

Versão Preliminar para Discussão

Ministério das Cidades
Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA

DTA **D2**

DTA - Documento Técnico de Apoio nº D2
MACROMEDICÃO

Versão Preliminar para Discussão

MINISTRO DAS CIDADES
Olívio Dutra

SECRETÁRIA EXECUTIVA E MINISTRA ADJUNTA
Ermínia Maricato

SECRETÁRIO NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL
Abelardo de O. Filho

COORDENAÇÃO TÉCNICA DOS TRABALHOS
Pela FUSP: Racine Tadeu Araújo Prado
Pelo Ministério das Cidades: Claudia Monique Frank Albuquerque

ENTIDADES PARTICIPANTES DO PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA-PNCDA
PROTOCOLOS DE COOPERAÇÃO FIRMADOS COM A SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL/ MC

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA
Secretaria de Recursos Hídricos – SRH
Secretaria de Meio Ambiente – SMA

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

Eletrobrás/Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica - PROCEL
ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABIMAQ – Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
ABNT/COBRACON – Associação Brasileira de Normas Técnicas/Comitê Brasileiro da Construção Civil
AESBE – Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais
ASFAMAS – Associação Brasileira de Fabricantes de Materiais e Equipamentos para Saneamento
ASSEMAE – Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento
EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FUPAM – Fundação para a Pesquisa Ambiental
FUSP – Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo
INFURB-USP – Núcleo de Pesquisa em Informações Urbanas da Universidade de São Paulo
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA – PNCDA	7
INTRODUÇÃO	10
1 OBJETIVOS	12
1.1 Controle da operação do sistema de abastecimento de água	12
1.1.1 Controle de produção	12
1.1.2 Dosagem de produtos químicos	12
1.1.3 Controle da operação do sistema de distribuição	12
1.2 Controle das perdas de água	13
1.3 Subsídio à comercialização da água	13
1.3.1 Comercialização na captação da água	13
1.3.2 Comercialização de água tratada por atacado	13
1.4 Subsídio à conservação de energia	13
1.5 Subsídio à avaliação geral do sistema e ao planejamento	14
2 DIRETRIZES PARA A MEDIÇÃO NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	15
2.1 Captação	15
2.2 Adução de água bruta	18
2.3 Unidades de tratamento	19
2.4 Adução e reservação de água tratada	20
2.4.1 Disponibilização para distribuição	20
2.4.2 Totalizadores ou medidores de controle	20
2.4.3 Comercialização de água tratada por atacado	21
2.4.4 Equação da macromedição	21
2.4.5 Eficiência da adução (volume)	21
2.4.6 Eficiência operacional (vazão no tempo)	21
2.5 Distribuição	22
2.5.1 Setor	22
2.5.2 Zona de pressão	22
2.5.3 Reservação setorial	22
2.5.4 Estudos, controle, acompanhamento e planejamento operacional	23
2.5.5 Distrito pitométrico	23
2.5.6 Áreas de influência de bombas elevadoras de pressão (<i>boosters</i>) e válvulas redutoras de pressão (VRP)	23
2.5.7 Compatibilização e integração de áreas do prestador de serviços	24

3 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO	27
3.1 Conceituação	27
3.2 Instalação e funcionamento dos medidores	28
3.2.1 Projeto de instalação dos medidores	28
3.2.2 Condições para funcionamento adequado dos medidores	30
3.3 Localização e cadastro dos medidores	31
3.3.1 Identificação dos medidores, equipamentos e peças associadas	32
3.3.2 Dados cadastrais dos medidores	32
3.4 Parâmetros a serem medidos	34
3.4.1 Vazão	34
3.4.2 Volume	35
3.4.3 Tempo	36
3.4.4 Pressão	36
3.4.5 Cota da lâmina livre em reservatórios	37
3.5 Recursos humanos	37
3.5.1 Leituras em sistemas convencionais	38
3.5.2 Medição em sistemas automatizados	38
3.5.3 Instrumentação	38
3.5.4 Controle de perdas	39
3.5.5 Pitometria	40
3.5.6 Oficina de pitometria ou laboratório de macromedição	41
3.6 Manutenção	41
3.6.1 Manutenção preventiva e calibração	41
3.6.2 Manutenção preditiva	44
3.6.3 Manutenção corretiva	44
3.6.4 Pitometria e calibrações sistêmicas	44
3.7 Aquisição e tratamento de dados	46
3.7.1 Registro histórico – banco de dados	46
3.7.2 Sistema informatizado	46
3.7.3 Alimentação dos dados de vazão	46
3.7.4 Central de controle operacional	46
3.7.5 Transmissão de dados	47

4 INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS	48
4.1 Medidores de vazão para condutos abertos	48
4.1.1 Calhas e vertedouros	48
4.1.2 Medidores eletrônicos (ultra-sônicos e eletromagnéticos)	49
4.1.3 Calibração e manutenção de medidores de vazão de condutos abertos	50
4.1.4 Outros medidores e técnicas de medição	50
4.2 Medidores de vazão para condutos fechados	50
4.2.1 Medidores por diferená de pressão (Venturi, bocais e orifícios)	51
4.2.2 Medidores tipo turbina	51
4.2.3 Medidores estáticos ou eletrônicos	56
4.2.4 Calibração e manutenção	59
4.3 Medidores de velocidade de escoamento ou de inserção	59
4.3.1 Tubo de Pitot	59
4.3.2 Molinetes	60
4.3.3 Medidores de inserção magnéticos e ultra-sônicos	61
4.3.4 Outros medidores de inserção	61
4.3.5 Estimativa de vazão utilizando medidores de inserção	61
4.4 Medidores de pressão	62
4.4.1 Manômetros de coluna líquida	62
4.4.2 Manômetros metálicos	62
4.4.3 Transdutores de pressão	62
4.4.4 Calibração e manutenção	63
5 PROCESSAMENTOS DOS DADOS DE MEDIÇÕES	64
5.1 Controle do sistema de abastecimento	64
5.1.1 Captação e adução de água bruta	64
5.1.2 Sistemas de produção simples ou unitários	64
5.1.3 Sistemas de produção convencionais	65
5.1.4 Sistema de adução de água tratada e reservação	70
5.1.5 Sistema de distribuição	70
5.2 Controle de perdas	70
5.2.1 Níveis de agregação dos componentes das perdas	70
5.3 Comercialização da água	76
5.4 Subsídio à conservação de energia	76

5.5 Processos usuais, descontinuidades e correções	77
5.5.1 Dados de leitura	77
5.5.2 Impedimentos	77
6 BIBLIOGRAFIA	78
APÊNDICE – NOÇÕES SOBRE CALIBRAÇÃO, EXATIDÃO, INCERTEZA E CONFIABILIDADE.	

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCD

O PNCD tem por objetivo geral promover o uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas. Tem por objetivos específicos definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, concorrentes para uma efetiva economia dos volumes de água demandados para consumo nas áreas urbanas.

O PNCD encontra-se em sua Fase III. Na Fase I, em 1997, foram discutidos 16 DTAs, que refletiram a retomada de estudos abrangentes na área. A Fase II do Programa, em 1998, incluiu a produção de mais 4 DTA's, sua publicação e a implantação de um sistema de acesso via Internet (www.pncda.gov.br). Os escopos das fases até agora definidas como objetos de convênio são esquematizados nas figuras 1 e 2, a seguir.

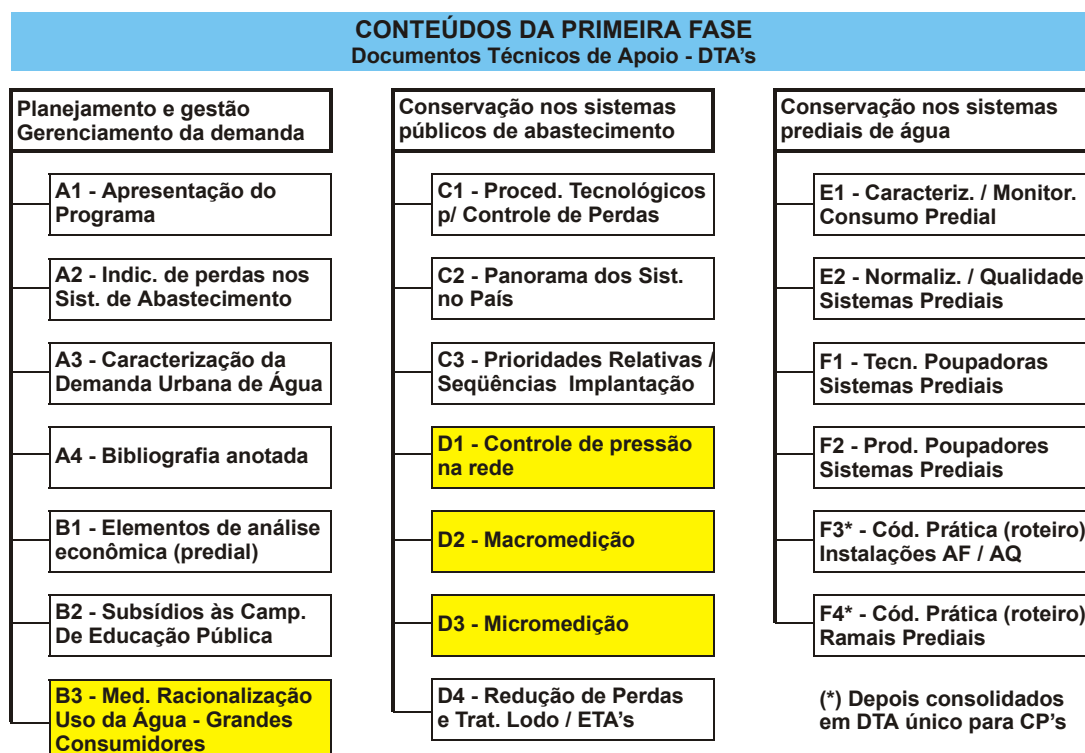


Fig. 1 - PNCD. Escopos da Fase I. 1997

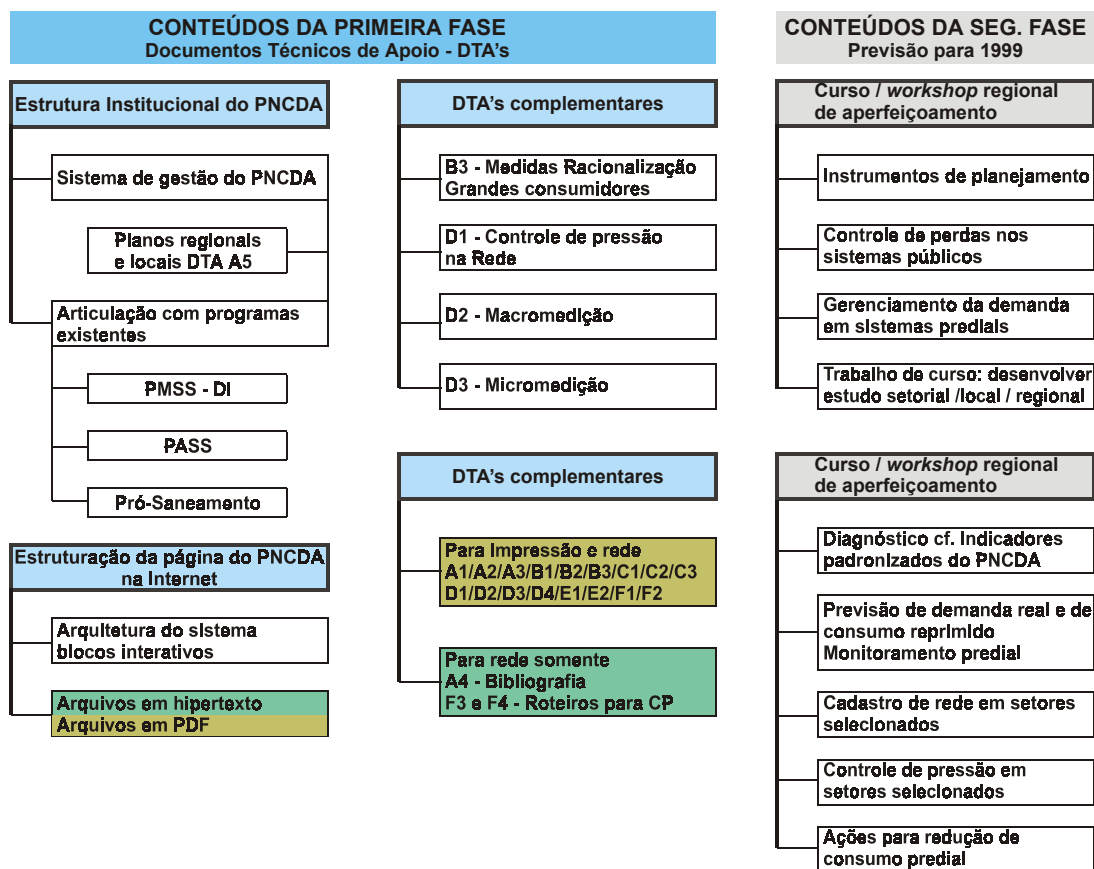


Fig. 2 - PNCD. Escopos da Fase II. 1998 e 1999

Na Fase III do PNCD, através de Convênio vigente entre o Ministério das Cidades/ Secretaria nacional de Saneamento Ambiental e a Fusp (Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo), foram previstas atividades diversas, revisão e elaboração de DTAs, conforme a seguir:

- DTA A5 - Diretrizes e procedimentos para desenvolvimento dos Planos [regionais e locais] de Combate ao Desperdício de Água (revisão).
- Aperfeiçoamento e alimentação da página do PNCD na rede mundial de computadores.
- DTA D7 - Submedição em hidrômetros (elaboração).
- DTA F3 - Código de Prática de Projeto e Execução de Sistemas Prediais de Água - Conservação de Água em Edifícios (elaboração).
- DTA F4 - Código de Prática de Projeto e Execução de Ramais Prediais de Água em Polietileno (elaboração).
- DTA A2 - Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água (revisão).

- DTA A4 - Bibliografia Anotada (revisão).
- DTA C2 - Panorama dos Sistemas Públicos de Abastecimento no País (revisão).
- DTA D2 - Macromedição (revisão).
- DTA D3 - Micromedição (revisão).
- DTA F2 - Produtos Economizadores nos Sistemas Prediais (revisão).
- DTA B6 - Estratégias de educação e comunicação (elaboração). No âmbito deste projeto está prevista a realização de cursos de capacitação em combate ao desperdício de água para uma clientela diversificada (operacional e gerencial) dos prestadores de serviços de abastecimento de água.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de medição se constituem num instrumento indispensável à operação eficaz de sistemas públicos de abastecimento de água, pois o conhecimento das diversas variáveis envolvidas, proporcionado pela medição, permite explorar as melhores formas de operação do sistema de abastecimento em todas suas partes: captação, adução de água bruta, tratamento, adução de água tratada, reservação e distribuição.

De forma genérica os sistemas de medição englobam os sistemas de macromedição e de micromedição.

Entende-se por micromedição a medição do consumo realizada no ponto de abastecimento de um determinado usuário, independente de sua categoria ou faixa de consumo. Basicamente a micromedição compreende a medição periódica do volume consumido utilizando hidrômetros.

Macromedição é o conjunto de medições realizadas no sistema público de abastecimento de água, desde a captação de água bruta até as extremidades de jusante da rede de distribuição. Como exemplo citam-se: medições de água bruta captada ou medições na entrada de setores de distribuição, ou ainda medições de água tratada entregue por atacado a outros sistemas públicos.

Os medidores envolvidos na macromedição são normalmente de maior porte que os usados na micromedição, podendo, no entanto, ocorrer eventualmente de um medidor de grande porte ser usado em micromedição, como no caso de um grande consumidor industrial, por exemplo. Cabe, portanto, destacar que neste documento o foco básico não é o instrumento, mas sim o sistema de medição, como se verá no decorrer do texto.

Neste DTA serão abordados apenas sistemas de macromedição. O sistema de micromedição é tratado no DTA D3. Deve-se, no entanto, ter em mente que a avaliação de todo um sistema de abastecimento requer um sistema de medição envolvendo macro e micromedição. Em programas de conservação de água a abordagem integral do sistema de abastecimento, incluindo macro e micromedição, é indispensável. Como exemplo básico, tem-se que as perdas no sistema público de abastecimento são calculadas pela diferença dos volumes disponibilizados (medidos pelos sistemas de macromedição) menos a soma dos volumes consumidos (medidos através dos micromedidores).

O texto a seguir procura abordar as questões básicas e os conceitos principais que orientam os sistemas de macromedição, sem perder de vista, sempre, os objetivos de cada sistema, sub-sistema ou mesmo de uma medição isolada, bem como as condições e circunstâncias que delimitam o grau de confiabilidade, os procedimentos a serem adotados, etc.

Na medida do possível o texto procura incorporar as inovações tecnológicas em macromedição. Tal tarefa pode resultar incompleta, dado o dinamismo observado no surgimento de novos instrumentos, equipamentos e processos. Em qualquer caso, no entanto, enfatiza-se sempre os aspectos fundamentais subjacentes: importa antes ter um processo de medição bem caracterizado e controlado, adequado ao tipo de instrumental que se utiliza, do que processos centrados em instrumentos e equipamentos sofisticados, mas que se inserem em contextos mal definidos ou controlados.

Cabe lembrar que embora a macromedição envolva medição e controle de diversos parâmetros, tais como vazão, pressão, volume e nível d'água, o principal parâmetro a ser medido é a vazão de água escoando por uma determinada seção de controle. De forma associada à vazão, decorre o cálculo do volume que, matematicamente, é a integral da vazão em um intervalo de tempo considerado.

Dessa forma, no decorrer do texto, os macromedidores estarão na maior parte das vezes se referindo à medição da vazão.

O primeiro capítulo apresenta os objetivos centrais da macromedição, mostrando de forma direta o que se deseja alcançar com cada um.

O segundo capítulo descreve o sistema de abastecimento de água na sua totalidade e, descrevendo cada uma de suas partes, mostra como e onde medir.

O terceiro capítulo descreve os sistemas de medição mais utilizados nas diversas partes dos sistemas de abastecimento, detalhando quais são os parâmetros de interesse, os cuidados a tomar e os detalhes das técnicas de medição.

O quarto capítulo apresenta os instrumentos e equipamentos disponíveis.

O quinto capítulo mostra como processar os dados obtidos nas medições visando atender os objetivos traçados.

Finalmente o Apêndice trata de maneira direta e prática os conceitos relativos ao campo metrológico.

1 OBJETIVOS

Em termos simples e diretos, coloca-se aqui a pergunta: por que medir?

O PNCD ensina uma primeira resposta a esta pergunta, na medida em que o uso racional proposto no Programa requer conhecer os parâmetros que permitem qualificar a situação em que se encontra um determinado sistema público de abastecimento. A partir daí, medidas podem ser tomadas para evitar ou minimizar perdas e desperdícios. Portanto, no âmbito do PNCD, a macromedição tem por objetivo oferecer o ferramental necessário à medição e avaliação dos parâmetros hidráulicos (volume, pressão, vazão, etc) visando aumentar a eficiência no uso da água em sistemas públicos de abastecimento.

Na mesma linha de raciocínio, a descrição uniformizada do grau em que se encontram as perdas dos sistemas públicos de abastecimento pode ser expressa por meio de indicadores padronizados, como os estabelecidos no Documento Técnico de Apoio (DTA) A2 – Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento. Para o cálculo desses indicadores são necessários os valores obtidos na macromedição e na micromedição.

De uma maneira mais geral a macromedição tem outros campos de aplicação. As necessidades de cada caso orientam o papel preponderante da macromedição. Entre essas aplicações, citam-se:

1.1 Controle da operação do sistema de abastecimento de água

A medição dos parâmetros do sistema de abastecimento de água permite o controle da sua operação. Incluem-se diversos parâmetros necessários ao funcionamento de sub-sistemas, tais como as informações necessárias ao processo de tratamento, consumo de energia elétrica, manobras operacionais, etc.

A medição dos parâmetros de interesse para o controle da operação é orientada por critérios técnicos vinculados ao atendimento de níveis de eficiência desejáveis. Tais critérios são estabelecidos na legislação, na normalização, na literatura técnica ou ainda, em programas específicos estabelecidos pelos órgãos gerenciadores de recursos hídricos.

1.1.1 Controle de produção

Neste caso a macromedição tem por objetivo medir as vazões e pressões, bem como calcular ou estimar os volumes aportados durante determinado período de interesse. Tais elementos são essenciais para a avaliação do nível de desempenho dos diversos subsistemas (adução de água bruta, tratamento, reservação, adução de água tratada e distribuição), bem como para o acompanhamento da evolução desses subsistemas, permitindo estabelecer séries históricas de parâmetros hidráulicos e de desempenho do sistema.

1.1.2 Dosagem de produtos químicos

O subsistema de tratamento de água requer a utilização da macromedição para subsidiar a dosagem de produtos químicos. Na entrada de ETAs, por exemplo, freqüentemente é necessário fazer o ajuste de pH com cal e adicionar coagulantes. A medição da vazão aduzida é fundamental para se fazer a correta dosagem de produtos químicos. Outro exemplo onde há necessidade de conhecer a vazão para dosagem é na cloração e na fluoretação.

1.1.3 Controle da operação do sistema de distribuição

O atendimento da demanda em sistemas de distribuição, sejam eles pequenos ou grandes, depende diretamente da macromedição. O volume de água tratada disponível, a cota dos reservatórios, a situação da pressão nas zonas baixas e altas, enfim um grande número de fatores deve ser medido de

forma que seja possível o controle dos parâmetros visando o funcionamento do sistema de abastecimento, segundo critérios de bom desempenho.

1.2 Controle das perdas de água

O controle das perdas de água se viabiliza pelo conhecimento dos parâmetros hidráulicos obtidos pela medição. É o caso, por exemplo, das medições realizadas na aplicação do método da vazão mínima noturna. Esse método permite conhecer os vazamentos na rede de distribuição, fornecendo elementos que orientam as ações de combate às perdas.

No controle das perdas, têm importância fundamental o cálculo dos indicadores de perda, segundo sua forma padronizada apresentada no DTA A2. Esses indicadores subsidiam o desenvolvimento de programas pelas prestadoras do serviço de abastecimento de água, visando alcançar patamares ótimos de perdas no sistema.

1.3 Subsídio à comercialização da água

A macromedição oferece os elementos técnicos necessários à comercialização da água bruta, tratada e, ainda, à água de reúso (esgoto especificamente tratado para usos que não requerem a potabilidade). O conhecimento do volume é o parâmetro central para a comercialização.

A comercialização da água pode, entre outras situações, se dar na captação da água bruta, no consumo de água tratada e na venda de água tratada por atacado.

1.3.1 Comercialização na captação de água

A lei 9433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e as leis estaduais de mesma natureza, definem a água como um bem público, finito, prioritariamente voltado ao abastecimento público e dotado de valor econômico. Em consonância, a água bruta captada visando tratamento é ou será cobrada segundo o volume captado no manancial superficial ou subterrâneo. Aos Comitês de Bacias Hidrográficas federais e estaduais, instituídos pelas referidas leis, entre outras funções, cabe o gerenciamento dos recursos hídricos no âmbito das referidas bacias. No exercício de suas funções, os Comitês contam, ou contarão, com recursos financeiros oriundos do pagamento que os diversos usuários da água (do abastecimento público, da geração de energia, da irrigação, etc) fazem, ou virão a fazer, calculados com base no volume captado. O valor desse volume não pode prescindir da medição que se torna, assim, importante ferramenta para o gerenciamento dos recursos hídricos. O projeto de lei, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA), ora em fase de discussão (agosto de 2003), estabelece que, no prazo de 1 ano após a aprovação de lei, as prestadoras do serviço público de abastecimento deverão adequar seus procedimentos de medição da vazão de água captada, exigindo que a medição seja feita de forma regular e com registros contínuos, além de outros aspectos técnicos a serem regulados.

1.3.2 Comercialização de água tratada por atacado

Uma particular aplicação da macromedição é a medição de água tratada fornecida por atacado. Ocorre, por exemplo, nas regiões metropolitanas, onde, com frequência, os sistemas produtores centralizados abastecem os diversos municípios da região que possuem sistemas de distribuição autônomos, mas não contam com produção própria de água potável.

1.4 Subsídio à conservação de energia

O consumo de energia nos sistema de abastecimento de água é significativo. Dar base técnica ao consumo eficiente de energia é, portanto, um importante papel da macromedição.

Como grande parte da adução, da distribuição e do próprio tratamento, depende de equipamentos e de instalações elétricas, a operação do sistema de abastecimento se reflete diretamente nas despesas com energia elétrica.

Para evitar a operação em períodos de pico, quando a tarifa elétrica é mais alta, é possível realizar manobras de reservação em períodos em que a energia elétrica é fornecida sob tarifas menores. Nestes casos a medição permitirá controlar os volumes reservados, tendo em conta o atendimento da demanda, considerados também picos de demandas de grandes consumidores.

1.5 Subsídio à avaliação geral do sistema e ao planejamento

A avaliação do sistema de abastecimento de água somente ser elaborada de forma consistente com base nos dados originados nas medições. Qualquer que seja a abordagem da avaliação (econômica, técnica, social, ambiental, etc), serão necessárias informações dos fundamentos técnicos elaborados a partir de medições.

As avaliações podem também ser orientadas no sentido de mostrar tendências, sendo este um importante aspecto decorrente das medições.

Ações sobre o sistema de abastecimento público tais como a expansão, as readequações de setores de distribuição, os remanejamentos, etc. requerem o planejamento e projetos detalhados. Neste caso, a macromedição oferece subsídios importantes, na medida em que os parâmetros medidos nos sistemas existentes permitem estabelecer margens de disponibilidades, demandas não atendidas, limites de exploração do sistema, dentre outros aspectos.

2 DIRETRIZES PARA A MEDIÇÃO NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Interessa agora saber onde medir e como medir. Responder a essas perguntas remete à necessidade de serem estabelecidos *a priori* os objetivos da medição que irão definir as características do sistema de medição necessário.

Um sistema de medição pode ser constituído de apenas um trecho de tubulação ou de um reservatório. Pode-se, no entanto, tendo por objetivo estabelecer o controle de perdas em todo o sistema de abastecimento, constituir um sistema de medição que contemple todos os subsistemas, desde a adução de água bruta, incluindo a captação até o cavalete com hidrômetro.

A rigor, programas de conservação e uso racional da água ampliam ainda mais estes limites pois contemplam também a conservação de água na bacia hidrográfica e, na outra ponta, verificam de que forma estão ocorrendo perdas e como poderiam ser obtidas economias nas instalações prediais. A Figura 3 ilustra todo um sistema de abastecimento de água e o correspondente sistema de medição.

