

Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água
**CONTROLE DE PRESSÕES E OPERAÇÃO DE
VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO**

Apoio



Secretaria Nacional de
Saneamento Ambiental

Ministério
das Cidades



Guias práticos –

Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água

CONTROLE DE PRESSÕES E OPERAÇÃO DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO

VOLUME 4

Autores

Elton Gonçalves

Celso Vieira de Lima

Organizador/Revisor técnico

Airton Sampaio Gomes

Programa de Modernização do Setor Saneamento

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

Ministério das Cidades

Governo Federal

Ministro das Cidades: *Marcio Fortes de Almeida*

Secretário Executivo: *Rodrigo José Pereira-Leite Figueiredo*

Secretário Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) - Substituto: *Sérgio Antônio Gonçalves*

Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica (SNSA): *Marcos Helano Fernandes Montenegro*

Diretor do Departamento de Água e Esgotos (SNSA): *Márcio Galvão Fonseca*

Diretora do Departamento de Articulação Institucional (SNSA) - Substituta: *Norma Lúcia de Carvalho*

Coordenador do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS): *Ernani Ciríaco de Miranda*

Coordenadora do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA): *Cláudia Monique F. de Albuquerque*

PMSS e PNCDA - SCN, Quadra 1, Bloco F, 8º andar, Edifício América Office Tower - CEP 70711-905

Fones: (61) 3327-5006 e 3315-5329 - FAX: (61) 3327-9339

pmss@cidades.pmss.gov.br

www.cidades.gov.br/pncda e www.cidades.pmss.gov.br

Autores: Elton Gonçalves e Celso Vieira Lima

Organizador/Revisor técnico: Airton Sampaio Gomes

Guias práticos : técnicas de operação em sistemas de
abastecimento de água / organização, Airton Sampaio
Gomes. - Brasília : SNSA, 2007.
5 v.

Conteúdo: v. 4. Controle de pressões e operação de válvulas
reguladoras de pressão / Elton Gonçalves, Celso Vieira Lima
ISBN 978-85-60133-60-4

1. Abastecimento de água. I. Gomes, Airton Sampaio.
II. Gonçalves, Elton. III. Lima, Celso Viera. IV. Título.

CDU 628.1

Coordenação editorial: Rosana Lobo; Revisão: Eduardo Perácio; Projeto gráfico: Rosana Lobo; Editoração eletrônica: GRAU Design;
Fotolitos e impressão: Gráfica e editora POSIGRAF

Todas as informações técnicas constantes da presente publicação são de responsabilidade do(s) autor(es).

É permitida a reprodução total ou parcial desta publicação, desde que citada a fonte.

Apresentação

O PNCD – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, instituído em 1997, vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades – SNSA/MCidades, tem por objetivo geral a promoção do 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.

Em termos de abrangência temática, o Programa comporta ações com interface junto aos recursos hídricos, no âmbito da bacia hidrográfica, passando pelo sistema público de abastecimento de água, propriamente dito, atingindo o uso racional da água pelos usuários (sistemas prediais). O Programa centra suas principais ações em linhas de capacitação, elaboração de estudos, disseminação tecnológica e articulação institucional visando ao desenvolvimento de ações conjuntas e complementares de combate ao desperdício de água.

A maior concentração de ações do PNCD está no tema das perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento, motivo pelo qual deve-se estar atento à sua melhor compreensão conceitual. As perdas de água englobam tanto as perdas reais (físicas), que representam a parcela não consumida, como as perdas aparentes (não-físicas), que correspondem à água consumida e não registrada. As perdas reais originam-se de vazamentos no sistema, que vão desde a captação até a distribuição propriamente dita, além de procedimentos operacionais como lavagem de filtros e descargas na rede, quando esses provocam consumos superiores ao estritamente necessário para operação. No que diz respeito às perdas aparentes, as mesmas originam-se de ligações clandestinas ou não cadastradas, hidrômetros parados ou que submedem, fraudes em hidrômetros e outras.

A redução de perdas reais diminui os custos de produção, pois propicia um menor consumo de energia, de produtos químicos e de outros insumos, utilizando as instalações existentes para ampliação da oferta, sem expansão do sistema produtor. No caso das perdas aparentes, sua redução permite aumentar a receita tarifária, melhorando a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro do prestador dos serviços.

A proposição de medidas visando à redução e ao controle das perdas enseja o conhecimento de parâmetros (tais como volumes, pressões, níveis, etc.) que permitem qualificar a situação em que se encontra determinado siste-

ma público de abastecimento. Neste contexto, torna-se fundamental o estabelecimento da “cultura” da medição, garantindo-se a apropriação contínua de parâmetros hidráulicos e elétricos e a possibilidade de elaboração do balanço hídrico, do completo diagnóstico do sistema de abastecimento e da sua modelagem hidráulica, com base no real funcionamento do sistema. Para se alcançar um cenário como esse, é necessário estruturar um plano de ação visando à redução e ao controle das perdas e desperdícios, coerente com a disponibilidade de recursos financeiros, humanos e materiais. Esse plano deve considerar os custos e benefícios resultantes das ações correspondentes, conduzindo a uma hierarquização das ações preconizadas.

Também é necessário que os planos de redução e controle das perdas e desperdícios estejam associados a outros programas que levem às mudanças estruturais e comportamentais necessárias, como os programas de qualidade, planejamento estratégico ou outros planos de modernização. Desta forma, devem integrar e envolver todos os funcionários da empresa prestadora de serviços, adquirindo caráter permanente e auto-sustentabilidade. Para isso, a mobilização e a comunicação social, tanto internas ao prestador de serviços, como externas junto à sociedade, são ferramentas estratégicas.

Neste contexto, o PNCDA, em sua vertente de elaboração de estudos, já publicou vinte e três Documentos Técnicos de Apoio (DTA), cobrindo as áreas de abrangência temática do Programa, antes mencionadas. Os Documentos têm por objetivo auxiliar no planejamento e implementação de medidas no âmbito da temática do PNCDA, além de serem utilizados nos eventos de capacitação do Programa, que vêm ocorrendo desde 1999.

Dando seqüência a essa vertente, em parceria com o PMSS – Programa de Modernização do Setor Saneamento, o PNCDA inaugura uma nova linha de DTAs, sob forma de “Guias Práticos”, que visam ao atendimento a uma forte demanda, por parte das equipes operacionais dos prestadores de serviços de saneamento, por documentos de fácil entendimento, aplicativos e práticos, de modo a serem úteis quando da realização de serviços de campo. Assim, os Guias abordam temas relacionados às questões cotidianas vivenciadas por equipes responsáveis pela operação e manutenção de sistemas de abastecimento de água no país, usando uma linguagem acessível, recursos gráficos, fotos, desenhos e croquis, adotando, enfim, uma mensagem visual para o adequado entendimento dos procedimentos descritos.

A presente série de Guias Práticos, denominada Técnicas de Operação em Sistemas de Abastecimento de Água, inicia-se com cinco publicações sobre temas fundamentais aos trabalhos de campo, quais sejam: a macromedição,

os ensaios pitométricos, a pesquisa e combate a vazamentos não visíveis, o controle de pressões e operação de válvulas reguladoras de pressão e a conta de energia elétrica no saneamento.

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, por meio de seus programas PNCDa e PMSS, esperam que os “Guias Práticos” contribuam tecnicamente para o desempenho das atividades operacionais nos serviços de abastecimento de água e desejam contar com a colaboração do leitor enviando sugestões para a melhoria e o aprimoramento das publicações.

Brasília, janeiro de 2007

Ministério das Cidades

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDa)

Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS)

O PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO

O **Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS)** consolidou-se, ao longo de seus quatorze anos, como um instrumento permanente de apoio à instância executiva da política de saneamento do Governo Federal, tendo suas ações voltadas à criação das condições propícias a um ambiente de mudanças e de desenvolvimento do setor saneamento no país. Atualmente, é um dos principais programas da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades.

O Programa tem, no **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**, o seu mais reconhecido produto. A credibilidade construída em torno deste instrumento permitiu, em seus 11 anos de existência, consolidar séries históricas de diversos dados e informações fornecidos por uma amostra de prestadores de serviços, tanto de água e esgotos como de resíduos sólidos, que progressivamente se amplia em tamanho e representatividade.

Por sua vez, a **assistência técnica** aos órgãos e entidades do setor saneamento constitui-se em pauta fundamental do PMSS, buscando promover reformas institucionais, especialmente nos prestadores de serviços, com vistas a melhorar a qualidade e o nível de eficiência e eficácia de suas ações, condição básica para universalização dos serviços. Neste sentido, são potenciais beneficiários do Programa: (i) os estados e municípios, na formulação de políticas públicas e desenvolvimento de planos de saneamento; (ii) as instâncias de regulação e fiscalização, na implementação de atividades regulatórias; e (iii) os prestadores públicos de serviços, na sua revitalização e reestruturação.

Além do apoio direto ao prestador de serviços, operando segundo o modelo de gestão vigente, a assistência do PMSS estuda arranjos alternativos de gestão, que permitam o fortalecimento do prestador de serviços atual, funcionando em novas bases, mas que também possibilitem ao governante explorar novos modelos que enfrentem o quadro de dificuldades em que se encontram os serviços de saneamento nos estados e municípios brasileiros.

O Programa alavanca o desenvolvimento institucional do setor mediante ações de **capacitação** dos agentes que atuam no saneamento. Neste sentido, o PMSS liderou, em parceria com diversos órgãos do Governo Federal e a operacionalização da Financiadora de Estudos e Pesquisas (FINEP), o processo de criação e estruturação da Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (ReCESA). Foram constituídos quatro Núcleos Regionais, coordenados por 14 universidades e que agregam cerca de 80 instituições parceiras (entre prestadores de serviços, entidades do setor, sistema S e sistema Cefet). O PMSS exerce o papel de Núcleo Executivo do Comitê Gestor da ReCESA.

O PMSS também fornece o suporte técnico e de logística à SNSA/MCidades na implementação do projeto de **Cooperação Internacional Brasil-Itália em Saneamento Ambiental**, que conta com a participação de instituições do governo italiano e da HYDRO-AID – *Scuola Internazionale dell'Acqua per lo Sviluppo*, além da participação de municípios e universidades brasileiras.

