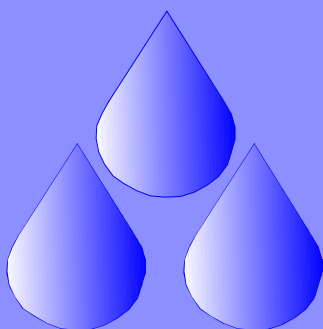


# PNCDA

PROGRAMA NACIONAL DE  
COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA

DOCUMENTOS TÉCNICOS DE APOIO



## MACROMEDIÇÃO

(Versão Preliminar)



Presidência da República  
Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano  
Secretaria de Política Urbana



# D2

SECRETÁRIO ESPECIAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO

Ovídio de Angelis

COORDENAÇÃO TÉCNICA DOS TRABALHOS

Pela FUPAM: Ricardo Toledo Silva

Pela SEPURB: Cláudia Monique Frank de Albuquerque

ENTIDADES PARTICIPANTES DO PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA-PNCDA

PROTOCOLOS DE COOPERAÇÃO FIRMADOS COM A SEPURB/SEDU/PR

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL - MMA

Secretaria de Recursos Hídricos – SRH

Secretaria de Meio Ambiente – SMA

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME

Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético

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

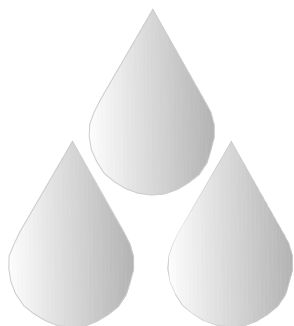
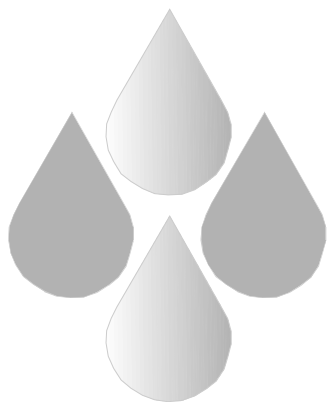
FUSP – Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo

INFURB-USP – Núcleo de Pesquisa em Informações Urbanas da Universidade de São Paulo

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

# PNCDA

PROGRAMA NACIONAL DE  
COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA



## MACROMEDIÇÃO

(Versão Preliminar)



Wolney Castilho Alves  
Alberto J.M.P. da Costa  
Jorge Sanchez Gomes  
Osvaldo Ioshio Nilda

Presidência da República  
Secretaria Especial de  
Desenvolvimento Urbano  
Secretaria de Política Urbana  
Brasília - 1999

**DTA**  
DOCUMENTOS  
TÉCNICOS  
DE APOIO

• **D2**

O Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água é financiado pela União, através de recursos do Orçamento Geral da União - O.G.U., e está sendo desenvolvido pela Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República - SEDU/PR, por intermédio de Convênio firmado com a Fundação para a Pesquisa Ambiental - FUPAM da Universidade de São Paulo.

Os Documentos Técnicos de Apoio, após uma versão preliminar, foram apresentados às diversas entidades e prestadores de serviços do Setor Saneamento, além de técnicos especialistas, participantes ou não do Programa, e somente concluídos graças aos comentários, críticas e sugestões enviados ao PNCDa ou discutidos em reuniões técnicas com a equipe da FUPAM e SEPURB/SEDU/PR.

A Coordenação do PNCDa agradece as diversas contribuições recebidas.

## SUMÁRIO

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCDA	6
INTRODUÇÃO	9
1. OBJETIVOS	10
2. CONCEITO E APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO	11
2.1 Conceituação	11
2.2 Instalação e Funcionamento dos Medidores	12
2.3 Localização e cadastro dos medidores	13
2.4 Parâmetros a Serem Medidos	15
2.5 Recursos Humanos	17
2.6 Manutenção	19
2.7 Aquisição e Tratamento dos Dados	21
3. DESCRIÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO	22
3.1 Produção	23
3.2 Adução e Reservação	24
3.3 Distribuição	25
4. INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS	29
4.1 Medidores de Vazão para Condutos Abertos	29
4.2 Medidores de Vazão para Condutos Fechados	31
4.3 Medidores de Velocidade de Escoamento ou de Inserção	37
4.4 Medidores de Pressão	39
5. PROCESSOS DE MEDIÇÃO	41
5.1 Indicadores	41
5.2 Sistemas de Produção Simples ou Unitários	41
5.3 Sistemas de Produção Convencionais	42
5.4 Controle de Perdas	45
6. BIBLIOGRAFIA	48

## **PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCD**

A criação do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCD, na esfera federal, vem ao encontro de uma antiga demanda do Setor Saneamento, delineada desde início da década de 1980 e sistematizada no “Seminário Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público” (anais publicados, 1986). O evento foi promovido pela então Secretaria de Saneamento do MDU, em articulação com o BNH e executado pelo IPT em colaboração com a USP, apoiados pela ABES, pela ASFAMAS e outras entidades do setor. O objetivo de articulação em âmbito nacional foi na época frustrado pelo fechamento do BNH, associado a um profundo desgaste da organização institucional do saneamento básico na esfera federal. No entanto, algumas iniciativas associadas àquele esforço permaneceram, especialmente na linha de pesquisa em componentes de baixo consumo de água, mediante parcerias entre instituições de pesquisa e fabricantes de aparelhos e equipamentos sanitários.

Em 1994, os estudos que deram origem à série “Modernização do Setor Saneamento” (MPO/ IPEA, 1995 a 1997, 9 vols.) apontaram enfaticamente para a necessidade de se incorporar – no âmbito federal – a coordenação de políticas e programas voltados à conservação e ao uso racional da água de abastecimento público. Em abril de 1997, em articulação com o Ministério do Meio-Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal e com o Ministério das Minas e Energia, o Ministério do Planejamento e Orçamento – por meio do Departamento de Saneamento da SEPURB – finalmente instituiu na esfera federal um programa de conservação e uso racional da água de abastecimento público. Trata-se portanto de um projeto de longa maturação, que sofreu os percalços de um longo período de abandono e que merece ser implementado com todo o cuidado, evitando a saída fácil da adoção irrefletida de soluções isoladas como se fossem respostas universais, por mais eficientes que estas possam se ter mostrado em casos específicos.

Na ocasião foram firmados protocolos de cooperação com entidades civis alinhadas com os objetivos do Programa e em setembro do mesmo ano foi celebrado um primeiro convênio com a Fundação para Pesquisa Ambiental – FUPAM, vinculada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. O convênio teve como escopo a realização de estudos especializados e à organização de um conjunto de Documentos Técnicos de Apoio – DTA às atividades do Programa, nas áreas de planejamento das ações de conservação, de tecnologia dos sistemas públicos de abastecimento de água e de tecnologia dos sistemas prediais de água e esgoto.

O Programa tem por objetivo geral promover 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.

Os 16 DTA's postos em discussão após a primeira rodada de consulta que se seguiu à Fase I do PNCD, refletem a retomada de estudos abrangentes na área e não devem ser vistos como peças acabadas de um programa burocrático. A inclusão do componente “Tecnologia dos Sistemas Públicos” incorpora parte do conteúdo de programas passados de melhoria operacional em controle de perdas no âmbito da conservação urbana de água. Esses conteúdos são agora associados a uma visão mais ampla de combate ao desperdício, segundo a qual se o objetivo de maior eficiência ao uso da água é buscado em todas as fases de seu ciclo de utilização, desde a captação até o consumo final.

A Fase II do Programa, em 1998, inclui a produção de mais 4 DTA's, sua publicação e a implantação de um sistema de acesso via Internet. Os escopos das fases até agora definidas como objetos de convênio são esquematizados nas figuras 1 e 2, a seguir.

**FIGURA I**  
**PNCDA - Escopo da Fase I - 1997**  
**CONTEÚDO DA PRIMEIRA FASE**  
**Documentos Técnicos de Apoio – DTA**

Planejamento e Gestão Gerenciamento da Demanda	Conservação nos Sistemas Públicos	Conservação nos Sistemas Prediais
A1 - Apresentação do Programa	C1 - Recomendações Gerais e Normas de Referência	E1 - Caracterização/Monitor. do Consumo
A2 - Indicadores de Perdas nos SAA	C2 - Panorama dos Sistemas no País	E2 - Normalização/Qualidade
A3 - Caracterização da Demanda Urbana de Água	C3 - Elementos para Planejamento	F1 - Tecnologias Poupadoras
A4 - Bibliografia Anotada	D1 - Controle de Pressão na Rede	F2 - Produtos Poupadores: Fichas Técnicas
B1 - Elementos de Análise Econômica (Predial)	D2 - Macromedição	F3* - Códigos Prática (roteiro) Instalações AF/AQ
B2 - Campanhas de Educação Pública	D3 - Micromedição	F4* - Códigos Prática (roteiro) Ramais Prediais
B3 - Medidas de Racionalização Grandes Consumidores	D4 - Redução de Perdas e Trat. de Lodo em ETA	(*) Depois consolidados em DTA único para CP.