Neste capítulo são descritos sistemas e sub-sistemas de medição aplicáveis às diversas unidades de sistemas de abastecimento de água. São focalizadas as situações mais comumente utilizadas no Brasil. No entanto, as situações a seguir descritas não devem ser entendidas como um roteiro aplicável a qualquer sistema. Reforça-se os conceitos que mostram que cada sistema público tem suas peculiaridades que devem ser analisadas previamente à adoção de sistemas de medição mais ou menos complexos.

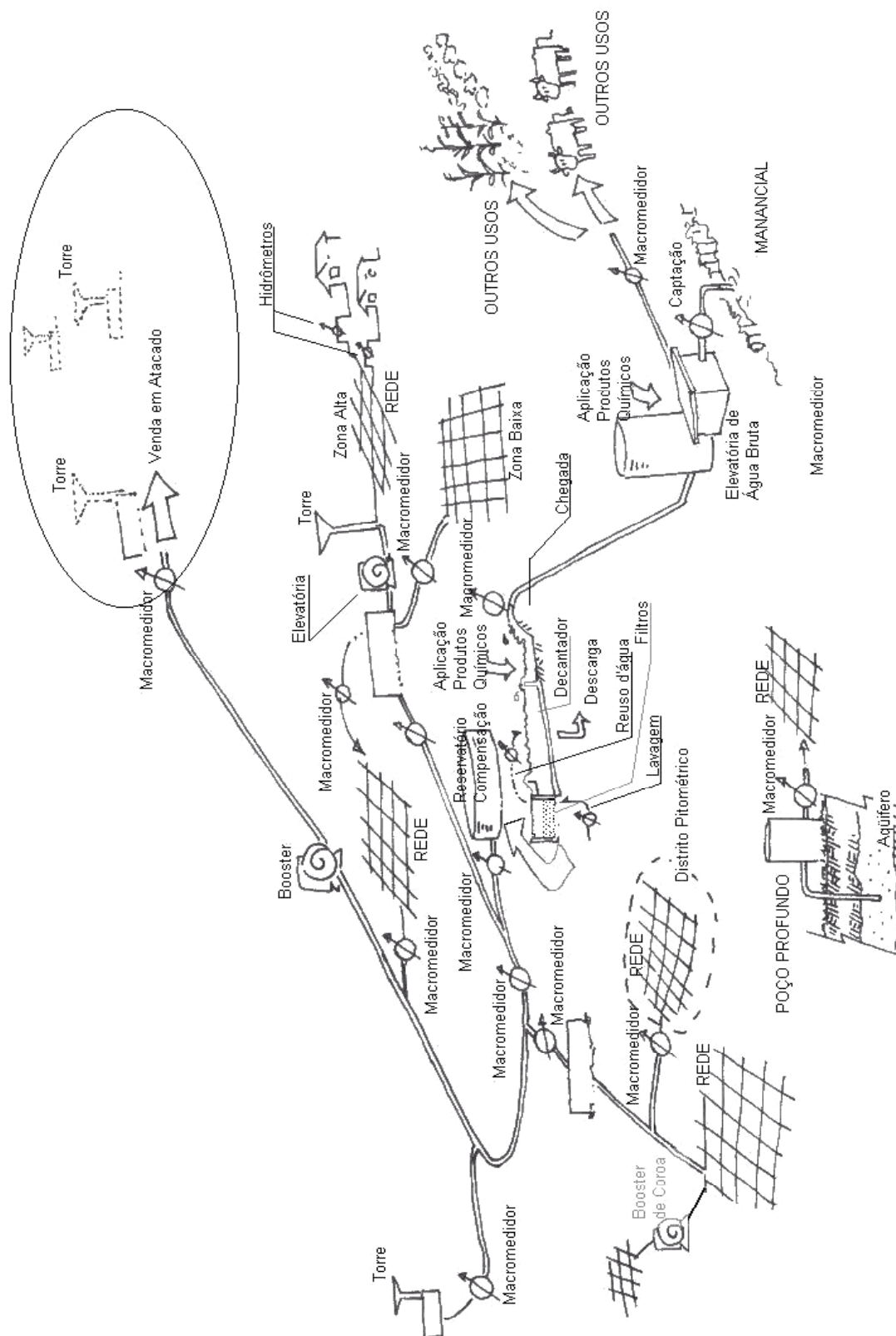
2.1 Captação

A captação da água bruta do seu meio natural (rio, represa, poço, por exemplo) é a primeira etapa do sistema de abastecimento.

Após captada a água é conduzida a estações de tratamento ou de simples desinfecção, com objetivo de torná-la potável. A condução da água captada às estações é feita por tubulações, sob pressão, ou por canais a lâmina livre.

A medição da água bruta captada é importante pelo menos por três motivos. Em primeiro lugar a quantidade máxima de água captada é definida pelo órgão que legalmente detém o poder de outorga. Assim, a medição permite controlar o volume captado sem que o mesmo ultrapasse o limite estabelecido.

Figura 3 - Ilustração de um Sistema de Medição Relativo a Todo o Sistema de abastecimento - Fonte: SABESP



Em segundo lugar, com o advento do pagamento pelo uso da água, em decorrência das modernas legislações estaduais e nacional de recursos hídricos, a medição se tornará também elemento chave para o cálculo do valor a ser pago.

Em terceiro lugar o conhecimento da vazão captada é uma informação indispensável para o adequado funcionamento das estações de tratamento.

Na figura 4 é apresentado um esquema geral de um sistema de captação e adução de água bruta

FIGURA 4 - EM FASE DE PREPARAÇÃO

Figura 4: Esquema geral de um sistema de captação e adução de água bruta

Os medidores utilizados na medição de água bruta de captação necessitam ter características de resistência aos sólidos presentes na água bruta. No Brasil, a maioria dos sistemas de abastecimento possui captação superficial por meio de recalque em conduto forçado, sendo freqüente o uso de medidores tipo Venturi e eletromagnéticos. Em alguns casos, quando a água é captada em canais abertos podem-se utilizar calhas e vertedores, em conjunto com sensores de pressão e nível.

Na medição da água bruta captada há que ter em conta as variações de vazão. os valores mais críticos se devem à variação diária de vazão e às variações excepcionais que ocorrem quando da parada e retorno do funcionamento da ETA, devido a manutenção.

Essas condições de funcionamento requerem que o dimensionamento do instrumento ou dispositivo destinado a medir a quantidade de água bruta captada sejam baseados nos valores estimados da vazão de pico de demanda. Em decorrência, os subsistemas de adução de água bruta e de tratamento devem também levar em conta os valores de vazão estimados.

Dado que a maioria dos sistemas de captação no Brasil são superficiais, com recalque por bombas, um modo de se estimar a vazão na captação baseia-se na vazão correspondente ao ponto característico de operação das motobombas. Para que essa estimativa tenha um certo grau de consistência, a curva característica da bomba deve ser disponibilizada, bem como o projeto executivo da captação indicando em que ponto da curva a bomba estará funcionando, consoante a configuração real dos componentes do recalque.

Esse modo de se estimar o volume de água captado é muitas vezes utilizado diretamente como medida do volume captado, prescindindo os macromedidores de captação. Deve-se destacar, no entanto, a grande inexatidão que pode ocorrer desse modo de medir a vazão de captação, uma vez que a vazão das bombas é fortemente afetada pelo nível em que a água se encontra no ponto de captação e pela pressão a jusante da mesma que pode se alterar de acordo com a operação do sistema.

Devido a esse fato, em sistemas que utilizam a vazão de bombeio como meio de medição da vazão de captação, é recomendado, e tem sido freqüentemente realizado, o levantamento, em campo, das curvas de vazão das bombas, buscando o aumento da exatidão do processo.

Sistemas de captação de pequeno porte podem, com alguma perda de qualidade, prescindir de medidores mais complexos. Nesses casos é muito importante estabelecer regras simplificadas para

controles simples de volumes e vazões, consideradas as características relativas à capacidade do aquífero ou reservação superficial.

Eventualmente a captação para o uso industrial e o uso agrícola poderá estar sendo feita em conjunto com aquela captada para abastecimento público. Cabe lembrar que os volumes destinados à indústria e à agricultura são largamente majoritários. No uso industrial e agrícola o tratamento pode não ser necessário e, se realizado, acrescentaria custo adicional que inviabilizaria a atividade-fim. Contudo, medidores são necessários para a correta partição das vazões, principalmente no cenário de pagamento pela captação de água, como prevê a moderna legislação brasileira. A medição da água bruta para uso industrial e agrícola pode compor também procedimentos com o objetivo de aumentar a eficiência nos processos industriais ou na irrigação.

Em qualquer dos casos, a água captada em conjunto para atender objetivos diversos deverá ser medida na captação e nas derivações para os usos diversos a que se destina. Essa medição constituirá o parâmetro para rateio. Deve-se atentar que as regras de partilhamento não devem considerar só o volume, mas também a distribuição do volume no tempo.

2.2 Adução de água bruta

Entre a captação e a entrada da ETA, a condução de água bruta é feita por um trecho de tubulação normalmente de grande diâmetro, relativamente longo. Eventualmente, esse segmento entre a captação e a ETA, pode ser, parcial ou totalmente, construído em canal para escoamento a lâmina livre. Esse trecho entre a captação e a entrada da ETA é denominada adutora de água bruta e nesse segmento podem ser observadas as primeiras perdas de água.

No caso de ETAs convencionais, a quantidade de substâncias químicas usados nos processos de tratamento é função dos valores de vazão de água bruta que chega à ETA. Portanto, é necessário medir essas vazões.

Quanto maior for o grau de exatidão na medição da vazão, tanto maior será a exatidão possível na dosagem das substâncias químicas empregadas. Visando propiciar boas condições de dosagem torna-se mais freqüente a instalação na entrada das ETAs de medidores de vazão de água bruta. Esse medidor poderá também ser usado no balanço volumétrico referente ao cálculo da eficiência da ETA em termos da água perdida no processo de tratamento.

Em geral, nos casos de escoamento sob pressão, utilizam-se medidores de vazão cujo princípio de funcionamento é a diferença de pressão de uma seção de montante para outra de jusante. Esses instrumentos são menos sensíveis à presença de partículas sólidas dissolvidas e em suspensão e de pequena quantidade de matéria orgânica, características da água bruta. Nesse grupo de medidores estão o do tipo Venturi, tubos *Dall* ou *Anubar*. Medidores dos tipos eletromagnéticos e ultrassônicos tem sido cada vez mais utilizados nesses pontos de medição devido à sua versatilidade e exatidão.

No caso de adutoras chegando à ETA em canal com escoamento a lâmina livre é possível medir a vazão por meio de calhas e vertedouros. Calhas Parshall instrumentadas permitem registro contínuo de dados.

Visando a verificação periódica de parâmetros de interesse na adutora de água bruta, o projeto da adutora deve prever estações pitométricas, no caso de tubulações sob pressão e de medidores tipo calha ou vertedouro para escoamento sob lâmina livre.

Eventualmente, medições e registro de pressões e vazões com tubos de Pitot em diversos pontos da linha de adução podem ser necessários, não só para calibração das vazões como também para avaliação de perda de carga, devida à deposição de sedimentos nas tubulações que além do aumento

no consumo de energia, reduz a eficiência dos conjuntos elevatórios e comprometem severamente as medições na medida em que obstruam os canais dos taps, por exemplo.

2.3 Unidades de tratamento

O tratamento se constitui na parte industrial do sistema público de abastecimento. A medição é essencial para que o produto final tenha a qualidade requerida legalmente, a custo compatível com as possibilidades e necessidades da comunidade.

Em sistemas de tratamento de pequeno porte em geral utiliza-se substâncias químicas segundo padrões fixos ou dosagens pré-definidas. Adotando a hipótese de que a água bruta tenha qualidade invariável, os processos de tratamento podem ser acionados segundo as variações de vazões indicadas pelo medidor. O controle e a operação podem ser simplificados para faixas de vazões determinadas, de forma que todas as variações na dosagem de produtos químicos e demais procedimentos do tratamento possam ser feitos manualmente.

Em sistemas convencionais, onde o custo de produtos químicos e energia elétrica é relativamente elevado, a economia ou otimização de processos pode levar à redução de custos e melhoria da qualidade do processo.

Em particular, nas áreas metropolitanas e grandes cidades existe uma progressiva degradação do meio ambiente pela ocupação urbana desordenada afetando a qualidade dos mananciais. Nesses contextos a utilização de diversos produtos químicos para o tratamento e adequação da água aos padrões de potabilidade exigidos pela legislação pertinente, exigem um elevado grau de exatidão na medição da vazão. Somente com um sistema adequado de medição é possível estabelecer o regime de trabalho correto para cada ETA.

Desprezando-se outros fatores, tais como gasto de energia, produtos químicos, mão de obra envolvida, pode-se chamar de eficiência da ETA a diferença do volume de água bruta aduzido para tratamento e o volume produzido, dividido pelo volume aduzido. No processo, o que importa é medir e distinguir corretamente vazões e volumes, o que requer um sistema de medição adequado.

A seguir são descritos os principais aspectos relativos ao tratamento:

- ao chegar na ETA, a água bruta tem acesso a um vertedor onde, por meio da altura da lâmina d'água, é possível medir a vazão. Em geral, nessa entrada é corrigido o pH e são adicionados os produtos coagulantes, sendo a água conduzida aos floculadores. A adição de produtos químicos está diretamente vinculada às vazões afluentes à estação, que, em conjunto com os parâmetros físico-químicos da água bruta, são determinantes na definição das dosagens a serem utilizadas;
- para o processo de decantação o tempo de detenção é fundamental. Este, por sua vez, é função da vazão que entra nos tanques decantadores. Caso o tempo não seja suficiente para a decantação, uma parte dos flóculos, maior que a normalmente prevista, não conseguirá sedimentar no tanque e será carregada aos filtros. Detidos pelos filtros, esses flóculos formarão mais rapidamente uma camada de depósitos que exigirá a lavagem dos filtros. Dessa forma, os filtros terão que ser limpos com maior frequência e a eficiência geral da ETA cairá, levando à necessidade de reduzir a adução de água bruta;
- situações novas ou ocasionais, como a presença de algas ou mudanças físico-químicas inesperadas, podem exigir ajustes extraordinários na dosagem de substâncias químicas. Nesse caso, a pesquisa em bancada e estações-piloto podem auxiliar os laboratórios das ETAs identificando e determinando dosagens e ações em escala calibrada. A vazão, no entanto, sempre será um parâmetro central;

- após a decantação e filtração, a água tem o seu pH corrigido com adição de substâncias químicas adequadas;
- após a correção do pH a água é desinfetada, normalmente com cloro, e é reservada no chamado reservatório de compensação;
- a água utilizada para lavagem dos filtros é, em geral, uma parcela da água que já passou pelo tratamento, devendo também ter seu volume medido;
- a água para limpeza dos decantadores, pode vir de decantadores vizinhos. Nesse caso o lodo decantado e a água dos decantadores vizinhos, usados na limpeza do fundo dos tanques de decantação, contém produtos químicos. A destinação final do lodo ou seu eventual aproveitamento requer o conhecimento das substâncias químicas nele presentes. A água de lavagem, por sua vez, deve ter seu volume medido ou estimado para avaliação e contabilização do balanço hídrico da ETA;
- a água de lavagem dos filtros pode ser reutilizada, após sua recuperação em tanques de equalização e posterior retorno do líquido sobrenadante para o início da ETA. Esse volume deve ser medido para avaliação e contabilização do balanço hídrico da ETA;
- a medição de saída da ETA encontra-se no trecho localizado entre a saída das unidades de filtração, correção de pH e desinfecção e a entrada do reservatório de acumulação, e, dependendo do regime de escoamento e das condições físicas, pode ser em canal aberto ou medidor de conduto forçado. O regime é, em geral, não turbulento. No medidor da ETA são medidos os parâmetros volume disponibilizado e vazão, sendo esse volume muitas vezes inferido a partir dos dados de vazão num certo período;
- os dados de vazão de água tratada são também necessários à operação do subsistema de distribuição;
- acréscimos substanciais de demanda, medidos pelos parâmetros de velocidade e aceleração aparente de recuperação do abastecimento, devidos ao retorno ao funcionamento após paralisação do sistema ou, ainda, por variações diárias na demanda, exigem procedimentos especiais na ETA. A medição dos valores dos parâmetros torna possível definir regras ou níveis de produção em atendimento às necessidades do abastecimento e tendo em conta as limitações da planta. Este manejo se constitui num dos principais instrumentos de uma Central de Controle Operacional.

2.4 Adução e reservação de água tratada

Apesar das peculiaridades e complexidades específicas de projeto sob o ponto de vista do escoamento hidráulico, a adução e a reservação se constituem em sub-sistema relativamente simples, principalmente quando comparado com sub-sistema de distribuição.

Considerada a complexidade da malha de distribuição de um setor e suas entradas e saídas diversas, tem-se uma equação de medição dependente dessas diversas entradas e saídas, incluída a seção de adução.

2.4.1 Disponibilização para distribuição

O volume disponibilizado para distribuição deve atender a dois critérios: um diz respeito à necessidade volumétrica a ser entregue no período considerado e outro se refere ao atendimento das vazões ao longo do tempo, considerados os picos horosazonais ou diários. O volume utilizado é controlado pela somatória dos medidores de controle, ou seja, medidores aos quais se referem os demais medidores

situados nas derivações da adução principal. Dados de vazão ponto a ponto, por sua vez, fornecem elementos para a modelagem e a operação direta do abastecimento.

2.4.2 Totalizadores ou medidores de controle

Os medidores de controle medem toda a vazão de um ramo definido de adução, ou seja, adutora principal e suas derivações. Em geral derivam logo após a saída do reservatório de compensação. A utilização destes medidores tanto pode ser na forma dinâmica, que leva em conta a medição de vazão no decorrer de um determinado período, quanto na estática, onde os volumes utilizados podem ser empregados para avaliação de perdas nas adutoras e subadutoras.

2.4.3 Comercialização de água tratada por atacado

No contexto de áreas urbanas de regiões metropolitanas, ocorre com frequência a comercialização de água potável por atacado. A situação típica é aquela onde uma prestadora do serviço de abastecimento capta e trata água para ser distribuída não só pela rede do município onde opera a distribuição, mas também por redes de distribuição de municípios adjacentes operados por outras prestadoras do serviço de abastecimento que não produzem, total ou parcialmente, a água potável necessária ao abastecimento do município em que prestam o serviço.

A comercialização da água potável por atacado requer formas pactuadas de controle entre o vendedor e o comprador, no que tange à quantidade, à qualidade, ao preço, etc. Para tanto, informações sobre vazões e volumes de água comercializados, entre outras informações, são essenciais. Nesse caso, a interface de maior importância é o sistema de macromedição que fornece informações sobre vazões e volumes escoados.

Além do valor das vazões e do volume, outras importantes informações devem compor o quadro de relacionamento entre o vendedor e o comprador de água potável por atacado. Citam-se, em particular, as informações relativas às calibrações, bem como outras relativas à própria operação a montante e a jusante da seção de controle.

2.4.4 Equação de macromedição

Um modelo básico para ilustrar a equação da macromedição seria aquele onde um determinado setor de abastecimento, fisicamente isolado, ou seja, desconectado de outros setores, fosse abastecido a partir de uma única tubulação.

É raro o modelo simples de setor de distribuição abastecido por uma única entrada. Neste caso, a equação de macromedição seria simplesmente a composição das leituras diárias. O mais frequente é que haja mais de uma entrada e outras alimentações a outros setores. Dessa forma, a equação passa a ser a somatória das entradas ou aduções a montante, subtraída das saídas ou aduções a jusante.

Para que seja garantida a fidelidade dos dados, todas as entradas e saídas devem ser medidas. Este critério consubstancia a diretriz de setores de distribuição fechados.

O conhecimento da exatidão do conjunto é fundamental pois erros desconhecidos, ao se acumularem podem inviabilizar o sistema. Por exemplo, se os medidores a montante estiverem com erro de 12% a mais e os de jusante com 12% a menos a medição do setor estará fornecendo valores com erro de mais de 20%!

2.4.5 Eficiência da adução (volume)

A avaliação da eficiência de adução, ou seja, o percentual do volume disponibilizado, só pode ser feita com segurança se houver um sistema de medição adequado. As perdas e usos operacionais (descargas na rede, lavagens, combate a incêndio, etc) só podem ser avaliados a partir do conhecimento das medições na adução.

2.4.6 Eficiência operacional (vazão no tempo)

A eficiência operacional do subsistema de adução de água tratada pode ser considerada como a capacidade de transferir volumes ou vazões no período de tempo necessário para atender uma determinada demanda, seja ela transitória, sazonal ou de pico de consumo.

A demanda mais freqüente é a que compõe de forma sinérgica: distância, cota desfavorável, insuficiência de capacidade de adução e redes dimensionadas inadequadamente. As condições concretas da realidade brasileira impõem a essa demanda, formas de planejamento de cunho emergencial que muitas vezes não respeitam os critérios técnicos cabíveis. Dessa forma, soluções de caráter emergencial (por exemplo, utilização disseminada de *boosters*), normalmente se contrapõem aos requisitos necessários à eficiência de adução.

2.5 Distribuição

O objetivo da macromedição na distribuição está voltado para o usuário, o manejo do abastecimento, das pressões e o controle de perdas, tanto físicas quanto não físicas.

As grandezas, métodos e processos são diferenciados dos aplicados aos conceitos clássicos de macromedição para os subsistemas adutor e produtor.

2.5.1 Setor

O modelo clássico da distribuição tem sua unidade mínima constituída por uma tubulação adutora chegando a um reservatório setorial. A primeira medição ocorre na adutora imediatamente antes do reservatório. Do reservatório a água é aduzida, secundariamente, de duas formas: diretamente para uma zona baixa ou média e, por meio de uma estação elevatória para reservatórios elevados, que a distribuem para uma zona alta. Contudo, quando isto não ocorrer, seja devido aos dimensionamentos superados ou pela necessidade de atender uma nova área, lança-se mão de bombas elevadoras da pressão (*boosters*) e da própria elevatória. Eventualmente novas adutoras serão construídas para atender a demanda crescente. Poços e outras alternativas também poderão ser colocadas em jogo.

Freqüentemente, os setores vizinhos são abertos para auxiliar os casos mais graves de desabastecimento de um determinado setor, descaracterizando os limites dos setores originais.

Nesse contexto, estabelece-se um círculo vicioso envolvendo a falta de controle e a confiabilidade dos dados coletados. A ausência de informação confiável impede o correto planejamento e projeto, gerando mais deficiência no abastecimento e a depreciação contínua dos sistemas.

A melhoria do sistema de medição, gerando dados mais exatos e confiáveis, e o desenvolvimento de informações orientadoras da operação, podem romper esse quadro. O custo de sistemas de medições interagindo em sistemas de distribuição deficientes, conforme descrito, são muito menores que os necessários para outras ações de caráter corretivo emergencial e protelatórias.

2.5.2 Zona de pressão

Tradicionalmente aplica-se a expressão “zona de pressão” às áreas atendidas diretamente a partir do reservatório setorial ou às áreas atendidas a partir de reservatório elevado. À primeira corresponde a zona de pressão baixa ou média e à segunda corresponde a zona de pressão alta.

A medição de volume ou vazão por zonas de pressão permite, por analogia, medir o consumo aparente nas demais zonas de pressão, possibilitando avaliar as perdas de cada zona e do subsistema de distribuição como um todo. Por exemplo, a zona baixa de um determinado setor pode ser estudada a partir do Índice Linear Ponderado de Perda Física, cujos procedimentos de cálculo são citados no DTA A2. Esse número, expresso percentualmente como indicador de perdas na zona baixa, forneceria

por diferença o índice de perdas da zona alta. Pode-se, dessa forma, direcionar as ações de combate às perdas na zona prioritária.

Emprega-se também a expressão “consumo aparente” para designar a soma do volume micromedido (consumo efetivamente medido nos medidores) mais as perdas em geral.

2.5.3 Reservação setorial

Usualmente a jusante do reservatório setorial não são instalados medidores definitivos. No entanto, devem ser previstas instalações nas tubulações que derivam do reservatório setorial ou do reservatório elevado, possibilitando a realização de medições em campanhas específicas. Com a instalação de medidor portátil numa das saídas do reservatório, inserível ou não invasivo, torna-se possível avaliar as perdas do reservatório, assim como medir o consumo aparente para a zona de pressão respectiva.

2.5.4 Estudos, controle, acompanhamento e planejamento operacional

Conforme exposto inicialmente, entre os papéis da macromedição figura o de se constituir em importante ferramenta para o planejamento e projeto de modificações numa determinada área sob estudo.

Ocorre com freqüência na prática de planejamento e projeto no Brasil que os dados existentes, em geral, são constituídos por levantamentos padrões e médias genéricas. Desta forma, todas as projeções são balizadas por estes números que, na maioria das vezes, são majorados por coeficientes de desconhecimento.

Percebe-se, então, que os dados da macromedição, sistemática e historicamente constituídos em conjunto com outras informações complementares, permitem orientar melhor a parametrização dos projetos e do planejamento, construindo horizontes de projetos assentados mais proximamente à realidade.

Uma aplicação particular da macromedição, como ferramenta orientadora para o planejamento, ocorre em locais com intermitência de abastecimento, situação bastante comum em diversos sistemas públicos no Brasil. Quando da recuperação do sistema, após um certo período de intermitência que tenha se caracterizado pelo rodízio no abastecimento, ou pelo racionamento ou falta d'água temporária, os dados de vazão de recuperação podem mascarar a demanda real. Este fenômeno ocorre porque a capacidade de reservação do sistema, incluindo a reservação predial, em períodos de retorno ao abastecimento, supera em muito os valores médios vigentes quando da operação em regime normal. Há registro de casos em que o valor estimado de demanda superava em 200% o valor final aduzido. A macromedição, ao indicar os valores reais vigentes em regime normal, permite o manejo correto do sistema para a recuperação da operação até que se atinja os padrões correntes em regime normal.

2.5.5 Distrito pitométrico

O chamado distrito pitométrico nada mais é que a organização da rede em porções delimitadas. Usualmente planeja-se a abrangência da ordem de 20 km de rede por cada porção delimitada, com uma ou no máximo duas entradas.

Nas entradas são instalados TAPs, para medições por meio de medidores inseríveis, ou são previstas disposições construtivas adequadas a medidores não invasivos. Nessas seções são medidas as vazões mínimas noturnas, que estão associadas às perdas físicas daquela área. Com a utilização de acumuladores de dados (*data loggers*) é possível estender essa campanha para períodos maiores, sendo possível levantar o perfil de consumo, diferenças sazonais e elaborar estudos de maior fôlego.

As figura 5 e 6 ilustram, respectivamente, um distrito pitométrico e a medição da vazão mínima noturna. Uma descrição pormenorizada e uma interessante aplicação prática da medição de vazão mínima noturna, no âmbito de um programa de controle de perdas, pode ser encontrada no trabalho de Gonçalves (1998).