O Programa desempenha ainda um papel de vanguarda em **temas emergentes para o setor**, como atingir as Metas do Milênio e atender aos tratados internacionais. Destacam-se parcerias com o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), o

Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Projeto Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) aplicado a Resíduos Sólidos e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

O PMSS se insere efetivamente na **agenda político-institucional da SNSA/MCidades**, oferecendo suporte técnico na formulação e implementação do marco legal e regulatório para o setor. O programa contribuiu de forma destacada para a discussão e aprovação da Lei nº 11.107/2005 que regulamenta os Consórcios Públicos e no apoio a construção e aprovação da Lei nº 11.445/2007 que estabelece as diretrizes gerais e institui a política federal de saneamento básico.

O Programa de Modernização do Setor Saneamento conta, ainda, com um **projeto editorial**, que recentemente ganhou fôlego renovado com o lançamento da série de publicações e da revista periódica, denominadas “Saneamento para Todos”, abrangendo edições que fomentam a reflexão político-institucional e o intercâmbio técnico entre os agentes do setor.

Marcos Helano Fernandes Montenegro

Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica da SNSA/MCidades

Ernani Ciríaco de Miranda

Coordenador da UGP/PMSS

Sumário

1. Introdução	11
2. Conceituação de perdas	13
3. Critérios para a seleção de atividades de controle de pressões.....	15
3.1 Sistemas sem medição	15
3.2 Sistemas com medição	16
4. Setorização de redes e adequação de pressões	17
4.1 Setorização de redes.....	17
4.2 Relação entre pressão e vazamento	19
5. Mapeamento e monitoramento de pressões.....	23
5.1 Pressão Média do Setor (PMS)	23
5.2 Monitoramento das pressões	24
5.2.1 Uso de registradores de pressão	24
5.2.2 Pontos de monitoramento e periodicidade.....	26
5.3 Aproveitamento de dados de pressões instantâneas	26
5.3.1 Metodologia para obtenção de fatores de correção.....	27
5.3.2 Análise dos resultados	29
6. Especificação e uso de válvulas redutoras de pressão	31
6.1 Aspectos da especificação de válvulas	31
6.1.1 Vazões máximas e mínimas.....	31
6.1.2 Pressões de trabalho	31
6.1.3 Pressão de regulação.....	32
6.1.4 Características químicas da água.....	34
6.1.5 Comportamento da pressão dinâmica do setor a ser controlado	34
6.1.6 Material do manifold.....	35
6.1.7 Tipo de filtro	35

6.1.8	Tipo de conexão	35
6.1.9	Quantidade de válvulas.....	35
6.2	Dimensionamento	35
6.2.1	Fórmulas de dimensionamento	36
6.2.2	Exemplo de dimensionamento.....	36
6.2.3	Problemas de dimensionamento.....	37
6.2.4	Exemplo de especificação de válvula	39
6.3	Utilização de válvulas em paralelo e em série	40
6.3.1	Válvulas em paralelo	40
6.3.2	Válvulas em série	42
6.4	Tipos de válvulas redutoras de pressão	43
6.4.1	Válvulas disponíveis no mercado.....	43
6.4.2	Dispositivos de controle de pressão da válvula	47
6.5	Instalação de Válvulas.....	47
6.5.1	Recomendações e cuidados na instalação de Válvulas Redutoras de Pressão – VRP	47
6.5.2	Caixas para VRP	49
6.6	Regulagem e monitoramento de válvulas redutoras de pressão	50
7.	Política de manutenção em válvulas redutoras de pressão	53
	Apêndice A – Exemplo de caixa para VRP	55
	Apêndice B – Check list	58
	Apêndice C – Manual de correção de falhas	59
	Referências bibliográficas	61

1. Introdução

Perdas ou fugas de água ocorrem em diversos componentes de um sistema de abastecimento. Conforme o local destas ocorrências, diversas atividades específicas são adequadas para seu controle e redução. É de fundamental importância que se tenha, pelo menos de forma estimada, o impacto de cada perda no contexto geral, o que possibilita a priorização da realização de atividades.

Com o propósito de funcionar como um guia prático, este documento foi elaborado de tal modo que seja possível a realização do controle de pressão em consonância com as demais atividades de controle de perdas reais, possibilitando a otimização e eficiência dessa atividade. Para atingir esse objetivo, o documento está estruturado na seguinte seqüência:

- conceituação de perdas – tem-se uma breve definição e classificação dos tipos de perdas no sistema de distribuição;
- critérios para a seleção de atividades de controle de perdas – são apresentadas as formas de seleção e escolha das áreas prioritárias para a realização de atividades de perdas reais e, mais especificamente, para a redução de pressões na rede, tratando também da utilização de indicadores;
- setorização de redes e adequação de pressões – são tratados aspectos fundamentais para que o controle de pressões e uso de válvulas reguladoras de pressão sejam adotados em conjunto com a adequação da rede de distribuição, atingindo resultados tecnicamente duradouros e viáveis do ponto de vista econômico;
- mapeamento e monitoramento de pressões – com o objetivo de se ter conhecimento das pressões da rede, é proposta uma metodologia para medição, mapeamento e monitoramento das pressões por zonas de pressão em cada setor da rede, que possibilita uma melhor avaliação dos pontos críticos, no que diz respeito ao nível de pressão da rede,
- especificação e uso de válvulas reguladoras de pressão – são abordados os aspectos de ordem prática envolvidos nesta atividade, tratando dos critérios para dimensionamento, tipos, operação e regulação, uso de válvulas e exemplos de aplicação;

- política de manutenção de válvulas auto-operadas – é apresentado um procedimento para acompanhamento e manutenção de válvulas, sob os aspectos corretivos e preventivos, estabelecendo os critérios e serviços de campo necessários.

Cláudia Monique Frank de Albuquerque

Coordenadora Técnica do Programa Nacional de
Combate ao Desperdício de Água
Ministério das Cidades

2. Conceituação de perdas

Todo sistema de abastecimento de água apresenta perdas entre a captação e a estação de tratamento de água (perdas na produção) e desta até a entrega para o consumidor (perda na distribuição).

O Documento Técnico de Apoio A2, do PNCDA, trata das definições, nomenclatura e indicadores de perdas, motivo pelo qual não se irá aqui detalhar esse assunto. Por outro lado, será feita uma breve abordagem sobre perdas, com enfoque na distribuição de água.

Antes da abordagem específica sobre perdas de água, é importante conhecer os diversos componentes que compõem o balanço hídrico, a partir da água que entra em um dado sistema de distribuição de água. É apresentado a seguir o Balanço Hídrico formulado pela IWA (International Water Association).

Quando se pensa em perdas, as primeiras imagens que vêm à mente são os vazamentos nas canalizações, mas as perdas vão além desses vazamentos. Portanto, é importante que sejam definidas as perdas, de tal forma que se possa ter um melhor direcionamento quanto ao tipo de perdas que se deve combater.

Conceitualmente existem dois tipos de perdas de água: as perdas reais e as perdas aparentes.

Toda água que não chega aos consumidores pode ser definida como Perdas Reais, também chamadas de Perdas Físicas.

As Perdas Aparentes, também chamadas de Perdas Não Físicas, referem-se a toda água que não é medida ou que não tenha o seu uso definido. Estão relacionadas às ligações clandestinas e/ou irregulares, fraudes nos hidrômetros, erros de micromedição e macromedição, política tarifária, erro cadastral (cadastro de consumidores incompleto e/ou desatualizado, inatividade em ligação ativa), erros de leitura, etc.

Conforme o trabalho de Miranda E. (2003), recomenda-se como mais adequado o uso dos termos “perdas reais” e “perdas aparentes” em substituição a “perdas físicas” e “perdas não físicas”, respectivamente.

Quadro 1 – Componentes do padrão internacional de balanço hídrico para sistemas de distribuição de água

COMPONENTES DO PADRÃO INTERNACIONAL DE BALANÇO HÍDRICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA						
Baseado no Relatório IWA (07/2000)-Indicadores de Desempenho para Sist. de abastecimento de água, com pequenas alterações						
Volume de fonte própria	Volume Fornecido ao Sistema	Água Exportada	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Faturado	Água Faturada	Água Exportada Faturada
		Água Distribuída		Consumo Autorizado Não Faturado		Consumo Medido Faturado
						Consumo não Medido Faturado
Perdas de Água			Consumo Medido não Faturado		Consumo não Medido e não Faturado	
				Consumo não Autorizado		
			Perdas Aparentes	Água não Faturada	Imprecisão nos Hidrometros	
					Perdas Reais	Vazamento nas Redes
Vazamentos e Extravasões em Reservatórios						
			Vazamentos em ligações até o Hidrometro			

3. Critérios para a seleção de atividades de controle de pressões

A priorização de áreas a serem contempladas com atividades de controle de perdas reais ou aparentes poderá ser definida conforme a disponibilidade tecnológica da concessionária. Ou seja, quanto mais apurados forem o controle operacional e os indicadores de perdas, maior será a eficiência na identificação de áreas críticas.

As áreas críticas podem ser definidas de duas maneiras, conforme o estágio de controle operacional da concessionária:

- Sistemas sem medição. A seleção de áreas para o controle de pressões pode ser feita por meio de procedimentos que se baseiam nas informações sobre a rede de distribuição, considerando a não existência de um sistema de medição.
- Sistemas com medição. Para um sistema setorizado e dotado de equipamentos de medição, com monitoramento de pressões e vazões, usa-se procedimentos mais adequados para a priorização de atividades de controle de perdas reais envolvendo o controle de pressões.

3.1 Sistemas sem medição

Existem operadoras que não possuem micromedidores (hidrômetros), setorização na rede e tampouco macromedidores de modo a que se possam definir áreas críticas que necessitem de intervenções de controle de perdas reais.

Nesses casos, a concessionária deve investir em ferramentas de controle, importantes para quantificar e qualificar as decisões no combate às perdas. Caso isso não seja possível, visando a estabelecer as áreas mais críticas no que diz respeito às condições da rede, deve-se realizar o levantamento e o mapeamento dos setores da rede de distribuição, levando em conta as seguintes características:

- setor com grande incidência de ordens de serviços relativos a reparo de vazamentos;
- pressões altas (mapear setores por faixa de pressão: até 30 mca, até 50 e acima de 50 mca);
- redes antigas (mapear rede pela idade, nas faixas: até 10 anos, 11 a 20, 21 a 30 e acima de 30 anos);
- quantidade de vazamentos visíveis ou não visíveis por extensão de rede que foram reparados em um ano;
- quantidade de vazamentos visíveis ou não visíveis no ramal predial que foram reparados em um ano.

Uma vez mapeados os setores com essas informações, escolhem-se as áreas prioritárias para os trabalhos de controle de pressões.

