.261	83	12%
31 a 50	2.235.505	-11%	287.422	53	13%
51 a 100	3.607.759	-9%	356.811	18	15%
101 a 99999	380.428	-27%	140.706	65	25%

GUIA PRÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO NO PARQUE DE HIDRÔMETROS

Estes elementos serão suficientes para determinar o erro na estimativa de submedição. Aplicando-se o segundo termo da equação 7, teremos o erro da estimativa de submedição.

FAIXAS DE CONSUMO	VOLUME MICROMEDIDO	SUBMEDIÇÃO	VOLUME DE SUBMEDIÇÃO	NÚMERO DE ELEMENTOS DA AMOSTRA	DESVIO PADRÃO	Z PARA $\alpha=0,05$	ERRO DA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO
0 a 10	4.659.145	-25%	1.553.048	143	20%	1,9600	3,28%
11 a 15	3.399.628	-18%	746.258	112	15%	1,9600	2,78%
16 a 20	2.785.852	-15%	491.621	79	13%	1,9600	2,87%
21 a 30	3.147.133	-13%	470.261	83	12%	1,9600	2,58%
31 a 50	2.235.505	-11%	287.422	53	13%	1,9600	3,50%
51 a 100	3.607.759	-9%	356.811	18	15%	1,9600	6,93%
101 a 99999	380.428	-27%	140.706	65	25%	1,9600	6,08%

Consideremos agora que certa empresa esteja aplicando os valores encontrados acima no balanço hídrico anual do sistema de abastecimento em questão, para estimar o volume de submedição e se queira achar o erro total da estimativa:

Tabela 10 – Exemplo: como calcular a soma dos erros?

FAIXAS DE CONSUMO	VOLUME MICROMEDIDO	SUBMEDIÇÃO	VOLUME DE SUBMEDIÇÃO	NÚMERO DE ELEMENTOS DA AMOSTRA	DESVIO PADRÃO	Z PARA $\alpha=0,05$	ERRO DA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO
0 a 10	4.659.145	-25%	1.553.048	143	20%	1,9600	3,28%
11 a 15	3.399.628	-18%	746.258	112	15%	1,9600	2,78%
16 a 20	2.785.852	-15%	491.621	79	13%	1,9600	2,87%
21 a 30	3.147.133	-13%	470.261	83	12%	1,9600	2,58%
31 a 50	2.235.505	-11%	287.422	53	13%	1,9600	3,50%
51 a 100	3.607.759	-9%	356.811	18	15%	1,9600	6,93%
101 a 99999	380.428	-27%	140.706	65	25%	1,9600	6,08%
	20.305.440	16,62%	4.046.128	553		1,96	??????



No exemplo da Tabela 10, temos os erros das estimativas de submedição nas diversas faixas de consumo, porém, como calcular o erro para o valor total da submedição (4.046.128 m³/ano)?

O roteiro é:

1. Calcula-se o desvio padrão em volume para cada linha (faixa de consumo, no caso).
Veja-se a equação 6 ($S = (x - \mu)/Z\alpha/2$). O desvio padrão normalizado (aquele em % ou em fatores unitários) vezes o volume de submedição equivale ao valor $(x - \mu)$ da fórmula. Por exemplo, para a faixa de consumo 0 a 10 seria: $(3,28\%)*(1.553.048)/1,96 = 25.974$ – proceder analogamente para as demais linhas.
2. Eleva-se ao quadrado os valores obtidos, para

se obter variâncias. Por exemplo, para a faixa de consumo 0 a 10 seria:

$(25.974)*(25.974) = 674.673.881$ – proceder analogamente para as demais linhas

3. Faz-se o somatório das variâncias;
4. Extrai-se a raiz quadrada do somatório das variâncias para se obter o desvio padrão da soma (em volume). No exemplo proposto, este valor foi calculado como sendo: 32.881;
5. Com o desvio padrão da soma em volume, calcula-se o erro total (%) para o total de submedição, usando-se o fator de abrangência 1,96 (desvio padrão normalizado para o Intervalo de Confiança de 95%):

$$(32.881)*1,96/4.046.128 = 1,59\%$$

Estes cálculos foram efetuados na Tabela 11.