2.5.6 Áreas de influência de bombas elevadoras de pressão (*boosters*) e válvulas redutoras de pressão (VRP)

As áreas servidas por elevadoras de pressão, denominado pelo nome em inglês, (*booster*) e as áreas de influência de VRPs podem ser entendidas como distritos pitométricos, sendo, portanto, perfeitamente cabíveis as considerações anteriores. As condições de instalação e operação de *boosters* e VRPs criam áreas delimitadas que se enquadram na definição de distritos pitométricos, sendo que apresentam condições mais favoráveis que qualquer outro trecho da rede para a realização de medições, pois as áreas já contam com o dispositivo ou equipamento, facilitando a instalação e operação de macromedidores.

2.5.7 Compatibilização e integração de áreas do prestador de serviços

No Brasil, uma situação bastante comum é a falta de interação e integração entre a área operacional com as áreas comercial e administrativa.

Os reflexos dessa dissociação se fazem sentir na eficiência geral da prestação de serviços e, em particular, no aproveitamento potencialmente oferecido pelos sistemas de medição.

Exemplo típico é a falta de integração entre o sistema de macromedição, normalmente sob responsabilidade da área operacional, e o sistema de micromedição, cuja maioria das informações é detida e manejada pela área comercial.

O enfoque de sistema de medição fica dessa forma, fortemente prejudicado, pois o objeto central da atividade fica mal situado quanto às responsabilidades das áreas envolvidas. Evidentemente, nessas condições, os objetivos a serem cumpridos pelo sistema de medição estarão comprometidos.

Trata-se, portanto, de um problema generalizado que requer uma intervenção de cunho administrativo/gerencial. Não necessita de maior desenvolvimento técnico ou especialização, mas depende de vontade, principalmente em mudar a cultura do serviço.

2.5.7.1 Compatibilização de tempo ou ciclos diferenciados

Sob o ponto de vista do controle de perdas o ideal seria que todas as medições (macro e micromedição) fossem realizadas simultaneamente, no mesmo dia e horário.

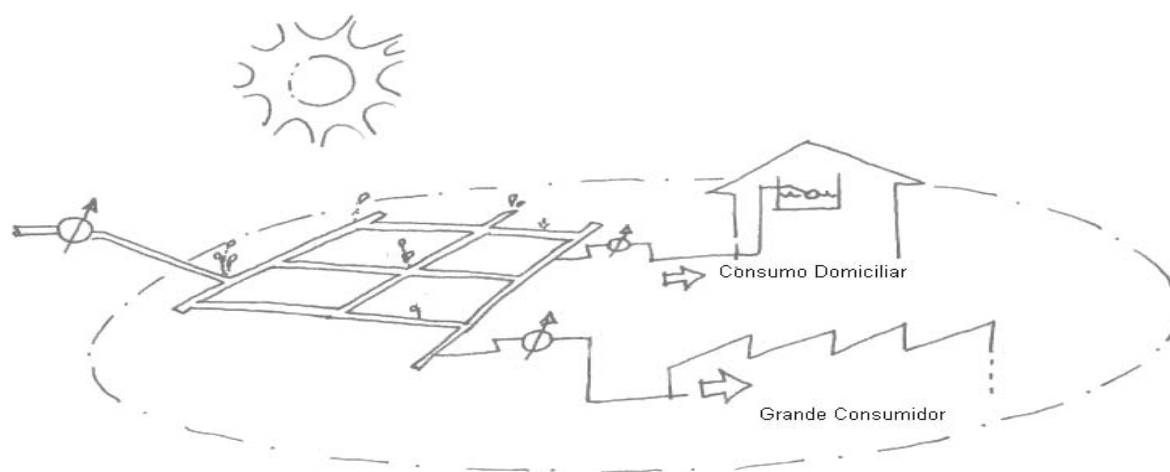


Figura 5 – Distrito Pitométrico

Fonte: Gonçalves, 1998.

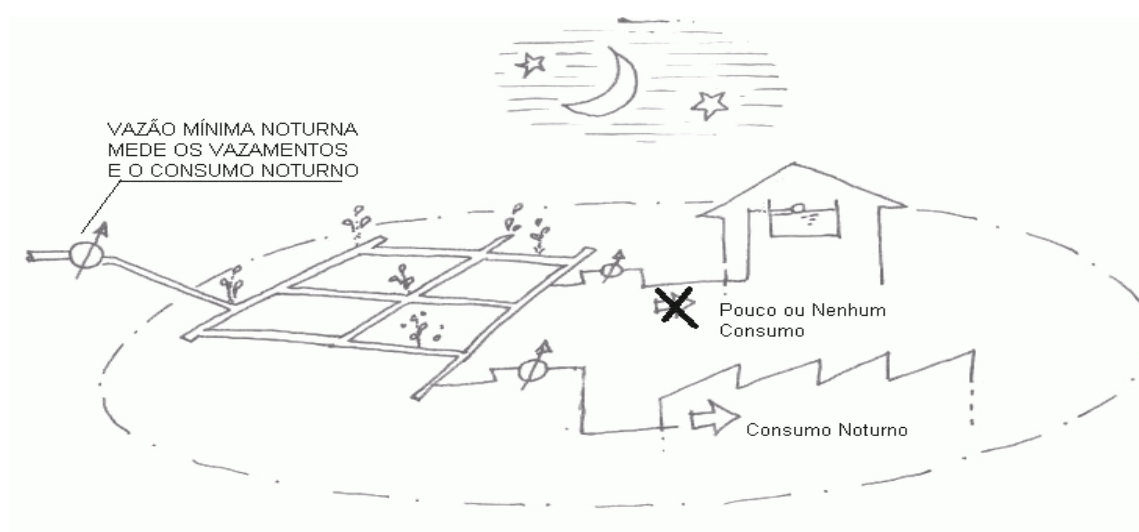


Figura 6 - Medição da vazão noturna em Distrito Pitométrico.

Fonte: Gonçalves, 1998.

Contudo, tal procedimento é impraticável econômica e administrativamente, sendo mais adequado compatibilizar os períodos entre as leituras de macromedição, em geral dentro do mês civil, e as leituras dos micromedidores, que seguem dentro de dinâmica própria de mês de referência. Algumas discrepâncias podem ainda persistir mas, ao fim de um período mais prolongado, cerca de um ano, estas diferenças tendem a desaparecer.

2.5.7.2 Compatibilização da política empresarial

A política empresarial refere-se aqui à intensidade das ações e à implantação do sistema de macromedição. Estas políticas têm repercussões diretas nos custos operacionais, com desdobramentos para uma política de preços.

Deve-se observar que, em termos proporcionais, o custo se reduz com a intensificação da medição. Esta redução relativa também ocorre em termos dos recursos humanos, dado que a maioria das funções pode ser desenvolvida em conjunto com outras atividades de operação.

O conjunto de possibilidades técnicas, relacionadas à medição, enseja modelos financeiros diversificados. Assim, no caso de dificuldades orçamentárias, ou por outro critério de decisão de base empresarial, modelos alternativos de medição podem ser cogitados. Por exemplo, em certas circunstâncias é possível estabelecer condições econômicas mais vantajosas substituindo parte da micromedição por macromedidores. Nesse caso, ao invés de hidrômetros individuais, ter-se-ia a medição setorial como base para posterior rateio e cobrança. No caso é necessário que um trabalho comunitário seja desenvolvido para controle de consumo, e a mensuração e o controle de perdas deve ser implementado. Este aspecto é comentado no DTA-D2.

3. TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Neste capítulo serão apresentados alguns conceitos sobre sistemas de medição e um quadro amplo das diversas possibilidades de sua aplicação a sistemas públicos de abastecimento de água.

É importante destacar que as aplicações dizem respeito aos diversos graus de complexidade inerentes a cada sistema, independentemente de seu porte. Em conjunto com essa abordagem devem ser consideradas as finalidades e objetivos empresariais da macromedição, bem como levadas em conta as realidades técnicas, operacionais e culturais de cada serviço de saneamento.

Primeiramente, deve ser ressaltado que a medição não pode ser vista como uma operação isolada, independente do contexto e das finalidades. Dessa forma, fala-se em sistema de medição, pois o ato de quantificar um determinado parâmetro de interesse não depende somente do ato de medir propriamente dito. Ou seja, não basta dispor de um instrumento e realizar a leitura. Há que se estabelecer um contexto onde se dá a medição.

3.1 Conceituação

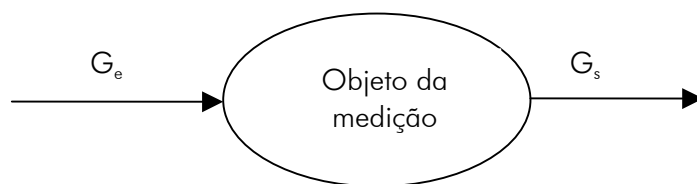
De forma prática, no estabelecimento de um sistema de medição, as seguintes perguntas devem ser formuladas, de forma que as respostas componham o quadro que define o sistema de medição desejado:

- por que medir?
- que medir?
- como medir?:
 - frequência?;
 - qual(is) instrumento(s) utilizar?;
 - qual procedimento operacional aplicar?;
- qual modelo de análise utilizar?

As respostas a essas perguntas devem permitir a clara identificação do objetivo da medição e quais grandezas serão medidas. Enfatiza-se novamente que a escolha dos equipamentos e instrumentos a serem utilizados deve respeitar critérios técnicos e econômicos. Devem, portanto, serem adequados às condições técnicas e financeiras da prestadora do serviço de abastecimento, bem como, devem ser vinculados a procedimentos e frequências de medição necessárias. De forma associada, deve-se também ter claro desde o início a forma de coleta e registro de dados, a forma como as informações obtidas serão passadas à área de controle, bem como planejar a análise e tratamento dos dados medidos.

Como pode se depreender do que foi exposto, as respostas ao conjunto de perguntas formuladas estarão condicionadas pelas características concretas do sistema e seus sub-sistemas, das disponibilidades financeiras, dos recursos humanos disponíveis, da sua própria lógica de funcionamento, dentre outros aspectos. Ou seja, não há uma formulação única; cada situação particular deverá ser analisada em separado.

A noção básica do sistema de medição pode ser entendida, segundo uma visão esquemática, com base no diagrama a seguir:



O objeto de medição pode ser desde uma determinada seção de uma tubulação até toda uma malha de tubulações que constituem a rede de distribuição. G_e representa a magnitude da grandeza de entrada a ser medida, vazão ou pressão por exemplo, e G_s o correspondente valor de saída. Obviamente, se tratar-se de uma seção de tubulação ter-se-ia $G_e = -G_s$. No entanto, se o objeto sob medição for um setor de distribuição, os valores de entrada e de saída poderão ser diferentes, indicando, por exemplo, a possibilidade de existência de vazamentos. Pode-se aqui introduzir a noção de equação da macromedição que é a formulação das vazões afluentes e efluentes constituintes do objeto de medição (setor de distribuição, reservatório, etc). Além da medição em uma tubulação ou em um setor de distribuição, tem-se também a aplicação de medidores, dos mais simples aos mais sofisticados, na determinação da altura da lâmina d'água no interior de reservatórios. O nível da lâmina no reservatório estará, normalmente, associado à medição do volume reservado.

Nas seções subsequentes deste capítulo serão apresentadas de maneira ampla as aplicações desta noção apresentada esquematicamente para sistemas de distribuição.

Cumprir destacar, *a priori*, que a experiência tem demonstrado que o fator humano tem enorme importância no grau de exatidão e confiabilidade de qualquer sistema de medição, do mais simples ao mais complexo. Sistemas de medição bem concebidos e bem implantados podem gerar resultados ruins em função da inadequação da equipe envolvida no cumprimento dos objetivos.

O fator humano é condicionado por uma série de variáveis, dentre as quais pode-se destacar:

- nível de motivação para a atividade;
- nível de agregação da equipe ou sentido conjunto de atuação;
- nível de formação geral e treinamento específico para as atividades;
- entendimento da importância das atividades menores para o cumprimento dos objetivos;
- qualificação e experiência para a implantação do sistema.

3.2 Instalação e funcionamento dos medidores

A correta instalação dos medidores é fundamental para a macromedição. Erros de projeto podem prejudicar sua exatidão e até mesmo inviabilizar seu funcionamento. Não é raro encontrar vários sistemas medidores que, sem medir e desempenhar a função básica para a qual foram destinados, acabam por se constituir em aspecto negativo para o próprio funcionamento do sistema público de abastecimento.

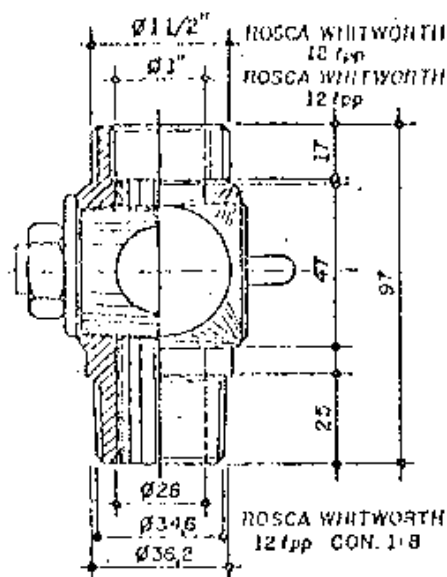
3.2.1 Projeto de instalação dos medidores

Primeiramente é necessário conhecer e obedecer às condições de instalação definidas em especificações técnicas e nos catálogos dos medidores. Aparentemente óbvia, essa recomendação freqüentemente é esquecida perdendo-se recursos importantes e potencial de controle. Além disso os seguintes aspectos devem ser considerados: observar as prescrições para instalação, distâncias ou medidas, em geral definidas em termos de diâmetros em trecho retilíneo, a montante e a jusante do medidor;

- observar o regime hidráulico de funcionamento da rede de tal forma a compatibilizá-lo com o regime e faixas de medição específicos do medidor;
- avaliar cuidadosamente as estruturas auxiliares, sobretudo aquelas relativas à pitometria. A localização dos TAPs, por exemplo, necessita de padrões de instalação tal como no caso dos medidores;
- avaliar preliminarmente as condições de acessibilidade aos medidores tanto para manutenção corretiva quanto preventiva. Por exemplo, medidores tipo Venturi podem ter suas tomadas obstruídas por deposição de material particulado. Neste caso, uma simples injeção de ar comprimido na tomada obstruída pode recuperar o medidor sem maiores intervenções; e
- prever ações que permitam a retirada do medidor, bem como prever dimensões adequadas da caixa e dispositivos associados ao medidor.
- possibilitar a proteção dos equipamentos, tornando impossível ou muito difícil o acesso de pessoas não habilitadas às caixas de proteção. Esta recomendação diz respeito especialmente ao caso de equipamentos e peças mais vulneráveis como, por exemplo, no uso de registradores ou conversores que não estão conectados à tubulação.

A Figura 7 ilustra em detalhe um TAP, também denominado registro de derivação. Trata-se de dispositivo instalado na tubulação em carga, cuja principal função é permitir o acesso ao fluxo interno da tubulação, sem a necessidade de sua paralisação. Dependendo do instrumento de medição utilizado na conexão ao TAP é possível obter-se parâmetros como vazão, velocidade, pressão e dimensão.

Com o advento de circuitos eletrônicos que permitem o registro contínuo de dados, torna-se possível estender a medição, de forma contínua e com uma maior duração.



- REGISTRO DE DERIVAÇÃO DE 26 mm.

Figura 7 - Detalhe do TAP ou Registro de Derivação

Fonte: SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

A Figura 8 apresenta um medidor Venturi, onde o estrangulamento do escoamento provoca um diferencial de velocidade e pressão. O instrumento tem tomadas ou sensores de forma a verificar o diferencial de pressão entre os pontos. A cada valor do diferencial de pressão está associada uma vazão. Atualmente na medição dos diferenciais de pressão tem sido bastante utilizados os transdutores de pressão, conforme exposto na subseção 4.4.3.

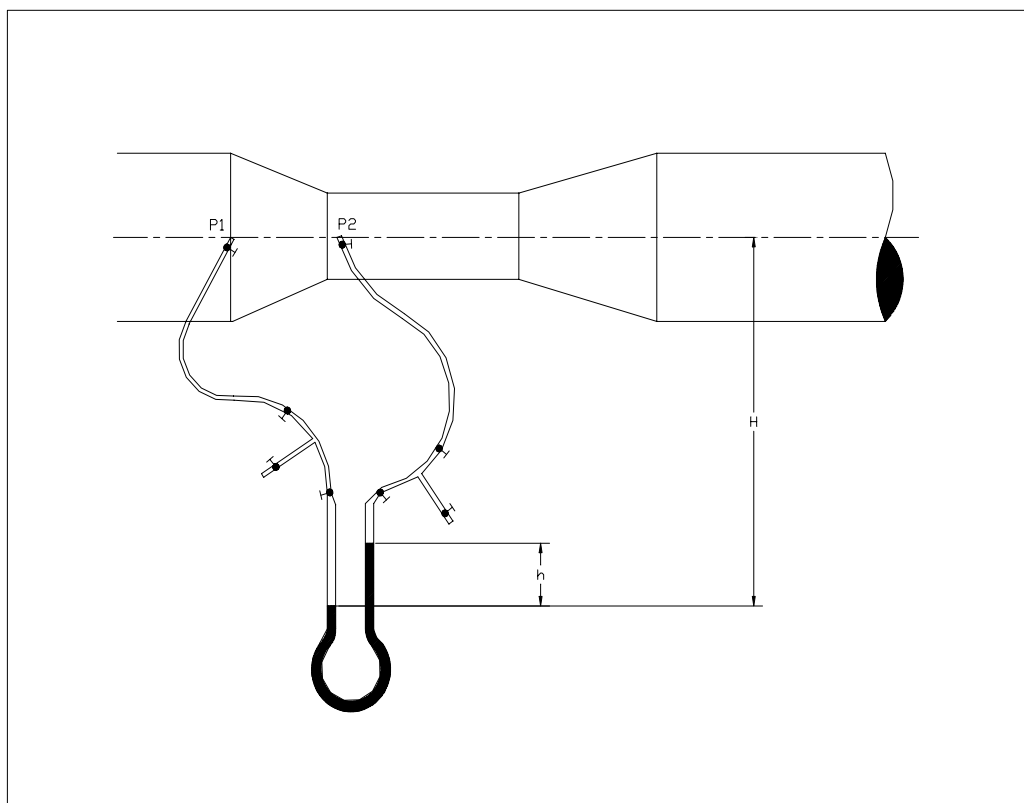


Figura 8 – Medidor Venturi
Fonte: SABESP

3.2.2 Condições para funcionamento adequado dos medidores

Condições hidráulicas adversas podem comprometer o funcionamento do medidor. Cita-se, como exemplo, a presença de ar nas tubulações que pode ter como origem fenômenos não previstos na fase de projeto ou a ocorrência de regimes de operação intermediários, ou seja, com vazões inferiores às previstas para a situação de funcionamento pleno. Tais regimes podem ocorrer, por exemplo, quando do escalonamento de produção de água potável por fases ou ainda quando da implantação de ETA. No caso da presença de ar as indicações do medidor podem flutuar e os números registrados não terão confiabilidade. Já no caso de valores de vazões menores que aqueles previstos para a faixa de vazões correspondentes ao funcionamento pleno, as indicações do medidor estarão afetadas por erros maiores que os previstos para a situação de funcionamento pleno.

É comum a situação em que os sistemas de distribuição passam por processos de adaptação ao crescimento da demanda, bem como por remanejamentos com outros propósitos. Estas evoluções

podem ter sido previamente contempladas no planejamento e no projeto do sistema ou ocorrer de forma não planejada, quando normalmente são necessárias adaptações às estruturas existentes. Em ambos os casos, no entanto, as condições sob as quais os sistemas de medição existentes virão a estar submetidos devem ser cuidadosamente verificadas. Em grande parte dos casos, os sistemas de medição necessitarão ser reprojitados e os medidores e equipamento associados deverão ser substituídos.

Uma situação observada com frequência é a de sistemas de abastecimento onde tanto a rede já existente quanto aquela resultante da expansão funcionam simultânea e integradamente. Nessas condições os sistemas de controle de operação e de medição podem requerer cuidados especiais, mesmo em sistemas de pequeno porte. Recomenda-se explorar as possibilidades de manter o escoamento dentro de faixas compatíveis com os medidores já existentes, projetando sistemas de medição novos para as partes do sistema a serem adicionadas. Eventualmente pode-se ter uma situação em que todas as novas entradas de água no sistema requeiram sistemas de medição.

Entretanto, podem não ser raras situações onde adaptações originadas por novos *lay-outs* do sistema possam ser analisadas, observando padrões técnicos razoáveis, por meio do desenho das estruturas em planta. O novo esquema funcional da rede pode ser obtido, por remanejamento ou segmentação de alguns trechos por meio de manobra de registros, sem que seja necessário o aumento do número de medidores. No caso de sistema de medição instalado na entrada de um setor de distribuição, é fundamental que se garanta o isolamento do setor de distribuição com relação a outros setores. São freqüentes os problemas de avaliação da quantidade de água que abastece um determinado setor dada as interconexões com outros setores, viabilizadas por manobras indevidas de registros.

No caso de setores de distribuição submetidos a campanhas de controle e combate às perdas com base no método da vazão mínima noturna, há que prever um sistema de medição na entrada do setor. Neste caso o dimensionamento do sistema de medição deve levar em conta as faixas de valores de vazão e pressão correspondentes ao escoamento durante o dia e os valores relativos aos períodos de vazão mínima, de madrugada. Frequentemente não é possível trabalhar com um só medidor para atender às duas faixas de vazão mencionadas porque o medidor das vazões diurnas estará operando, à noite, em faixas de valores de vazão onde o erro de medição é muito alto e, por vezes, errático, isto é, não mantém um padrão de repetibilidade ao longo do tempo, quando operando em valores de vazão muito baixos.

Cabe enfatizar a necessidade de verificação da adequação dos sistemas de medição às condições reais de funcionamento do sistema de abastecimento. Assim, é necessário confirmar, antes da instalação dos medidores e equipamentos associados, se o sistema de abastecimento se apresenta nas condições de funcionamento em que foi projetado ou reprojitado, de forma que os sistemas de medição trabalhem dentro das faixas de valores dos parâmetros previstos no dimensionamento. Alterações de projeto no momento da implantação do sistema de abastecimento podem implicar em problemas de sub ou super-dimensionamento, diminuindo ou anulando os efeitos benéficos proporcionados pela medição confiável.

O valor apresentado pelo instrumento (de forma analógica, digital ou por outra forma) como resultado da medição é o produto principal dos sistemas de medição. Portanto, nos casos de leitura direta, ou seja, por observação visual dos valores em campo, é aconselhável que o painel de leitura, também designado por elemento secundário seja colocado em posição que permita fácil visualização. Essa recomendação é particularmente indicada em um grande número de situações onde o medidor e o elemento secundário estão instalados sob a superfície do terreno, em câmaras de concreto ou alvenaria com tampo de acesso. Este cuidado é particularmente importante para medidores de adução e de distribuição.

3.3 Localização e cadastro dos medidores

É observado na prática dos serviços públicos de abastecimento que os medidores relativos aos subsistemas de captação, adução de água bruta e tratamento, têm seu cadastro definido nos desenhos de entrega da obra, onde são apresentadas a posição e outras características relativas a sua instalação real (*as-built*). Esses subsistemas, por sua vez, passam por um número de modificações, ao longo de sua vida útil, relativamente menores que os subsistemas ligados à distribuição.

Já os medidores localizados nos subsistemas de adução de água tratada, reservação e de distribuição, mudam pela própria dinâmica do crescimento da demanda e do crescimento urbano. Por isto é de suma importância manter o cadastro dos medidores permanentemente atualizado.

Uma particular menção deve ser feita aos TAPs. Essas pequenas peças são associadas a um determinado medidor, devendo seu cadastro ser bem definido. Enfatiza-se essa recomendação na medida em que os TAPs são peças auxiliares usadas em procedimentos de medição ou calibração que ocorrem a intervalos de tempo relativamente grandes. Assim, as informações cadastrais relativas aos TAPs tendem a ser negligenciadas ou mesmo perdidas no cotidiano operacional do sistema.

Conjuntos dessas peças são, em geral, utilizadas para calibração de medidores e de sistemas de macromedição, mas podem também servir para medições instantâneas de vazão. Além disso, o advento de circuitos eletrônicos, permitindo o registro contínuo de dados, tornou possível utilizar seções de tubulação dotadas de TAPs e tubos de Pitot como estações medidoras ou, ao menos, como pontos de macromedição auxiliar.

3.3.1 Identificação dos medidores, equipamentos e peças associadas

Usualmente os medidores são denominados pelo bairro ou localidade onde se encontram ou pelo nome do reservatório que serve um determinado setor de distribuição. Esse critério de identificação, apesar de simples e usual, não é eficiente para o controle. Em caso de ajustes, reformulações e expansão do sistema de abastecimento, esse critério causa problemas quanto à denominação a ser usada para identificar os novos medidores ou mesmo com relação aos medidores já instalados.

Deve-se, portanto, adotar uma identificação racional e formal do medidor, equipamentos e peças associadas, de maneira a localizá-los nos subsistemas (da captação ao tratamento e da adução de água tratada a malha de distribuição) de forma integrada a outras informações cadastrais relevantes.

Novamente deve ser destacada a importância da identificação dos TAPs, de forma a caracterizá-los quanto a suas funções e especificidades dimensionais e de compatibilidade a tubos de Pitot.

3.3.2 Dados cadastrais dos medidores

A experiência mostra que todas as informações relativas ao medidor são relevantes: marca, modelo, especificações técnicas, etc., Assim, catálogos e manuais devem ser preservados cuidadosamente, com informações referentes ao elemento primário (medidor propriamente dito) e ao elemento secundário (painel ou dispositivo de leitura, associado ou não a registrador eletrônico).

O registro digital em banco de dados e em mapas georeferenciados são disponibilidades importantes para um adequado gerenciamento de informações relativas ao sistema de medição. Procedimentos integrados de campo e escritório devem ser previstos, caso contrário podem ocorrer diversos tipos de problemas, o mais comum deles, a desatualização dos dados registrados.

A seguir apresenta-se um conjunto de informações associadas aos medidores, necessárias ao controle desses instrumentos de forma a obter um desempenho confiável. Esse conjunto de informações deve ser registrado no cadastro do instrumento.

3.3.2.1 Localização e identificação

A informação visual é a forma mais usual, de fácil acesso e compreensão para o pessoal operacional, de todos os níveis, nos sistemas públicos de abastecimento.