Obs.: Na Fase I os DTA B3, D1, D2 e D3 foram apenas conceituados, sem emissão de texto base.

**FIGURA II**  
**PNCDA - Escopo da Fase II - 1998 e 1999**  
**CONTEÚDO DA SEGUNDA FASE**  
**No exercício de 1998**

Estrutura Institucional do PNCDA	DTA complementares	Curso/workshop regional de aperfeiçoamento
Sistema de gestão do PNCDA	B3 - Medidas de Racionalização Grandes Consumidores	Instrumentos de planejamento
Planos regionais e locais - DTA A5	D1 - Controle de Pressão na Rede	Controle de perdas nos sistemas públicos
Articulação com programas existentes	D2 - Macromedição	Gerenciamento da demanda em sistemas prediais
PMSS	D3 - Micromedição	Trabalho de curso: desenvolver estudo setorial/local/regional
PASS	Revisão e publicação dos DTA	Experiência piloto – aplicação de um plano local
Pró-Saneamento	Para impressão e rede A1/A2/A3/B1/B2/B3/C1/C2/C3 D1/D2/D3/D4/E1/E2/F1/F2	Diagnóstico cf. indicadores padronizados do PNCDA
Estruturação de página do PNCDA na Internet	Para rede somente A4 - Bibliografia F3 e F4 - Roteiros para CP	Previsão de demanda real e de consumo reprimido Monitoramento predial
Arquitetura do sistema blocos interativos		Cadastro de rede em setores selecionados
Arquivos em hipertexto		Controle de pressão em setores selecionados
Arquivos em PDF		Ações para redução de consumo predial

Ovídio de Angelis  
 Secretário Especial de Desenvolvimento Urbano/PR

**DTA – DOCUMENTO TÉCNICO DE APOIO D2  
MACROMEDIÇÃO**



## INTRODUÇÃO

Os sistemas de medição se constituem num instrumento indispensável à operação de sistemas públicos de distribuição de água.

Quanto às suas aplicações os sistemas de medição se constituem em ferramental para o aumento da eficiência da operação de sistemas de abastecimento, permitindo conhecer o funcionamento do sistema e subsidiando o controle de parâmetros, tais como: vazão, pressão, volume, etc.

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. Macromedição é o conjunto de medições realizadas no sistema público de abastecimento de água. 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. Esses medidores, são normalmente de maior porte. Cabe, no entanto, 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 nº 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 abaixo procura abordar as questões básicas, os conceitos principais que orientam os sistemas de macromedição, sem perder de vista, sempre, os objetivos de cada sistema, sub-sistema ou mesmo medição isolada e 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.

## 1. OBJETIVOS

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

O PNCDA enseja uma primeira resposta a esta pergunta. A partir daí, medidas podem ser tomadas para evitar ou minimizar perdas e desperdícios. Portanto, no âmbito do PNCDA, a macromedição tem por objetivo oferecer o ferramental necessário à avaliação dos volumes de água aprovada pelos sistemas públicos de abastecimento.

De uma maneira mais geral, no entanto, a macromedição tem outros campos de aplicação. As necessidades de cada caso orientam o papel preponderante da macromedição. Entre essas aplicações, citam-se:

- controle de produção: neste caso a macromedição permite medir os volumes e vazões aportados durante determinado período de interesse. Tais elementos são essenciais para um acompanhamento da evolução dos diversos subsistemas (adução de água bruta, tratamento, reservação, adução de água tratada e distribuição), dando margem ao estabelecimento de séries históricas de desempenho do sistema;
- operação do sistema: neste caso a macromedição permite medir parâmetros técnicos importantes. De posse desses valores é possível intervir de forma a controlá-los visando adequar a operação a níveis de eficiência desejáveis;
- planejamento: a expansão do sistema, as readequações de setores de distribuição e os remanejamentos, são ações inseridas em planejamento e que requerem projetos detalhados. Neste caso, a macromedição oferece subsídios importantes, na medida em que os parâmetros medidos permitem estabelecer margens de disponibilidades existentes, demandas não atendidas, limites de exploração do sistema, dentre outros aspectos;
- fornecimento de água por atacado: uma particular aplicação da macromedição é a medição de água tratada fornecida por atacado. É o caso, por exemplo, das regiões metropolitanas, onde ocorre com frequência o fornecimento de água de sistemas produtores centralizados para diversos municípios da região que possuem serviços autônomos, mas que não contam com produção própria de água potável;
- controle de gastos com energia: deve-se ter em conta que grande parte da adução, da distribuição e do próprio tratamento, depende de equipamentos e instalações elétricas. Portanto, o perfil de abastecimento se reflete diretamente nas despesas com energia elétrica. Para se evitar o consumo nos períodos mais caros em termos da tarifa elétrica, é possível deslocar-se o consumo utilizando-se a capacidade de reservação e mesmo a postergação de picos de grandes consumidores; e
- a dosagem de produtos químicos: uma outra aplicação particular que requer a utilização da macromedição ocorre quando deseja-se adicionar produtos químicos, cloro ou flúor, por exemplo. Nestes casos normalmente são requeridas medições precisas visando obter graus de concentração pré-estabelecidos.

## 2. CONCEITO E APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

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. A esse quadro devem ser adicionadas as finalidades e objetivos empresariais da macromedição, consideradas em conjunto com 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.

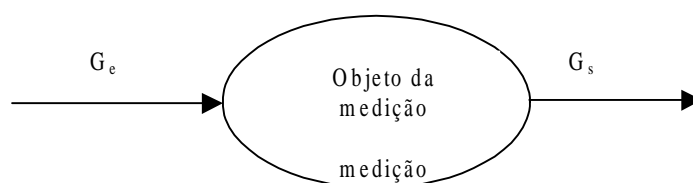
### 2.1 Conceituação

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?

Obviamente, cada uma dessas perguntas e suas respostas estará condicionada pelas características concretas do sistema e seus sistemas, das disponibilidades financeiras, dos recursos humanos disponíveis, da sua própria lógica de funcionamento, dentre outros aspectos.

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).

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.

## 2.2 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.

### 2.2.1 Projeto de Instalação dos Medidores

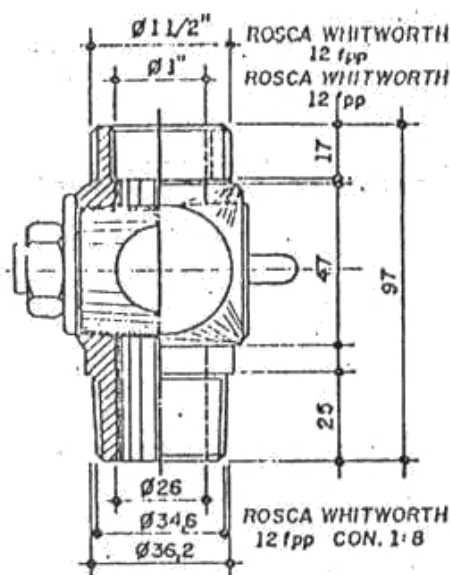
Primeiramente é necessário conhecer e obedecer às condições de instalação definidas nos catálogos dos medidores. Aparentemente óbvia, essa recomendação frequentemente é esquecida perdendo-se recursos importantes e potencial de controle. Além disso os seguintes aspectos devem ser considerados:

- 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
- permitir ações que requeiram a retirada do medidor, prever dimensões adequadas da caixa e dispositivos associados ao medidor.

A Figura 1 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.

Figura 1 - Detalhe do TAP ou Registro de Derivação

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



• REGISTRO DE DERIVAÇÃO DE 26 mm.

A Figura 2 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.

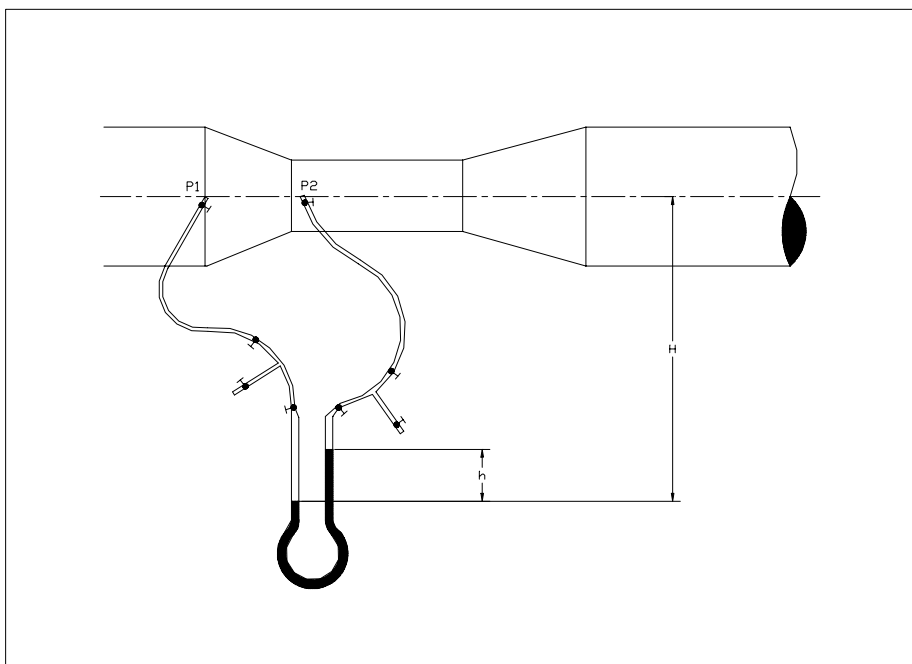
### 2.1.2 Funcionamento dos Medidores

Condições hidráulicas adversas podem comprometer o funcionamento do medidor. Cita-se, como exemplo, a admissão de ar nas tubulações que pode ter como origem tanto a fase de projeto quanto a adoção de regime de operação ou de escalonamento de produção por fases ou quando da implantação de ETA.