3.2 Sistemas com medição

Caso a concessionária de água possua setorização, macro e micromedição têm-se a possibilidade de compatibilizar o volume de água que está entrando no setor, com o que está sendo consumido. Assim, a partir do conhecimento corretamente quantificado das perdas nos setores, a concessionária pode estabelecer uma metodologia para otimizar o processo de decisão no combate a essas perdas, podendo-se priorizar o investimento de recursos com a setorização e controle de pressão justamente nas áreas mais críticas.

A metodologia para sistemas com medição deve agregar também os fatores mencionados para sistemas sem medição, deste modo qualificando da melhor forma as decisões e análises relativas aos trabalhos de redução de perdas reais.

A qualidade da avaliação das perdas em um determinado sistema vai variar conforme a política de macromedição e pitometria da concessionária e, conseqüentemente, da disponibilidade de equipamentos de medição e controle.

No Guia Prático para Pesquisa de Vazamentos Não Visíveis, itens 4.1 a 4.3, são descritos indicadores e métodos disponíveis para a quantificação e comparação de perdas entre sistemas e/ou setores.

4. Setorização de redes e adequação de pressões

Recomenda-se a leitura de publicações do PNCDA, tais como o Controle de Pressão na Rede, o Macromedição e o Recomendações Gerais e Normas de Referência que trazem observações importantes sobre a setorização de redes, entre outros assuntos. Serão tratados aqui tópicos de ordem mais prática e específica.

4.1 Setorização de redes

A grande extensão das redes de distribuição de água com suas numerosas derivações e conexões necessita de uma setorização, ou seja, a sua divisão em setores e subsetores com a finalidade de se ter um melhor gerenciamento do sistema de água. A setorização possibilitará também identificar com maior eficiência os pontos da rede sujeitos a maior incidência de vazamentos (Dantas M. P., 1999).

Sistema Distribuidor

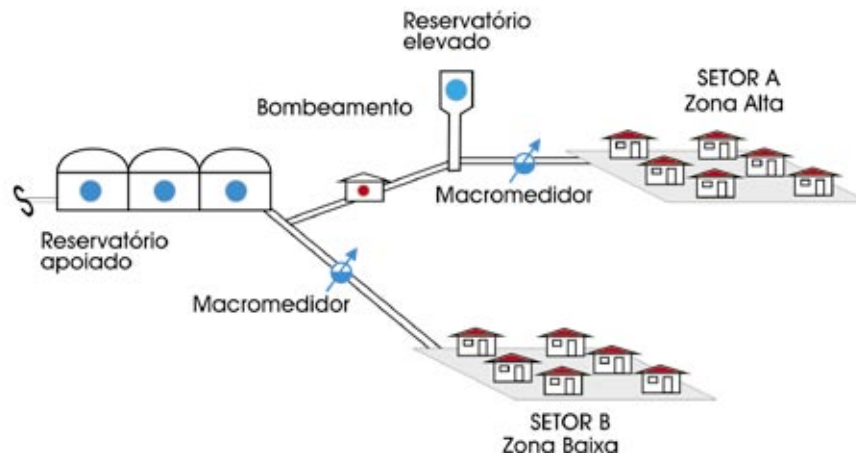


Figura 2 – Setorização clássica em sistemas distribuidores de água

A setorização representada atende a dois setores (A e B). O primeiro é abastecido pelo reservatório elevado (zona alta) e o segundo pelo reservatório apoiado (zona baixa). Os dois setores devem ter macromedidores na entrada assim como hidrômetros para os consumidores finais, viabilizando assim a compatibilização entre a macromedição e a micromedição e, por consequência, índices de perdas confiáveis e o próprio gerenciamento.

No interior de cada setor de abastecimento, a operação é feita em um ou mais subsectores denominados:

- Zona de pressão – área abrangida por uma subdivisão da rede, na qual as pressões estática e dinâmica obedecem a limites prefixados.
- Setor de macromedição – parte da rede de distribuição delimitada e isolável com a finalidade de acompanhar a evolução do consumo, e avaliar as perdas de água na rede, cuja vazão é medida continuamente por meio de macromedidor instalado na(s) linha(s) de alimentação e de saída, quando houver transferência para outro setor.
- Distrito de medição temporária – parte da rede de distribuição delimitada e isolável com a finalidade de acompanhar, temporariamente, a evolução do consumo e avaliar as perdas de água na rede, cuja vazão é medida por intermédio de equipamentos portáteis ou de instalação provisória.
- Setor de manobra – menor subdivisão da rede de distribuição, cujo abastecimento pode ser isolado sem afetar o abastecimento do restante da rede.

É recomendável que setores de abastecimento, zonas de pressão, distritos, setores de macromedição e de manobra sejam indicados e mantidos atualizados em mapas temáticos do Cadastro Técnico de Redes e sua correspondência com o cadastro comercial seja estabelecida, ainda que seja externamente ao processamento de dados da área comercial, mesmo não sendo isto o ideal a fazer. O ideal é que a base de dados seja única e disponível para os diversos setores da empresa segundo suas necessidades específicas. No Brasil, de modo geral, os sistemas comerciais das empresas e autarquias evoluíram desconsiderando completamente as necessidades da operação e da engenharia – situação esta que precisa ser revertida.

Normalmente, uma expansão urbana não prevista no projeto original pode alterar o limite do sistema distribuidor de uma determinada localidade. É recomendado, até mesmo imprescindível, analisar-se o impacto desta expansão

pela modelagem hidráulica do sistema (usando-se o software livre Epanet, da EPA – Environmental Protection Agency, ou outro software de modelagem).

Recomenda-se também minimizar a utilização de registros como delimitador de setor ou zona, uma vez que no futuro a estanqueidade ou fechamento adequado dos registros será quase sempre colocado em dúvida. O excesso de pontas de rede também deve ser evitado já que isto não é bom para a equalização das pressões na rede e pode concentrar resíduos e turbidez quando há deficiências nos filtros das estações de tratamento e na operação das redes. Pontos de descarga da rede e ventosas devem ser vistoriados com frequência e analisados quanto à sua efetiva utilização e funcionamento adequado.

4.2 Relação entre pressão e vazamento

O controle de pressão por meio de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) apresenta-se como uma das ferramentas mais importantes no controle e redução de perdas, sendo recomendado o seu uso nos sistemas de abastecimento de água, na medida do necessário. Este controle deve assegurar as pressões mínimas e máximas permitidas para os consumidores finais, isto é, as pressões estática e dinâmica que obedecem a limites prefixados. Segundo a Norma Técnica NBR nº 12.218/1994, da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa (50 mca), e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa (10 mca). Valores fora dessa faixa podem ser aceitos desde que justificados técnica e economicamente.

Sabe-se que, em um sistema de água com alta pressão, ocorre com mais frequência uma grande quantidade de vazamentos. Caso uma análise de custo-benefício aponte ser viável economicamente um controle ativo dos vazamentos, recomenda-se reduzir a pressão no sistema com VRP ou com utilização de reservatórios, objetivando a redução de ocorrências de vazamentos e, por consequência, a redução do número de pesquisas de vazamentos. A experiência indica que se não houver uma redução de pressão, o sistema retornará com perdas equivalentes a do início da pesquisa, anulando em pouco tempo a campanha de combate realizada.

A questão da necessidade de articulação das atividades de controle de perdas reais na rede é ilustrada na Figura 3. É representada a evolução das perdas de um setor do Distrito Federal – DF, onde se observa:

- a) queda nas perdas a partir de março de 1992, data em que foi feita a primeira pesquisa e combate de vazamentos não visíveis, com a utilização de geofone eletrônico e correlacionador de ruídos, pela Caesb;
- b) com o passar do tempo, as perdas retiradas com a pesquisa de vazamentos retornou ao patamar inicial (de março de 1992);
- c) em meados de 1997, foi instalada uma VRP, reduzindo as perdas no setor, estabilizando-as praticamente na mesma faixa.



Figura 3 – Evolução das perdas no Guará II, antes e após a VRP

Pesquisadores admitem que exista uma estreita relação entre a pressão média na rede e a vazão do vazamento. Esta relação foi teorizada como sendo expressa pela seguinte equação:

$$Q_1 / Q_0 = (p_1 / p_0)^{N_1} \quad (4.1)$$

sendo,

Q_1 = Volume do vazamento final – usar m³/dia

Q_0 = Volume do vazamento inicial – usar m³/dia

p_1 = Pressão final – usar mca

p_0 = Pressão inicial – usar mca

N_1 = Coeficiente da relação pressão x vazamento – Os valores usuais são:

0,5 – Seção do tubo que não se altera com o vazamento (exemplos: tubos de ferro fundido e aço).

1,00 – Para uma avaliação simplificada. Pode-se dizer que na redução de 1 % no valor da pressão de um sistema, haverá uma redução de 1 % no vazamento.

1,15 – Para as condições gerais da rede de distribuição de água de um setor, onde se misturam os materiais, trechos com ferro fundido, PVC, aço, PEAD ou outro tipo de material.

1,5 – Seção do tubo que se altera com o vazamento (exemplos: tubos de PVC e PEAD).

Exemplo

Um setor da rede de distribuição de água tem uma grande incidência de perdas, na ordem de 250 m³/dia – com pressão de 50 mca. Se reduzirmos a pressão para 40 mca, qual será a redução do volume de água perdida nos vazamentos?

Solução

- Dados: $Q_1 = ?$; $Q_0 = 250 \text{ m}^3/\text{dia}$; $p_1 = 40 \text{ mca}$; $p_0 = 50 \text{ mca}$
- Para uma avaliação em uma rede de tubos de ferro fundido e aço: $N_1 = 0,5$

$$Q_1 = 250 \times (40/50)^{0,5} = 250 \times 0,89 = 222,50 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Haverá uma redução de 250 m³/dia para 222,50 m³/dia, com redução de 27,5 m³/dia.

- Para uma avaliação simplificada: $N_1 = 1$

$$Q_1 = 250 \times (40/50) = 250 \times 0,80 = 200 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Com a redução da pressão de 50 mca para 40 mca (20 %), haverá uma redução de mesma proporção na perda, de 250 m³/dia para 200 m³/dia, redução de 50 m³/dia (20 %).

- Para um setor da rede onde se misturam os materiais, trechos com ferro fundido, PVC, aço, PEAD ou outro tipo de material: $N_1 = 1,15$

$$Q_1 = 250 \times (40/50)^{1,15} = 250 \times 0,774 = 194 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Haverá uma redução de 250 m³/dia para 194 m³/dia, redução de 56 m³/dia.

- Para uma avaliação de um setor onde a predominância é de tubos de PVC: $N_1 = 1,5$

$$Q_1 = 250 \times (40/50)^{1,5} = 250 \times 0,715 = 178,75 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Haverá uma redução de 250 m³/dia para 178,75 m³/dia, redução de 71,25 m³/dia.