As peças gráficas que localizam e identificam os medidores podem ser elaboradas manualmente para a produção de croquis ou desenhos em planta.

Recursos computacionais vêm crescentemente sendo usados para o cadastro geral de redes e de seus componentes. Cadastros informatizados, contendo desenho em planta com indicação de seus componentes, têm sido elaborados com base em programas computacionais para produção de desenhos, tais como "Autocad" ou "Microstation". Existem, ainda, no mercado pacotes computacionais específicos para cadastramento de rede com recursos apropriados para a localização e plena descrição de medidores.

O emprego de qualquer desses recursos deve propiciar informações suficientes para localizar e identificar o medidor. Entre outros, os seguintes dados são necessários:

- localização geográfica,
- cota de instalação do medidor,
- tipo de medidor,
- especificações técnicas sobre o medidor e equipamentos complementares;
- histórico do funcionamento e dados relativos à manutenção e calibração (ver item abaixo),

Qualquer que seja a forma empregada no registro da localização e identificação é necessário que um procedimento de atualização mantenha o cadastro em plena condição de uso.

Deve-se, ainda, levar em consideração os seguintes aspectos no registro gráfico dos medidores:

- nos subsistemas de adução de água bruta e tratamento uma simples planta ou mesmo um esquema atualizado dos pontos de medição e respectivos medidores podem auxiliar seus respectivos controles. Informações como estado de conservação, funcionamento e mesmo pontos onde a vazão ou volumes são calculados podem ser altamente necessárias à operação;
- o esquema ou planta relativo ao subsistema de adução e reservação de água tratada deve ser elaborado de forma que seja possível definir a equação da macromedição que é, em última análise, a que permite calcular as vazões e volumes que são alocados a cada setor de distribuição. Da sua avaliação pode-se ter, em primeira aproximação, as perdas relativas a esses subsistemas;
- os dados referentes ao subsistema de distribuição são os que exigem informações gráficas e de operação mais minuciosas. É nesse subsistema que os indicadores de perda apresentam maior complexidade de apresentação. Dado que o consumo de água é determinado, sobretudo pela somatória dos volumes micromedidos, a macromedição estará associada à micromedição para o cálculo das perdas nesse subsistema. Nos casos em que as perdas são determinadas utilizando-se distritos de medição (ou distritos pitométricos, conforme for o caso), as informações referentes a grandes consumidores na área de abrangência do medidor devem constar do esquema gráfico. Caso essas informações não estejam graficamente representadas, deverão ser explicitadas com a finalidade de serem consideradas no processo de medição da vazão mínima noturna; e
- a medição do consumo é normalmente feita por meio de micromedidores. No entanto, nos casos que por impossibilidade ou por decisão do prestador de serviços não existam medidores individualizados por ligação, um medidor de maior capacidade pode ser utilizado como

medidor de consumo. Neste caso o cadastro das ligações individualizadas poderia ser anexado ao cadastro deste medidor.

3.3.2.2 Identificação do medidor em campo

Além da identificação por meio de um número associado ao medidor, registrada no seu cadastro, deve-se indicar também no próprio medidor seu número de identificação, o fator K de correlação e a data da última calibração. Deve-se usar uma forma de apresentação do número de identificação que seja prontamente visível e inteligível, segundo padrões uniformizados. As informações devem ser apresentadas por meio de etiquetas, placa metálicas ou plásticas, por exemplo. Requer-se, no entanto, materiais e formas de fixação que propiciem boas condições de leitura e que sejam duráveis.

3.3.2.3 Datas da instalação e de outras operações com o medidor

É importante registrar todas as datas relativas às operações relevantes com o medidor. Destaca-se, em particular, a necessidade de registro das seguintes datas:

- na instalação do medidor;
- nas mudanças de patamar de produção, vazão ou pressão;
- nas remoções do medidor para calibração em bancada ou para manutenção.

3.3.2.4 Calibração em bancada laboratorial e em campo

Em conjunto com o registro da data de calibração, devem ser anotados o fator de correlação K do medidor, determinado em laboratório e os limites para correção do elemento secundário. As calibrações laboratoriais e em campo são momentos particularmente importantes e devem fazer parte do histórico registrado no cadastro do instrumento. Com referência à calibração em campo, deve ser registrado detalhadamente o procedimento utilizado.

3.3.2.5 Atualização

Apesar de parecer óbvio, a experiência prática mostra que a falta de atualização de dados cadastrais é elemento importante na geração do processo de abandono e sucateamento de medidores, pois a perda de informações, muitas vezes, imobiliza o pessoal operacional. Esse processo, não raro, pode engendrar também o rebaixamento da qualidade na prestação do serviço de abastecimento.

3.3.2.6 Outras informações cadastrais

São importantes também os registros de dados relativos à manutenção e análise de desempenho do medidor. Assim, o estado do medidor e as anomalias observadas durante as inspeções devem ser registradas. Da mesma forma, são importantes os registros de anomalias cuja causa está no projeto de instalação do medidor, onde condições como vibração ou problemas de natureza geométrica impedem a calibração.

3.4 Parâmetros a serem medidos

Importa saber quais são os parâmetros de interesse a serem medidos. Nesse caso, busca-se basicamente responder a seguinte questão: o que medir? A resposta depende obviamente dos objetivos e dos recursos disponíveis, conforme exposto anteriormente. No entanto, a prática mostra que cinco parâmetros são normalmente necessários: vazão, volume, pressão e cota da lâmina livre em reservatórios, todos ao longo do tempo.

Um aspecto importante, que será retomado adiante, refere-se à periodicidade e frequência de medição de cada parâmetro.

3.4.1 Vazão

Trata-se de parâmetro dinâmico que, devidamente trabalhado, fornece informações muito importantes, principalmente para a programação da operação do sistema.

Em alguns sistemas, como forma de solução temporária, a vazão calculada pelas curvas características da bomba podem fornecer dados tanto para o tratamento quanto para os outros subsistemas. O cálculo da vazão pela curva da bomba exige que se tenha uma descrição detalhada e sempre atualizada das configurações dos componentes (tubos, conexões, válvulas, etc) e respectivas cotas, de forma a propiciar um correto enquadramento da situação de campo à curva da bomba.

De maneira geral, observa-se no país uma baixa capacidade de reservação de montante, determinando o balizamento da operação pelas vazões demandadas. Nessas condições, para que se implante uma rotina operacional, é necessário atuar sobre os déficits operacionais. O histórico das vazões permite que se estabeleça o consumo base, que, comparado às capacidades relativas ao tratamento e demais unidades do sistema (adutoras, redes, reservação, elevatórias, etc.), permite determinar o déficit real a ser suprido.

A seguir são tecidas algumas considerações sobre a medição de vazão segundo os diversos subsistemas, a saber:

- na adução de água bruta, em particular na captação e no tratamento devem ser considerados a magnitude da vazão captada com relação à disponibilidade do manancial. No caso de captação de vazões relativamente pequenas com relação ao corpo d'água, macromedidores mais simples podem ser utilizados. No entanto, para sistemas de maior porte, principalmente em áreas conturbadas, os usos da água podem ser objeto de disputas e, não raro, acordos sobre o partilhamento da água são celebrados. Nestes casos a medição das vazões captadas assume caráter crítico exigindo medições mais exatas. Como forma de adequação futura à regulamentação do uso da água, as prestadoras do serviço público e abastecimento e demais usuários, eventualmente existentes, deverão dispor de procedimentos de medição de vazão captada, de forma regular e com registros contínuos, bem como manter dados históricos.
- as vazões afluentes à ETA servem à definição das dosagens de produtos químicos e compõe, em conjunto com as medições na saída da ETA, a equação de medição que permite calcular as perdas no processo de tratamento. Assim, para quantificar a perda no processo de tratamento é indispensável a instalação de medidores de vazão na entrada e na saída da ETA. Estações de tratamento em escala piloto podem definir com maior exatidão os fatores relativos às dosagens, controlando com mais certeza a qualidade final da água. Já em regime de utilização em escala real, variações de vazão são freqüentes e instrumentos de medição e procedimentos adequados devem ser previstos. A aceleração e desaceleração do processo devidas a ocorrência de picos de demanda, sazonalidades e atendimento de programações de manutenção em áreas mais ou menos extensas, exigem adequação do instrumental utilizado, segundo a freqüência e as faixas de variação dos valores afluentes.
- a medição da vazão na adução de água tratada e reservação também é condicionada pelas características construtivas e operacionais das estruturas físicas envolvidas. Dada a característica de deficiência de reservação de montante na quase totalidade dos serviços de saneamento no país, as vazões de trabalho na adução de água tratada se baseiam nas demandas de pico de consumo. Não raro, a capacidade de transporte dos sistemas de adução de água tratada são ampliadas com a instalação de boosters e elevatórias. Também, com freqüência, ocorrem ampliações para atender ao crescimento da demanda ou para atender as variações sazonais. Em todos esses casos a medição da vazão deve considerar os valores extremos observados; e
- na rede de distribuição, as vazões, quando consideradas de forma concomitante com as pressões, cotas topográficas e demais informações cadastrais, permitem a modelagem do funcionamento da

malha, tanto para a adução quanto para a distribuição. Sempre que possível, deve-se dispor de medição de vazão na entrada da rede, bem como nos setores internos de medição, se for o caso, visando uma quantificação mais detalhada das perdas reais.

3.4.2 Volume

É o parâmetro usualmente associado à macromedição, considerado como primeira fase a ser estabelecida para qualquer sistema: qual volume é captado, aduzido, disponibilizado? Apesar de aparentemente simples, a resposta esbarra não na falta de equipamentos ou tecnologia, mas na metodologia de definição do objeto da medição e seus requisitos de informação que advém do sistema de medição.

A seguir são consideradas diversas situações onde a medição do volume tem interesse:

- no controle e determinação das perdas o volume deverá ser computado cuidadosamente. As perdas são basicamente calculadas pela diferença entre a somatória dos volumes macromedidos e os volumes micromedidos. Deve-se destacar que as características de integralização dos volumes micromedidos e macromedidos são bastantes diferentes. Entre outros fatores, deve-se atentar para o período de apuração das respectivas medições, tendo em conta que os períodos entre leituras consecutivas usados na micromedição obedecem a condições bastante diversas daqueles usados na macromedição; e
- nas vendas de água potável por atacado a medição do volume é também importante. Nestes casos, a forma mais usual de apuração hoje utilizada é o volume total entregue por atacado ao comprador (Volume Exportado). Em geral o comprador é também um prestador de serviços e revende, por sua vez, a seus usuários. Nas vendas por atacado é usual que a informação não se limite somente ao volume. São também necessários outros parâmetros macromedidos: Volumes disponibilizados, utilizados e faturados, vazões e dados de calibração, dentre outros. Esses elementos são considerados parte do serviço a ser prestado ao comprador.

3.4.3 Tempo

O tempo é o parâmetro mais incidente na macromedição e é a referência básica de análise. Isto ocorre por que parâmetros como vazão ou mesmo volume dissociados do parâmetro tempo ficam sem sentido. Volumes consumidos devem obrigatoriamente ser associados a um tempo ou período de tempo bem definido: volume consumido por dia, por mês ou por ano. As vazões, por sua vez, quando dissociadas do parâmetro tempo não permitem o cálculo do volume. Embora essas considerações soem óbvias, tem-se na prática uma certa dificuldade de ajuste entre períodos de tempo de medições principalmente para comparação de dados macromedidos e micromedidos. Para tornar possível essa comparação ao longo do tempo, é necessário um procedimento contínuo de verificação dos limites físicos dos setores de macro e micromedição, já que ampliações do sistema ou necessidades de interligações entre subsistemas para resolver problemas locais de pressão, por exemplo, implicam em novos sistemas de medição, novas equações de medição, bem como novos ajuste de tempo entre macro e micromedição. A seguir são apresentadas duas situações onde o parâmetro tempo tem particular importância:

- No âmbito do programa de conservação de energia são normalmente oferecidos incentivos tarifários para a redução do consumo de energia nos horários de pico. Assim, é necessário estabelecer o controle horosazonal visando a economia de energia elétrica. Como o controle do consumo de energia reduz substancialmente os custos do prestador de serviços, a seqüência lógica é o controle das vazões em determinados períodos, principalmente nos picos de demanda; e
- em áreas confinadas, por exemplo nos distritos de medição (ou distritos pitométricos), pode-se acompanhar e avaliar a evolução das perdas físicas através da medição da vazão mínima noturna. Tal procedimento, descrito mais adiante, permite o manejo do setor de distribuição, indicando o

melhor momento para adoção de procedimentos mais onerosos, como por exemplo, a pesquisa e conserto de vazamentos. Isso permite reduzir custos operacionais, bem como aumentar a eficiência de combate às perdas.

3.4.4 Pressão

A pressão é um dos parâmetros mais importantes em programas de combate às perdas nos subsistemas de adução e de distribuição. O controle da pressão permite otimizar o funcionamento desses sistemas diminuindo as perdas físicas, bem como os desperdícios no uso em instalações prediais, com abastecimento direto da rede. No entanto, ao contrário dos parâmetros anteriores, não existe uma tradição do uso disseminado desse parâmetro no âmbito dos serviços de saneamento. Ao contrário da vazão e do volume, mesmo os prestadores de serviços que trabalham com o parâmetro vazão, não têm séries históricas e metodologias consolidadas para seu uso de forma sistemática.

A utilização dos dados de pressão vem ocorrendo em casos específicos, como na implantação de válvulas redutoras ou reguladoras de pressão, *booster* etc.

O parâmetro é também importante na micromedição já que testes realizados em hidrômetros, sugerem perda de exatidão de medição em pressões elevadas.

Uma outra consequência aparece em estudos da IWA (International Water Association). Esses estudos mostram que grandes variações de pressão geram aumento significativo no número de vazamentos, por fadiga das tubulações. Com referência às práticas mais largamente estabelecidas nos sistemas públicos de abastecimento no Brasil, no que concerne à pressão, percebe-se que os estudos da IWA apontam para a necessidade de serem estabelecidos procedimentos de gerenciamento e controle da pressão na rede que hoje pode ser considerado ainda incipiente.

Torna-se necessário, portanto, atuar sobre o parâmetro pressão de forma mais incisiva. A partir do conhecimento e definição das zonas de pressão em uma dada rede de distribuição, deve-se estruturar um sistema de monitoramento de pressões, possibilitando o acompanhamento da rede ao longo do tempo, com particular atenção aos pontos críticos da mesma. Dados obtidos nesses levantamentos, em associação com outros parâmetros, permitem encetar ações mais específicas na adequação dos parâmetros, de forma a propiciar condições adequadas de abastecimento e redução de vazamentos.

3.4.5 Cota da lâmina livre em reservatórios

O conhecimento do nível d'água em reservatórios possibilita um controle adequado do desempenho do sistema de abastecimento, garantindo a continuidade no abastecimento e manutenção da vazão e pressão em faixas adequadas. Permite, ainda evitar extravasamentos, que podem ter grande impacto nas perdas reais de um sistema.

Dependendo de relações entre custo e benefício e havendo disponibilidade financeira, o controle do nível, pode ser realizado segundo procedimentos diversos, dependendo dos instrumentos e equipamentos utilizados. Citam-se:

- controle visual com manobra nos registros de entrada e saída, associado ao acionamento e desligamento de bombas;
- associação de bóias ou sensores de nível eletromagnéticos a válvulas do tipo controladora de nível;
- sistemas de medição de nível com transmissão de dados por sistema telemétrico, associados a procedimentos de intervenção de equipes ou manobras à distância, por telecomando.

3.5 Recursos humanos

A experiência tem demonstrado que o fator humano é preponderante no estabelecimento do grau de exatidão e confiabilidade de qualquer sistema de medição, do mais simples ao mais complexo.

Sistemas de medição bem concebidos e bem implantados podem gerar resultados ruins em função da inadequação da equipe envolvida no cumprimento dos objetivos.

O fator humano é condicionado por uma série de variáveis, dentre as quais pode-se destacar:

- nível de motivação para a atividade;
- nível de agregação da equipe ou sentido conjunto de atuação;
- nível de formação geral e treinamento específico para as atividades;
- entendimento da importância das atividades menores para o cumprimento dos objetivos;
- qualificação e experiência para a implantação de sistemas.

A seguir são abordadas situações onde a participação de pessoal e sua correlação com sistemas mais ou menos sofisticados têm destacada importância.

3.5.1 Leituras em sistemas convencionais

No conjunto dos serviços públicos de abastecimento no Brasil, predominam as leituras de sistemas de macromedição realizadas pelo pessoal operacional da própria entidade prestadora do serviço. Pode-se afirmar que, de uma maneira geral, o profissional de operação executa esse serviço como parte menor de suas atividades, o que pode resultar no rebaixamento do *status* da atividade, bem como em baixa qualidade das leituras.

Nessas circunstâncias os valores lidos e registrados exigem atividades adicionais de verificação e validação, bem como de desenvolvimento da capacitação do pessoal. Assim, é necessário que na apuração e processamento dos dados seja avaliada sistematicamente sua consistência.

A superação desses retrabalhos exige a implantação paulatina de atividades de treinamento e desenvolvimento dos profissionais de operação, com a finalidade de destacar e valorizar os procedimentos de macromedição e o papel do profissional no controle do sistema de medição e na qualidade dos dados, visando aumentar a eficiência do serviço público de abastecimento.

3.5.2 Medição em sistemas automatizados

São poucos os serviços públicos de abastecimento que contam com automação extensiva e total em macromedição. Aumentam significativamente, no entanto, os sistemas parcialmente automatizados.

A adoção da alternativa tecnológica da automação, corresponde à redução das atividades de leitura e à ampliação, obrigatória, do quadro de profissionais especializados em instrumentação e manutenção, geralmente com formação escolar em eletrônica, automação e mecânica fina, no nível de 2º grau.

Graus superiores de confiabilidade em sistemas automatizados exigem procedimentos específicos de vistorias e adoção de procedimentos de manutenção preventiva e preditiva.

Sistemas de abastecimento altamente complexos em regiões urbanas intensamente adensadas normalmente enfrentam problemas adicionais comuns a grandes centros urbanos. O deslocamento pela malha viária é um desses problemas, que, aliado ao grande número de atividades próprias a esses sistemas, reduz a disponibilidade efetiva de tempo para a operação eficiente, dificultando as possibilidades de manobra em função da disponibilidade de tempo. Esse é, naturalmente, um quadro desfavorável à leitura periódica e criteriosa dos macromedidores. Nesses casos é oportuno automatizar, pelo menos parcialmente, o sistema de macromedição.

3.5.3 Instrumentação

Qualquer que seja o grau de complexidade de um sistema de abastecimento, a rigor, nenhum pode prescindir de instrumentação, ou seja, de um sistema de medição que recorre a instrumentos ou equipamentos, por mais simples que sejam, destinados à medição e controle do sistema.

Pode-se diferenciar dois grupos de profissionais envolvidos com a instrumentação: pessoal que opera os instrumentos em campo fazendo leituras e manutenção e um outro grupo formado pelo pessoal responsável pelas atividades de caráter de verificação metrológica, em laboratório e em campo. Esse último grupo caracteriza-se por um conhecimento mais aprofundado sobre os instrumentos, equipamentos e peças associadas. Esse conhecimento diz respeito, por exemplo, às correlações entre o elemento primário, ou seja, o instrumento propriamente dito, e o elemento secundário que transforma os sinais do elemento primário em formas manuseáveis, por exemplo, valores numéricos. Pode-se designar esse último grupo de profissionais como instrumentistas.

O desenvolvimento das técnicas de medição requer instrumentistas que sejam capazes de assegurar um certo grau de confiabilidade com referência ao funcionamento dos sistemas de medição. Em particular as correlações entre os elementos primário e secundário devem estar sob permanente controle.

Na situação típica, tem-se os valores de vazões e volumes inferidos a partir de medições de velocidade, diferencial de pressão ou potenciais dielétricos. É, assim, imprescindível obter uma garantia sobre as correlações existentes entre as medidas inferidas e as características específicas dos elementos primário e secundário utilizados na medição.

Entre as ações específicas dos instrumentistas, citam-se os procedimentos que combinam aferições em bancada laboratorial e verificações levadas a cabo periodicamente pela pitometria e que podem resultar em alteração do fator de correlação K do medidor ou do elemento secundário.

3.5.4 Controle de perdas

Os profissionais que atuam na macromedição são responsáveis por definir o volume disponibilizado a uma determinada área objeto de controle e medição. É prática corrente em um grande número de serviços públicos de abastecimento que a micromedição seja responsabilidade de um outro setor da entidade prestadora do serviço, distinto daquele que lida com a macromedição e que prioriza o aspecto comercial, administrando o cadastro de usuários, de hidrômetros, cobranças, procedimentos de leituras de hidrômetros, etc.

A perda de água em um certo setor e em um certo período é calculada pela diferença entre o volume disponibilizado, medido pelo pessoal responsável pela macromedição, e o volume consumido, resultado da somatória dos valores micromedidos. Dois problemas são bastante freqüentes neste cálculo, aparentemente simples:

- a área ou setor objeto de controle do pessoal operacional responsável pela macromedição pode não ter plena correspondência com as delimitações de áreas estabelecidas pelo pessoal responsável pela leitura de hidrômetros e
- os períodos de tempo usados pelo pessoal da macromedição para totalizar o volume disponibilizado não coincidem, na maior parte dos casos, com os períodos usados nas totalizações efetuadas pelo pessoal responsável pela micromedição.

A não coincidência de áreas de sistemas de distribuição, bem como de períodos temporais tem suas conseqüências agravadas pelo fato da diversidade de culturas ou práticas cotidianas entre as equipes afetas a cada setor. Observa-se com freqüência que o pessoal operacional é voltado para garantir a prestação do serviço de abastecimento. Já o pessoal da área comercial objetiva o melhor desempenho

na cobrança pela prestação do serviço. Ou seja, prevalecem enfoques específicos que, na prática, dificultam o estabelecimento de uma cultura de eficiência global na prestação do serviço de abastecimento.

Para que seja possível o cálculo das perdas de água e seu controle efetivo, é fundamental que haja pleno controle dos sistemas de macromedição e de micromedição, garantindo-se a simultaneidade dos valores computados e a mesma base física de controle. Principalmente no que tange à simultaneidade de períodos temporais de controle, essas condições são muito difíceis de serem obtidas, mostra a prática de funcionamento dos sistemas de abastecimento.

Admitindo como passível obter a coincidência da base física do sistema sob monitoramento, deve-se cogitar intervalos de tempo que minimizem os efeitos da não coincidência de datas de início e término dos cálculos em questão.

O cálculo do indicador em períodos mensais traz inconstância de resultados e variações inexplicáveis, seja pela incompatibilidade de períodos de tomada dos dados primários de macromedição e micromedição seja pela variação sazonal do consumo.

Uma forma de estabilizar e dar consistência às comparações e cálculos é possível adotando-se períodos de 1 ano, ou seja, considerando os valores “anualizados” dos volumes ou, ainda, considerando o período dos doze meses anteriores ao momento do cálculo. Os cálculos com base em períodos de um ano diminuem bastante os efeitos das diferenças entre os períodos do cálculo dos valores na macromedição e na micromedição e geram tendências menos suscetíveis a oscilações, o que é muito mais condizente com o controle e a gestão de perdas.

Uma alternativa é realizar o cálculo pela média móvel dos últimos três meses, ou seja, computando periodicamente valores e efetuando os cálculos com base nos três meses anteriores, o que amortece as grandes oscilações mensais e possibilita uma avaliação de um período ainda relativamente curto (um trimestre).

A alternativa de cálculo anual permite uma avaliação global com característica de maior estabilidade ou manutenção de tendências. Já a avaliação pela média móvel trimestral permite tomadas de decisão que se imponham de forma mais imediata.

Entre as alternativas para determinação de perdas físicas, bem como para seu controle e tomada de decisão quanto às ações de combate às perdas, cita-se o monitoramento das vazões noturnas em setores fechados, empregando o método da vazão mínima noturna. O emprego desse método pode prescindir da coincidência de intervalos de tempo entre macromedição e micromedição, desde que os valores de vazão do consumo noturno dos usuários, individualmente ou tomados em termos de valores médios, tenham sido previamente determinados. O método da vazão mínima noturna é um poderoso instrumento para a conservação de água nos sistemas de distribuição, mas requer cuidadoso controle de uma série de fatores componentes que interagem.

O método da vazão mínima noturna requer um grau de integração menor entre o pessoal responsável pela macromedição e pela micromedição. Na aplicação sistemática do método, os recursos humanos que atuam na operação e macromedição têm ascendência maior no seu desenvolvimento. No entanto, o método, não dispensa os recursos humanos responsáveis pela micromedição, seja na fase da aplicação sistemática do método e, principalmente, nas fases preliminares quando os valores de consumo noturno dos diversos usuários de um determinado setor são determinados.

3.5.5 Pitometria

Apesar do nome tradicional das campanhas de medição aludir ao uso de tubos de Pitot, utilizam-se, também, outros tipos de medidores com princípios de funcionamento diferentes. É o caso dos

micromolinetes, ultra-sônicos e eletromagnéticos. Dada a tendência da inovação nos sistemas de medição e o crescimento do grau de sofisticação envolvido, fica clara a necessidade da atualização técnica do pessoal envolvido.

As atividades de medição, no cotidiano de atividades observadas nas prestadoras dos serviços públicos de abastecimento, envolvem profissionais da operação do sistema, instrumentistas vinculados a medições e calibrações de campo ou laboratório, bem como, profissionais que manuseiam e organizam os dados obtidos, procedendo aos cálculos necessários. Dado que essas categorias de profissionais trabalham sob um objeto comum, é indispensável a integração dos mesmos, de forma que os resultados finais obtidos sejam produto de ações harmoniosas, concatenadas segundo procedimentos bem definidos e aceitos pelos profissionais envolvidos. Uma tendência observada é a do trabalho conjunto das equipes de pitometria com o pessoal de instrumentação e macromedição, eventualmente até sob um mesmo setor da estrutura administrativa da prestadora do serviço de abastecimento.

Os profissionais treinados para o desenvolvimento de campanhas de medição devem possuir conhecimentos de hidráulica e do processo e sistemática de calibração de medidores. Os cálculos e estudos devem ser realizados por pessoal com formação adequada. Além do conhecimento teórico, os profissionais devem ter habilidades e desenvoltura de trabalho em campo. O grau de exatidão e a confiabilidade dos dados da macromedição depende em muito desse conjunto de capacitações.

Sugere-se que a validação das medições e cálculos desenvolvidos pela prestadora do serviço de abastecimento, contem com a supervisão e/ou assessoria de profissionais ligados a instituições de reconhecida competência em metrologia de sistemas hidráulicos ou, ainda, pessoal certificado pelo INMETRO especificamente para as funções em questão.