A maioria dos sistemas de distribuição passa por processos de adaptação ao crescimento da demanda. Alguns desses sistemas ampliados substituem redes e adutoras, mas na maioria dos casos tanto a rede velha quanto a nova funcionam simultaneamente, tornando complexo o controle do escoamento mesmo em sistemas de pequeno porte. Nesse sentido, é muito importante que seja mantido o fluxo preliminarmente determinado para o medidor e que todas as novas entradas de água no sistema sejam medidas. Na maioria dos casos a avaliação do sistema por meio do desenho em planta pode simplificar o esquema funcional (lay-out) da rede, bastando remanejar ou segmentar alguns trechos por meio de manobra de registros, sem que seja necessário o aumento do número de medidores.

A leitura, em última análise, é o produto principal destas instalações de medição. Portanto, nos casos de leitura direta, é aconselhável o deslocamento, sempre que possível, do elemento secundário, ou seja o painel de leitura, para a superfície. Este cuidado é particularmente importante para medidores de adução e de distribuição.

Figura 2 – Medidor Venturi  
Fonte: SABESP.



### 2.3 Localização e cadastro dos medidores

Os medidores relativos aos subsistemas de tratamento e adução de água bruta (incluindo a captação) têm seu cadastro definido nos desenhos de entrega da obra conforme construídos (*as-built*), e ao longo de sua vida útil, passam por poucas mudanças. Já os localizados nos subsistemas de adução de água tratada 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.

Uma particular menção deve ser feita com relação aos TAPs. Essas pequenas peças são associadas a um

determinado medidor, devendo seu cadastro ser bem definido. Esta recomendação deve ser ainda mais enfatizada na medida em que as referidas peças são de uso transitório, sendo suas informações mais facilmente perdidas durante os procedimentos operacionais.

### **2.3.1 Identificação dos medidores**

Normalmente os medidores são denominados pelo bairro onde se encontram ou pelo nome do reservatório que serve o setor. A adoção desse critério de identificação, apesar de simples e usual, não é transparente e eficiente para o controle, e, em caso de expansão do sistema de distribuição, causa problemas quanto à denominação para identificação de novos medidores ou mesmo com relação ao antigos medidores.

Deve-se, portanto, adotar uma identificação formal do medidor, de maneira a localizá-lo nos subsistemas (adução de água bruta, tratamento, adução de água tratada, reservação e distribuição) e associá-lo a outras informações cadastrais relevantes .

Especial ênfase deve ser dada às instalações dos TAPs. Estas instalações, em geral, são utilizadas para calibração de medidores e de sistemas de macromedição, mas podem também servir para medições instantâneas de vazão. 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, transformando os TAPs em pontos de macromedição auxiliar.

### **2.3.2 Dados cadastrais**

A experiência mostra que todas as informações relativas ao medidor são relevantes: marca, modelo, especificações técnicas, etc.. Tanto no que se refere ao elemento primário (medidor propriamente dito) quanto ao elemento secundário (painel ou dispositivo de leitura, associado ou não a registrador eletrônico). Assim, catálogos e manuais devem ser preservados cuidadosamente.

- Datas de instalação e outras operações com o medidor

É importante registrar todas as datas relevantes e relativas às operações com o medidor, em particular: instalação, mudanças de patamar de produção e/ou vazão, retiradas para calibração em bancada e manutenções.

- Calibrações

Em conjunto com o registro da data para calibração, devem ser anotados o fator de correlação K do medidor, determinado em laboratório, os limites para correção do elemento secundário e a data da última calibração. Sempre que possível, deve-se indicar também no próprio medidor seu número de identificação, o fator K e a data da última calibração, seja por meio de etiqueta ou de placa metálica, por exemplo.

- Outras informações cadastrais

São importantes também os registros de dados relativos a manutenção e análise de desempenho do medidor. Assim, o estado do medidor e as anomalias observadas durante as inspeções devem ser registrados. 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.

- Atualização

Apesar de parecer óbvio, a falta de atualização de dados cadastrais é elemento importante na geração do processo de sucateamento em função da perda de informações, estando intimamente associada à perda de qualidade nos serviços.

- Uso de esquemas gráficos e mapas

A informação visual é a forma mais recorrente e de fácil acesso em todos os níveis dos sistemas públicos de abastecimento. No entanto, com frequência ocorrem defasagens e desatualização de dados, comprometendo-a.

Renovam-se aqui as recomendações sobre a importância do registro de informações relativas aos TAPs. Também no registro gráfico, aplicam-se os comentários anteriormente feitos sobre essas peças.

- Localização e identificação

As peças gráficas que localizam e identificam os medidores podem ser do tipo croqui, desenhos manuais

em planta ou programas computacionais específicos, tais como “Autocad”, “Microstation”. Em todos os casos, devem conter elementos, informações geográficas e dados suficientes para localizar e identificar o medidor. Deve ser lembrado que a cota do medidor é um dado necessário.

- Dados gerais sobre registro gráfico
  - 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 à adução e reservação de água tratada deve ser voltados a fechar 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 os distritos pitométricos, 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.

## **2.4 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 quatro parâmetros são normalmente necessários: vazão, volume e pressão, todos ao longo do tempo.

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

### **2.4.1 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.

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 dimensão relativa da captação e os processos de tratamento utilizados. Pequenas vazões captadas que pouco afetam os corpos d’água, podem prescindir de dados mais precisos. Nesses casos, 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 assumem caráter crítico exigindo medições mais exatas;

- as vazões afluentes à ETA servem principalmente à definição das dosagens de produtos químicos. Estações de tratamento em escala piloto podem definir com maior exatidão estes fatores e prever com mais certeza a qualidade final da água. No entanto, a chamada aceleração e desaceleração do processo deve ser considerada. As acelerações e desacelerações são devidas a ocorrência de picos de demanda, sazonalidades e programação de extensas manutenções, tendo conseqüências no nível das medições de vazão exigindo, assim, adequação do instrumental utilizado a cada etapa;
- 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.

### **2.4.2 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.

### **2.4.3 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.

A seguir são apresentadas duas situações onde o parâmetro tempo tem particular importância:

- no controle horosazonal visando a economia de energia elétrica no sistema público de abastecimento. Dentro do quadro do programa de conservação de energia são normalmente oferecidos incentivos tarifários para a redução do consumo de energia nos horários de pico. Como o controle do consumo



- de energia reduz substancialmente os custos do prestador de serviços, a sequência lógica está sendo o controle das vazões em determinados períodos, principalmente nos picos de demanda; e
- em áreas confinadas, por exemplo nos 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.

#### **2.4.4 Pressão**

A pressão é um parâmetro bastante relevante em programas de conservação de água, na medida em que seu controle permite otimizar o funcionamento dos sistemas de distribuição e diminuir as perdas por vazamentos não visíveis. 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 da pressão vem ocorrendo em casos específicos em diversos serviços, como por exemplo nos casos de identificação de zonas de alta pressão para aplicação de válvulas redutoras ou reguladoras.

### **2.5 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 o estabelecimento do sistema.

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

#### **2.5.1 Leituras em Sistemas Convencionais**

No que se refere aos sistemas de macromedição onde a leitura é realizada por funcionários do serviço de saneamento, provavelmente a maioria dos serviços trabalha com pessoal próprio. Em geral, o profissional de operação executa esse serviço como parte menor de suas atividades, o que pode resultar em baixa qualidade das leituras. É necessário que na apuração e processamento dos dados seja avaliada sistematicamente sua consistência. Para tanto, devem ser implementadas paulatinamente, 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.

#### **2.5.2 Medição em Sistemas Automatizados**

Na realidade, não existe automação extensiva e total em macromedição. Existem sistemas parcialmente automatizados. Nesses, por um lado, reduz-se as atividades de leitura, mas, por outro, amplia-se e torna-se mandatória a constituição de profissionais especializados em instrumentação e manutenção em eletrônica e mecânica fina. Procedimentos específicos de vistorias e manutenção preditiva devem ser adotados.

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 e 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.