Os exemplos mostram que o efeito da pressão pode ser mais danoso dependendo do tipo de material da rede e ramal.

De modo geral, quanto mais rígido o material dos tubos, menor a dependência dos vazamentos da pressão, o que pode ser visto observando-se os valores de N_1 , como expoente da relação (p_1/p_0) .

5. Mapeamento e monitoramento de pressões

Como foi visto, o conhecimento das pressões que atuam na rede é de fundamental importância para o controle de perdas. Dessa forma, tem-se a necessidade da definição de um método para determinação das pressões em um dado setor, bem como uma metodologia para monitoramento e acompanhamento dessas pressões.

5.1 Pressão Média do Setor (PMS)

A pressão está ligada à ocorrência de perdas reais, interferindo, em grande parte, nas atividades de gerenciamento das perdas de um setor. Porém, a depender da conformação topográfica da rede, do consumo e também das condições da rede, tem-se grandes variações, tanto ao longo da própria rede como também ao longo do dia.

Dessa forma, dados instantâneos de pressão normalmente podem dar uma visão distorcida do comportamento da pressão de um dado setor. Então, além da necessidade de se monitorar a pressão ao longo do tempo, é importante a utilização do conceito de Pressão Média do Setor (PMS), com o objetivo de se ter uma noção do comportamento médio de um setor.

Considerando que o setor seja formado por uma única zona de pressão, a PMS pode ser calculada pela fórmula:

$$PMS = S \times P_{\text{máx}} + (1 - S) \times P_{\text{mín}} \quad (5.1)$$

onde,

$P_{\text{máx}}$ - Pressão máxima que ocorre no setor em estudo. A pressão máxima normalmente ocorre entre 3 e 4 horas da manhã.

$P_{\text{mín}}$ - Pressão mínima que ocorre no setor em estudo. A pressão mínima normalmente ocorre entre 12 e 14 horas.

S - Percentual estimativo da proporção do setor em estudo (em número de ligações ou área) que possui pressões acima da pressão média horária definida pela fórmula:

$$P_{\text{média}} = (P_{\text{máx}} + P_{\text{mín}}) / 2 \quad (5.2)$$

Recomenda-se determinar, no setor em estudo, os pontos que tenham a maior e a menor cota geométrica. A seguir, instalam-se nesses pontos medidores de pressão para que se obtenha $P_{\text{máx}}$ e a $P_{\text{mín}}$ durante todo o dia, contabilizados como médias horárias.

No caso de um setor possuir mais de uma zona de pressão, sugere-se obter a PMS acima para cada zona de pressão, de acordo com a área e/ou o número de ligações de cada uma, para em decorrência obter-se a PMS relativa a todo o setor.

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

5.2 Monitoramento das pressões

O monitoramento das pressões na rede permite a visualização das pressões em um determinado ponto ao longo das horas do dia, possibilitando o conhecimento das pressões médias, mínimas e máximas. Dessa forma, podem-se comparar os valores de pressão na rede com os valores permitidos em norma e, então, definir as estratégias de adequação de rede, como, por exemplo, a redução de pressões ou substituição de trechos de rede com incrustação.

De uma maneira geral, têm-se as seguintes recomendações para o monitoramento das pressões:

5.2.1 Uso de registradores de pressão

- a) Uso de registradores de pressões manométricas com utilização máxima de até 80 % da escala do aparelho. Essa escala pode ser obtida a partir das pressões máximas e mínimas que podem ser aproximadas, inicialmente, com a obtenção das cotas altimétricas da rede em plantas com curvas de nível.
- b) O tipo de registrador de pressão a ser usado depende da disponibilidade tecnológica da companhia, podendo ser registrador gráfico ou data logger.
- c) O registrador gráfico deve ter possibilidade para registro de 24 horas ou sete dias e o data logger é configurado conforme a necessidade do usuário.
- d) A vantagem do registrador gráfico é que se pode obter de forma imediata o comportamento das pressões ao longo do período específico, tendo como desvantagem a necessidade de transferir a leitura para uma planilha.

- e) A desvantagem do data logger é que, para a visualização do comportamento das pressões, é necessária a utilização de *software* próprio e microcomputador, nem sempre disponíveis em campo. Por outro lado, após a captura dos dados, os mesmos já se encontram em formato eletrônico, podendo ainda ser registrados em um período maior que sete dias.
- f) Pode ser utilizado, também, sistema de transmissão de pressão por meio de telemetria, permitindo o monitoramento contínuo e a distância de pressões de montante e de jusante da válvula.



Figura 4 – Aspecto de um data logger para registro de pressões

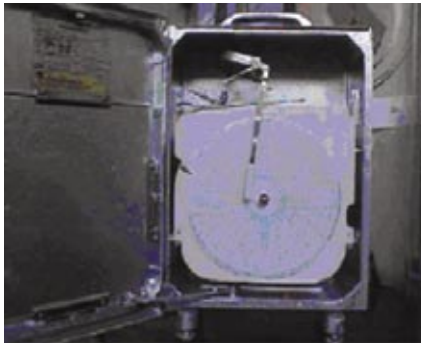


Figura 5 – Aspecto de um registrador gráfico de pressões

5.2.2 Pontos de monitoramento e periodicidade

De forma a se obter controle e monitoramento representativos de pressão na rede, recomenda-se que seja feita a colocação de pelo menos três pontos de monitoramento por zona de pressão:

- no ponto de menor cota geométrica;
- no ponto de maior cota geométrica; e
- no ponto de cota média.

Dependendo da disponibilidade de equipamentos para registro de pressões, pode ser aumentado o número de pontos de monitoramento, o que aumenta a representatividade do controle.

Além das variações de cota dentro da zona de pressão ou setor, caso se tenha condições características da rede de distribuição como trechos isolados e/ou subdimensionados recomendam-se o aumento do número de pontos de monitoramento.

É desejável que haja um registro contínuo das pressões nos setores ou zonas de pressões definidas. Caso se tenha um número de setores ou zonas de pressão incompatível com o número de aparelhos para registro de pressão, deve-se fazer um rodízio no monitoramento de todos os pontos, garantindo-se, no mínimo uma periodicidade por setor ou zona de pressão representativa ao longo de um ano. A duração desses registros poderá ser de sete dias ou até de 24 horas, dependendo da quantidade de equipamentos registradores gráficos disponíveis. No caso de data loggers, a duração dos registros poderá assumir outros valores.

5.3 Aproveitamento de dados de pressões instantâneas

Valores confiáveis de pressão média são importantes para sua utilização como parâmetro de projeto, como variável no cálculo de indicadores de perdas ou ainda como um fator decisório quando da intervenção na rede com o propósito de reduzir perdas. No caso de ainda não se ter uma metodologia de monitoramento contínuo é importante que sejam aproveitados dados históricos de pressões instantâneas na rede.

Normalmente, tem-se nas companhias uma quantidade considerável de registros de pressão instantânea por ano. Esses dados são fruto de verificações em casos de falta de água em algum local, de pedidos internos feitos pela

área de projeto ou, na sua maioria, da própria rotina das áreas de pitometria, operação e manutenção das operadoras. Contudo, esses registros são obtidos sem um padrão definido (horário e frequência das leituras), perdendo sua utilidade, já que deixam de expressar o comportamento temporal do sistema.

Apresentaremos a forma de obtenção dos fatores de correção para cada hora do dia, necessários para o cálculo da pressão média normalizada, a partir dos dados disponíveis de pressão instantânea, ainda que distribuídos irregularmente ao longo das horas do dia. Dessa forma, pode-se padronizar as informações de pressão e realizar comparações do comportamento de setores ou zonas quanto às pressões, ao longo do tempo.

5.3.1 Metodologia para obtenção de fatores de correção

Os fatores de correção são calculados para cada zona de pressão, a partir de leituras feitas em gráficos de registro contínuo de 24 horas ou de sete dias, de acordo com a equação 1, a seguir:

$$FC_h = \frac{\bar{L}_h}{\sum_{i=1}^n \bar{L}_{0-24h}} \quad (6.3)$$

Onde FC_h é o fator de correção da hora h , n é o número de registros existentes para cada zona de pressão, \bar{L}_h é a média das leituras dos registros feitos em determinada hora h , e \bar{L}_{0-24h} é a média das leituras dos registros, durante todo o dia.

Assim, uma leitura feita em determinada hora h pode ser convertida em valor médio de 24 horas pela fórmula:

$$R_{24h} = \frac{R_h}{FC_h} \quad (6.4)$$

Onde

- R_{24h} – pressão média de 24 horas,
- R_h – leitura feita em determinada hora h e
- FC_h – fator de correção da hora h .

Devem ser utilizados como base de dados para o cálculo dos fatores de correção os registros contínuos existentes nos arquivos da companhia, selecionados após uma avaliação prévia dos fatores de correção. Devem ser descartados registros sem comportamento característico de pressão, tais como medições efetuadas em períodos de falta d'água, testes de vazão ou outros tipos de situações atípicas.

Onde ocorreram intervenções na rede (instalação de válvulas redutoras de pressão, por exemplo), devem ser determinados dois ou mais conjuntos de valores de fatores de correção, um com vigência até a data em que houve a intervenção, e outro valendo a partir desta data.

Conforme a quantidade de registros de pressão instantânea pode ser necessário o desenvolvimento de um aplicativo capaz de manipular esses dados de maneira simples e prática. Este sistema pode ser desenvolvido em planilha do tipo Excel ou em uma linguagem de programação, sendo elaborado de acordo com os seguintes objetivos:

- cadastrar registros de pressão instantânea, por setor, por endereço, horário e data da medição;
- cadastrar os fatores de correção para cada ZP;
- calcular a pressão normalizada;
- realizar consultas com critérios de seleção, tais como: setor ou ZP, hora ou data da medição ou valor registrado de pressão;
- para cada consulta, fornecer a média e os valores mínimos e máximos das pressões registradas e também das pressões normalizadas, além do número de registros encontrados na pesquisa.

Depois de cadastrados os setores e as zonas de pressão do sistema de abastecimento em questão, deve-se cadastrar os fatores de correção de cada zona de pressão para cada hora do dia.

Após o cadastro dos dados necessários, deverá ser possível efetuar diversos tipos de consulta, referentes aos setores e zonas. O aplicativo deverá fornecer o número de registros cadastrados e as pressões média, máxima e mínima, tanto instantânea quanto normalizada.