Na atualidade, com a entrada em cena das agências regulatórias do setor do saneamento ou de recursos hídricos, antevê-se, também, a necessidade de sistemas de medição implantados e controlados segundo parâmetros técnicos de eficiência que venham a ser estabelecidos segundo padrões determinados e que poderão ser objeto de auditorias. Assim, novos patamares de eficiência dos serviços de abastecimento serão requeridos, tendo como contrapartida nas prestadoras de serviço, a consolidação de sistemas de medição e, muito provavelmente, a necessidade de readequação e elevação do nível técnico dos profissionais envolvidos.

3.5.6 Oficina de pitometria ou laboratório de macromedição

A oficina de pitometria em nada difere da oficina de instrumentação e podem, dependendo da escala de serviços, se constituir numa única unidade.

Cumprir lembrar que sob a denominação “oficina” incluem-se também as atividades de caráter metrológico do tipo laboratorial. Dessa forma, seria mais apropriado adotar a denominação “laboratório de macromedição” em substituição a “oficina de pitometria”. Esta última designação guarda relação com funções de manutenção que não se equiparam, em nível de importância, com as atividades metrológicas subjacentes ao termo “laboratório”.

Apesar da baixa afinidade do tema com os propósitos deste capítulo, cumpre alertar, de forma enfática, que o uso de mercúrio e dos chamados “líquidos manométricos” deve ser abolido definitivamente, sob risco de impactos sanitários e ambientais bastante danosos. Alternativas, respeitando critérios de salubridade humana e ambiental, acham-se disponíveis no mercado. Diversos equipamentos, incluindo aqueles que utilizam intensivamente aparato eletrônico, foram desenvolvidos para substituir os tubos U ou tubos Pitot.

3.6 Manutenção

As atividades de manutenção dos sistemas de medição, como em quaisquer outros sistemas, visam manter as características originais desses sistemas e, em particular, são atividades que procuram reproduzir a exatidão e repetibilidade originais dos dados provenientes dos medidores, ao longo de sua vida útil.

As atividades de manutenção dos sistemas de medição sofrem de um problema associado à atividade de medição em si mesma. A macromedição, observa-se na prática cotidiana de diversas prestadoras do serviço, não é considerada no mesmo patamar de importância que as atividades de operação em geral. Dessa forma, a dificuldade ao lidar com esse tema, não é definir os planos de manutenção e controles, mas sim elevar a importância da atividade de macromedição tanto ou mais que as outras atividades de operação.

3.6.1 Manutenção preventiva e calibração

A melhor manutenção preventiva é aquela feita pelo próprio operador do sistema de abastecimento, no cotidiano de suas atividades em campo.

A manutenção preventiva envolve desde a limpeza e manutenção do local onde está situado o medidor, até sua revisão geral, realizada periodicamente.

Observa-se que operações simples, mas fundamentais, são com frequência relegadas a um segundo plano. Por exemplo, a limpeza e conservação do local da instalação, operação aparentemente banal, é fundamental tanto para a qualidade das leituras quanto para a avaliação de problemas que podem passar despercebidos. Registre-se que a manutenção da limpeza é um dos procedimentos padrão no âmbito da implantação de sistemas de qualidade.

A calibração, enquanto atividade de manutenção, deve ser efetuada segundo períodos determinados, de acordo com o tipo de instrumento e equipamentos associados. De uma forma geral, recomenda-se que seja procedida com periodicidade mínima anual. Dado o caráter periódico, as calibrações devem compor o quadro de trabalhos contínuos, presentes, por exemplo, em uma agenda rotativa, vinculada ao sistema cadastral descrito em 2.3.

Um problema recorrente na manutenção de macromedidores é a dificuldade de deslocar os medidores para calibração em bancada, quer pela carência de laboratórios adequados, quer pelas dificuldades operacionais de se retirar medidores de grande diâmetro da linha sem prejudicar o abastecimento.

No Brasil, a calibração em laboratórios independentes, plenamente capacitados e dotados de bancada com atributos de rastreabilidade, i.e., laboratório de referência, só é possível em macromedidores para tubulações de diâmetro nominal de, no máximo, 250 mm.

A maioria das companhias de saneamento de porte médio ou grande possui bancadas de calibração adequadas a medidores até 200 mm ou 300 mm, existindo ainda laboratórios privados que podem fazer tal calibração em bancada. Acima desse diâmetro, apenas alguns fabricantes possuem instalações adequadas no Brasil. Medidores de diâmetros muito grandes (maiores que 1 m) terão como alternativa apenas bancadas no exterior.

No caso de prestadores do serviço de abastecimento de médio e grande porte que contam com bancada própria, recomenda-se adotar como regra geral a calibração anual em bancada dos medidores de diâmetros inferiores a 300 mm.

Na ausência de bancada própria, laboratórios devidamente capacitados podem ser contratados para a calibração. Caso as condições operacionais ou a situação da instalação do macromedidor não permita sua retirada para calibração em bancada, deve-se realizá-la em campo por meio de estação pitométrica associada ao medidor.

No caso de tubulações de diâmetros superiores a 250 mm a calibração em campo, utilizando estações pitométricas, é a alternativa mais freqüente e adequada. Tais estações devem ser regularmente previstas no projeto do sistema. As instalações de medidores *a posteriori*, devidas a reformulações do sistema, devem também contar com projeto específico.

Cabem aqui algumas reflexões sobre as expectativas geradas quando da utilização de instrumentos de medição de diversa faixa de exatidão. A existência no mercado de macromedidores com faixas de exatidão bastante diferenciadas induz operadores, projetistas de sistemas de distribuição e outros agentes a concepções errôneas, principalmente no que tange ao grau de confiança que o operador tem sobre os valores do conjunto de parâmetros de controle do sistema de abastecimento.

Sabe-se, por exemplo, que a medição de vazão por mapeamento pitométrico é um método de exatidão raramente melhor que 2%, mesmo quando em situações de escoamentos estáveis e longos trechos retos. Por outro lado, sabe-se que a exatidão nominal de um medidor eletromagnético, por exemplo, chega a 0,5% do valor indicado. A existência de medidores com essas faixas de exatidão tem como consequência uma tendência de privilegiar o instrumento de maior exatidão sem que outras considerações de caráter técnico, operacional e técnico, sejam agregadas a uma avaliação mais integrada.

Destacam-se aqui três princípios para discutir e melhor balizar soluções precipitadas e simplistas sobre a escolha de instrumentos de medição em um contexto de combate às perdas na rede:

- emprego de instrumentos de alta exatidão nominal, não têm sua propriedade devidamente aproveitada em contextos de medição mal definidos, isto é, em sistemas de medição que não guardem respeito à uma lógica bem estabelecida, com referência ao sistema físico real e que seja passível de ser representada por uma equação de medição de caráter inequívoco;
- a eficácia de um programa de combate às perdas na rede, assenta-se principalmente sobre um conjunto de procedimentos bem definidos e operados, entre os quais figura a medição com instrumentos e equipamentos de faixa de exatidão conhecida, cujas características de repetibilidade são fomentadas por um programa de manutenção sistemático, periodicamente aplicado;
- o estado-da-arte da macromedição praticada no Brasil, permite afirmar que nenhum tipo de medidor instalado em campo deve ser considerado indefinidamente inalterado quanto à sua faixa de exatidão ao medir. Ou seja, a calibração sistemática e periódica deve ser praticada quaisquer sejam os medidores instalados.

Deve também ser lembrado que um grande número de problemas relativos às medições com instrumentos de alta exatidão nominal, tais como medidores eletromagnéticos e ultrassônicos, têm sido relatados, muito embora estudos extensivos e bem circunstanciados sobre as causas desses problemas ainda estejam por ser feitos.

Ressalva-se e enfatiza-se que não se trata de uma afirmação genérica relativa à qualidade de tais instrumentos, quaisquer sejam os diâmetros ou características peculiares de cada fabricante e, muito menos, dizem respeito ao princípio físico que exploram na medição de parâmetros do escoamento. Trata-se de afirmação decorrente de casos concretos que têm sido relatados em encontros técnicos com a participação de experientes profissionais, consultores e operadores de sistemas de abastecimento, não obstante a ignorância sobre as correlações existentes entre um grande número de fatores intervenientes.

No caso da primeira instalação de um macromedidor, a recomendação aplicável, qualquer seja o tipo de instrumento, é a exigência da calibração inicial. Eventualmente, pode ser possível ou desejável a calibração ou inspeção da calibração junto ao fabricante do instrumento. Em todos os casos, é

oportuno lembrar, a calibração por laboratório capacitado, se possível independente, deve ser um requisito indispensável das condições de compra.

Adicionalmente, vale a regra geral, de verificação anual em campo por pitometria para medidores de grande diâmetro. Se as medições pitométricas indicarem problemas de maior monta, os medidores deverão ser retirados e recalibrados em bancada.

Em regiões metropolitanas, encontra-se com certa frequência a situação de venda de água potável por atacado. Nesses casos, as medições dos macromedidores limítrofes aos sistemas, destinados ao registro de volumes de água comercializada por atacado, exigem procedimentos técnicos aceitos de comum acordo entre vendedores e compradores.

Para macromedidores de pequeno diâmetro o procedimento, no que respeita à manutenção, pode se assentar em calibrações em bancada realizadas pelo menos uma vez por ano, por exemplo.

A solução de maior nível de confiabilidade e com alto grau de exatidão, oferecida pela calibração em bancada, nem sempre é exeqüível. Na comercialização de água por atacado ocorre com frequência o emprego de macromedidores de grande diâmetro. Nessa circunstância, a calibração em campo, usando estação pitométrica, se fará necessária. Enfatiza-se novamente a necessidade de manter a periodicidade mínima de um ano entre calibrações.

Na comercialização de água por atacado, é aconselhável que a calibração seja realizada por laboratório independente ou, na sua ausência, por equipe mista de técnicos das entidades vendedora e compradora.

3.6.2 Manutenção preditiva

Considera-se manutenção preditiva aquela que é feita em função da tendência de indicadores ou parâmetros obtidos do sistema. O principal sinal de perda de eficiência do medidor é percebido pelos próprios dados de leitura, quando ocorre uma variação ou tendência em relação aos registros históricos, por exemplo quando as medidas vão diminuindo sistematicamente mês a mês. Eliminadas as hipóteses de erro e o efeito sazonal, é possível detectar não-conformidades e planejar ações de manutenção.

A aplicação de técnicas de manutenção preditiva depende também do tipo de macromedidor utilizado e do conhecimento sobre seu comportamento ao longo do tempo.

Medidores tipo Venturi podem demonstrar um entupimento progressivo de suas tomadas pela redução dos valores lidos, enquanto que em um medidor magnético pode acontecer o contrário, ou seja, um aumento dos valores lidos, devido ao acúmulo de sedimentos.

O advento de medidores com saída eletrônica e leitura remota contínua permitiu a aplicação mais sistemática de procedimentos de manutenção preditiva, a partir da análise do sinal de saída (por exemplo, quando ocorrem flutuações, ruídos e variações repentinas). Alguns fabricantes oferecem, juntamente com o medidor, programas computacionais de acompanhamento do sinal que podem identificar a necessidade de manutenção ou calibração.

Um bom plano de manutenção preventiva/preditiva pode ser um fator de grande economia para o prestador dos serviços, não só por evitar a perda dos valores medidos durante o período de falha mecânica do medidor, mas também porque os custos de reparo dos aparelhos que nunca passaram por revisão e apresentam mal funcionamento é normalmente mais elevado, exigindo, na maioria das vezes, a substituição do equipamento em situações nas quais o prestador dos serviços não está preparado.

3.6.3 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é necessária quando ocorre um defeito claro que demanda uma ação direta, como por exemplo o entupimento de tomadas de pressão ou quebra de um medidor Woltmann.

É considerada manutenção corretiva a substituição ou reparo *in loco* do elemento secundário do medidor, assim como a limpeza das tomadas do elemento primário com ar comprimido. Já a limpeza interna, incluindo eventuais desincrustações do medidor, pode ser considerada extensiva e deve ser programada em conjunto com a operação, pois normalmente requer a parada da linha.

Eventualmente os medidores, necessitam de reformas ou recondicionamento exigindo sua remoção para reparo em oficina. Recomenda-se, nesta oportunidade, calibrá-lo em bancada.

É uma boa prática manter sempre alguns medidores de capacidades diversas em reserva para substituição de instrumentos retirados para calibração, reparo ou outro motivo, de forma a evitar períodos sem medição.

No caso de medidores de maior diâmetro e em linhas de importância especial, como na comercialização de água por atacado, é recomendável prever uma linha paralela, tipo *by pass*, com macromedidor.

3.6.4 Pitometria e calibrações sistêmicas

Sistemas produtores de maior porte, ou mesmo sistemas de adução com diversos pontos de medição, devem ser periodicamente avaliados quanto ao grau de exatidão da medição e quanto ao seu funcionamento propriamente dito. Para tanto, é necessário desenvolver campanhas periódicas de pitometria ou calibração.

No caso de sistemas de médio porte faz-se a calibração simultânea de diversos medidores tomando como referência o medidor de saída da ETA. Este registra os diversos valores de vazão: máxima, mínima, nominal, etc. Os valores de vazão indicados pelos medidores instalados a jusante da ETA são vinculados às vazões do medidor de saída da ETA por meio de uma equação de medição. A leitura simultânea permite fazer a avaliação global da exatidão do sistema de medição, além de fornecer parâmetros operacionais básicos sobre o trecho ensaiado.

Posteriormente, por meio de modelagem hidráulica, torna-se possível otimizar a veiculação de vazão, reduzir o consumo de energia, direcionar ou priorizar determinadas áreas. O principal resultado é a avaliação do sistema de macromedição quanto a sua exatidão global, que difere da exatidão individualizada de cada medidor.

Em regiões metropolitanas é usual a presença de grandes sistemas de tratamento de água ou sistemas de tratamento integrados com tubulações de adução comuns. Essas regiões, contando com vários sistemas produtores e grande número de pontos de medição setorial, demandam campanhas de medição mais complexas e elaboradas na medida em que é impossível uma calibração simultânea do sistema de medidores.

A consistência dos dados, seu meio de transmissão e o banco de dados devem ser analisados. Os períodos de calibração devem ser compatibilizados e adequados de forma a obter a incerteza do sistema de macromedição.

Em particular, no caso de medidores Venturi, foram desenvolvidos recentemente conceitos de K variável em função da faixa de vazão, o que possibilita maior exatidão. Esse conceito pode ser aplicado às novas estações remotas autônomas do elemento secundário.

Da correta definição da incerteza do sistema de macromedição depende a avaliação coerente dos Indicadores que são calculados a partir da macromedição como: a eficiência de adução, operacional; perdas globais etc.

A incerteza não determina o volume medido, mas define o risco da análise feita sobre os indicadores correlacionados. Assim é temerária a aceitação de análises, por exemplo: de crescimento de demanda ou indicadores de perdas etc quando são calculados a partir de dados advindos de sistemas com incerteza alta.

Para o controle de perdas além das calibrações de medidores, devem ser verificados os limites do setor, este deve ter todas suas saídas medidas de forma a garantir o controle da vazão entregue ao setor.

Com o advento de acumuladores de dados e equipamentos de medição de vazão, pressão é possível realizar-se campanhas de coleta de informações para modelagem do sistema de adução e reservação, possibilitando planejar a operação para atender demandas de pico, eventos não rotineiros e manutenção.

Para controle de perdas, recomenda-se, com especial ênfase, definir as faixas de operação por medidor. Nestes, a variação de vazão e pressão não deve ser muito diferente dos valores desses parâmetros nos quais o instrumento oferece a exatidão requerida. E reduzir-se a pressão estática da rede durante os períodos noturnos das áreas sem demanda reprimida para diminuir os volumes mínimos noturnos associados a perdas.

3.7 Aquisição e tratamento dos dados

Os dados obtidos constituem-se no principal produto do sistema de medição. São importantes para uso imediato, bem como para serem organizados na forma de banco de dados. Portanto, os dados obtidos pelo sistema de medição devem ser preservados, de forma organizada.

A forma como são coletados, processados e arquivados pode ser considerada como a parte mais relevante de todo sistema de macromedição. Devidamente tratados, podem preservar e otimizar a aplicação de recursos e fornecer informações fundamentais para o planejamento do serviço de saneamento.

3.7.1 Registro histórico - banco de dados

O fator mais importante a destacar é o registro dos dados e das informações de forma sistemática, segundo um procedimento formalmente definido e operado. Assim, informações tais como dados cadastrais do medidor, data de instalação do medidor, datas de calibração, valores obtidos em campanhas de medição, etc. fazem parte do registro.

É possível, com certo rigor, resgatar informações importantes sobre a operação. Mesmo que os dados sejam obtidos por um determinado tipo de medidor, e posteriormente o medidor seja substituído por outro mais adequado ou tecnologicamente mais avançado, a série obtida, apesar da troca realizada, pode ser utilizada.

3.7.2 Sistema informatizado

A informatização da macromedição permite obter e registrar dados criando séries históricas, desenvolver estudos e apresentar soluções de forma mais rápida e mais elaborada. É fundamental, no entanto, ter em conta que a informatização em si pode não levar a bons resultados, ou seja, se o sistema de macromedição é desorganizado, possui baixa exatidão ou exatidão desconhecida e é

deficiente na cobertura do sistema de abastecimento, não haverá melhora apenas com a sua informatização.

É mito corrente que a tecnologia de ponta, computadores e equipamentos de última geração, organizam, controlam e apontem solução para todos os problemas. A rigor, em tais sistemas, pode ocorrer somente a melhoria na velocidade com que transitam as informações. Caso não haja um sistema de controle de informações transmitidas de uma base física bem conhecida e coordenada, os sistemas informatizados apenas dinamizam o funcionamento do sistemas, veiculando conteúdos errôneos.

3.7.3 Alimentação dos dados de vazão

Visando dar maior grau de confiabilidade à apuração das vazões captadas, produzidas e entregues à distribuição, deve-se, conforme disponibilidade de dados, estabelecer uma seqüência na ordem crescente de prioridade na utilização de dados de vazão da seguinte forma:

- uso de vazão estimada pelo número de horas de funcionamento de sistemas de bombeamento de água bruta ou tratada;
- uso de vazões de estações pitométricas com registro contínuo de 1 dia;
- uso de vazões de estações pitométricas com registro contínuo de 7 dias;
- uso de vazões de estações pitométricas com registro de 30 dias;
- uso de vazões de macromedidores com registro contínuo.

3.7.4 Central de controle operacional

A partir de informações da captação de água bruta, da ETA, dos pontos de medição, do nível de reservatórios e de outros dados é organizada a central de controle operacional - CCO. É previsível que pequenos sistemas prescindam de uma central, mas para as grandes cidades é praticamente impossível operar-se sem o auxílio de pelo menos uma central de controle.

Sob o ponto de vista de controle de perdas, a correta operação evita que haja sobrecarga ou sobrepressão em determinado setor e falta d'água em outro. Em situações extremas o descontrole sobre a operação pode levar, por exemplo, a extravasamentos de certos reservatórios enquanto que em outros há falta d'água. O papel da central, nesses casos, é da maior importância para a organização e otimização da operação.

3.7.5 Transmissão de dados

São diversas as possibilidades hoje disponíveis para transmissão de dados de campo para uma central de controle, a saber:

- sistema telefônico direto, ou seja ligação direta do leiturista para a área de controle (sistema convencional mais utilizado);
- sistema telefônico com linha privativa para transmissão exclusiva de dados;
- sistema telefônico de linha convencional e linha especial compartilhadas (sistema *scada*);
- transmissão direta por cabo (normalmente recomendada para pequenas distâncias);
- sistema de rádio-transmissão (tem apresentado dificuldades devido à organização do sistema de freqüências); e
- transmissão via canal de satélite (apresenta o inconveniente de ser bastante caro).

4. INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS

Diversos instrumentos podem ser aplicados nos sistemas de medição dependendo do local, tipo de água (bruta ou tratada), conduto aberto ou fechado e medições pretendidas.

A seguir é apresentado um resumo dos diversos instrumentos disponíveis, suas aplicações, limitações e outras características. Conforme se destacou no início deste DTA, procurou-se incluir o conjunto de instrumentos e equipamentos complementares, tradicionais e inovadores. Quanto a estes últimos, há que se destacar um processo de contínuo desenvolvimento que não permite garantir a inclusão de todos os disponíveis no mercado brasileiro e internacional.

4.1 Medidores de vazão para condutos abertos

Conforme exposto em capítulo anterior, os medidores para canal aberto são mais usados na entrada de ETAs, na medição de água de reúso (lavagem de filtros e limpeza de decantadores) e, eventualmente, na captação. Os medidores mais conhecidos são as calhas e vertedouros e, mais recentemente, os medidores eletrônicos.

4.1.1 Calhas e vertedouros

Calhas e vertedouros são instrumentos tradicionais na medição de vazão em canais abertos, tendo sido encontradas descrições de seu uso pelos romanos e árabes há milênios. O princípio de funcionamento se baseia na diferença do nível de água que se estabelece quando da interposição de um estrangulamento de seção ou colocação de um obstáculo de fundo no escoamento a lâmina livre. A literatura sobre hidráulica geral apresenta diversas formas de calhas e vertedouros e seus respectivos princípios de funcionamento e especificações. De maneira genérica, o desnível que ocorre devido a presença da calha ou do vertedouro pode ser relacionado com a vazão que passa pelo canal por meio da seguinte fórmula:

$$Q = K \cdot \Delta H^n$$

Onde:

Q = vazão;

K = constante que depende do tipo do obstáculo interposto no escoamento;

ΔH = diferença de nível; e

n = expoente que depende do obstáculo interposto no escoamento.

Existem diversos tipos de vertedouros e calhas, sendo que para cada um deles podem ser definidas constantes a partir da calibração. Entre os mais comuns podem ser citados os vertedouros retangulares, os vertedouros em "V", os vertedouros trapezoidais e a calha Parshall.

Para esses medidores podem ser encontradas as dimensões básicas de construção e os coeficientes de calibração em manuais de hidráulica e, principalmente, em normas. Não existem normas brasileiras específicas para esses tipos de medidores, no entanto as seguintes normas internacionais podem ser consultadas:

ISO 1438 - Liquid flow measurement in open channels using weirs and venturi flumes;

ISO 4359 - Liquid flow measurement in open channels using flumes;

ISO 4360 - Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes – Triangular profile weirs;

ISO 4377 - Liquid flow measurement in open channels-flat-V weirs.

Caso não siga as dimensões normalizadas, o vertedouro pode ser usado desde que seja previamente calibrado para determinar os coeficientes de trabalho.

As calhas Parshall são muito utilizadas na medição de água bruta por permitirem um escoamento mais livre sem os riscos de acúmulos de corpos estranhos que alterem as medições. Os vertedouros, em particular o vertedouro “V”, são mais utilizados para vazões menores, pois permitem uma melhor leitura dos níveis, em virtude da variação ser mais significativa.

Considerando que o medidor foi previamente calibrado e suas dimensões estão de acordo com as normas, sua exatidão depende diretamente do sistema de medição de nível utilizado. O sistema mais comumente utilizado é composto de uma bóia ligada a um conversor eletrônico, permitindo dessa forma relacionar o nível com um sinal de saída, tipo 4-20 mA, associado a um indicador instantâneo ou registrador. O volume totalizado é inferido pela integração da vazão ao longo do tempo, por meio de processador eletrônico ou simplesmente diretamente por meio da carta gráfica da vazão em função do tempo.

Outro meio utilizado para medir o nível, principalmente em medição de água mais limpa, consiste em medir-se a pressão no fundo do canal, com o uso de transdutores de pressão ou borbulhadores. Ultimamente tem-se também utilizado com sucesso medidores de nível tipo ultra-sônico.

Os medidores tipo vertedouro são bastante sensíveis às condições de escoamento a montante, sendo recomendado um trecho reto de dimensões constantes e sem perturbações de pelo menos dez vezes a largura do vertedouro ou da entrada da calha.

4.1.2 Medidores eletrônicos (ultra-sônicos e eletromagnéticos)

Como alternativa aos medidores tradicionais de nível em canais, têm surgido no mercado medidores eletrônicos, que, através da indução elétrica do escoamento (eletromagnéticos de efeito Faraday) ou da propagação de ondas sonoras no escoamento (ultra-sônicos de efeito Doppler ou tempo de trânsito), medem a velocidade média em um trecho de tubulação de dimensões conhecidas. Agregando-se um medidor de nível, pode-se determinar a seção molhada do escoamento e, com a velocidade média medida, determinar a vazão.

Os medidores eletrônicos apresentam a vantagem de não necessitarem formas geométricas especiais. Podem ser aplicados até em trechos de tubulação de dimensões comercialmente disponíveis, desde que respeitados trechos retos mínimos a montante para evitar escoamentos com perfil muito anômalo, que diminuem a exatidão da medida.

Esses tipos de medidores têm sido muito usados em locais onde há limitação de espaço para se construir vertedouros e em locais de difícil acesso, como coletores de águas servidas ou de reúso.

Um cuidado especial com o uso desses medidores reside na necessidade de se ter bem conhecidas as dimensões da seção sob medição. Acúmulo de sedimentos no fundo, corpos estranhos e mesmo deformações no conduto podem provocar erros na determinação da seção molhada e, por conseguinte, da vazão total.

Os medidores eletrônicos podem também ser combinados com calhas, medindo a velocidade média na garganta, construída com dimensões previamente conhecidas. A aplicação de calhas permite acelerar o escoamento e aumentar a sensibilidade do sensor, que normalmente trabalha na faixa de 0,5 a 5 m/s.

Como regra geral aplica-se o medidor ultra-sônico, tipo tempo de trânsito, em escoamentos com pouco material particulado e o de efeito Doppler em escoamentos mais carregados, inclusive esgotos. O medidor eletromagnético, por sua vez, pode ser aplicado em qualquer escoamento.

4.1.3 Calibração e manutenção de medidores de vazão de condutos abertos

Os medidores fixos tipo vertedouro e calha, desde que construídos segundo as normas, não necessitam calibrações periódicas, exceto no seu sensor de nível. No entanto, é essencial manter uma verificação periódica com respeito ao acúmulo de sujeira e corpos estranhos que podem se prender nos vértices, sendo importante um plano de manutenção preventiva.

Caso a saída do sinal de nível desses medidores seja contínua e recebida em uma central de controle, pode-se também fazer um plano de manutenção preditiva, executando uma limpeza sempre que o sinal de nível aumentar ou diminuir bruscamente ou for sofrendo um aumento progressivo, o que se constitui em sinal de acúmulo de sedimentos a montante do vertedouro. O sensor de nível deve ser calibrado periodicamente em bancada.