### **2.5.3 Instrumentação**

Apenas os sistemas extremamente simples podem prescindir desta função. Observando-se a situação típica onde vazões e volumes são inferidos a partir de medições de velocidade, diferencial de pressão ou potenciais dielétricos, conclui-se ser imprescindível obter uma garantia sobre as correlações existentes entre as medidas inferidas e as características específicas dos elementos primário e secundário utilizados na medição. Além disso, aferições em bancada e as verificações levadas a cabo periodicamente pela pitometria podem resultar em alteração do fator de correlação K do medidor ou do elemento secundário. Esta ação específica, por sua vez, é implementada pelo pessoal de instrumentação. Aqui deve-se destacar uma diferença de funções com relação ao pessoal envolvido. Tem-se basicamente dois grupos: pessoal que opera os instrumentos em campo fazendo manutenção, verificações, e pessoal de laboratório, responsável pelas atividades de caráter de verificação metrológica.

### **2.5.4 Controle de Perdas**

O trabalho do pessoal que efetua a macromedição é responsável por definir o volume disponibilizado a uma determinada área objeto de controle e medição. Esse valor, por diferença com o volume micromedido, por exemplo, conduz ao valor das perdas a serem controladas.

Para que haja a efetiva mensuração das perdas é necessário que não só os volumes macromedidos sejam consistentes mas também os volumes micromedidos sejam compatibilizados. Aparentemente tarefa simples, mas de difícil efetivação dada as características de carga de trabalho e enfoque das áreas comercial e operacional. O principal impedimento é a baixa aceitação de controles como o índice de perdas, principalmente quando estes índices são elevados.

Quanto às perdas físicas, internacionalmente a sua mensuração é feita com base nos valores apurados em macromedições de distritos pitométricos ou áreas controladas. São usualmente feitas por equipes de pitometria a partir da utilização de medidores portáteis inseríveis (pitots, micromolinetes) ou não invasivos (ultra-sônicos). Nestes casos toda preparação dos distritos ou áreas dependem do cadastro, engenharia e operação para fechamento hidráulico da área.

### **2.5.5 Pitometria**

Os profissionais treinados para o desenvolvimento de campanhas de medição de pressões ou vazões devem possuir algum conhecimento de hidráulica. Os cálculos e estudos devem ser realizados por pessoal com formação adequada afeita aos cálculos hidráulicos. Considerando que os dados e informações de macromedição convergem para um determinado departamento de saneamento, estas funções podem ser mescladas ou integradas. A interação com as equipes ou profissionais de instrumentação, operação e tratamento é aconselhável.

Além de conhecimento, os profissionais devem ter habilidades e desenvoltura de trabalho em campo. A garantia de exatidão e confiabilidade dos dados e informações da macromedição depende em muito desse conjunto de capacitações.

Apesar do nome tradicional das campanhas de medição aludir ao uso de tubos de Pitot, atualmente se utilizam inúmeros tipos de medidores de inserção com princípios diferentes, tais como medidores de micromolinete, ultra-sônicos e eletromagnéticos.

Devido à crescente complexidade da instrumentação envolvida, há uma tendência ao trabalho conjunto das equipes de pitometria com o pessoal de instrumentação e macromedição, eventualmente até sob um mesmo departamento do serviço.

### **2.5.6 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, pode-se adotar a denominação “laboratório de macromedição” em substituição a “oficina de pitometria” que guarda relação com funções de manutenção que tendem a ter caráter secundário.

Deve ser alertado de forma enfática que o uso de mercúrio e dos chamados “líquidos manométricos” deve ser abolido definitivamente, sob risco de sérias catástrofes ambientais. Diversos equipamentos, incluindo aqueles que utilizam intensivamente aparato eletrônico, foram desenvolvidos para substituir os tubos U ou tubos Pitot que se utilizam destes elementos.

## **2.6 Manutenção**

Essa atividade, considerando-se integrada ou incorporando à pitometria e à instrumentação, é a que garante a exatidão e repetibilidade dos dados e informações provenientes dos medidores. Dados recentes mostram que apenas cerca de 10% dos medidores apresentam erros devido a instalação, sendo os demais problemas (cerca de 90%) constatados na calibração, sensibilidade e limpeza.

### **2.6.1 Manutenção Preventiva e Calibração**

A melhor manutenção preventiva é aquela feita pelo próprio operador, o chamado “chão de fábrica”, expressão que indica o trabalho em campo. A maior dificuldade não é definir os planos de manutenção e os controles, mas sim elevar a importância da atividade de macromedição tanto ou mais que as outras atividades de operação.

A manutenção preventiva envolve desde a limpeza e manutenção do local onde está situado o medidor, até sua revisão geral, realizada periodicamente. Operações simples mas fundamentais são com frequência relegadas a um segundo plano. Por exemplo, a limpeza e conservação do local da instalação, aparentemente banal, é fundamental tanto para a qualidade das leituras quanto para a avaliação de problemas que podem passar despercebidos. Registre-se que a limpeza é um dos procedimentos padrão no âmbito da implantação de sistemas de qualidade.

Quanto à calibração recomenda-se que seja procedida com periodicidade mínima anual. No caso de medidores limítrofes ou de compra de água por atacado é aconselhável que as calibrações sejam de conhecimento do comprador da água. Normalmente estas calibrações são executadas em campo. Caso envolva as figuras do vendedor e do comprador da água é aconselhável que o procedimento a ser adotado seja estabelecido de comum acordo entre as partes. É possível também que seja necessário a presença de um órgão independente, aceito por ambos, para realizar a calibração.

Um problema recorrente na manutenção de macromedidores está na dificuldade de deslocar os medidores para recalibração 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. A calibração em campo, utilizando pitometria, pode ser uma alternativa em casos extremos. Entretanto, deve ser sempre levado em conta que a medição de vazão por mapeamento pitométrico é um método de exatidão limitada, raramente melhor que 2%, mesmo quando em situações de escoamentos estáveis e longos trechos retos, enquanto que a exatidão nominal de um medidor eletromagnético, por exemplo, chega a 0,5% da leitura.

Como regra geral, medidores de diâmetros inferiores a 300 mm, que podem mais facilmente ser calibrados na própria bancada de macromedição do serviço de saneamento, devem ser anualmente recalibrados em bancada, com verificações pitométricas quando for necessário. Para medidores maiores e dependendo de seu tipo, cuja calibração em bancada é mais difícil. Todavia, a calibração ou inspeção junto ao fabricante quando de seu recebimento é necessária. Adicionalmente, esses medidores devem ser anualmente verificados em campo por pitometria e retirados para recalibração quando as verificações pitométricas indicarem um problema maior.

No caso de medidores utilizados para venda de água por atacado, devido aos aspectos comerciais envolvidas, pode ser necessária uma calibração periódica em bancada, independentemente de seu tamanho.

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

### **2.6.1 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 acúmulo 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 prestador de 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 de serviços não está preparado.

### **2.6.2 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, sendo necessária a sua retirada para reparo em oficina, recomenda-se a calibrá-lo em bancada.

É uma boa política manter sempre alguns medidores de capacidades diversas em reserva para substituição de forma a evitar períodos sem medição.

No caso de medidores de maior diâmetro e em linhas de importância especial (por exemplo, para venda de água por atacado) pode também ser prevista uma linha paralela, tipo by pass, com macromedidor.

### **2.6.3 Pitometria Sistêmica**

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 extensivas de pitometria. Nessas campanhas faz-se a medição simultânea de diversos medidores, sendo um deles tomado como referência em relação ao grau de precisão. É o caso, por exemplo, de um medidor instalado na saída de uma ETA. Ele registra um valor de vazão (máxima, mínima, nominal, etc) vinculado aos obtidos por outros medidores instalados em pontos a jusante, 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 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.

## **2.7 Aquisição e Tratamento dos Dados**

Os dados obtidos constituem-se no principal produto do sistema. Não só na sua utilização imediata é importante, mas também sua preservação organizada é fundamental, de forma a configurar um banco de informações.

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.

### **2.7.1 Registro Histórico - Banco de Dados**

O fator mais importante a destacar é o sistemático registro dos dados e das informações que são pertinentes, como por exemplo, a data e a instalação do medidor, os dados cadastrais, dentre outros. 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.

### **2.7.2 Sistema Informatizado**

A informatização da macromedição permite obter dados, desenvolver estudos e apresentar soluções de forma mais rápida e mais elaborada. Se o sistema de macromedição é desorganizado, possui baixa exatidão e é deficiente em cobertura não haverá melhora apenas com a sua informatização. É mito corrente que a tecnologia de ponta e os computadores organizam, controlam e resolvem todos os problemas. Em realidade, há apenas a melhoria na velocidade com que transitam as informações, pois caso não haja um sistema de controle de informações, os sistemas informatizados apenas otimizam o que já existe.

### **2.7.3 Central de Controle Operacional**

A partir de informações da ETA e captação, dos pontos de medição, do nível de reservatórios e de outros dados é organizado 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.

### **2.7.4 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 leitorista 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 frequências); e
- transmissão via canal de satélite (apresenta o inconveniente de ser bastante caro).