Deverá ser possível também filtrar uma consulta para registros efetuados entre datas fornecidas pelo usuário, podendo-se, assim, obter valores de pressão média instantânea ou normalizada para determinado ano, semestre, mês ou qualquer outro intervalo de tempo.

5.3.2 Análise dos resultados

Em zonas de pressão em que não existem mecanismos de controle de pressão, normalmente são observadas grandes diferenças entre as pressões instantâneas e as normalizadas.

Uma análise global do comportamento das pressões, por setor ou por sistema, pode ser feita como no exemplo da Figura 6, em que se mostra a setorização em um sistema com os valores de pressão média normalizada, instantânea e o número de registros efetuados em um dado período. Esses dados podem auxiliar na definição do tipo de controle de pressão mais recomendável, ou verificar a eficiência de soluções já adotadas para o setor em questão.

Unidades de distribuição de água Samambaia

UDA	ZP	Fonte de abastecimento	Medições	Pressão registrada (mca)	Pressão normalizada (mca)	Diferença (%)
1	A	REL-SA1	92	24,5	29,2	13%
2	A	RAP-SA1	224	30,6	36,0	14%
3	A	RAP-SA1/AD-TG	84	30,3	30,5	3%
4	A	RAP-SA1/AD-TG	27	38,5	42,4	11%
5	A	RAP-SA 2	83	35,5	43,5	21%
6	A/B	RAP - SA1/ADT-16	231	45,6	49,6	9%



Fonte: Divisão de Monitoramento e Controle- DMCA/SPOT/DRSA

Figura 6 – Setorização da Região Administrativa de Samambaia – CAESB

6. Especificação e uso de válvulas redutoras de pressão

A especificação de válvulas reguladoras de pressão e sua correta instalação são fundamentais para o seu bom funcionamento. Não é raro encontrar, nos sistemas de abastecimento, válvulas com problemas de funcionamento que comprometem o seu desempenho devido a erros de especificação, resultando no mau funcionamento das redes de distribuição. Em decorrência, pode-se ter falta de água ou excesso de pressão, além de diminuição da vida útil das válvulas.

Sendo a válvula redutora de pressão um elemento físico e mecânico que causa ação no escoamento, cuidados especiais são requeridos quanto aos aspectos de resistência estrutural, química e desempenho hidráulico a que esta virá a ser submetida.

6.1 Aspectos da especificação de válvulas

Especificar uma válvula significa pormenorizar as características que este equipamento deve ter. Uma boa especificação deve começar pelo dimensionamento adequado e pela abordagem de aspectos relacionados à condição de trabalho, como se verá a seguir.

6.1.1 Vazões máximas e mínimas

Conhecer as vazões máximas e mínimas de um setor a ser controlado é requisito básico para o dimensionamento de uma válvula reguladora de pressão, uma vez que as válvulas possuem limitações quanto a vazões máximas e mínimas para atuarem de forma adequada. Se não for possível macromedir o setor, usar dados de micromedição (vazões médias) acrescidas das perdas.

6.1.2 Pressões de trabalho

São as pressões que a válvula pode sofrer ao longo do dia e que irá indicar a escolha da classe de pressão dela.

Normalmente os fabricantes oferecem válvulas nas seguintes classes de pressão:

- ISO PN 10 para pressão até 10 kgf/cm² ou 100 mca;
- ISO PN 16 para pressão até 16 kgf/cm² ou 160 mca; e
- ISO PN 25 para pressão até 25 kgf/cm² ou 250 mca
ou
- ANSI 125 para pressões até 150 mca; e
- ANSI 250 para pressões até 220 mca.

Deve-se ressaltar que ao especificar a válvula, é necessário considerar a possibilidade de golpe de aríete na linha, o que pode, em determinados casos, no momento do golpe, elevar a pressão até atingir valores próximos ao dobro da prevista.

6.1.3 Pressão de regulação

Segundo a NBR 12.218 da ABNT, a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras não deve ultrapassar 500 kPa, e a pressão dinâmica mínima não deve ser inferior a 100 kPa. Valores diferentes dos recomendados podem ser aceitos desde que justificados técnica e economicamente.

Assim, o dimensionamento e a regulação de uma válvula redutora de pressão devem levar em conta os valores recomendados pela norma, possibilitando o funcionamento adequado do setor ou da zona de pressão na rede de distribuição de água a ser controlada.

A regulação da pressão de jusante da válvula definirá a diferença entre a pressão de entrada e a de saída da válvula, indicando se a válvula irá trabalhar em zona de cavitação ou não.



Figura 7 – Na foto acima, efeitos da cavitação no interior de uma válvula redutora de pressão



Figura 8 – Interior de uma válvula redutora em que não ocorre o efeito de cavitação

6.1.4 Características químicas da água

Por apresentar características químicas muito variadas, a água, em determinados casos, pode atacar componentes da válvula determinando a diminuição de sua vida útil. Essa informação irá ajudar a selecionar, por exemplo, de que tipo de material deve ser o assento do disco de vedação (latão ou aço inox) ou qual será o material do *manifold* (circuito de comando da válvula), que pode ser em cobre, aço inox e outros. Como procedimento de segurança, caso não se tenha certeza sobre as características do líquido controlado, utilizar preferencialmente componentes em aço inox.

6.1.5 Comportamento da pressão dinâmica do setor a ser controlado

O conhecimento do comportamento das pressões dinâmicas do setor a ser controlado torna-se necessário para determinar que tipo de controle será usado: pressão única de saída ou pressão variável de acordo com o consumo.

No exemplo real mostrado no gráfico a seguir, a pressão dinâmica durante o período de 24 horas sofre uma variação muito alta. As pressões nas horas de maior consumo (normalmente durante o dia) são muito baixas (5 mca) e nas de baixo consumo (durante a noite) são muito altas (80 mca). A pressão na entrada da válvula é de 120 mca e a de saída 80 mca. Neste caso, pode-se aplicar uma válvula com possibilidade de regulação distinta para cada período do dia, conforme o comportamento das pressões. O uso de regulação única pode provocar situações como falta de água ou baixa pressão no período de maior consumo, com excesso de pressão no outro período.



Figura 9 – Gráfico de registro de pressões de quatro dias de um setor de abastecimento

6.1.6 Material do manifold

Em razão das características químicas da água deve-se informar ao fabricante/fornecedor o tipo de material desejado, que pode ser de cobre, aço inox ou outros.

6.1.7 Tipo de filtro

As válvulas pilotadas devem sempre possuir em seu circuito de comando um filtro para proteção da válvula piloto. Estes filtros podem ser simples, tipo tela, ou especiais tipo autolimpante ou com grau de filtragem específico.

6.1.8 Tipo de conexão

Por apresentar maior facilidade para retirada em caso de substituição da válvula, aconselha-se o uso de válvulas com flange, mesmo porque válvulas com roscas só são encontradas em diâmetros até três polegadas.

6.1.9 Quantidade de válvulas

Durante o projeto de setorização das redes, deve-se ter o cuidado com a determinação do número de válvulas, a partir da observância dos valores mínimos e máximos de pressão previstos em norma. Observa-se na prática que em alguns casos pode ocorrer o uso excessivo de válvulas, fato que, além de onerar os custos da obra, causa maiores dificuldades para a manutenção. Por outro lado, o número reduzido de válvulas pode gerar setores com valores de pressão fora ou muito próximos do limite superior da norma, o que é indesejável.

6.2 Dimensionamento

Dimensionar uma válvula para redução de pressão significa determinar qual válvula tem o tamanho e características mais adequadas para o controle de pressão que se pretende. A princípio, poder-se-ia esperar que a válvula controladora de pressão tivesse o mesmo diâmetro que a tubulação na qual seria instalada. Entretanto, essa não é

em geral a melhor solução a ser adotada na prática, considerando-se aspectos técnicos e econômicos. O diâmetro de uma válvula bem calculada é, de modo geral, menor que o diâmetro da tubulação.

6.2.1 Fórmulas de dimensionamento

A seleção da válvula e determinação do diâmetro pode ser feita usando-se, dentre outras, a seguinte fórmula básica para dimensionamento:

$$Q = K_{vx} / (\Delta P/G)^{1/2} \text{ ou } K_{vx} = Q \times (G/\Delta P)^{1/2} \quad (6.1)$$

Onde:

Q é a vazão, em m³/h;

K_{vx} é o coeficiente de vazão, em m³/h;

ΔP é a perda de carga admissível, em bar;

G é a densidade do líquido em relação à água (= 1).

Para se ter uma reserva no dimensionamento da válvula, adotar o seguinte critério:

$$1,25 \times K_{vx} \leq K_{vo}$$

Onde:

K_{vo} é o coeficiente de vazão da válvula selecionada.

O K_{vo} é a vazão máxima que gera uma perda de carga de 1 bar com a válvula totalmente aberta, conforme tabela fornecida pelos fabricantes de válvulas.

6.2.2 Exemplo de dimensionamento

Para uma rede de 150 mm de diâmetro, a vazão máxima horária que devemos controlar é de 50 m³/h. A perda de carga admissível é de 0,5 bar. Qual o diâmetro da válvula a ser utilizado?

O K_{vo} do modelo da válvula selecionada é obtido dos dados do fabricante:

Diâmetro	50	80	100	125	150
K_{vo} (m ³ /h)	47	58	120	215	228

$$K_v = 50 \times (10,5)^{1/2} = 70,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_{vo} = 70,7 \times 1,25 = 88,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Deveremos usar uma válvula de 100 mm, com $K_{vo} = 120$ e teremos $120/88,4 = 1,35$ de margem de segurança. Porém, o modo mais prático de dimensionamento é utilizar as tabelas fornecidas pelos fabricantes, onde são mostradas as vazões mínimas e máximas para cada diâmetro, bem como a perda de carga gerada.

6.2.3 Problemas de dimensionamento

Na prática, são evidenciados os seguintes problemas decorrentes de erro de dimensionamento:

Subdimensionamento

- ocorrência de pressões negativas a jusante da válvula;
- falta de água em pontos do setor controlado;
- cavitação por excesso de velocidade do fluxo; e
- impossibilidade de regulação da válvula.

A Figura 10 mostra um registro gráfico de pressão obtido por um registrador instalado para monitorar a saída (jusante) de uma válvula redutora de pressão. A pressão de entrada da válvula é da ordem de 60 mca, e a de saída foi regulada em 20 mca. Note-se que nos períodos de maior consumo a pressão chega a ficar negativa.