Tabela 11 – Exemplo de cálculo margem de erro na estimativa da submedição total

FAIXAS DE CONSUMO	VOLUME MICROMEDIDO	SUBMEDIÇÃO	VOLUME DE SUBMEDIÇÃO	NÚMERO DE ELEMENTOS DA AMOSTRA	DESVIO PADRÃO	Z PARA $\alpha=0,05$	ERRO DA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO	DESVIO PADRÃO EM VOLUME	VARIÂNCIA
0 a 10	4.659.145	-25%	1.553.048	143	20%	1,9600	3,28%	25.974	674.673.881
11 a 15	3.399.628	-18%	746.258	112	15%	1,9600	2,78%	10.577	111.877.317
16 a 20	2.785.852	-15%	491.621	79	13%	1,9600	2,87%	7.191	51.703.550
21 a 30	3.147.133	-13%	470.261	83	12%	1,9600	2,58%	6.194	38.367.437
31 a 50	2.235.505	-11%	287.422	53	13%	1,9600	3,50%	5.132	26.342.121
51 a 100	3.607.759	-9%	356.811	18	15%	1,9600	6,93%	12.615	159.142.906
101 a 99999	380.428	-27%	140.706	65	25%	1,9600	6,08%	4.363	19.036.777
20.305.440		16,62%	4.046.128	553		1,96	1,59%	Σ 1.081.143.989 DP-V 32.881	

SUBMEDIÇÃO	Limite inferior	3.981.681 m³/ano
	Limite superior	4.110.574 m³/ano
	Melhor estimativa	4.046.128 m³/ano





5. RECOMENDAÇÕES

FINAIS

Uma boa gestão da micromedição é essencial para a manutenção dos volumes de submedição em patamares mais baixos. No Brasil, devido ao hábito de uso de reservatórios domiciliares os volumes de submedição tendem a aumentar. Por outro lado, os medidores velocimétricos de classe B, extensamente utilizados no País, tem se mostrado pouco eficientes em baixas vazões e perdem capacidade com poucos anos de uso.

Uma complexa equação de custos e benefícios envolvendo pessoal capacitado, infraestrutura de laboratórios, tecnologia de medidores, capacidade de gestão das aquisições e de fornecedores, capacidade de instalação, manutenção corretiva,

preditiva e preventiva de medidores, precisa ser resolvida pelos prestadores de serviços de modo a garantir os menores patamares possíveis de submedição no parque de hidrômetros. Por muitos anos ainda, possivelmente sempre haverá muito a fazer nesta matéria.

Antes de tudo, é preciso não esquecer que os hidrômetros são a caixa registradora dos concessionários públicos e privados, a balança com a qual se pesa o produto distribuído, não mereceriam por isso atenção especial? Há boas evidências e experiências demonstrando que o desenvolvimento de ações neste campo são altamente rentáveis.

Foto: Shutterstock



REFERÊNCIAS

- ARREGUI, F.; COBACHO, R.; SORIANO, J.; GARCÍA-SERRA, J. Calculating the optimum level of apparent losses due to water meter inaccuracies. In: WATER LOSS 2010, Specialist Conference. **Proceedings...**São Paulo, SP, 2010. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO (AESBE). Disponível em: www.aesbe.org.br.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.538** Medidores de água portátil – ensaios para avaliação de eficiência. Rio de Janeiro, 2011.
- DEPEXE, M. D.; GASPARINI, R. R. Determinação de taxas anuais de redução da eficiência da medição de hidrômetros. **Saneas**, São Paulo, v. XII, p. 33-39, 2012.
- DEVORE, Jay L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. Editora Thomson, 2006.
- FARLEY, M. e outros. **The Manager's Non-Revenue Water Handbook: A Guide to Understanding Water Losses**. Ranthill Utilities Berhad and the United States Agency for International Development (USAID). 2008.
- FERRÉOL, E. How to measure and reduce the water meter park inefficiency? In: IWA LEAKAGE 2005 CONFERENCE, **Proceedings...**, Halifax, Canada, 2005. 4 p.
- JUAN CARLOS LAPPONI, **Estatística Usando Excel**, 2005.
- LAMBERT, A.; Taylor, R., **Water Loss Guidelines**. Water New Zealand. 2010.
- LIEMBERGER, R. **WB Easy Calc**. Disponível em: www.liemberger.cc, 2012.
- NIELSEN, M.J.; TREVISAN, J.; BONATO, A.; SACHET, M.A.C. **Medição de água: estratégias e experimentações**. Curitiba: Sanepar. 2003. 218 p.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Disponível em: www.snis.gov.br.
- SPIEGEL, M. R. **Estatística: resumo da teoria, 875 problemas resolvidos, 619 problemas propostos**. São Paulo: McGraw-Hill. 1977. 580 p.
- WYATT, A. **Non-revenue water: financial model for optimal management in developing countries**. RTI Press publication No. MR-0018-1006. Research Triangle Park, NC: RTI International. 2010.

Foto: Shutterstock





GUIA PRÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO NO PARQUE DE HIDRÔMETROS

Blank lined area for notes or calculations, consisting of 20 horizontal lines.







20 horizontal lines for text entry.