### 3. DESCRIÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Interessa agora saber onde medir e como medir. Responder a essas perguntas remete a seções anteriores onde ficou patente a necessidade de serem estabelecidos *a priori* os objetivos da medição que irão definir o 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 da 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.

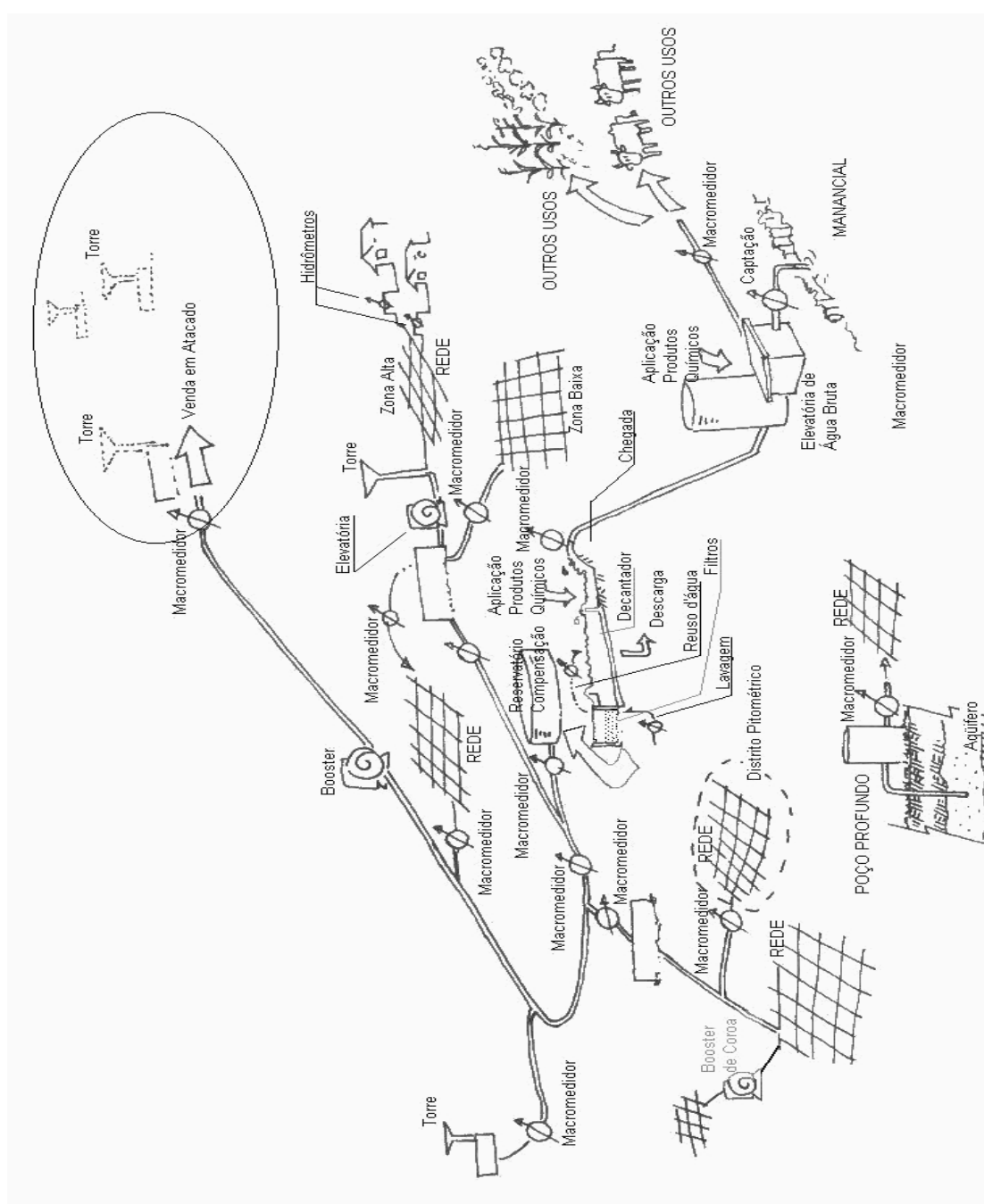


Figura 3 - Ilustração de um Sistema de Medição Relativo a Todo o Sistema de abastecimento  
Fonte: SABESP

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, novamente, os conceitos anteriormente destacados, que mostram que cada sistema público tem suas peculiaridades que devem ser analisadas previamente à adoção de sistemas de medição mais ou menos complexos.

### **3.1 Produção**

#### **3.1.1 Unidades de Tratamento Simplificadas**

Sistemas de pequeno porte podem, com alguma perda de qualidade, prescindir de medidores mais complexos. Em geral o tratamento é feito por padrões fixos ou dosagens pré-definidas. É muito importante estabelecer regras simplificadas de controle e limitação de vazões captadas. Isso só pode ser feito a partir de controles simples de volumes e vazões, consideradas as características relativas à capacidade do aquífero ou reservação superficial .

No caso de poços profundos é necessário observar os limites de vazão ou volumes estabelecidos para cada aquífero.

Para a mesma qualidade de água bruta os processos de pré-tratamento e 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.

#### **3.1.2 Sistemas Produtores Convencionais**

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. Somente com um sistema adequado de medição é possível estabelecer o regime de trabalho correto para cada ETA .

- **Captação**

A maioria dos sistemas de abastecimento no Brasil possui captação superficial por meio de recalque. Nesses casos, diversos medidores podem ser empregados, sendo freqüente o uso de medidores tipo Venturi e eletromagnéticos.

A seguir são feitas algumas considerações sobre aspectos diversos relativos à captação:

a variação mais crítica da demanda é a variação diária e as excepcionais que se estabelecem quando de paradas. Nesses casos, é necessário estabelecer os valores estimados da vazão de pico de demanda, bem como o cálculo das vazões dos subsistemas de adução de água bruta e de tratamento. Em geral é estabelecido uma regra operacional simples modulada por conjunto moto-bomba e sua vazão característica; e

- nas áreas metropolitanas, principalmente, existe uma progressiva degradação do meio ambiente pela ocupação urbana desordenada que afeta a qualidade dos mananciais. 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 [precisão na medição da vazão.

- **Adução de Água Bruta**

A adução de água bruta se constitui no trecho de estruturas físicas alongadas onde podem ser encontradas as primeiras perdas físicas.

Os volumes ou vazões aí medidos estão relacionados com a aplicação dos produtos químicos utilizados no pré-tratamento e tratamento. Em geral, nesse subsistema utilizam-se medidores tipo Venturi ou medidores eletromagnéticos, sendo a vazão o parâmetro básico de trabalho. Deve-se atentar para a instalação de TAPs, não só para calibração das vazões por pitometria, assim como para avaliação de perda de carga. É comum a presença de sólidos em suspensão e matéria orgânica na água bruta. Essa ocorrência pode levar à deposição de sedimentos nas tubulações aumentando o consumo de energia, reduzindo a eficiência dos conjuntos elevatórios e aumentando drasticamente os erros do medidor.

em termos volumétricos, o uso industrial e o uso agrícola são majoritários na quantidade de água aduzida. Nesses casos, em geral, o tratamento é desnecessário e acrescenta custo adicional que pode inviabilizar a atividade. Contudo medidores são necessários para a correta partição das vazões, visando otimizar o uso na irrigação ou servir de 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;

- Tratamento

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

A seguir são descritos os principais aspectos relativos a essa fase do sistema.

- 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 de chegada, 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 decantadores. Caso o tempo não tenha sido suficiente, 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. Contudo, situações novas como a presença de algas ou mudanças físico-químicas podem exigir ajustes. ETAs pilotos podem auxiliar os laboratórios identificando e determinando dosagens e ações em escala calibrada. Após a decantação e filtração, a água tem o seu pH corrigido através da adição de álcalis (cal), é desinfetada (clorada) e reservada no chamado reservatório de compensação;
- a água utilizada para lavagem dos filtros é, em geral, filtrada, devendo também ser medida. Já a água para limpeza dos decantadores, pode vir dos decantadores vizinhos. Como essa água já recebeu coagulantes e corretores de pH convém, no mínimo, avaliar-se seu volume;
- 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. Já os dados de vazão são também necessários à operação do subsistema de distribuição. Quanto aos parâmetros de velocidade e aceleração aparente de recuperação do abastecimento, quando de uma parada do sistema, acréscimos substanciais de demanda ou mesmo devido as variações diárias na demanda, é possível definir regras ou níveis de produção conforme as necessidades do abastecimento e as limitações da planta. Este manejo se constitui num dos principais instrumentos de uma Central de Controle Operacional.

- Eficiência da 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.

### **3.2 Adução e Reservação**

Apesar das especificidades do projeto, considerado sob o ponto de vista do escoamento hidráulico, a adução e reservação é uma parte bastante simples do sistema, principalmente quando comparado com a 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, incluído a adução.