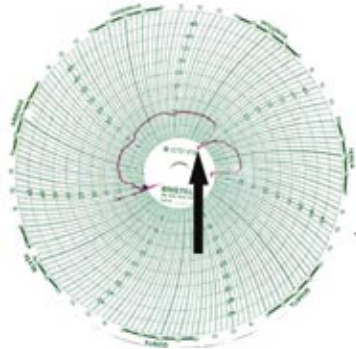


Figura 10 – Gráfico de registro de pressões em um caso de subdimensionamento da válvula redutora

Superdimensionamento

- excesso de pressão a jusante da válvula;
- abertura e fechamento constante da válvula, gerando golpes de ariete intermitentes;
- danificação do diafragma e demais componentes internos da válvula; e
- impossibilidade de regulagem da válvula.

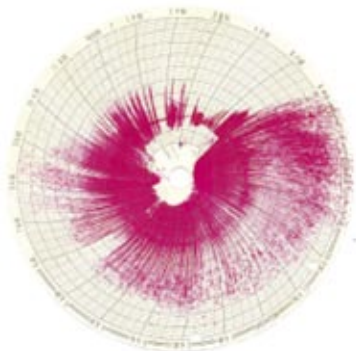


Figura 11 – Gráfico de registro de pressões em um caso de válvula redutora superdimensionada

A Figura 11 mostra um registro gráfico de pressão obtido por um registrador instalado para monitorar a saída (jusante) de uma válvula redutora de pressão. A pressão de entrada da válvula é da ordem de 80 mca, e a de saída foi regulada em 20 mca. Verifica-se, no gráfico, a sucessão de golpes de aríete provocados pela constante abertura e fechamento da válvula.

6.2.4 Exemplo de especificação de válvula

A seguir, tem-se um exemplo de especificação de uma válvula redutora de pressão, visando a garantir a aquisição de um equipamento de boa qualidade:

- válvula auto-operada hidraulicamente;
- função: redutora de pressão;
- corpo: ferro dúctil em Y;
- acionador: de câmara dupla;
- circuito de comando: em aço inox;
- válvula piloto: corpo em bronze e peças internas em aço inox;
- pressão máxima de trabalho: 8 Kgf/cm² (80 mca);
- pressão de regulagem: 3 Kgf/cm² (30 mca);
- vazão máxima: 240 m³/h;
- vazão mínima: 100 m³/h;
- diafragma: em buna n reforçado com malha de nylon;
- filtro: incorporado ao circuito de comando com grau de filtração de 80 mesh;
- sede: removível em aço inox;

Observa-se que não foi especificado o diâmetro da válvula, uma vez que a partir das vazões máximas e mínimas a serem controladas, a depender do coeficiente de vazão de cada fabricante, poder-se-á ter variação do diâmetro.

6.3 Utilização de válvulas em paralelo e em série

6.3.1 Válvulas em paralelo

Devem-se usar válvulas em paralelo nos seguintes casos:

- em adutoras com vazões altas em que não seja possível o uso de uma única válvula;
- quando for mais vantajoso o uso de duas ou mais válvulas em lugar de uma única;
- em decorrência de situações em que os valores de vazão máxima e mínima não possam ser controlados por uma única válvula. Neste caso, as válvulas devem ter tamanhos distintos e set de regulação diferenciado, porém próximo.
- para se ter uma válvula reserva.



Figura 12 – Exemplo de válvulas em paralelo com diâmetros iguais



Figura 13 – Exemplo de válvulas em paralelo com diâmetros diferentes

No caso anterior, as válvulas associadas em paralelo têm diâmetros de $\frac{3}{4}$ " e 2", sendo:

$\frac{3}{4}$ " – válvula de ação direta

2" – válvula pilotada

6.3.2 Válvulas em série

Devem ser usadas válvulas em série nos seguintes casos:

- em locais onde a redução de pressão deverá ser muito drástica e o uso de uma única válvula implica que esta trabalhe em zona de cavitação. Como regra prática deve-se reduzir no máximo na razão de quatro para um para que não ocorra cavitação Ex.: se a pressão for de 80 mca, reduzir para no máximo 20 mca;
- em setores onde o excesso de pressão, em caso de defeito na válvula, venha a gerar muita ocorrência de sinistros. (neste caso as válvulas devem ter valores de regulação próximos. Ex.: pressão a montante 70 mca; pressão a jusante 20 mca: pode-se regular a primeira em 35 mca e a segunda em 20 mca. Desta forma, em caso de problema com uma delas, não teremos um aumento excessivo de pressão a jusante);
- para se ter uma válvula reserva em linha.



Figura 14 – Exemplo de válvulas instaladas em série (diâmetro 10")

6.4 Tipos de válvulas redutoras de pressão

6.4.1 Válvulas disponíveis no mercado

a) Quanto à ação

- Ação Direta (sem válvula piloto)

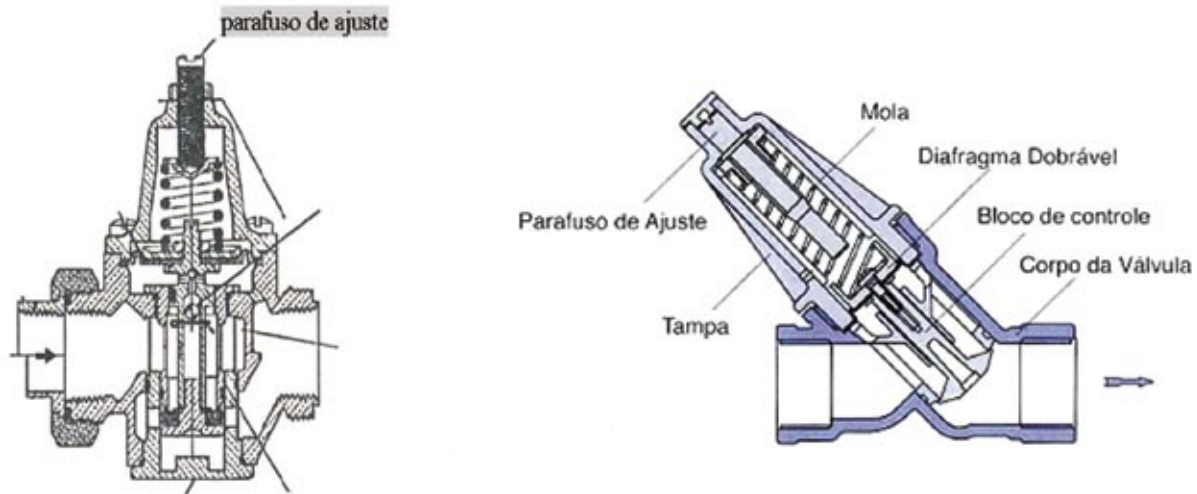


Figura 15 – Exemplos de válvulas redutoras de ação direta

- Ação Indireta (com válvula piloto)



Figura 16 – Exemplo de válvula redutora de ação indireta (com válvula piloto)

b) Quanto ao formato do corpo

Reta Em "Y" Angular

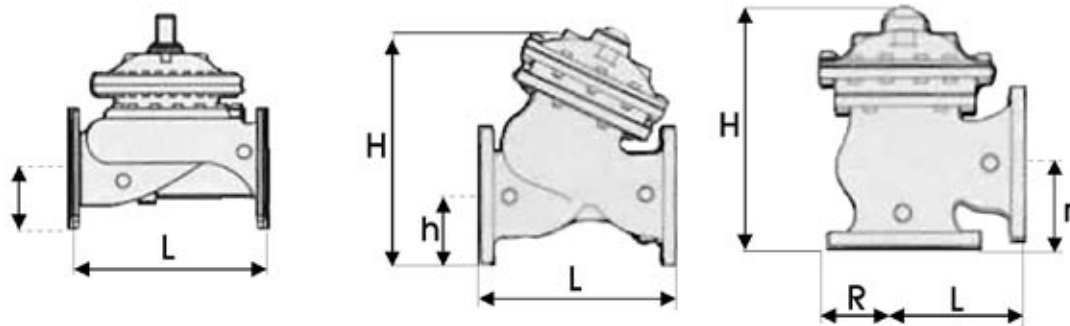


Figura 17 – Válvulas redutoras de diferentes formatos de corpo



Figura 18 – Válvula redutora de diafragma

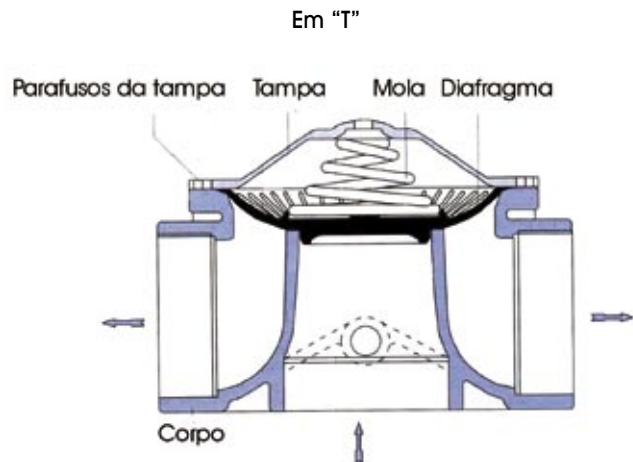
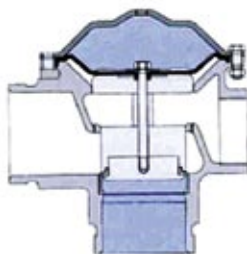


Figura 19 – Válvula redutora de diafragma com corpo em T

c) Quanto ao atuador

De câmara simples



De câmara dupla

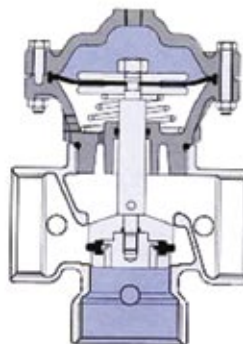


Figura 20 – Válvulas redutoras com uma ou duas câmaras



Figura 21 – foto de atuador de câmara dupla fora do corpo da válvula

6.4.2 Dispositivos de controle de pressão da válvula

Válvulas reguladoras de pressão podem possuir regulação fixa em que a pressão de saída é única e o controle é mecânico (apenas a válvula piloto atua sobre a válvula principal) ou modulada. Neste último caso, utilizam-se dispositivos eletromecânicos que possibilitam uma programação prévia de acordo com as necessidades do setor a ser controlado. Estes dispositivos atuam sobre a válvula piloto modificando o valor da vazão ou da pressão de saída da válvula principal.