Os medidores eletrônicos, ao contrário, necessitam de calibrações e verificações periódicas para garantirem a sua exatidão. Uma verificação periódica *in loco* pode ser executada com o auxílio de tubos de Pitot ou similares, mas não elimina a necessidade de calibração periódica em bancada. Na ausência de recursos laboratoriais próprios para a calibração periódica do instrumento, deve ser consultadas as instituições que oferecem prestação de serviço em metrologia (institutos de pesquisa, órgãos públicos de competência específica ou empresas particulares especializadas) ou os fabricantes dos referidos instrumentos e equipamentos.

4.1.4 Outros medidores e técnicas de medição

Existem técnicas de medição de vazão e volume que podem ser aplicadas em locais onde há limitações ou outros tipos de dificuldades de se utilizar medidores tradicionais ou inovativos que vêm sendo lançados no mercado.

Uma técnica alternativa bastante utilizada é a utilização das curvas características de bombas de recalque. A vazão calculada pelas curvas da bomba podem fornecer dados tanto para o tratamento quanto para os outros subsistemas. O cálculo da vazão pela curva da bomba exige que se tenha uma descrição detalhada e sempre atualizada das configurações dos componentes (tubos, conexões, válvulas, etc) e respectivas cotas d'água a montante e jusante, de forma a propiciar um correto enquadramento da situação de campo à curva da bomba.

Uma outra fonte de dados para cálculo de volume e vazão média é o tempo de enchimento e esvaziamento de reservatórios intermediários de volume constante.

Estimativas de vazão baseadas na capacidade nominal de ETAs também podem ser utilizadas.

Qualquer que seja a alternativa de medição adotada, deve-se, sempre, ter em conta as margens de erro e confiabilidade envolvidas. Um princípio que pode orientar situações diversas de necessidade de medição é o de que a cada alternativa tecnológica e operacional devem ser conhecidas as faixas de erro e o nível de confiabilidade associados.

Como a aplicação de macromedidores em canais abertos normalmente ocorre em locais onde há espaço suficiente (em ETA), os medidores mais recomendados para esse uso são ainda os vertedouros e calhas. Em particular, as calhas Parshall são oferecidas no mercado em diversas dimensões padronizadas, materiais diversos, prontas para instalação, com equipamentos de medição de nível associado.

4.2 Medidores de vazão para condutos fechados

A medição de vazão em conduto fechado é mais freqüente que em canal aberto, principalmente quando se trata de água tratada. Os principais macromedidores para condutos fechados podem ser divididos em três categorias:

- medidores por diferença de pressão;
- medidores tipo turbina; e
- medidores estáticos ou eletrônicos, com seus respectivos subtipos.

4.2.1 Medidores por diferença de pressão (Venturi, bocais e orifícios)

A exemplo dos medidores para canais abertos, a medição de vazão em condutos fechados pode ser feita medindo-se um diferencial provocado por um obstáculo ou alteração na seção de escoamento. Em conduto fechado, no entanto, mede-se a diferença da pressão entre uma seção a montante e outra a jusante do escoamento ao invés da diferença de nível. Em condutos fechados as respectivas seções são definidas pelas dimensões físicas do medidor.

Três tipos principais de medidores podem ser incluídos nessa categoria: tubos de Venturi, bocais e placas de orifício. O primeiro tem sua aplicação mais difundida para escoamento em grandes diâmetros e vazões, pois tem perda de carga menor, enquanto que os bocais e a placa são mais restritos a tubos de diâmetros menores e vazões mais baixas.

O princípio de funcionamento se baseia na equação de Bernoulli. Para um medidor instalado na posição horizontal e fluido de propriedades constantes, tem-se:

$$Q = K \cdot \Delta H^{1/2}$$

onde :

Q = vazão;

K = constante do medidor; e

ΔH = diferença de pressão medida no instrumento.

A constante K depende basicamente do medidor e pode ser obtida através de calibração ou a partir de normas ou literatura técnica, quando o medidor utilizado possui dimensões padronizadas e está instalado de forma adequada. Dependendo do instrumento, o fator de calibração K, pode ainda ser desmembrado em fatores geométricos e um coeficiente C_d , também conhecido como coeficiente de descarga.

Como referência para esse tipo de medidor recomenda-se utilizar a seguinte norma:

NBR/ISO 5167 - Medição de vazão de fluidos por meio de instrumentos de pressão - Parte 1: Placas de orifício, bocais e tubos de Venturi instalados em seção transversal circular de condutos forçados.

Medidores com formatos ou dimensões diferentes das normalizadas podem, no entanto, ser também utilizados, desde que tenham sido previamente calibrados ou existam dados a respeito de seu coeficiente de descarga. Alguns fabricantes de instrumentos fornecem instrumentos similares a Venturis e bocais para uso em saneamento, disponibilizando suas curvas ou coeficientes levantados previamente em laboratório. Um medidor desse tipo de uso, bastante difundido no setor de saneamento no Brasil, é conhecido como "Permutube".

Do mesmo modo que para os canais abertos, a calibração dos medidores por diferencial de pressão para condutos forçados consiste basicamente na manutenção das condições de limpeza e calibração do sensor de pressão, que pode ter saída eletrônica para leitura remota e integração para obtenção do volume. Podem também ser feitas verificações periódicas com auxílio de pitometria.

4.2.2 Medidores tipo turbina

Os medidores tipo turbina, medem a vazão a partir do movimento de um corpo (turbina ou rotor), cuja velocidade de rotação é função da vazão de escoamento. Existem vários tipos de medidores tipo

turbina, sendo que os mais conhecidos são: multijato e monojato, tipo Woltmann e seus derivados, compostos e proporcionais.

4.2.2.1 Monojato ou multijato

Os medidores multijato ou monojato são os tradicionais hidrômetros, utilizados extensivamente em micromedição. Em macromedição esses medidores são utilizados em tubulações de diâmetros e vazões não muito grandes, como em pequenos setores e ramais de distribuição. Não são instrumentos adequados para trabalhar com água bruta e em sistemas sujeitos a variações muito bruscas de vazão, pois são sensíveis a desgastes e danos. Por outro lado, são medidores de grande dinâmica de medição (relação alta entre a vazão máxima e a mínima), permitindo medir vazões mais baixas.

Os medidores multijatos podem ser encontrados em modelos até 50mm (2") enquanto que os monojatos já são distribuídos em modelos até 100mm (4"). O DTA-D3 apresenta o conjunto de hidrômetros com seus diâmetros e respectivas faixas de vazão. Além de leitura por observação visual direta, a maior parte dos modelos disponíveis possui possibilidade de adaptação para efetuar leitura remota e emissores de sinal.

Como normas de referência para uso desses medidores, podem ser citadas as seguintes:

NBR 8193 - Hidrômetro taquimétrico para água fria até 15,0 m³/h de vazão nominal - Especificação;

NBR 14005 - Medidor velocimétrico para água fria de vazão nominal de 15 m³/h até 1500 m³/h;

ISO 4064 - Measurement of water flow in closed conduits - Meter for cold portable water - Part I, II e III.

Para maiores detalhes sobre esse tipo de medidor (método de escolha, condições de instalação, manutenção) recomenda-se consultar o DTA-D3. Na prática estes medidores só são utilizados em macromedição quando os medidores tipo Woltmann não são adequados devido à necessidade de uma leitura mais dinâmica ou pelo custo mais alto, pois os medidores multijato e monojato são, normalmente, mais baratos.

4.2.2.2 Medidores tipo Woltman

Os medidores tipo Woltmann são medidores de turbina em que a turbina, por seu formato helicoidal, gira numa rotação proporcional à vazão. Apesar de estarem progressivamente sendo substituídos por medidores eletrônicos estáticos, são medidores tradicionais em macromedição, sendo hoje fabricado em diâmetros de até 1.000 mm, inclusive no Brasil. São mais resistentes que os hidrômetros monojatos ou multijatos e adequados a vazões elevadas e com grandes variações, podendo também ser utilizados com água bruta, desde que com concentração não muito elevada de sólidos suspensos, em partículas de areia. Nesse caso, deve-se prever a instalação de filtro de entrada.

Os medidores tipo Woltmann são fabricados em dois tipos: o vertical, no qual a turbina trabalha na posição vertical e o axial, no qual o eixo da turbina é paralelo ao eixo da tubulação.

Em macromedição utilizam-se principalmente os medidores axiais, devido a menor perda de carga e maior resistência às vazões de pico. Quase todos os medidores mais modernos possuem dispositivos opcionais para leitura remota e ligação a coletores de dados e integradores de volume. Os medidores tipo Woltmann são também utilizados em micromedição de grandes consumidores.

As normas de referência para esse tipo de medidor são as mesmas aplicadas aos hidrômetros monojatos e multijatos. Maiores detalhes sobre as características e recomendações de manutenção podem ser encontrados no DTA-D3.

Cabe destacar que sendo um medidor com peças móveis, torna-se importante adotar um plano adequado de manutenção e calibrações periódicas em bancada.

Uma característica importante a destacar relativa aos medidores tipo Woltmann, principalmente os de tipo axial, é sua grande sensibilidade a perfis irregulares de escoamento e a escoamentos com rotação, que podem acelerar ou retardar a rotação da turbina provocando erros de medição. Tais escoamentos podem ser provocados por bombas e instalações que apresentem curvas não coplanares a montante dos medidores. Por esse motivo, recomenda-se uma extensão superior a 10 diâmetros de trecho reto a montante de sua instalação e, em casos extremos, a instalação de retificadores de fluxo. Os fabricantes normalmente orientam quanto a esses tipos de requisitos nas especificações e catálogos de instrumentos.

4.2.2.3 Medidores tipo composto

Os medidores do tipo composto são modelos especiais dos medidores tipo Woltmann adaptados para trabalhar com uma dinâmica de medição (relação entre a vazão máxima e a mínima) extremamente grande.

Para isso, um medidor menor é colocado em paralelo a um medidor Woltmann. Esse conjunto conta com uma válvula automática, de modo que, quando a vazão cai a valores mais baixos, o fluxo é desviado apenas para o medidor de menor diâmetro, diminuindo ou eliminando o erro por submedição no medidor maior.

Apesar de ainda ser utilizado extensivamente em alguns países da Europa, está sendo progressivamente abandonado devido ao seu custo elevado, sua dificuldade de instalação, principalmente no que se refere ao seu tamanho e a problemas de funcionamento com a válvula desviadora do fluxo que pode não funcionar adequadamente quando há formação de um filme de sedimentos.

Em situações onde haja necessidade de medir vazões altas e muito baixas, como é o caso quando se aplica o método da vazão mínima noturna, existem atualmente medidores tipo monojato de classe metrológica "C" (ver DTA D3) e mesmo medidores eletromagnéticos com dinâmicas de medição similares, mais compactos e de custos menores.

Como referência para uso, testes, vazões de operação e outras informações, pode ser utilizada a norma ISO 7858 - Measurement of water flow in closed conduits- Combination meters for cold potable water.

Como parte do medidor é constituída por um medidor tipo Woltmann, é importante destacar que aplicam-se as mesmas observações quanto à necessidade de trecho reto a montante, bem como ausência de escoamentos rotativos (turbilhoados) e, em casos extremos, a instalação de retificadores de fluxo. Os medidores tipo composto são também inadequados para medir água bruta com elevada concentração de sólidos suspensos, pois podem danificar a válvula desviadora de fluxo.

4.2.2.4 Medidores proporcionais

Medidores proporcionais são aqueles em que um medidor tipo turbina de pequeno porte é instalado em paralelo a uma tubulação de maior diâmetro, de modo que apenas uma parcela da água é medida. O medidor proporcional destina-se a medir grandes volumes de água tratada.

A Figura 8 a seguir apresenta uma configuração típica desenvolvida pela CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. A tubulação de água na qual deseja-se efetuar a medição é perfurada lateralmente na altura de seu eixo axial longitudinal onde é introduzido um tubo de pequeno diâmetro que conta com orifícios. Esse tubo conta com um certo número de orifícios que ficam em posição frontal ao sentido do escoamento da tubulação maior (orifícios de montante), de forma que por eles entram uma pequena parte da água que flui pela tubulação cuja vazão é objeto de medição (ver Figura 8). A água que entrou por esses orifícios sai pelos orifícios da face oposta (orifícios de jusante)

do tubo de pequeno diâmetro, após ter passado por um hidrômetro instalado externamente no anel que se conforma por fora da tubulação principal. O anel externo pode estar posicionado com o hidrômetro acima ou abaixo da tubulação principal. Observa-se que quando o anel é posicionado com o hidrômetro acima da tubulação principal pode ocorrer aprisionamento de ar prejudicando a medição. Este problema é evitado quando o anel e o hidrômetro estão posicionados abaixo da tubulação (Wiendl, 1997).

Calibrações prévias permitem obter coeficientes que, multiplicados pelos valores registrados no medidor, fornecem o volume total escoado. A calibração pode ser realizada em laboratório, mas a prática operacional recomenda que uma estação pitométrica seja instalada junto ao medidor proporcional, permitindo calibrações periódicas no próprio local.

Uma versão mais moderna é possível quando o hidrômetro instalado é dotado de registrador contínuo de sinais. A leitura e processamento desses sinais permite a medição da vazão instantânea. Dessa forma o medidor proporcional pode ser instalado para medir também vazões.

O custo do medidor proporcional é muito baixo quando comparado com outros tipos. A CAGEPA constrói medidores proporcionais que, à época da publicação referida, custavam R\$ 40,00 (Wiendl, 1997).

Os medidores proporcionais devem ser criteriosamente construídos e calibrados. Cada configuração deve ser individualmente testada e calibrada, pois não existem normas estabelecidas para este tipo de medidor. Se tais cuidados não forem tomados o grau de confiabilidade decai bastante. Um problema importante reside no fato de que as calibrações originais podem se perder rapidamente com o acúmulo de detritos no filtro do medidor, pois isso altera a perda de carga no sistema, fator básico para o funcionamento do mesmo. Com base neste fato recomenda-se utilizar como medidor paralelo um medidor sem filtro, de preferência do tipo monojato, que tem passagem mais livre para partículas porventura existentes na água.

O medidor proporcional, por sua característica, possui uma dinâmica de medição muito pequena, não sendo adequado para locais onde ocorram grandes variações de vazão. Deve-se também tomar cuidado com o coeficiente a ser multiplicado pelo valor medido no hidrômetro, pois pode variar com a vazão.

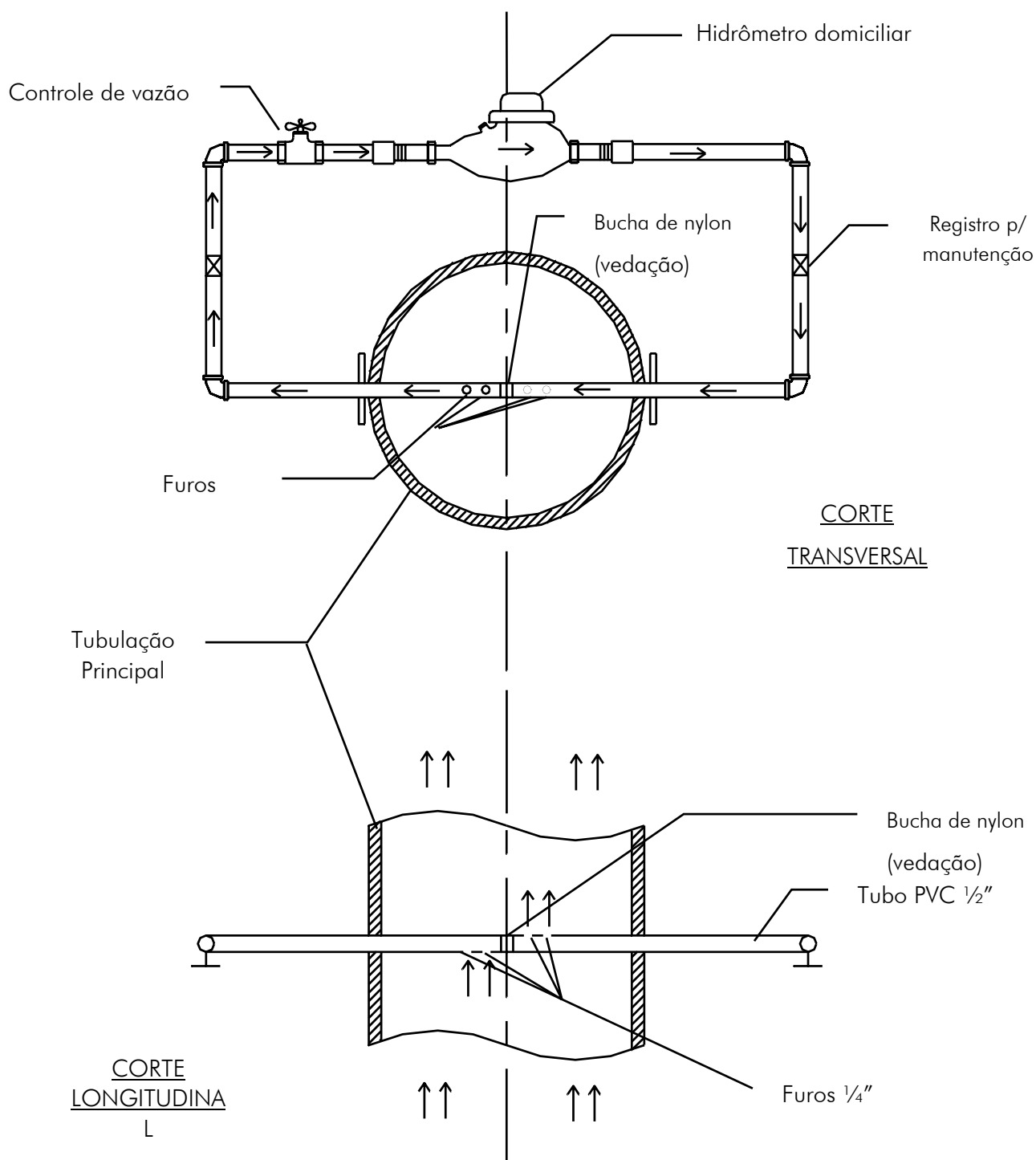


Figura 8 - Esquema de medidor tipo proporcional
Fonte: CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

Normalmente adota-se um fator de multiplicação médio, constante para uma dada faixa de vazão, ou uma série de multiplicadores associados a faixas menores de vazão.

O medidor tipo proporcional é particularmente útil para medição de água bruta onde possa ocorrer a passagem de sólidos de dimensões maiores (galhos, pedras), em vazões constantes e altas e justamente por isso existem modelos no mercado para instalação em linhas de irrigação e para medição em hidrantes de incêndio. Outra aplicação típica é em sistemas de bombeamento de grandes volumes, como por exemplo, para abastecimento de água em navios.

4.2.3 Medidores estáticos ou eletrônicos

Denominam-se medidores estáticos aqueles que não possuem partes móveis, cujo movimento é, de alguma forma, provocado pelo escoamento.

Nos medidores estáticos a vazão é medida a partir de propriedades do escoamento, como indução magnética e transmissão de ondas sonoras. Dados os princípios físicos de funcionamento, esses medidores exigem processadores e dispositivos eletrônicos para captação, transmissão e registro de sinais, motivo pelo qual são também denominados genericamente de medidores eletrônicos.

Embora existam medidores com outros princípios de funcionamento, dois tipos de medidores são os mais difundidos em medição de água: os eletromagnéticos e os ultra-sônicos.

4.2.3.1 Medidores eletromagnéticos

Os medidores eletromagnéticos baseiam-se no fato de que a água potável é um fluido condutor de eletricidade podendo ser induzida uma corrente elétrica. Nesses medidores uma bobina, denominada bobina primária, excitada por uma corrente alternada ou pulsante, induz uma corrente no escoamento de água. Como a água está em movimento, essa corrente induzida pode ser captada por uma bobina secundária, obtendo-se um sinal proporcional à vazão.

A exatidão e sensibilidade desse tipo de medidor depende, portanto, da corrente induzida pela bobina primária e da capacidade da bobina secundária em captar essa corrente. Como a água é um fluido pouco condutor, os primeiros medidores eletromagnéticos necessitavam de grandes bobinas primárias, consumindo muita potência e restringindo o emprego de tais medidores quase que exclusivamente a diâmetros elevados em locais com disponibilidade de alimentação elétrica externa. Atualmente, já podem ser encontrados no mercado desde medidores para diâmetros acima de 2 m até medidores de 4 mm, que operam vazões inferiores a 10 L/h. Alguns fabricantes já estão também apresentando medidores eletromagnéticos que operam com baterias de longa duração, superando a última grande barreira para o uso generalizado desse medidor em saneamento.

Os preços dos medidores eletromagnéticos estão caindo rapidamente, podendo-se prever que em futuro próximo deverão substituir totalmente os medidores tipo Woltmann em macromedição.

A Figura 9 mostra um medidor eletromagnético instalado.

FIGURA 9 - EM FASE DE PREPARAÇÃO

Figura 3 – Medidor eletromagnético instalado

Fonte:

Os medidores eletromagnéticos, dado seu princípio físico de funcionamento, necessitam que um trecho de tubo por onde escoar a água seja totalmente isolado do tubo metálico, caso contrário o próprio tubo atenuaria o sinal induzido, impedindo a medição. Devido a isso, os medidores eletromagnéticos são comercializados com um trecho de tubulação já revestido com resinas plásticas (usualmente PTFE, EVA ou borracha nitrílica) ou cerâmica. Como medem, *a priori*, a velocidade média do escoamento, a determinação exata da área da seção de medição é muito importante para a exatidão da medição, o que é também garantido por meio da comercialização de medidores já acoplados a um trecho de tubulação que incorpora o medidor, a ser inserido no tubo cuja vazão deseja-se medir.

Como normas de referência para o seu uso pode-se citar:

ISO 6817: Measurement of fluid flow in closed conduits - Method using electromagnetic flowmeters;

ISO 9104: Measurement of fluid flow in closed conduits - Methods of evaluating the performance of electromagnetic flowmeters for liquids.

No Brasil, como em muitos outros países, os medidores eletromagnéticos ainda não possuem regulamentação própria para uso. Assim, em situações onde a medição do volume ou vazão de água venham a fazer parte de contrato visando a comercialização, como é o caso da comercialização de água por atacado, conforme foi exposto no item 2.4.3, deve ser explicitada a anuência das partes a essa forma de medição.

Ambas as normas ISO estão sendo traduzidas para o português e deverão estar brevemente disponíveis como normas ABNT.

Os medidores eletromagnéticos, por medirem velocidade média, são também sensíveis a perfis de escoamento rotativos (turbilhonados) e irregulares, embora não tanto quando os medidores tipo Woltmann axiais. Recomenda-se, portanto, prever um trecho reto mínimo de 10 diâmetros a montante de sua instalação. Não é recomendado o uso de retificadores de fluxo para esses medidores.

Os procedimentos de calibração e manutenção são os normais para instrumentação: manutenção preventiva com limpeza interna (particular atenção aos eletrodos); verificação dos secundários, conexões e limpeza do local de instalação; manutenção preditiva avaliando o comportamento das medições com o tempo; e manutenção corretiva, eventualmente com sua troca. Necessitam também de um plano de calibração periódica, tanto em bancada como verificação *in loco* com uso de pitometria.

Sendo medidores com secundário eletrônico, praticamente todos os modelos possuem opções de saída para leitura remota, registro de volumes e vazões, além de possibilitarem alarmes diversos para picos de vazão, tubo vazio e fluxo inverso, entre outros. São também, via de regra, bidirecionais, podendo medir nas duas direções indistintamente.

4.2.3.2 Medidores ultra-sônicos

Dois tipos de medidores ultra-sônicos são comercializados: aqueles cujo princípio de funcionamento é o de medidores de tempo de trânsito e aqueles cujo princípio é o do efeito Doppler.

Para aqueles que utilizam o princípio de tempo de trânsito, dois eletrodos são colocados em posições diametralmente opostas da tubulação, deslocados de uma certa distância, sendo que um emite um sinal ultra-sônico e o outro recebe. Pelo tempo de chegada do sinal ao receptor, comparado com o tempo com o líquido estacionário, pode-se inferir a velocidade média do escoamento na seção que o sinal cruzou.

Um outro modelo do mesmo tipo permite a instalação de sensores do mesmo lado do tubo, usando como receptor o sinal refletido na parede oposta da tubulação.

O medidor que explora o efeito Doppler possui os eletrodos sensor e receptor um ao lado do outro, sendo que o receptor determina a velocidade média do escoamento pela variação da frequência do sinal ultra-sônico refletido nas partículas em suspensão presentes na água. Para se obter uma velocidade média, o medidor repete a medição diversas vezes por segundo, sobre partículas diferentes no escoamento.

O medidor ultra-sônico por tempo de transito é indicado para escoamento de água limpa ou com pequenas concentrações de sólidos em suspensão, enquanto que o medidor de efeito Doppler só consegue medir escoamentos com uma concentração mínima de partículas que possam refletir o sinal de ultra-som.

A principal vantagem dos medidores ultra-sônicos reside no fato de que eles não necessitam de trechos de tubos isolados como os medidores eletromagnéticos, podendo mesmo ser instalados na parte externa das tubulações (medidores não invasivos) substituindo tubos de Pitot em avaliações pitométricas e reduzindo sobremaneira os custos de instalação de macromedidores.

A grande desvantagem dos medidores ultra-sônicos reside em sua calibração. Como eles medem a velocidade média, qualquer erro ou inexatidão na determinação da seção de medição pode acarretar erros grosseiros. Por esse motivo, os medidores que são produzidos tendo em vista uma maior exatidão, já são fornecidos solidários a um trecho de tubulação de dimensões bem definidas, com o qual são calibrados.

Medidores do tipo de fixação externa ("Clamp on") são normalmente calibrados apenas estaticamente, e suas características de medição só podem ser estabelecidas se sua calibração for executada em bancada em um trecho de tubulação idêntico aquele em que o medidor será instalado.

Uma prática comum no emprego desses medidores, externamente instalados, é o uso de estações pitométricas associadas para calibração. Assim, pode-se reduzir as incertezas de determinação da vazão por mapeamento com Pitot, que, por sua vez, nos melhores casos, situam-se entre 2% a 5%.

A estimativa da incerteza de medição e mesmo a calibração dos medidores de efeito Doppler é ainda mais crítica. Como a medida de vazão depende da velocidade das partículas em suspensão esta pode ser bastante variável, dependendo da concentração de sólidos presentes na água e do seu deslocamento. Como exemplo, os medidores ultra-sônicos de efeito Doppler não são recomendados para aplicação em tubulações verticais, pois nesse tipo de instalação é comum que partículas se desloquem em velocidades diferentes do escoamento, quer elas sejam pesadas ou leves. Devido a esse motivo, as calibrações em bancada ainda não tem procedimentos plenamente estabelecidos e, conseqüentemente, o estabelecimento das incertezas de medição é difícil. Recomenda-se o uso desse tipo de medidor apenas como verificação da ordem da grandeza da vazão e não como instrumento de controle de macromedição.