### 3.2.1 Disponibilização para Distribuição

O volume disponibilizado para distribuição é particularmente peculiar quando existe venda de água por atacado e operação de distribuição própria. Tem-se, nesses casos, dois critérios a serem atendidos: 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 que controlam os demais medidores situados nas derivações da adução principal. Já os dados de vazão ponto a ponto fornecem elementos de uso para a modelagem e a operação direta do abastecimento.

### 3.2.2 Totalizadores ou medidores de controle

Os medidores de controle são os que 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.

### 3.2.3 Venda de água por atacado

A venda de água por atacado, em geral, é destinada a serviços públicos de abastecimento autônomos, sendo a água potável produzida por um outro serviço público. Portanto, as informações, os dados de retorno, as calibrações e a própria operação devem ser encarados como parte integrante dos serviços prestados ao comprador. Observe-se que a interface principal é o sistema de macromedição relativo ao volume utilizado, devendo seu gerenciamento ser discutido e desenvolvido em parceria.

### 3.2.4 Equação de macromedição

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 freqüente 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. A exatidão do conjunto é fundamental pois os erros acumulados 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 pode admitir um erro de mais de 20%!

- 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.

- 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 demanda transitória, seja ela 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 contrapõe aos requisitos necessários à eficiência de adução.

## 3.3 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.

### **3.3.1 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 serão colocadas em jogo. Frequentemente, 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 entre 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 precisos 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.

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

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.

### **3.3.3 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.

### **3.3.4 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 frequência 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, a maioria majorada 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 reserva do sistema, incluindo a reserva predial, em períodos de retorno ao abastecimento, supera em muito os valores médios vigentes quando da operação em regime normal. Há casos em que o valor estimado de demanda superava em 200% o valor final aduzido. A macromedição, ao descrever 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.

### 3.3.5 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, onde são instalados *TAPs*, e, por meio de medidores inseríveis ou não invasivos, 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 4 e 5 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).

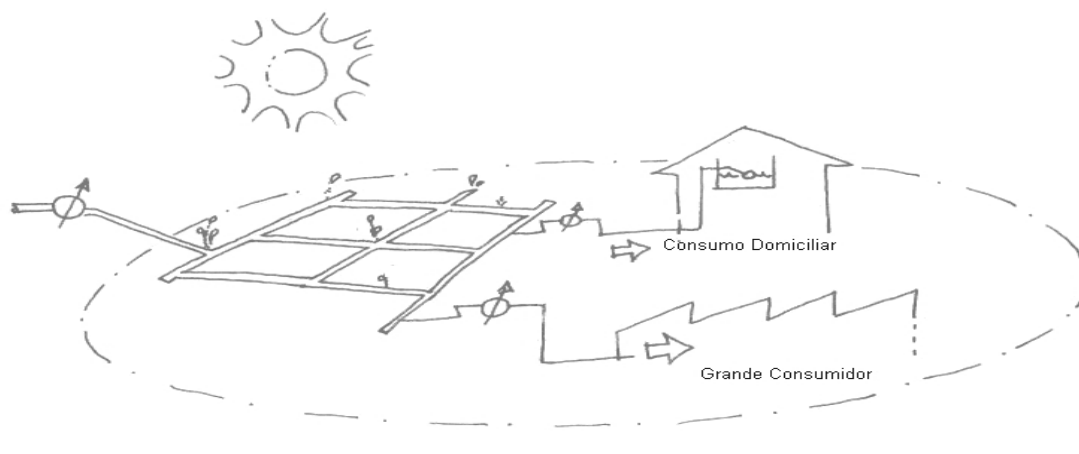


Figura 4 - Distrito Pitométrico

Fonte: Gonçalves, 1998

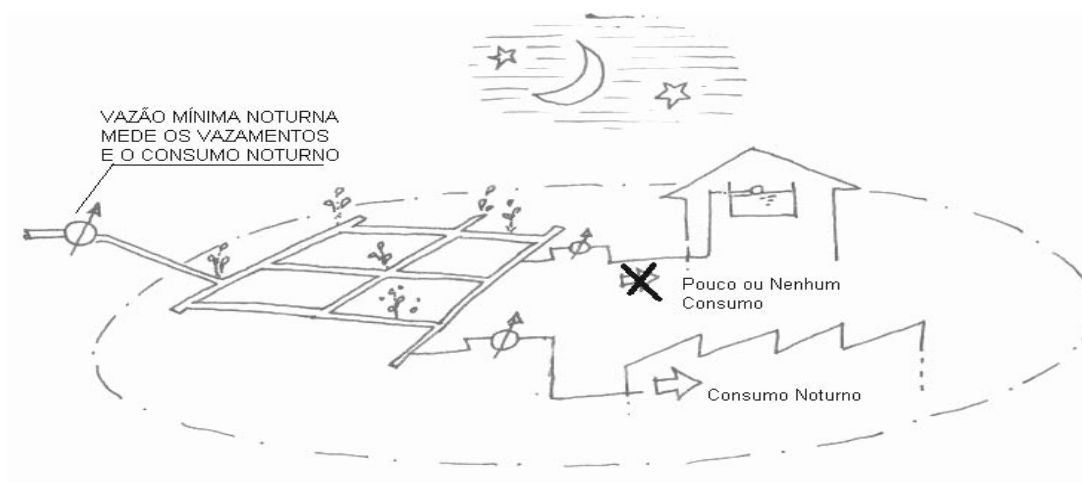


Figura 5 - Medição da vazão noturna em Distrito Pitométrico.

Fonte: Gonçalves, 1998.

### **3.3.6 Áreas de Influência de Bombas Elevadoras de Pressão (Boosters) e Válvulas Redutoras de Pressão (VRP)**

As áreas servidas pelos chamados *boosters* 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.

### **3.3.7 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.

- Compatibilização de tempo ou ciclos diferenciados

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

- Compatibilização da política empresarial

A política empresarial define a intensidade das ações e a implantação do sistema de macromedição. Deve-se observar que, em termos proporcionais, o custo se reduz com a intensificação da medição. Esta redução também ocorre em termos de recursos humanos, dado que a maioria das funções pode ser desenvolvida em conjunto com outras atividades de operação. Ocorre inclusive, no caso de dificuldades orçamentárias, ou mesmo por decisão baseada em critério empresarial, por exemplo, que parte da micromedição seja substituída por macromedidores, ou seja, por medição setorial para posterior rateio. 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.

## 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 medição pretendida.

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 na seção anterior, os medidores para canal aberto são mais usados na entrada de ETAs, na medição de água de reuso (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:

$$Q = K D H^n$$

Onde:

$Q$  = vazão;

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

$DH$  = 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 leitura de nível melhor, 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, tem 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 reuso.

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, 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 consultado o fabricante.

#### 4.1.4 Outros medidores e técnicas de medição

Existem técnicas de medição de vazão que podem ser aplicadas em locais onde há dificuldades de se utilizar medidores tradicionais. Podem ser citadas técnicas utilizando curvas das bombas de recalque ou tempo de enchimento e esvaziamento de reservatórios intermediários de volume constante. É muito comum também encontrar-se estimativas de vazão baseadas na capacidade nominal de ETAs. Todas essas técnicas, no entanto, devem ser aplicadas com as devidas reservas e apenas quando não houver possibilidade imediata de utilização de medidores.

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.

#### 4.2 Medidores de Vazão para Condutos Fechados

Em termos de macromedição, a medição de vazão em conduto fechado é mais importante que a 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)

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 a montante e 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:

$$Q = KDH^{1/2}$$

onde :

Q = vazão;

K = constante do medidor; e

DH = 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 e está instalado de forma adequada. Dependendo do instrumento, o fator K de calibração pode ainda ser desmembrado em fatores geométricos e um coeficiente Cd, 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), que gira em 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.

- Monojato ou multijato

Os medidores multijato ou monojato são os tradicionais hidrômetros, utilizados extensivamente em micromedição. Em macromedição esses medidores são utilizados em 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, por serem mais sensíveis a desgastes e danos. Por outro lado, são medidores de grande dinâmica de medição (relação 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. A maior parte dos modelos disponíveis possui possibilidade de adaptação de sistemas de 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 m<sup>3</sup>/h de vazão nominal - Especificação ;
- NBR 14005 - Medidor velocimétrico para água fria de vazão nominal de 15 m<sup>3</sup>/h até 1500 m<sup>3</sup>/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 (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, pois os medidores multijato e monojato são, normalmente, mais baratos.

- 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 monojatos ou multijatos e adequados a vazões elevadas com grandes variações, podendo também ser utilizados com água bruta, desde que com concentração não muito elevada de partículas pesadas. Nesse caso, deve-se prever a instalação de filtro de entrada.

Os medidores tipo Woltmann são fabricados em dois modelos: vertical (turbina trabalha na vertical) e axial (eixo da turbina paralelo ao eixo da tubulação). Em macromedição utilizam-se principalmente os medidores axiais, devido a menor perda de carga e resistência a 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 a medidores monojatos e multijatos. Maiores detalhes sobre as características e recomendações de manutenção podem ser encontradas no DTA-D3.

Em princípio, sendo um medidor com peças móveis, é importante aplicar 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.