Para melhorar a eficiência no controle de pressão, podem-se utilizar válvulas de pressão com vazão modulada, em que é possível variar a pressão de acordo com as horas do dia, ou de acordo com a vazão mínima necessária para determinados períodos. A pressão média do setor resultante, no caso da vazão modulada, será maior para vazões maiores e poderá ser otimizada para garantir a demanda mínima. Para utilizar equipamentos controladores que permitam a redução de pressão com vazão modulada, é necessário que a válvula esteja instalada próximo ao medidor de vazão.

O método mais simples e com investimento mais baixo para redução de perdas é o uso de VRP com saída fixa, como também os reservatórios para quebra de pressão. Geralmente, válvulas com saída fixa mantêm aproximadamente o mesmo valor da pressão a jusante da válvula para intervalos de vazão durante o dia, sendo que a pressão regulada tem que ser escolhida de tal forma a garantir a pressão mínima dinâmica na hora de maior consumo.

Por meio das relações apresentadas anteriormente, pode-se obter o potencial de redução dos vazamentos em função da redução de pressão, tanto no caso de redução de pressão com saída fixa ou com vazão modulada, escolhendo-se o melhor dispositivo a ser adotado, de acordo com as características do sistema.

6.5 Instalação de Válvulas

6.5.1 Recomendações e cuidados na instalação de Válvulas Redutoras de Pressão – VRP

- reserve espaço suficiente ao redor da válvula para facilitar a manutenção e ajustes;
- deixe sempre *by pass* em paralelo com a válvula. No caso de manutenção, normalmente não será necessário parar o abastecimento;

- válvulas de isolamento devem ser instaladas a montante e a jusante da válvula redutora de pressão, elas permitirão futuras operações de manutenção;
- instale a válvula na linha com a seta de fluxo na direção apropriada;
- utilize as alças da tampa para transporte da válvula;
- válvulas operam em qualquer posição, porém alcançam melhores desempenhos quando instaladas na posição horizontal e com a tampa para cima;
- antes de colocar a válvula em operação, crie fluxo na linha para remoção de sujeira e corpos estranhos;
- após a instalação, inspecione e repare cuidadosamente qualquer acessório danificado;
- possibilite a sustentação adequada para tubulação, para a válvula e para *by pass* na caixa onde estão instalados;
- cubra a válvula quando das obras de execução da caixa que irá abrigá-la;
- instale tomadas de pressão a montante e a jusante (entrada e saída) da válvula para monitoramento da mesma.



Figura 22 – Instalação inadequada de VRP

A foto mostra o conjunto, válvula e *by pass*, instalado inadequadamente. O conjunto está aéreo, sem afastamento da parede da caixa, instalado em posição inclinada e faltam pontos para monitoramento de pressão.

6.5.2 Caixas para VRP

Por serem as válvulas redutoras de pressão equipamentos que sofrem constante monitoramento e manutenção periódica, alguns cuidados devem ser observados quando da construção das caixas que irão abrigar estes dispositivos para controle de pressão. Estes cuidados visam não só a facilitar a manutenção e a substituição destes equipamentos em caso de defeito, mas também a protegê-los de forma adequada.

São cuidados a serem observados:

- manter as paredes com afastamento suficiente que permita o acesso de ferramentas e pessoal para manutenção;
- as tampas devem ser moduladas, com alças e correições;
- uma das tampas moduladas deve possuir tampão tipo T 100 com trava, para acesso do pessoal de manutenção e monitoramento;
- as tampas devem possuir peso suficiente para que não sejam manuseadas com facilidade;
- em locais desprotegidos, não instalar escadas, para dificultar a ação de vândalos;
- instalar drenos (se o terreno não for do tipo alagadiço, pode-se usar somente uma cobertura de brita no fundo);
- o fundo da caixa deve manter uma distância mínima de 0,40 m até a face inferior da válvula;
- altura: se possível entre 1,8 e 2,2 m;
- largura e comprimento: devem variar de acordo com o diâmetro da tubulação e da válvula e se o *by pass* estará dentro ou fora da caixa;

No Apêndice A, pode ser visualizado um projeto padrão para uma caixa de VRP.

6.6 Regulagem e monitoramento de válvulas redutoras de pressão

A seguir, tem-se o procedimento de campo para regulagem de uma VRP:

- a) instale os manômetros nos pontos de monitoramento; entrada e saída da válvula (1);
- b) feche a válvula de agulha ou outro dispositivo existente para isolamento da câmara superior da válvula (2);

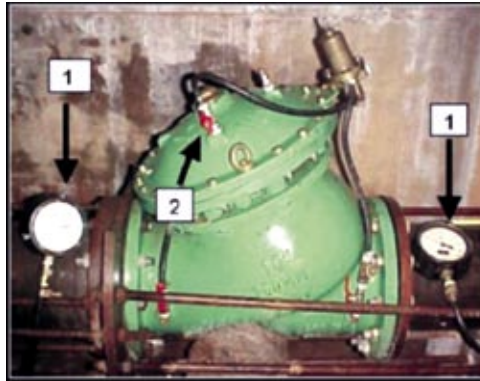


Figura 23 – VRP com manômetros de monitoramento

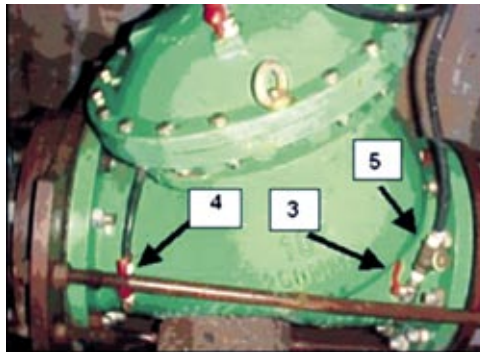
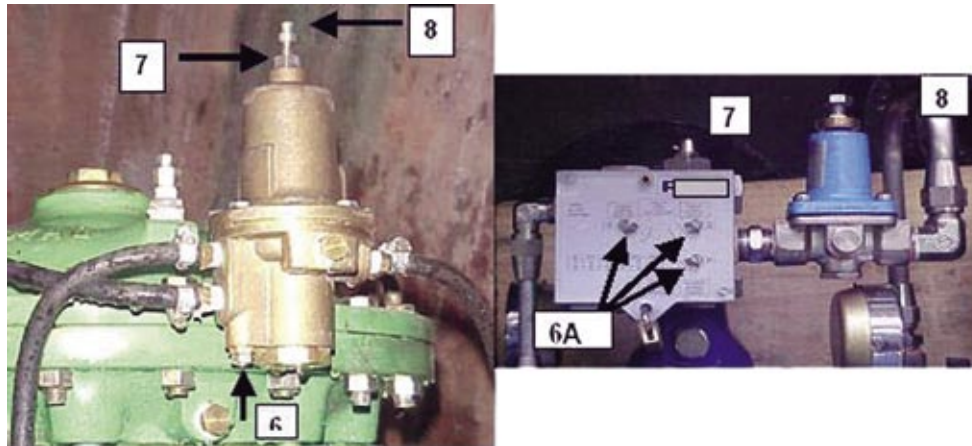


Figura 24 – VRP – controles no manifold

- c) feche a válvula de tomada de pressão de montante (entrada) do circuito de comando da válvula (manifold) (3);
- d) feche a válvula de tomada de pressão à jusante (saída) do manifold (4);
- e) abra o filtro e verifique se há sujeira e proceda à limpeza se for o caso (5);
- f) abra e feche as válvulas de tomada de pressão (entrada e saída do manifold), uma de cada vez (3 e 4), verificando se o fluxo de água está normal – verifique se há fluxo de água através do filtro que estará aberto; obs.: em alguns equipamentos, logo após a válvula de entrada ou o filtro, existe uma válvula de agulha ou peça com orifício calibrado. Estes dispositivos são usados com a finalidade de provocar perda de carga no circuito de comando e desta forma permitir regulagem da válvula, além de controlar a velocidade de ação da válvula principal;
- g) recoloque e feche o filtro (5);
- h) abra as válvulas de tomada de pressão (3 e 4);
- i) abra a válvula de isolamento da câmara superior (2) de forma lenta para evitar abertura ou fechamento rápido da válvula principal;

- j) regule a velocidade de acionamento da válvula. Na válvula agulha incorporada à válvula piloto (6) ou outro dispositivo se houver (alguns equipamentos possuem dispositivo próprio (6A), válvula agulha ou peça com orifício calibrado incorporada ao circuito de comando);
- k) destrave, soltando a porca de trava (7), o parafuso de regulagem da válvula piloto (8);
- l) regule a pressão de saída da válvula girando o parafuso de regulagem (8) no sentido horário para aumentar a pressão de saída e anti-horário para diminuir, até atingir a pressão desejada. Obs.: gire o parafuso de ajuste de forma lenta em toques de no máximo $\frac{1}{4}$ de volta por vez e aguarde alguns instantes para verificar o resultado;
- m) depois de regulada a válvula, trave o parafuso de regulagem (8) apertando a porca de trava (7);
- n) após a regulagem da válvula, proceda ao monitoramento das pressões (por no mínimo 24 horas, ideal sete dias) à montante e à jusante, junto à válvula;
- o) monitore também pontos de maior e menor pressão dinâmica na rede de distribuição à jusante da válvula;



7. Política de manutenção em válvulas redutoras de pressão

A adoção de uma política de manutenção para válvulas de controle de pressão, além de garantir um correto controle de pressão nos setores de distribuição, proporciona uma maior vida útil destes equipamentos. Verificações periódicas evitam que ocorram desregulagens destes equipamentos que propiciam a elevação ou diminuição da pressão à jusante, trazendo transtorno para as equipes de reparos, gerando aumento de trabalho, de custos com manutenção e desperdício de água.

Manutenções preventivas

Como procedimentos padrão de manutenção preventiva sugerimos a seguinte política:

A cada 30 dias verificar os seguintes itens e parâmetros:

- 1 – pressão de saída da válvula;
- 2 – pressão à montante;
- 3 – limpeza do filtro;
- 4 – limpeza no obturador (válvula agulha) da válvula piloto, se existir;
- 5 – verificar se há bolsa de ar na parte superior da válvula;
- 6 – verificar manifold, observando se há algum sinal de dano.

A cada seis meses

- 1 – proceder a desmontagem, verificação, limpeza e lubrificação dos componentes da válvula piloto;
- 2 – fazer teste para verificar se não há rompimento do diafragma.

Observação

A lubrificação dos componentes deve ser feita com vaselina sólida.

A cada 12 meses

Proceder à abertura da válvula principal e verificar:

- 1 – sinais de desgaste no corpo da válvula;
- 2 – assento;
- 3 – anel de assento;
- 4 – desgaste do eixo;
- 5 – lubrificar eixo junto aos anéis (*o’rings*);
- 6 – sinais de desgaste do disco “V port”;
- 7 – monitorar as pressões por período de 24 horas.