Como referência para o uso de medidores tipo ultra-sônicos cita-se a norma ISO 12765 - *Measurement of fluid flow in closed conduits - Methods using transit time ultrasonic flowmeters*, recentemente publicada e atualmente em fase de tradução para publicação como norma ABNT.

Como prática de manutenção de medidores ultra-sônicos, devem ser seguidas, em linhas gerais, os mesmos procedimentos aplicáveis a outros medidores, com planos de manutenção preventiva e preditiva, quando possível. Sendo de concepção relativamente nova, recomenda-se seguir as recomendações do fabricante quanto aos procedimentos de manutenção e calibração periódica.

4.2.4 Calibração e manutenção

A manutenção e calibração devem seguir planos adequados ao tipo de medidor e importância da grandeza medida. Esses procedimentos são mais importantes nos medidores de maior exatidão e eletrônicos.

No caso dos medidores modernos, com eletrônica intensiva e princípios de funcionamento não plenamente estabelecidos, recomenda-se sempre consultar o fabricante, principalmente se não houver disponibilidade de laboratórios e instalações adequadas à calibração.

4.3 Medidores de velocidade de escoamento ou de inserção

Tratam-se de medidores que têm partes introduzidas em orifícios executados na tubulação que conduz água cuja vazão ou velocidade deseja-se medir. Esses medidores permitem medir a velocidade em pontos específicos da seção transversal de escoamento e, aplicando técnicas de integração, permitem determinar a vazão.

Como característica vantajosa desse tipo de medidor, cita-se que a medição torna-se possível sem a necessidade de seccionar a tubulação para inserção longitudinal de um outro tipo de instrumento.

O medidor de inserção clássico é o tubo de Pitot, sendo comum no setor do saneamento o uso do tubo de Pitot tipo *Cole*. Existem, porém, diversos outros instrumentos para a mesma aplicação, como os micromolinetes e os sensores eletromagnéticos e ultra-sônicos de inserção.

4.3.1 Tubo de Pitot

É um instrumento que permite medir a pressão de estagnação no ponto onde é introduzido. A diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática (componente piezométrica) na tubulação pode ser diretamente relacionada com a velocidade no ponto de medida como:

$$V_o = C_c \cdot (2 \cdot \Delta P)^{0,5}$$

onde:

- V_o = velocidade do fluido no ponto de medição;
- C_c = coeficiente de calibração do tubo de Pitot; e
- ΔP = pressão diferencial medida.

O coeficiente C_c tende a 1 para tubos de Pitot estáticos padrão, desde que sejam usadas unidades do Sistema Internacional (SI) na equação acima. Na prática, por motivos de robustez e também procurando obter diferenciais de pressão maiores, mais fáceis de medir, os tubos de Pitot utilizados em saneamento são mais robustos e têm uma tomada de pressão invertida (também chamada de pressão de esteira) e nesses casos o coeficiente C_c pode distanciar-se bastante da unidade.

O mais conhecido dos tubos de Pitot usados em saneamento é o tipo *Cole*. Esse instrumento tem um desenho especial para poder ser introduzido em tubulações condutoras de água por meio de um *TAP* simples com válvula. Dessa forma é possível fazer as medições em seções de tubulações com escoamento sob pressão (linhas em carga). Esse instrumento, ainda fabricado no Brasil de forma semi-artesanal, já é há muitos anos conhecido no setor de saneamento brasileiro. Seu coeficiente de

calibração normalmente situa-se entre 0,8 e 0,9 para unidades SI e entre 3,5 e 3,9 quando a pressão é expressa em metros de coluna de água.

A partir das velocidades de escoamento em pontos específicos da seção medida pode-se determinar a vazão total no tubo. A esse processo chama-se mapeamento pitométrico, sendo muito utilizado pelo departamento de pitometria ou macromedição de prestadoras do serviço de abastecimento.

O conjunto de orifícios, dotados de TAPs, numa determinada seção da tubulação constitui uma estação pitométrica, que é usada para levantamentos de vazões na rede e verificação do funcionamento de outros macromedidores instalados na mesma tubulação.

Os tubos de Pitot também são usados para levantamento de perfil de velocidade em canais abertos.

Por tradição e dificuldade em encontrar instalações adequadas no Brasil, é difícil que um setor de pitometria tenha os tubos de Pitot calibrados após adquiridos. Normalmente lança-se mão de coeficientes tabelados ou informados pelo fabricante, que, por sua vez, apresentam valores típicos obtidos normalmente em ensaios executados há muito tempo.

Estudos recentes mostram que o hábito de não calibrar os tubos de Pitot pode levar a erros grosseiros de medição, ainda mais tendo em vista que, como são instrumentos voltados para trabalho de campo, estão sempre sujeitos a choques e danos, que podem alterar bastante sua calibração.

Sua manutenção recai normalmente em uma manutenção preventiva periódica, consistindo de limpeza e verificações das condições do instrumento e da calibração do manômetro utilizado em conjunto. Qualquer alteração perceptível em sua geometria deve ser fruto de uma recuperação cuidadosa seguida de calibração. Caso não haja recursos para calibração, deve-se procurar o fabricante ou fornecedor, que poderá indicar o caminho mais adequado.

Vale ressaltar que o tradicional uso de manômetros de coluna de mercúrio para medir a pressão diferencial em um tubo de Pitot é prática que deve ser totalmente abandonada, devido aos riscos envolvidos, pois o mercúrio pode vazar vindo a atingir a água para consumo ou o operador do instrumento. Atualmente utilizam-se quase que exclusivamente manômetros diferenciais eletrônicos.

4.3.2 Molinetes

São instrumentos muito utilizados para medição de velocidade em canais abertos de grandes dimensões, consistindo de uma hélice ligada a um leme ou direcionadores que obrigam o molinete a trabalhar com o eixo da hélice paralelo à linha de corrente do escoamento na seção sob medição.

Em paralelo ao molinete tradicional, de dimensões relativamente grandes, existem no mercado micromolinetes de inserção que, por possuírem dimensões equivalentes ao tubo de Pitot, são usados também em medições em condutos forçados.

Os medidores tipo molinete têm sinal de saída ligado a secundários eletrônicos e normalmente estão calibrados para fornecer diretamente a velocidade instantânea no ponto medido. A calibração destes medidores normalmente é feita em tanques abertos usando-se como referência a norma ISO 3455, *"Liquid flow measurement in open channels – Calibrating of rotating element current-meters in straight open channels"*.

Por serem de calibração mais difícil (não há muitos tanques adequados à calibração no Brasil) muitas vezes a calibração é normalmente relegada a segundo plano inclusive pelos fornecedores, que utilizam dados de medidores similares ou obtidos nos fabricantes estrangeiros. Essa prática pode diminuir muito a qualidade da medição, uma vez que, por possuírem peças móveis, os molinetes estão sujeitos a desgastes e necessitam manutenção constante para manterem a sua exatidão.

Em outras palavras, quando se adquire um medidor tipo molinete é importante exigir do fornecedor certificado de calibração e indicação sobre a possibilidade de sua calibração periódica.

A manutenção desses medidores, a exemplo dos medidores de turbina integrais para condutos forçados, inclui desde limpeza até substituição de partes danificadas seguido de recalibração.

4.3.3 Medidores de inserção magnéticos e ultra-sônicos

Como alternativa aos tubos de Pitot e aos molinetes, surgiram no mercado internacional medidores de velocidades de escoamento de inserção, eletrônicos, sem peças móveis. A exemplo dos medidores de vazão integrais, os medidores de velocidade de inserção podem ser do tipo eletromagnético ou ultra-sônico, este normalmente de efeito Doppler.

Estes medidores, por sua simplicidade de operação, pela possibilidade de fácil adaptação a coletores de dados e computadores, por não necessitarem de manômetros, por não terem peças móveis e por não serem sujeitos a entupimentos, têm aumentado progressivamente a sua participação em substituição à pitometria.

A exemplo dos demais medidores eletromagnéticos e ultra-sônicos, o grande inconveniente destes medidores é a dificuldade de calibração. Apesar de poder ser feita no mesmo tanque em que se calibram tubos de Pitot e molinetes, a calibração do medidor de efeito Doppler, por exemplo, nem sempre é fácil, pois ele necessita de água com turbulência ou turbidez. Outro grande inconveniente é a dimensão externa das sondas, que limitam o uso em tubulações de menor diâmetro. É conveniente lembrar também que não existem normas estabelecidas para esses tipos de medidores. Assim, o emprego desses medidores e suas calibrações devem ser feitas segundo as recomendações dos fabricantes.

As mesmas observações indicadas para os medidores eletrônicos integrais valem para os medidores de inserção. A manutenção deve incluir limpeza, com especial atenção para os eletrodos, e recalibração periódica.

4.3.4 Outros medidores de inserção

Além dos medidores anteriormente apresentados, pode-se designar como medidores de inserção as sondas tipo multifuros ou Annubar e seus similares eletromagnéticos, que procuram medir diretamente a velocidade média em uma seção, e os micro Venturis e Pitots de configurações especiais. Esses últimos, no entanto, são mais voltados para aplicações especiais e dificilmente são encontrados no dia a dia da medição pitométrica.

4.3.5 Estimativa de vazão utilizando medidores de inserção

Conforme já destacado, o instrumento inserido na tubulação mede a velocidade instantânea em uma certa posição da seção. Para se obter a vazão é necessário medir a velocidade em diversos pontos de uma mesma seção e, a partir delas, calcular a velocidade média na seção, cujo valor, multiplicado pela área da seção de medição, resulta na vazão volumétrica.

À medição de velocidade em diversos pontos de uma mesma seção dá-se o nome de mapeamento. Há vários métodos para se mapear as velocidades em seções de condutos forçados, mas os mais conhecidos são aqueles apresentados na norma: ISO 3966, *"Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pitot static tubes"*; e o método descrito pela CETESB em seu procedimento L4.250, *"Medição de vazão de água por meio de tubo de Pitot – Procedimento"*. Este último documento é presença freqüente em manuais de pitometria no Brasil.

Os métodos aqui referidos encontram-se detalhados em diversos manuais de hidráulica. Consistem, em linhas gerais, em medir a velocidade no centro de setores de mesma área, de modo que a média

das leituras fornece diretamente a velocidade média da seção. O maior problema ocorre quando o perfil de velocidades é muito irregular, pois a hipótese de que a velocidade tomada no centro do setor é próxima da velocidade média no setor é prejudicada, exigindo uma divisão maior da seção, o que nem sempre é praticável.

Outro problema em se medir a vazão com mapeamento de velocidades é o tempo de duração das medições. Como um mapeamento pode durar até horas, nesse período é difícil garantir que a vazão seja constante, ou seja, cada ponto de medição pode estar sendo tomado sob vazões diferentes.

O conjunto de fatores envolvidos nas medições aqui consideradas indicam que a medição de vazão com mapeamento por tubos de Pitot deve ser considerada com uma incerteza da ordem de 2% a 5%, em situações próximas da ideal. Em situações de perfil mais irregular de vazão, a incerteza pode facilmente chegar a 10%. Portanto a medição de vazão com tubos de Pitot é um método que deve ser usado com consciência sobre suas limitações e os fatores que a ocasionam.

4.4 Medidores de pressão

São medidores auxiliares na macromedição quando do uso de medidores com princípio de diferença de pressão. São também usados para as ações de controle de pressões de distribuição, fator importante nos controles de vazamento.

No setor do saneamento três tipos de manômetros são mais comumente utilizados: de coluna líquida, metálicos ou tipo Bourdon e eletrônicos ou transdutores de pressão.

4.4.1 Manômetros de coluna líquida

Os manômetros de coluna líquida, outrora largamente utilizados, estão sendo progressivamente abandonados, principalmente devido ao fato de necessitar de um líquido manométrico mais denso que a água, como é o caso do mercúrio metálico. Bastante utilizado anteriormente, esse líquido muito freqüentemente vazava para o interior da tubulação, provocando graves contaminações.

Outro grande problema é a grande dificuldade de adaptar sistemas de leitura remota e saídas para registradores e processadores. Os manômetros de coluna mantém, no entanto, ainda uma grande vantagem: praticamente não necessitam calibração, desde que possa se garantir a densidade do líquido manométrico e a exatidão da escala que mede a altura da coluna. Ainda hoje os manômetros de coluna líquida são utilizados freqüentemente como padrões práticos para calibração de transdutores de pressão.

4.4.2 Manômetros metálicos

Os manômetros metálicos, com ponteiro sobre mostrador redondo, são instrumentos muito comuns em diversos processos industriais. São também bastante utilizados no monitoramento local de sistemas (como saídas de bombas, por exemplo). No entanto, são instrumentos de baixa exatidão e que sofrem freqüentes descalibrações, principalmente quando sujeitos a vibrações e pressões pulsantes.

Além disso, normalmente os modelos diferenciais, que seriam úteis para medição de vazão, são mais difíceis de operar, sendo também muito frágeis. Por outro lado, a instalação de eletrônica para registro e leitura remota também é complicada e requer calibrações com muita freqüência.

Apesar desses problemas, os manômetros metálicos, por terem baixo custo, são bastante utilizados para o controle de sistemas, sendo com muita freqüência encontrados em sistemas de bombeamento e ETAs. Sua manutenção, no entanto, é negligenciada, sendo também comum constatar medidores desse tipo totalmente descalibrados, utilizados apenas como indicador de que há ou não pressão na rede.

4.4.3 Transdutores de pressão

Os transdutores ou manômetros eletrônicos têm sua aplicação cada vez mais difundida em saneamento, em que pese seu custo ainda elevado. Embora existam diversos tipos, dois principais podem ser citados: os medidores piezoelétricos, para medições da componente piezométrica da pressão nas linhas, e os medidores capacitivos, para medição de pressão diferencial em Venturis, tubos de Pitot e outros instrumentos do tipo.

Os medidores piezoelétricos são caracterizados pela grande estabilidade, não perdendo sua calibração mesmo após serem sujeitos a pulsações e golpes de pressão. São também compactos e necessitam de pouca energia para alimentação, podendo ser instalados em pequenos furos na tubulação. Existem modelos de diversas faixas de medição, desde alguns metros de coluna d'água até centenas de bar de fundo de escala. Por serem unidirecionais, não são adequados à medição de pressão diferencial.

Os transdutores capacitivos são os mais indicados para medição de diferencial de pressão em instrumentos. São reconhecidos pela sua estabilidade e suportam pressões estáticas elevadas, mesmo medindo pequenos diferenciais de pressão. Existem diversos modelos no mercado, alguns deles montados no Brasil. Apesar de também terem a característica de estabilidade de calibração, devido ao seu tipo de utilização, recomenda-se calibração e manutenção freqüentes do transdutor capacitivo.

4.4.4 Calibração e manutenção

A calibração e manutenção dos medidores de pressão deve seguir o mesmo processo dos medidores de vazão, devendo ser traçado um plano de manutenção preventiva e corretiva. Como muitos desses instrumentos estão ligados a medidores de vazão, é conveniente atrelar as manutenções e calibrações periódicas aos instrumentos principais.

Ao contrário dos medidores de vazão, a calibração dos medidores de pressão é relativamente fácil, sendo recomendável que o setor da prestadora do serviço responsável pela instrumentação mantenha pelo menos uma bancada de calibração tipo "peso morto" ou por comparação com manômetros padrões para as faixas principais de trabalho. Existem também conjuntos portáteis de calibração, que podem ser levados a campo para verificação e calibração *in loco*.

5 PROCESSAMENTOS DOS DADOS DE MEDIÇÕES

Nessa seção são apresentados os procedimentos de transmissão e registro sistemático dos dados obtidos nas medições visando seu processamento, de forma a atender dois dos objetivos enumerados no capítulo 1, a saber:

- controle do sistema de abastecimento;
- controle das perdas;

5.1 Controle do sistema de abastecimento

5.1.1 Captação e adução de água bruta

Os volumes medidos na captação formam uma série que permite acompanhar a evolução dos valores ao longo de um certo período. A série de medições na entrada de água bruta na ETA também deve ser compilada. A contabilização do volume de água tratada produzido é obtido pela série de valores medidos na saída da ETA.

Os registros dos diversos volumes citados permitem calcular a eficiência dos sub-sistemas. A diferença entre valores de captação de água bruta e de entrada na ETA fornece a eficiência da adução de água bruta. A diferença entre os valores de água bruta que entra na ETA e os de água tratada na saída da ETA indicam a eficiência global no tratamento no que diz respeito ao volume.

É importante observar a necessidade de coincidência ou compatibilização dos períodos de tempo considerados nos balanços para que os cálculos tenham consistência.

O uso de medidores eletrônicos, tais como os eletromagnéticos e ultra-sônicos, permitem registro contínuo da vazão, sendo os valores armazenados em registradores de dados (*data loggers*) que são posteriormente transmitidos a banco de dados em computadores. Sistemas de telemetria permitem transmitir remotamente os valores das medições.

Na ausência de registradores contínuos de vazão, durante todo o período a ser contabilizado, deve-se fazer o monitoramento contínuo da vazão pelo menos durante um período semanal, ou em última hipótese, durante um dia que seja representativo, sendo os dados de vazão, posteriormente, extrapolados para o período desejado. Extrapolações de valores para períodos onde não houve medição devem ser feitos com cuidado visando incorporar as diferenças dos regimes de operação.

O registro contínuo de vazão tem a vantagem de reduzir as distorções provocadas pela extrapolação de vazões obtidas em séries de medições muito curtas.

Recomenda-se evitar o uso de medições instantâneas de vazão, que com a utilização de coeficientes, resultam em vazões médias e, posteriormente, em volumes produzidos, geralmente muito diferentes dos valores reais.

5.1.2 Sistemas de produção simples ou unitários

A operação destes sistemas é feita, na maioria dos casos, por meio de regras fixas de dosagem de alguns produtos e procedimentos padronizados. Nas situações em que há pouca variação de qualidade da água bruta, as margens de segurança embutidas nessas regras são suficientes. Em níveis abaixo da situação média, quando há variação da qualidade da água bruta, por exemplo, a tendência é que ocorram excessos de dosagens gerando desperdícios e acréscimo no custo unitário. Já nas situações críticas ou emergenciais, os custos podem ser necessariamente maiores, pois estão envolvidas questões de saúde pública e problemas sociais de âmbito superior ao simples acréscimo monetário no custo de tratamento.

5.1.2.1 Formas de acompanhamento

Mesmo nos sistemas mais rudimentares é possível desenvolver-se metodologias simplificadas de medição. Citam-se o uso de réguas graduadas em trechos adequados de canal ou vertedouro, o horímetro de bombas associado a testes, ensaios e curvas de funcionamento, entre outras soluções. Qualquer que seja a técnica de medição será possível registrar os valores avaliados de volume ou vazão. Esses dados têm utilização imediata para o tratamento e operação, e, a médio e longo prazos, sua organização e armazenamento permitem preservar e formar o banco de dados.

5.1.2.2 Cálculos indiretos ou expeditos

Em virtude de todos os medidores de volume efetuarem medição indireta, uma vez que se baseiam em parâmetros cinéticos, diferenciais de pressão, dentre outros, a diferença básica entre a solução convencional e qualquer alternativa adotada, está na possibilidade de aferição e repetição de uma série de resultados na maioria dos casos por parte de medidores de conduto forçado ou mesmo em regime de canal aberto. No entanto, isso nem sempre é possível com a utilização de cálculos indiretos ou expeditos, que devem ser encarados como alternativa, dentro de condições controladas ou estáveis, face à ausência ou impossibilidade de implantação de medição. No caso de venda de água por atacado é inadmissível, salvo como solução transitória.

5.1.2.3 Relação custo-benefício

A informação quantitativa sobre o consumo é um direito da comunidade, seja esta encarada como usuário unitário ou um conjunto complexo, desde o plano municipal até o regional. Dessa forma, os esquemas alternativos devem ser encarados sempre como transitórios.

O custo fixo dos serviços de saneamento tem como parcelas incidentes: mão de obra, energia elétrica, produtos químicos e outros. Para que se tenha o delineamento do custo unitário da água a primeira informação de referência é o quanto é produzido.

A redução de custos, só pode ser feita se não houver prejuízo do abastecimento, e, para que isso ocorra, é necessário que se conheça o consumo: quantitativamente, sazonalidade, perdas reais, picos de consumo e histogramas horosazonais.

Os custos de um sistema de medição são relativamente baixos. A instalação de um medidor desde seu dimensionamento, projeto, obras civis e instalações não é maior que uma válvula de grande porte ou um booster. Numa comparação hipotética, devido às diferenças de enfoque, o custo da micromedição é muitas vezes maior do que o da macromedição.

5.1.3 Sistemas de produção convencionais

5.1.3.1 Introdução

Em sistemas mais complexos, os procedimentos de operação em particular o custo de energia elétrica, é elevado, relativa e absolutamente. Da mesma forma, o custo dos produtos utilizados no tratamento são mais significativos, não só pela demanda como pela degradação crescente dos mananciais que os exigem cada vez em quantidades e diversidade maiores. Nestes casos é imprescindível a existência de sistemas de medição, como parte básica do sistema de informação de apoio ao planejamento e à operação.

5.1.3.2 Processos relativos à instalação

O projeto deve ser global, analisando vazões máximas e mínimas dentro de um cronograma de evolução do abastecimento ou da produção. A instalação de TAP deve ser encarada como infraestrutura necessária para calibração. Deve prever não só as condições técnicas e hidráulicas de funcionamento, mas também as condições de operação ou leitura, enfim a infra-estrutura necessária

para o seu correto funcionamento, inclusive treinamento e desenvolvimento de mão-de-obra, e, por fim, as condições de manutenção e planos de manutenção preventiva e preditiva.

5.1.3.3 Processos relativos à localização e cadastro

O cadastro do sistema deve indicar a localização espacial ou geográfica dos medidores, *TAP* e válvulas limítrofes dos setores e dos distritos pitométricos. No caso dos *TAPs* devem ser indicadas as válvulas de operação necessárias para o ensaio de calibração. O histórico e as informações gerais dos medidores, *TAP* e válvulas devem ser solidárias a este cadastro. Em geral muitas informações existem de forma dispersa, compartimentada e restrita a grupos ou pessoas, como referência individualizada para realização de seu trabalho. A padronização das informações deve englobar os indivíduos e as equipes envolvidas no levantamento, com a finalidade de desenvolver e aprimorar o trabalho do grupo, levando-o a participar deste ganho de qualidade. Esse tipo de procedimento é o que melhor garante a atualização e consistência das informações.

5.1.3.4 Processos de coleta e tratamento de dados

O processo de leitura no caso da produção e adução de água bruta, bem como o tratamento destes dados segue dinâmica própria. A Figura 10 reproduz uma planilha de controle de processo de uma ETA utilizada pela Sabesp.

Na adução e distribuição a leitura, em geral, é feita por profissionais da área de operação que atuam diretamente no manejo de reservatórios, elevatórias, *booster*, adutoras e redes. Conforme cresce a complexidade do sistema, o tempo de deslocamento e as manutenções emergenciais, a coleta de dados vai sendo marginalizada. Em alguns casos a automação ou transmissão dos dados deve ser analisada como parte da solução. Em geral a complexidade existente já demanda a automação de operação do sistema de abastecimento por meio de um centro de controle operacional (CCO), sendo oportuno incluir no procedimento do CCO a transmissão de dados de medições. Neste caso, deve-se levar em conta a necessidade de instrumentação e novas ações para a manutenção.

O tratamento dos dados deve seguir critérios estatísticos e análise de consistência. A preservação histórica de longas séries de dados deve ser perseguida. A informatização pode agilizar e otimizar o desenvolvimento numérico.

Versão Preliminar para Discussão
PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCD

	Relatório Mensal de Tratamento de Água				ETA		
					MÊS/ANO		
VOLUME DE ÁGUA							
TRATADA		TRATADA (MÉDIA DIÁRIA)		TRATADA (VAZÃO MÉDIA)			
m ³		m ³		m ³ /s			
ADUZIDA		ADUZIDA (MÉDIA DIÁRIA)		ADUZIDA (VAZÃO MÉDIA)			
m ³		m ³		m ³ /s			
TOTAL DE LAVAGEM		VOLUME RECUPERADO		VAZÃO RECUPERADA			
m ³		m ³		m ³ /s			
VOLUME GASTO		VAZÃO MÉDIA GASTA		VOL. RECUP. + TRATADO		VAZÃO MÉD. RECUP. + TRAT	
m ³	m ³ /s	m ³	m ³ /s				
PRODUTO		SULFATO FÉRRICO	CLORETO FÉRRICO	CAL VIRGEM	CARVÃO ATIVADO	CLORO	ÁCIDO FLUORSSILÍCICO
ITEM							
CONSUMO TOTAL KG							
CONSUMO MÉDIA DIÁRIA KG/DIA							
DOSAGEM MÉDIA P.P.M.							
DIFERENÇA DE MEDIÇÃO =		m ³	m ³ /s				
PRODUTO		SULFATO DE COBRE		AMÔNIA		POLIELETRÓLITOS	
ITEM							
CONSUMO TOTAL KG							

Versão Preliminar para Discussão
PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCD

FILTROS	
<p>DURAÇÃO MÉDIA DE FUNCIONAMENTO</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Horas</div> <p>ÁGUA DE LAVAGEM TOTAL</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">m³</div> <p>ÁGUA DE LAVAGEM (MÉDIA DIÁRIA)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">m³/dia</div> <p>ÁGUA DE LAVAGEM (RELATIVA)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">%</div>	<p>TAXA MÉDIA DE FILTRAÇÃO</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">m³/m².dia</div> <p>TAXA MÉDIA DE ÁGUA DE LAVAGEM</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">m³/m².dia</div> <p>FILTROS PINTADOS EM CuSO₄</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Vazões</div>
DECANTADORES	
<p>DURAÇÃO MÉDIA DE FUNCIONAMENTO</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Dias</div> <p>TAXA DE APLICAÇÃO</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">m³/m².dia</div> <p>ÁGUA DE LAVAGEM TOTAL</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">m³</div>	<p style="text-align: center;">INTERRUPÇÕES</p> <p>DO TRATAMENTO DE ÁGUA</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Vaz.</div> <p>POR FALTA DE ENERGIA ELÉTRICA</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> <div style="width: 50%;">Horas</div> <div style="width: 50%;">Min</div> </div> <p>POR OUTRAS CAUSAS</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> <div style="width: 50%;">Horas</div> <div style="width: 50%;">Min</div> </div>
PREENCHIDO POR	
<p>Téc. Controle Sanitário</p>	<p>VISTO CHEFIA</p>

Figura 10 - Planilha de controle de processo de uma ETA
Fonte: Sabesp

Versão Preliminar para Discussão
PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCD

FILTROS NOVOS

Duração Média de Filtração: horas
 Taxa Média de Filtração: m³/m².dia
 Taxa Média de Água de Lavagem: m³/m².dia
 Água de Lavagem m³

VALORES MÉDIOS							
TIPOS DE ÁGUA	C.R.L. mg/l	pH	COR U.C.	PHs	ALC. TOTAL mg/l CaCO ₃	DEM. CLORO mg/l Cl	TURBIDEZ NTU
BRUTA							
COAGULADA							
DECANTADA							
FILTRADA							
FINAL							

SULFATO FÉRRICO	Densidade média=	g/cm ³
	Concentração Média=	g/l
CLORETO FÉRRICO	Densidade média=	g/cm ³
	Concentração Média=	g/l
ÁCIDO FLUOSSILÍCICO	Densidade média=	g/cm ³
	Concentração Média=	g/l
	F Aplicado =	mg/l
	Fator =	mg/l
	Flúor residual na água final	mg/l
POLIELETRÓLITO	Densidade média=	g/cm ³
	Aplicado no período	
	Consumo Total	Kg
CARVÃO ATIVADO	Densidade média=	mg/l
	Aplicado no período	

Figura 10 - Planilha de controle de processo de uma ETA (continuação).