- 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 de diâmetro menor é colocado em paralelo ao medidor Woltmann e uma válvula automática é instalada na saída, 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.

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 ao fato de atualmente já existirem 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 (turbilhonados) 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 de chaveamento de vazão.

- 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 6 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 em posições diametralmente opostas ao fluxo da água da tubulação principal. Alguns orifícios ficam de frente para o fluxo (orifícios de montante) entrando por eles uma parcela de água. 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).

Através de uma prévia calibração, é possível 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 por cerca de R\$ 40,00 (Wiendl, 1997).

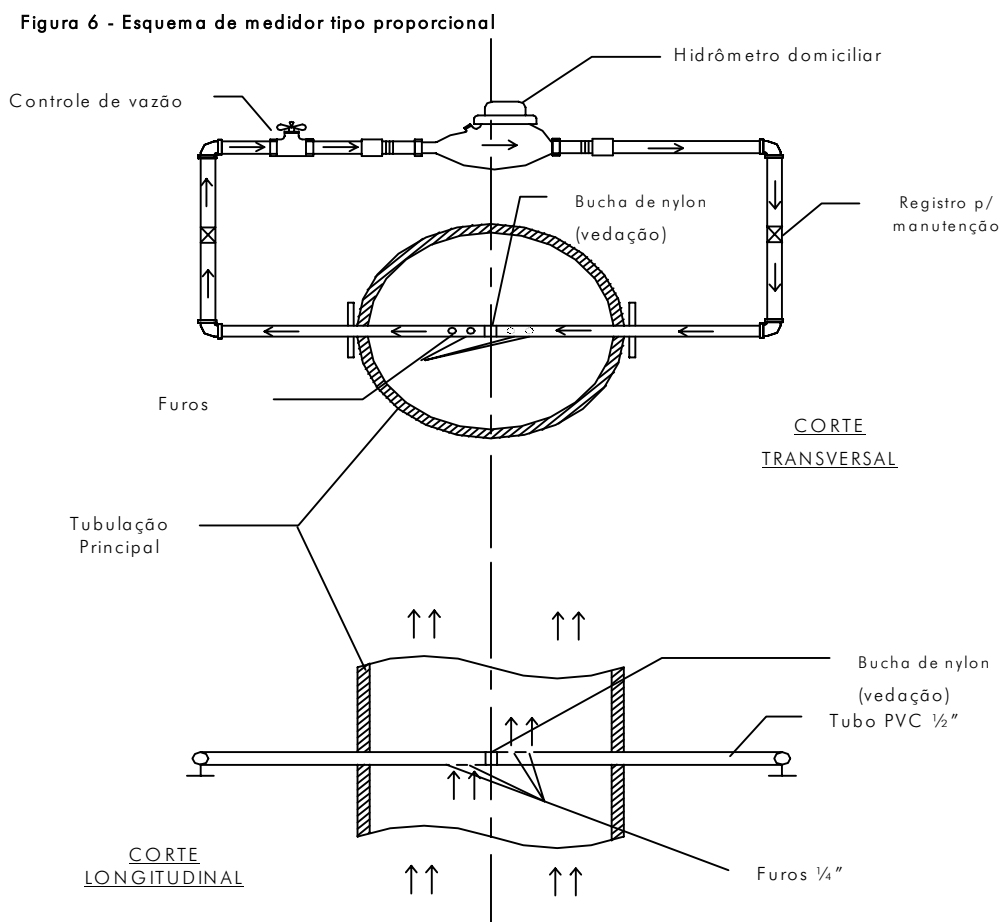
Os medidores proporcionais devem ser criteriosamente construídos e calibrados. Cada configuração deve ser individualmente testada e calibrada pois não existem normas estabelecidas para este tipo de medidor. Se tais cuidados não forem tomados o grau de confiabilidade decai bastante. Um problema importante 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 pela valor medido no hidrômetro, pois pode variar com a vazão. Normalmente adota-se um fator de multiplicação médio, constante para uma dada faixa 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 água de saída de 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 peças móveis, medindo a vazão a partir de propriedades do escoamento, como indução magnética e transmissão de ondas sonoras. Devido às suas características, possuem processadores e dispositivos eletrônicos, motivo pelo qual são também denominados genericamente de medidores eletrônicos.



Fonte: CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

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.

- 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 relegando 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.

Os medidores eletromagnéticos, por suas características, necessitam que um trecho de tubo por onde escoar a água seja totalmente isolado do tubo metálico, caso contrário o próprio tubo aterraria 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 níttrica) 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 precisão da medição, o que é também garantido por meio da comercialização de medidores com um trecho de tubulação que incorpora o medidor.

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 em transferência de custódia (venda de água por atacado), motivo pelo qual devem ser vistos com cuidado quando for esse seu uso, sendo importante anuência prévia das partes.

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.

- Medidores ultra-sônicos

Os medidores ultra-sônicos podem ter dois princípios de funcionamento: medidores de tempo de trânsito e efeito Doppler.

Para aqueles que utilizam o princípio de tempo de trânsito, dois eletrodos são colocados em posições 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. Variações de tempo de trânsito permitem a instalação de sensores do mesmo lado do tubo, usando como receptor o sinal refletido na parede oposta da tubulação.

O medidor 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 medida diversas vezes por segundo, sobre partículas diferentes no escoamento.

O medidor ultra-sônico por tempo de trânsito 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 na prática 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 sua incerteza de medição só pode ser garantida se sua calibração for executada em bancada em um trecho de tubulação idêntico aquele em que o medidor será instalado. Uma prática comum na instalação externa de medidores desse tipo é acompanhar as medições pitométricas da vazão como calibração, garantindo as reduções de incertezas de determinação da vazão por mapeamento com Pitot, que 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.

- Calibração e Manutenção

Conforme já citado, 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

São aqueles introduzidos na tubulação para medir a velocidade em pontos específicos e, aplicando técnicas de integração, determinar a vazão sem a necessidade da instalação de um medidor.

O medidor de inserção clássico é o tubo de Pitot, sendo comum em 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

$$V_0 = C_c (2 DP)^{0,5}$$

onde:

- $V_0$  = velocidade do fluido no ponto de medição;
- $C_c$  = coeficiente de calibração do tubo de Pitot; e
- $DP$  = 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 tubo tem um desenho especial para poder ser introduzido em tubos por meio de *TAP* simples com válvula, permitindo fazer as medições em 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 pode-se determinar a vazão total no tubo. A esse processo chama-se mapeamento pitométrico, sendo muito utilizado pelo departamento de pitometria ou macromedição para levantamentos de vazões na rede e verificação de macromedidores. 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 penetração em 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, devendo as calibrações e uso 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 apresentados, pode-se citar 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 em pitometria.

#### **4.3.5 Estimativa de Vazão Utilizando Medidores de Inserção**

Conforme já destacado, a sonda de inserção mede velocidade instantânea em um ponto 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 restrições tendo em vista suas limitações.

#### **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 frequência 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 da pressurização ou não da 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 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 ao departamento de instrumentação que 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. PROCESSOS DE MEDIÇÃO**

Processos adequados de medição têm o mesmo grau de importância que a escolha e manutenção de instrumentos ou que o treinamento do pessoal, por exemplo.

Nessa seção são apresentados elementos relativos aos processos de medição mais comuns. Registre-se, novamente, que os elementos a seguir apresentados não se constituem num roteiro aplicável indiscriminadamente a qualquer sistema de medição adotado.

Reforça-se a conceituação segundo a qual cada sistema de abastecimento de água deve estabelecer seus próprios sistemas de medição, obedecendo aos objetivos traçados e respeitando as suas peculiaridades.

### **5.1 Indicadores**

Os indicadores, sejam eles básicos, intermediários ou avançados, conforme apresentados no DTA A2, deverão estar baseados em processos e procedimentos adequados de medição.

### **5.2 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.

#### **5.2.1 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.

#### **5.2.2 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 outra 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.

#### **5.2.3 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.

### **5.3 Sistemas de Produção Convencionais**

#### **5.3.1 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.

#### **5.3.2 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 infra-estrutura 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.

#### **5.3.3 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.

#### **5.3.4 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 7 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.