A cada 36 meses

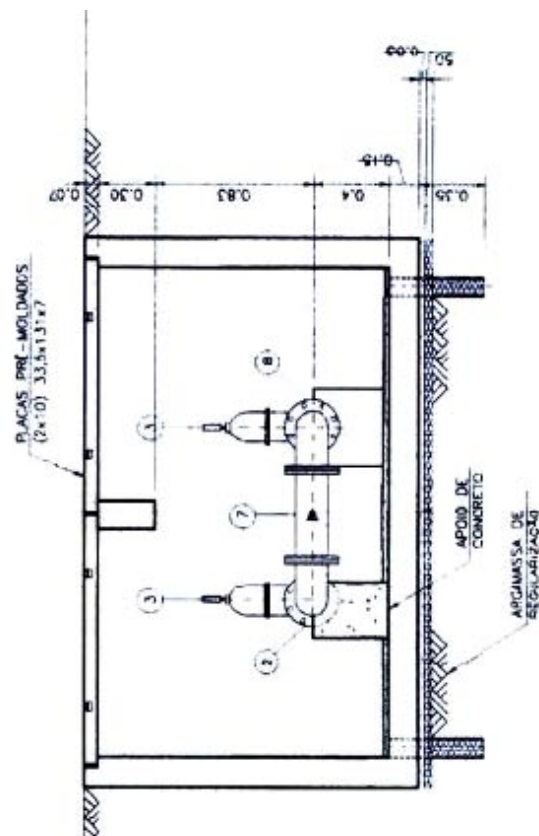
- 1 – substituir o diafragma das válvulas principal e piloto;
- 2 – substituir os anéis (*o’rings*).

Nos Apêndices A e B, a seguir, podem ser observados, respectivamente, um modelo para check list e Manual de Correção de Falhas, durante a atividade de manutenção.





DETALHE 1
ESQ. 1/2



CORTE B-B
ESC. 1/25

POS.	DESCRIÇÃO	DIÂMETRO	MATERIAL	QUANTIDADE
1	Extremidade ponta e flange com aba de vedação	150	FoFo	2
2	Tê com flanges PN 10	150	FoFo	2
3	Registro de gaveta com flanges série métrica C-ATA PN 10	150	FoFo	3
4	Junta de desmontagem Ultraquick	150	FoFo	1
5	Válvula redutora de pressão	150	FoFo	2
6	Toco com ponta flange PN 10 L=0,50 m	150	FoFo	1
7	Toco com flanges PN 10 L=0,45 m	150	FoFo	3
8	Curva com flanges 90° PN 10	150	FoFo	2
9	Tubo com flanges PN 10 L=1,70 m	150	FoFo	2
10	Redução ponta e bolsa PN 10	300x150	FoFo	2

Obs.: medidas em milímetros, exceto onde indicado.

Apêndice B – Check list

Macromedição e Pitometria				
VCAO	Localização:	Código:		
ENCARREGADO	SERVIDORES	DATA	HORA	
			Início	
			Fim	
PREVENTIVA ()	INTERVENÇÃO ()	CORRETIVA ()		

VÁLVULA PRINCIPAL				
PRESSÕES				
	Inicial	após manutenção		
Montante				
Jusante				
Identificação VCAO				
Grupo:	Marca:			
<div> <div>Pressão de regulagem confere?</div> <div>SIM NÃO</div> </div> <div> <div>Houve regulagem?</div> <div>SIM NÃO</div> </div>				
CHECK LIST - LIMPEZA				
Filtro		SIM	NÃO	
Oturador				
Houve regulagem?				
Havia ar na câmara superior (cabeça)?				
Diáfagma da vcao foi substituído?				
Haste foi substituída?				
Substituído o-ring da Haste?				
Mola interna está em boas condições?				
Mangueiras estão em boas condições?				
Atuadores estão em boas condições?				
registro de montante está aberto?				
registro de jusante está aberto?				
registro da câmara superior (cabeça) está aberto?				
Substituído o anel do disco de vedação?				
Outros? (Caso a resposta tenha sido "SIM" informar abaixo)				
↑				

VÁLVULA PILOTO				
Substituída válvula piloto?		SIM	NÃO	
Substituído diáfagma?				
Substituída mola superior?				
Substituída mola inferior?				
Substituído obturador?				
Outros? (Caso a resposta tenha sido "SIM" informar abaixo)				
↑				

Apêndice C – Manual de correção de falhas

<p>Macromedição e Pitometria</p> <p>Manual básico para localização e correção de falhas</p> <p>21/01/05</p>	
<p>VALVULA FORA DA REGULAGEM</p>	
<p>PASSOS INICIAIS PARA VERIFICAÇÃO:</p> <p>1º Verificar registros de montante, jusante e câmara superior (cabeça) se estão abertos; obs: registros devem sempre estar abertos.</p> <p>2º Feche o registro da câmara superior (cabeça);</p> <p>3º Feche o registro de montante;</p> <p>4º feche o registro de jusante;</p> <p>5º Limpar filtro e obturador;</p> <p>6º Desfazer passos 4º, 3º e 2º, obedecendo obrigatoriamente essa sequência; A válvula voltou para a regulagem ? Sim (OK); Não (vá para o próximo passo);</p> <p>7º regular piloto para pressão desejada; Houve regulagem? Sim (OK); Não (verificar funcionamento da válvula piloto ou substituí-la caso seja necessário). Após seguir esses passos e não houver regulagem, verifique o manual " VALVULA NÃO FECHA ".</p>	
<p>VALVULA NÃO ABRE</p>	
<p>PASSOS INICIAIS PARA VERIFICAÇÃO:</p> <p>1º Verificar registros de montante, jusante e câmara superior (cabeça) se estão abertos; obs: esses registros devem sempre estar abertos.</p> <p>2º Verificar regulagem do obturador; Se estiver muito aberto, reduzir regulagem para 1/2 volta de abertura; Caso a válvula não abra, vá para o 3º passo ;</p> <p>3º Retirar mangueira de jusante da piloto; Há fluxo de água? Sim (OK); Não (verificar possível entupimento na válvula piloto, e desobstruí-lo caso esteja entupido); Caso a válvula não abra siga o próximo passo;</p> <p>4º Verificar se há entupimento na tomada de jusante; obs: A tomada de jusante, quando utilizada, deve estar sempre desobstruída. Caso a válvula não abra siga o próximo passo;</p> <p>5º Há solenóide instalada no "many fold" da válvula ? Não (OK); SIM (verificar possível interferência da solenóide na função da válvula) Se a válvula não abrir após todos esses passos procure assistência especializada.</p>	

Macromedção e Pitometria	
Manual básico para localização e correção de falhas	
VÁLVULA NÃO FECHA	
- PASSOS INICIAIS PARA FECHAMENTO:	
1º Fechar registro câmara superior (cabeça);	
2º Registro Montante Aberto;	
3º Fechar registro Jusante;	
4º Instalar manômetro à montante e jusante da válvula;	
5º Abrir o registro da câmara superior (cabeça);	
obs: controlar abertura desse registro, para evitar golpe da válvula;	
A válvula fechou?	
Sim (OK);	
Não (vá para o 6º passo);	
6º Há transferência de água da piloto para câmara superior (cabeça)?	
Sim (OK);	
Não (verificar se há entupimento na válvula piloto);	
A válvula fechou?	
Sim (OK);	
Não (vá para o 7º passo);	
7º Abrir purga localizada na câmara superior (cabeça) para retirada de ar. Caso haja ar, após a retirada do ar, feche a purga.	
obs: aguardar alguns minutos, pois algumas válvulas demoram para pressurizar a câmara superior (cabeça);	
A válvula fechou?	
Sim (OK);	
Não (desmontar a válvula principal).	
obs: Caso a válvula tenha fechado, faça a regulagem determinada para essa válvula.	

Referências bibliográficas

- ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Curso de Redução e Controle de Vazamentos. ABES, 2003.
- AESBE e ASSEMAE. Reunião de Perdas Físicas/Faturamento. Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais – AESBE e Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento – ASSEMAE. 1998. Comunicação oral. Brasília, DF, 1997.
- ALVIM, P. R. A.; BARBOSA, J. P. Metodologia Utilizada pela Caesb na Eliminação de Ligações Clandestinas de água. 26ª Assembléia Nacional da Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento – ASSEMAE, 1996.
- BESSEY, S. G.; LAMBERT, A. Managing Leakage – REPORT B – Report comparative leakage performance. Water Research Centre / Water Services Association / Water Companies Association. Association, 1994.
- DANTAS, M. P.; GONÇALVES, E.; MACHADO, M. R. Setorização de Redes de Distribuição de Água e Controle de Pressão Voltados para Controle de Perdas. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.
- DTA A1. Apresentação do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Ministério do Planejamento e Orçamento – Secretaria de Política Urbana, 1998.
- DTA A2. Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Ministério do Planejamento e Orçamento – Secretaria de Política Urbana, 1998.
- DTA C1. Recomendações Gerais e Normas de Referência – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Ministério do Planejamento e Orçamento – Secretaria de Política Urbana, 1998.
- DTA D1. Controle de Pressão na Rede – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Ministério do Planejamento e Orçamento – Secretaria de Política Urbana, 1998.
- DTA D2. Macromedição – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Ministério do Planejamento e Orçamento – Secretaria de Política Urbana, 1998.

- GONÇALVES, E. Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – Estudo de casos da Caesb. Brasília, 1998. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Brasília, 1998.
- GONÇALVES, E.; KOIDE, S.. Estudos sobre Determinação de Perdas e Indicadores de Desempenho do Controle de Perdas na Distribuição de Água. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.
- LAMBERT, A. Managing Leakage – REPORT E – Interpreting measured night flows. Water Research Centre / Water Services Association / Water Companies Association, 1994.
- LAMBERT, A. Pressure Management / Leakage relationships: theory, concepts and practical application Seminary: Minimising Leakage in Water Supply / Distribution Systems, 1997.
- LAMBERT, A.; BESSEY, S. G. Managing Leakage – REPORT F– Using night flow data. Water Research Centre / Water Services Association / Water Companies Association, 1994.
- LAMBERT, A. A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems. IWA/AQUA. 2000.
- LAMBERT, A.; MCKENZIE, R. D. Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index. IWA Conference ‘Leakage Management. 2002
- MAY, J. Pressure dependent leakage. World Water and Environmental Engineering Management, 1994.
- MIRANDA E. C.; KOIDE, S. Indicadores de Perdas de água: O que, de fato, eles indicam? 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.