Fonte: Sabesp

5.1.4 Sistema de adução de água tratada e reservação

A série de valores de vazão medidas na saída da ETA comparada com as séries medidas nas entradas dos setores de distribuição permitem computar as perdas na adução de água tratada.

Em sistemas pequenos, dotados de uma só ETA com uma única adução, as perdas podem ser avaliadas pela soma dos volumes aduzidos de água tratada aos reservatórios setoriais menos o volume produzido.

Em sistemas maiores ocorre a situação de uma mesma ETA abastecer diversos setores segundo diferentes ramos de adução. Nestes casos a diferença dos volumes somados dos setores em relação ao totalizador ou medidor de controle define as perdas no ramo, ou no sistema de adução água tratada quando se avalia o volume produzido.

No caso em que diferentes sistemas de distribuição são alimentados por um único sistema produtor, deve-se dispor de medidores na saída da ETA e na entrada da distribuição dos sistemas.

As questões relativas aos períodos em que são feitas as medições levantadas no item anterior (5.2.1.1) são análogas e igualmente importantes. Também nesse sub-sistema as possibilidades de registro contínuo de valores aumentam as alternativas para cálculos mais consistentes.

As perdas aqui referidas podem ser definidas como perda total dos trechos considerados pois a diferença calculada refere-se às perdas propriamente ditas (perda física) mais a inexistência e deficiências no sistema de macromedição.

5.1.5 Sistema de distribuição

As perdas nos sistemas de distribuição são, proporcionalmente ao volume total perdido, as maiores. O cômputo das perdas no sistema de distribuição são os mais trabalhosos.

A grosso modo o volume de água perdido no sistema de distribuição é calculado pela somatória dos valores nas entradas da malha de distribuição, subtraído da somatória de valores dos consumos registrados pelos hidrômetros prediais.

A consideração abrangente e que leva em conta os diversos detalhes dos sistemas de distribuição, se desdobra numa série de componentes relativos às diversas parcelas de volume e consumos necessários ao balanço.

Como forma de melhor entendimento dos componentes do balanço de água visando o controle de perdas, apresenta-se no item seguinte um quadro com as partições a serem consideradas nos cálculos.

5.2 Controle de perdas

Antes de se tomar qualquer decisão sobre a escolha da melhor política de controle e redução de perdas, é necessário que se tenha o conhecimento do nível de perdas em que determinado sistema de abastecimento se encontra.

A grosso modo o volume de água perdido no sistema de abastecimento é calculado pelo volume captado, subtraído da somatória de valores dos consumos registrados pelos hidrômetros prediais. Com muita freqüência, no entanto, ao invés do cômputo de água bruta, os cálculos são feitos com o volume de água tratada produzida, ou seja, a somatória de valores lidos na saída da ETA.

5.2.1 Níveis de agregação dos componentes das perdas

5.2.1.1 Balanço geral de volumes

O balanço geral do que é produzido e o que é consumido depende, no entanto, de uma série de outros componentes como, por exemplo, as instalações abastecidas, mas que não contam com

hidrômetros, a água usada para descargas na rede, para combate a incêndio e, obviamente, a água que vaza em diversas partes do sistema, entre tantas outras possibilidades.

O balanço dos volumes de água que leva em conta os diversos componentes, de forma abrangente, é representado no Quadro a seguir, que tem tido grande aceitação no Brasil e de forma internacional, tendo sido elaborado adotado IWA.

A lógica que orienta a montagem do quadro permite distinguir o volume perdido do volume total, discrimina os diversos componentes e os relaciona com o lado financeiro, na medida em que identifica o que foi (ou é passível) de faturamento.

A apuração do volume consumido deve ser feita seguindo os seguintes passos:

Verificar através do cadastro comercial disponível, a quantidade e localização das ligações que dispõem de hidrômetros e as ligações sem hidrômetros;

Medir o consumo das ligações providas de hidrômetros;

Estimar o volume consumido, usando a média dos últimos meses micromedidos, em hidrômetros que, por um motivo qualquer, não tenham sido realizadas as suas leituras;

No caso de ligações sem hidrômetros, estimar o consumo através da média do volume micromedido das ligações de sua vizinhança que disponham de hidrômetros, ou em última hipótese, a partir do consumo per capita médio, obtido através de medições de consumo realizadas em um setor representativo, ou de estudos de demanda.

Visando melhorar a contabilização do volume consumido, recomenda-se que todas as ligações de água sejam hidrometradas, e fazer coincidir o período da contabilização do volume produzido com o período da leitura dos hidrômetros, permitindo comparações coerentes.

A coincidência do período de leitura dos hidrômetros com os valores extraídos da macromedição é necessária uma vez que eventuais defasagens entre eles pode levar a comparações entre períodos de macro e micromedição que podem ter características de consumo bem diferentes, e, conseqüentemente, levem a distorções no cálculo;

Freqüentemente é necessário criar ou redefinir os grupos de leitura de hidrômetros de forma a coincidirem com os setores de abastecimento dentro de cada localidade, pois, em alguns casos, a macromedição da água que entra em um dado sistema, presumivelmente um setor isolado, pode, na realidade, abranger mais de um setor, e conseqüentemente, diferentes grupos de leitura de hidrômetros. Esse aspecto é muito importante e com freqüência observam-se setores de distribuição conectados a outros sem que haja pleno conhecimento tanto do pessoal operacional quanto da área comercial. Assim, além de identificar e caracterizar eventuais conexões entre setores, a área comercial e a área operacional tem de estar em sintonia no sentido de realizar os balanços de volume pretendido.

Algumas considerações decorrentes da prática da operação de sistemas de abastecimento dotados de controle permanente quanto à medição devem ser observados.

As atividades e ações devem ser sistemáticas e compreendem a análise e consistência de dados, compatibilização, resolução de não conformidades, solicitação de calibração dos medidores e sistemas.

Versão Preliminar para Discussão
PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCD

Quadro – Componentes do Balanço de Água (Fonte: IWA (2000))

Volume de Entrada no Sistema	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Faturado	Consumo Medido Faturado (Incluindo volume exportado)	Volume Faturado
			Consumo Estimado Faturado	
		Consumo Autorizado Não Faturado	Consumo Medido Não Faturado	Água Não Faturada
			Consumo Estimado Não Faturado	
	Perda de Água	Perda Não Física	Consumo Não Autorizado	
			Erro de Medição	
		Perda Física	Vazamentos e Extravasamentos em Reservatórios	
			Vazamentos em adutoras e redes	
			Vazamentos em ramais até a entrega o ponto de entrega do consumidor	

- **Volumes macromedidos**

A verificação das leituras feitas deve ser diária. Para tanto é necessário que haja uma referência de volumes ou vazões para comparação e avaliação de possíveis desvios. O processo ideal é o do acompanhamento horário que, no entanto, somente é possível com a automação dos processos.

- **Volume micromedido**

Em sistemas de pequeno e médio portes onde as leituras de hidrômetros são feitas mais ou menos rapidamente, é possível totalizar o volume macromedido para comparação direta com os valores da macromedição e avaliação das perdas.

Em sistemas maiores o procedimento de leitura de hidrômetros se desenvolve segundo um período longo segundo sistemática própria. Neste caso não é possível aguardar a conclusão das leituras para efetuar a totalização. Deve-se então trabalhar com amostragem estatística para prever, na seqüência das leituras, a evolução do volume micromedido. Com base no volume médio ou sazonal é possível prever o resultado em termos de perdas.

- **Setor de abastecimento**

A garantia de correção dos resultados só pode existir com a informação correta e atualizada de fechamento do setor de abastecimento.

Toda credibilidade do sistema de controle fica abalada quando surge um indicador de perdas negativo ou uma anomalia de resultados. Pressupondo-se que a exatidão dos medidores esteja em níveis adequados, estas ocorrências podem ser devidas a dois problemas: registros abertos nos limites da rede de abastecimento entre setores abertos e equação de macromedição desatualizada ou incorreta.

- **Calibrações**

A periodicidade de calibração dos medidores pode, em princípio, ser anual. O período necessário entre calibrações, na verdade, é função do tipo de instrumento e outras características locais. Alguns instrumentos específicos podem requerer calibração em período menor e outros em períodos maiores.

Normalmente a mesma periodicidade de um ano é usada para limpeza e lavagem de reservatórios. Como esta intervenção é feita no inverno, aproveitando a redução de consumo sazonal, a calibração pode, com alguns ajustes de atividades, ser feita simultaneamente.

As calibrações definem o ponto de trabalho do medidor. Caso este apresente erro acima da faixa estabelecida deve ser acionado o pessoal de instrumentação para calibração do elemento secundário.

5.2.1.2 Índice de perdas

O índice de perdas é amplamente utilizado no Brasil. Conforme define o DTA A2, o Índice de Perda na Distribuição (IPD) é calculado pela expressão:

$$\text{IPD} = \frac{\text{Volume disponibilizado (VD)} - \text{Volume utilizado (VU)} \times 100}{\text{Volume disponibilizado (VD)}}$$

Esse índice não deve ser utilizado isoladamente para medir desempenho de um sistema de distribuição de água. Porém, a título de uma primeira análise, considera-se que índices de perdas superiores a 40% representam más condições do sistema quanto às perdas; em uma condição intermediária, estariam os sistemas com índices de perdas entre 40% e 25%; e valores abaixo de 25% indicam sistemas com bom gerenciamento de suas perdas.

O índice de perdas tem sofrido vários questionamentos sobre a sua forma de obtenção, bem como quanto a sua representatividade e capacidade de comparação entre diversos sistemas. O documento técnico DTA A2 analisa de forma abrangente as características dos diversos índices.

De qualquer forma, considerando-se a necessidade de obtenção de índices sob procedimentos homogêneos deve-se padronizar a forma de apuração do índice, a nível nacional, unificando os critérios e a forma de cálculo dos volumes produzido e consumido utilizados pelas várias prestadoras do serviço de abastecimento.

5.2.1.3 Balanço Anual

Visando fazer um balanço global do desempenho dos sistemas quanto às perdas, deve-se contabilizar o volume perdido acumulando os seus valores para o período anual, o que permite minimizar as interferências advindas das variações entre o início e o final de períodos correspondentes (não simultaneidade) ao cômputo dos valores de macromedição e de micromedição, num mesmo ano. Ganha-se na avaliação geral do sistema, porém, perde-se na capacidade de se tomar decisões a curto prazo.

Alguns detalhes devem ser observados nas considerações sobre os volumes totais:

- na produção é basicamente a somatória dos volumes efluentes das ETAs ou unidades de tratamento simplificado no sistema de abastecimento considerado. Esse número além da avaliação de desempenho geral do sistema de produção, com a análise de perdas, serve para o balanço de retirada e uso do manancial e o manejo das reservas hídricas;

- na reservação e rede primária são analisados mais propriamente as perdas da adução e distribuição;
- na malha de distribuição, considerado o conjunto dos medidores, é maior a probabilidade de ocorrência de inconsistências ou inconformidades com referência às equações de medição em função da complexidade natural da rede. Essas dificuldades levam freqüentemente a adoção de números inferidos ou obtidos indiretamente. Nestes casos, costuma-se apresentar os valores arredondados, como por exemplo: 400.000 m³;
- como muitos sistemas de abastecimento não possuem cobertura total em termos de medição, é importante identificar a parcela estimada ou calculada, diferenciando-a da parcela medida. No caso, a parcela estimada ou calculada é arredondada, como por exemplo 220.000 m³;

5.2.1.4 Vazão noturna

O método da vazão mínima noturna é uma poderosa ferramenta para quantificar perdas nos sistemas de distribuição de água, bem como para orientar os processos de tomada de decisão quanto as pesquisas de vazamentos e ações de combate às perdas.

A descrição do método da vazão mínima noturna e dos procedimentos de medição e processamento de dados exigem, por si só, uma publicação exclusiva. Serão a seguir descritos apenas alguns procedimentos orientativos, mas que não pretendem cobrir a extensão e o detalhamento exigido pelo tema.

Em um setor de distribuição isolado, dotado de um macromedidor na sua tubulação de entrada, as vazões registradas durante certo período da madrugada serão compostas basicamente de consumidores noturnos eventuais, consumidores noturnos regulares e vazamentos na rede. Assim, identificados os consumos efetivos durante a noite, o monitoramento da vazão mínima noturna pode ser utilizado para quantificar perdas físicas.

No cálculo da perda noturna tem importância um outro valor, fisicamente identificado em qualquer que seja a rede de distribuição. Essa parcela de perda é denominada perda inerente e corresponde às perdas que sempre ocorrem por mais eficiente que seja o controle de perdas adotado. À perda inerente corresponde a vazão mínima noturna inerente. A determinação da vazão mínima noturna inerente é feita a partir de metodologias específicas.

A perda noturna é calculada pela diferença entre o valor obtido pela medição da vazão mínima noturna e o valor devido ao consumo noturno e as perdas inerentes. Assim, para o período noturno em que se considera que a vazão é constante e de valor mínimo, a seguinte expressão pode ser escrita:

vazão de perda noturna	=	vazão mínima noturna	–	vazão de consumo noturna	–	vazão mínima noturna inerente
-----------------------------------	----------	---------------------------------	----------	-------------------------------------	----------	--

A estimativa da perda diária é feita por extrapolação da perda noturna, de onde decorre a estimativa do volume perdido em um dia.

Sistemas que sofrem intermitência de abastecimento, não são adequados ao uso do método da vazão noturna, uma vez que, devido à falta d'água durante boa parte do dia (demanda reprimida), o consumo noturno nessas circunstâncias é muito elevado, o que pode dar a falsa noção de elevadas perdas noturnas.

5.2.1.5 Determinação da pressão

Deve-se ter o conhecimento das pressões que atuam no sistema, uma vez que a pressão está intimamente ligada à ocorrência e quantidade das perdas físicas, interferindo, na maioria das vezes, nas atividades de controle de perdas.

A determinação da Pressão Média do Setor - PMS pode ser feita da seguinte forma:

- a) A partir de plantas topográficas e do conhecimento do sistema, determinar os pontos de maior e menor pressão;
- b) Através da instalação de medidores de pressão nesses pontos escolhidos, obter os valores de pressões máximas e mínimas ($P_{máx}$ e $P_{mín}$) durante todo o dia, contabilizados como as médias horárias;
- c) Calcular a pressão média horária: $(P_{máx} + P_{mín}) / 2$;
- d) Determinar o parâmetro S , que é a estimativa da proporção do sistema que possui pressões acima do valor da pressão média, baseado no levantamento das cotas obtidas nas plantas cadastrais da rede; e
- e) A PMS para cada período será obtido através da equação:

$$PMS = S \times P_{máx} + (1 - S) \times P_{mín}$$

A determinação da PMS permite avaliar o comportamento médio do setor no que diz respeito às pressões ao longo do dia. A partir de então, pode-se relacionar a PMS da rede com a vazão de entrada no sistema de maneira mais representativa, permitindo definir a interferência de uma possível variação da pressão na vazão de entrada.

5.2.1.6 Seleção das formas de controle de perdas

A prestadora dos serviços de saneamento deve implantar o seu programa de controle de perdas com base em uma redução de perdas a custos aceitáveis, ou seja, obedecendo os critérios de viabilidade econômica.

A primeira atividade de controle de perdas é a setorização da rede. Pode-se utilizar, como única forma de controle, a implantação simples do distrito de medição da vazão de entrada do setor, monitorando a vazão de entrada e, a partir do controle dessa vazão, avaliar as perdas do sistema. De maneira a melhorar esse método, deve-se dividir o distrito em distritos menores, instalando medidores de maior sensibilidade, permitindo um controle mais eficiente do setor quanto ao monitoramento da vazão mínima noturna.

Na setorização deve ser previsto um sistema de monitoramento e controle da pressão. A partir da relação entre as pressões e os vazamentos, pode-se estipular a melhor forma de redução e os níveis de pressão que proporcionem a redução de perdas da forma mais adequada, do ponto de vista econômico.

O primeiro passo a ser dado na setorização de redes é determinar as zonas de influência dos reservatórios apoiados e/ou elevados. O critério usado para delimitação dos setores deve seguir as orientações das normas relativas às pressões máxima e mínima dinâmica, ou diretrizes de operação que prevaleçam nos casos de incompatibilidade com as anteriores. Para atender esta etapa, a companhia deve dispor de um cadastro técnico confiável e atualizado.

Na setorização deve-se, além de isolar o sistema em setores de abastecimentos, também colocar válvulas redutoras de pressão ou reservatórios para quebra de pressão, bem como, quando tratar-se de sistemas existentes, substituir e adequar os diâmetros das redes, visando um melhor funcionamento do sistema quanto a pressões de serviço mais adequadas no que refere-se à redução de perdas.

É necessário instalar medidores de vazão, preferencialmente, em uma única linha alimentadora, bastando para a medição global, a colocação de um único macromedidor. No caso de distritos de medição com mais de uma linha de alimentação ou que uma de suas linhas esteja abastecendo outro distrito, devem ser previstas tantas estações de macromedidores ou pitométricas quantas forem necessárias, para que, através de medições simultâneas de vazão, se obtenha, com sua somatória, o histograma de consumo da área em questão. Tal consideração também vale para o caso de sub-distritos. A extensão de rede contida em um distrito de medição deve levar em conta os seguintes aspectos:

- A extensão da rede deve ser tal que o distrito possua uma distribuição homogênea do consumo;
- A dimensão da linha ou linhas de alimentação do distrito pitométrico deverá ser suficiente para abastecer a área sem problemas e ter velocidades de água compatíveis com os limites de precisão do tubo de pitot (velocidades não devem ser inferiores a 0,3 m/s);
- Em geral, a quantidade de registros a serem fechados para isolar o distrito não deve ser maior que 20, caso contrário, o tempo de manobra pode inviabilizar o isolamento, bem como a extensão total da rede não deve ultrapassar a 25 km.

Deve-se dimensionar os medidores de vazão para serem capazes de medir, sem perda de precisão, baixas vazões (vazão mínima noturna), bem como permitir o abastecimento na vazão de pico, sem introduzir uma considerável perda de carga. Devem ainda ser dimensionados para uma certa quantidade de consumidores, variando de 2.000 a 5.000 propriedades.

Para refinamento de um distrito, subdividi-lo, de tal forma que se tenha apenas uma entrada nessa área, facilitando o seu controle, e instalar um medidor de alta precisão para vazões baixas, obtendo-se um melhor controle da vazão perdida no distrito (distrito de medição combinado).

Deve-se adotar as atividades de controle e redução de pressão em conjunto com o monitoramento da vazão mínima noturna. É necessário escolher os locais adequados a serem monitorados, bem como, determinar os parâmetros que relacionam pressão e vazão mínima noturna, estimando o potencial de redução de um vazamento em função da redução de pressão.

Para melhor eficiência no controle de pressão, utilizar válvulas redutoras de pressão com vazão modulada, onde pode-se variar a pressão de acordo com as horas do dia, ou de acordo com a vazão mínima necessária para determinados. A PMS (pressão média do setor) resultante, no caso da vazão modulada, será maior para vazões maiores e poderá ser otimizada para garantir a demanda mínima. Para utilizar equipamentos controladores que permitam a redução da pressão com vazão modulada é necessário que a válvula esteja instalada no mesmo local do medidor de vazão.

O método mais simples e econômico para redução de perdas é o uso de válvulas redutoras de pressão com saída constante, incluindo-se nesta categoria também os reservatórios para quebra de pressão. Geralmente, válvulas com saída constante mantêm aproximadamente o mesmo valor de pressão a jusante da válvula para intervalo de vazões durante o dia, sendo que a pressão regulada tem que ser escolhida de tal forma a garantir a pressão mínima dinâmica na hora de maior consumo.

5.3 Comercialização da água

EM CURSO DE ELABORAÇÃO

5.4 Subsídio à conservação de energia

EM CURSO DE ELABORAÇÃO

5.5 Processos usuais, descontinuidades e correções

5.5.1 Dados de Leitura

Discrepâncias de valores podem indicar erro ou engano na leitura, sendo solicitada nova leitura. Com base na série histórica e mantidas as condições anteriores, tem-se nas diferenças ou desvios a indicação de perda de exatidão. A partir de determinado valor de desvio é necessário levar a efeito a manutenção e calibração do medidor.

5.5.2 Impedimentos

As leituras podem sofrer descontinuidade motivada por feriados prolongados, fim-de-semana ou contingências do abastecimento. Nestes casos, o medidor deve continuar funcionando e a série de registros de medições poderá ser reconstituída por interpolação.

Nos casos de quebra, falha e mau funcionamento do medidor, pode-se interpolar o resultado por meio de outros medidores com base na equação de medição do setor ou do ramo de adução. Pode-se também adotar a média de meses anteriores ou da série se mantidas as condições operacionais, verificando-se, também, as variações que normalmente ocorrem devido à sazonalidade entre os períodos de chuva e de estiagem. Estas soluções devem ser consideradas emergenciais e de curta permanência, sob o risco de comprometer a série histórica.

Ao se observarem problemas nos valores ou má recepção, no caso de dados transmitidos à central de controle, deve-se imediatamente verificar em campo o funcionamento do equipamento, visando não interromper a série de dados por um período de tempo excessivo.

6. BIBLIOGRAFIA

- Alves, W.C; Costa, A.J.M.P; Gomez, J.G; Peixoto, J.B; Leite, S.R. Documento Técnico de Apoio D3 – Micromedição. MPO/SEPURB/DESAN, Brasília, 1999.
- ASME. Fluid meters their theory and application. Report, 6th Ed., 1971.
- ASTM D3796. Standard practice for calibration of type S pitot tubes. 1979 (reapproved, 1985).
- CETESB L4.250. Medição de vazão de água por meio de tubo de pitot. Procedimento, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 1990.
- Cole, E.S. The pilot tube in current practice. Civil Engineering, vol. 5, 1935.
- Gonçalves, E. Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – estudo de casos da CAESB. Dissertação de mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília, Brasília, 1998.
- ISO 1438. Liquid flow measurement in open channels using weirs and venturi flumes.
- ISO 3455. Liquid flow measurement in open channels – Calibrating of rotating element current-meters in straight channels. ISO, 1977.
- ISO 3966. Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pitot static tubes. ISO 1977.
- ISO 4064. Measurement of water flow in closed conduits – Combination meters for cold potable water.
- ISO 4359. Liquid flow measurement in open channels using flumes.
- ISO 4369. Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes – triangular profile weirs.
- ISO 4377. Liquid flow measurement in open channels-flat-V weirs.
- ISO 6817. Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods using electromagnetic flowmeters.
- ISO 7858. Measurement of water flow in closed conduits – Combination meters for cold potable water. ISO 1985.
- ISO 9104. Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods of evaluating the performance of electromagnetic flowmeters for liquids.
- ISO 12765. Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods using transit time ultrasonic flowmeters.
- Miranda, E.C. (2002). Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água – Indicadores de Perdas e Metodologias para Análise de Confiabilidade. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM – 57/2002, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 200 p.
- NBR/ISO 5167. Medição de vazão de fluidos por meio de instrumentos de pressão – Parte 1: placas de orifício, bocas e tubos de Venturi instalados em seção transversal circular de condutos forçados.
- NBR 8193. Hidrômetro taquimétrico para água fria até 15 m³/h de vazão nominal – Especificação.

NBR 14005 – Medidor velocimétrico para água fria de vazão nominal de 15 até 1.500 m³/h.

Silva, R.T; Conejo, J.G.L; Alves, R.F.F.; Miranda, E.C. Documento Técnico de Apoio A2 – Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água. MPO/SEPURB/DESAN, Brasília, 1998.

Wiendl, W. G. Análise do Funcionamento Prolongado de Medidores Proporcionais. CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, João Pessoa, 1997.

EM CURSO DE ELABORAÇÃO

APÊNDICE – NOÇÕES E APLICAÇÕES SOBRE:

- *CALIBRAÇÃO,*
- *ERRO E EXATIDÃO,*
- *INCERTEZA,*
- *CONFIABILIDADE*

1. INTRODUÇÃO
2. ERRO, EXATIDÃO E INCERTEZA: CONCEITOS GERAIS
3. TIPOS DE INCERTEZAS
4. ESTIMATIVA DE INCERTEZAS NA MEDIÇÃO DE VAZÃO
5. CONFIABILIDADE
6. EXEMPLOS
7. BIBLIOGRAFIA

A medição é uma expressão numérica de uma medida física. Toda medição está afetada de um erro, que pode ter diversas origens como o instrumento de medição, operador, etc.

Para um processo de medição confiável é importante que a medição seja acompanhada de uma avaliação da exatidão da mesma, caso contrário poderemos estar confiando no resultado de uma medida muito além do valor que ela realmente nos dá.

Por exemplo: se uma medição por pitometria de vazão nos fornece uma leitura de $3,222\text{m}^3/\text{h}$, devemos confiar no 0,002? ou apenas na segunda casa? Ou o processo de medição foi tão difícil que poderíamos confiar apenas na primeira casa ($3\text{ m}^3/\text{h}$)?

Para resolver essa necessidade a ISO desenvolveu uma metodologia internacionalmente aceita para estimativa nas incertezas de medição. Essa metodologia tem se tornado universal e já gerou diversas normas nacionais, sendo uma ferramenta cada vez mais exigida na apresentação de um resultado de medição, principalmente em Macromedição e pitometria onde os métodos são muitas vezes afetados de muitas variáveis.

O objetivo deste apêndice é apresentar os conceitos gerais e um guia para pelo menos poder se fazer uma avaliação primeira das incertezas no método. Estudos mais detalhados poderão ser feitos utilizando a bibliografia indicada.