Relatório Mensal de Tratamento de Água						ETA MÊS/ANO																																	
<b>VOLUME DE ÁGUA</b>																																							
TRATADA		TRATADA (MÉDIA DIÁRIA)		TRATADA (VAZÃO MÉDIA)																																			
<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="m³/s"/>																																			
ADUZIDA		ADUZIDA (MÉDIA DIÁRIA)		ADUZIDA (VAZÃO MÉDIA)																																			
<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="m³/s"/>																																			
TOTAL DE LAVAGEM		VOLUME RECUPERADO		VAZÃO RECUPERADA																																			
<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="m³/s"/>																																			
VOLUME GASTO		VAZÃO MÉDIA GASTA		VOL. RECUP. + TRATADO		VAZÃO MÉD. RECUP. + TRAT																																	
<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="m³/s"/>		<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="m³/s"/>																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>PRODUTO</th> <th>SULFATO FÉRRICO</th> <th>CLORETO FÉRRICO</th> <th>CAL VIRGEM</th> <th>CARVÃO ATIVADO</th> <th>CLORO</th> <th>ÁCIDO FLUORSSILÍCIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONSUMO TOTAL</td> <td>KG</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>CONSUMO MÉDIA DIÁRIA</td> <td>KG/DIA</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>DOSAGEM MÉDIA</td> <td>P.P.M.</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table>								ITEM	PRODUTO	SULFATO FÉRRICO	CLORETO FÉRRICO	CAL VIRGEM	CARVÃO ATIVADO	CLORO	ÁCIDO FLUORSSILÍCIO	CONSUMO TOTAL	KG	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	CONSUMO MÉDIA DIÁRIA	KG/DIA	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	DOSAGEM MÉDIA	P.P.M.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ITEM	PRODUTO	SULFATO FÉRRICO	CLORETO FÉRRICO	CAL VIRGEM	CARVÃO ATIVADO	CLORO	ÁCIDO FLUORSSILÍCIO																																
CONSUMO TOTAL	KG	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																
CONSUMO MÉDIA DIÁRIA	KG/DIA	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																
DOSAGEM MÉDIA	P.P.M.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																
DIFERENÇA DE MEDIÇÃO = <input type="text" value="m³"/> <input type="text" value="m³/s"/>																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>PRODUTO</th> <th>SULFATO DE COBRE</th> <th>AMÔNIA</th> <th>POLIELETRÓLITOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONSUMO TOTAL</td> <td>KG</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table>								ITEM	PRODUTO	SULFATO DE COBRE	AMÔNIA	POLIELETRÓLITOS	CONSUMO TOTAL	KG	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																						
ITEM	PRODUTO	SULFATO DE COBRE	AMÔNIA	POLIELETRÓLITOS																																			
CONSUMO TOTAL	KG	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																			
<b>FILTROS</b>																																							
DURAÇÃO MÉDIA DE FUNCIONAMENTO		TAXA MÉDIA DE FILTRAÇÃO																																					
<input type="text" value="Horas"/>		<input type="text" value="m³/m².dia"/>																																					
ÁGUA DE LAVAGEM TOTAL		TAXA MÉDIA DE ÁGUA DE LAVAGEM																																					
<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="m³/m².dia"/>																																					
ÁGUA DE LAVAGEM (MÉDIA DIÁRIA)		FILTROS PINTADOS EM CuSO <sub>4</sub>																																					
<input type="text" value="m³/dia"/>		<input type="text" value="Vazões"/>																																					
ÁGUA DE LAVAGEM (RELATIVA)		<input type="text" value="%"/>																																					
<b>DECANTADORES</b>				<b>INTERRUPÇÕES</b>																																			
DURAÇÃO MÉDIA DE FUNCIONAMENTO		DO TRATAMENTO DE ÁGUA																																					
<input type="text" value="Dias"/>		<input type="text" value="Vaz."/>																																					
TAXA DE APLICAÇÃO		POR FALTA DE ENERGIA ELÉTRICA																																					
<input type="text" value="m³/m².dia"/>		<input type="text" value="Horas"/>		<input type="text" value="Min"/>																																			
ÁGUA DE LAVAGEM TOTAL		POR OUTRAS CAUSAS																																					
<input type="text" value="m³"/>		<input type="text" value="Horas"/>		<input type="text" value="Min"/>																																			
PREENCHIDO POR				VISTO CHEFIA																																			
Téc. Controle Sanitário																																							

Figura 7 - Planilha de controle de processo de uma ETA

Fonte: Sabesp

#### 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 <sub>3</sub>	DEM. CLORO mg/l Cl	TURBIDEZ NTU
BRUTA							
COAGULADA							
DECANTADA							
FILTRADA							
FINAL							

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

Figura 7 - Planilha de controle de processo de uma ETA (continuação).

Fonte: Sabesp

### 5.3.5 Processos Usuais e “Soluções de Continuidade” para as Não-Conformidades

- 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.

- 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 mal 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 média de meses anteriores ou da série histórica se mantidas as condições de operação. Estas soluções devem ser consideradas emergenciais e de curta permanência, sob o risco de comprometer a série histórica.

## 5.4 Controle de Perdas

Os indicadores e o controle visando a redução das perdas, dependem da macromedição.

Um aspecto particular que é conveniente observar é que muitos países não possuem 100% das ligações hidrometradas, mas tem 100% do consumo medido e possuem razoável nível de controle de perdas.

### 5.4.1 Acompanhamento

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.

- 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.

- Aferições

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.

- Perdas da Adução e Reservação - Redes Primárias

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.

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 inexatidão e deficiências no sistema

de macromedição.

- Vazões Mínimas Noturnas

A forma mais usual de avaliação de perdas físicas é pela medição sistemática das vazões mínimas noturnas no interior de distritos pitométricos.

O tamanho da rede contida na área chamada distrito pitométrico varia. Pode-se admitir que, em média, ele tenha cerca de 20 km.

A medição da vazão mínima noturna parte do princípio que o consumo durante a noite chega a zero, exceto em determinadas ligações bem identificadas. De fato, verifica-se na prática que a grande maioria das instalações prediais não consomem água durante a madrugada após estarem seus reservatórios cheios. Dessa forma, a grosso modo, as vazões medidas na rede de distribuição devem-se a ligações pontuais, identificáveis (indústrias, etc) e às perdas físicas na rede. Deduzindo-se os consumos noturnos identificados torna-se assim possível chegar às vazões noturnas devidas às perdas.

É importante no processo de medição da vazão mínima noturna ter conhecimento de todas as singularidades de consumo que podem influenciar nos dados e ajustar ou subtrair essas singularidades. Por exemplo, no caso de uma indústria com consumo noturno, pode-se medir sua vazão de consumo durante o período de medição e deduzi-lo do valor macromedido. Alternativamente pode ser possível manter essa ligação fechada durante o ensaio .

A avaliação dos dados permite otimizar as ações de combate a vazamentos. A partir da média define-se a faixa máxima admitida para a vazão mínima noturna. Caso a medida passe deste limite aciona-se a pesquisa e reparo dos vazamentos encontrados.

- Pressões

Os dados de pressão registrados podem ser utilizados em modelagem matemática que torne possível avaliar as discrepâncias na rede primária e de distribuição. Modelos adequados podem indicar a presença de singularidades que podem ser derivações desconhecidas e não medidas, descargas de pontas de redes, etc .

Na calibração de sistemas complexos é imprescindível a modelagem e consequentemente o registro da pressão e vazão em cada ponto singular .

- Venda de Água por Atacado

O mesmo ponto de medição tem duas óticas diferenciadas, a relação de parceria não implica em perda e pode resolver situações de potencial conflito. Todas as ações devem ser avaliadas neste duplo sentido de interesses. Se por um lado a operação deve ser acompanhada pelo comprador, este também deve informar as características de seu consumo horosazonal. As aferições e calibrações devem ser de conhecimento do comprador, sendo facultado a este o seu acompanhamento. E na hipótese de falha ou quebra do medidor a solução de continuidade adotada deve ser aceita por ambas as partes.

Todas as informações e dados relativos e do sistema de macromedição devem ser franqueadas ao consumidor como parte do serviço prestado.

### **5.4.2 Balanço anual**

O período ideal para o cálculo dos indicadores de perdas é um ano, onde as diferenças de ciclos de leitura micro e macro tendem a desaparecer e as sazonalidades são minimizadas.

- 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 m<sup>3</sup>;
- 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 m<sup>3</sup>;
- o Índice de Perda na Distribuição (IPD) conforme definido no DTA A2 é dado pela seguinte equação:

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

Uma forma simplificada da acima apresentada, para facilitar o entendimento, seria:

$$IPD = \frac{\text{Volume produzido} - \text{Volume Exportado} - \text{Volume micromedido}}{\text{Volume produzido} - \text{Volume exportado}} \times 100$$

É importante observar que nesta última expressão o volume vendido por atacado a outros serviços de abastecimento é considerado como parte integrante do volume micromedido pelo produtor. Sob a ótica do comprador o volume comprado passa a ser o volume importado e, nesse caso, o volume macromedido passa a ser utilizado como base de cálculo da eficiência de seu serviço. Isso demonstra que as definições são relativas a qual lado do medidor se olha ou analisa o fenômeno.

- Usos operacionais e outros volumes não contabilizados

Para um abordagem mais detalhada relativa a esse item, recomenda-se consultar o DTA A2.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Alves, W.C; Costa, A.J.M.P; Gomez, J.G; Peixoto, J.B; Leite, S.R. Documento Técnico de Apoio D3 – Micromedicação. MPO/SEPURB/DESAN, Brasília, 1999.
- ASME. Fluid meters their theory and application. Report, 6<sup>th</sup> 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.
- ISSO 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.
- 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 m<sup>3</sup>/h de vazão nominal – Especificação.
- NBR 14005 – Medidor velocimétrico para água fria de vazão nominal de 15 até 1.500 m<sup>3</sup>/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.