

Perdas de Água

Tecnologias de Controle



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Reitora

MARGARETH DE FÁTIMA FORMIGA MELO DINIZ

Vice-Reitor

EDUARDO RAMALHO RABENHORST



EDITORA DA UFPB

Diretora

IZABEL FRANÇA DE LIMA

Vice-Diretor

JOSÉ LUIZ DA SILVA

Supervisão de Editoração

ALMIR CORREIA DE VASCONCELLOS JÚNIOR

Supervisão de Produção

JOSÉ AUGUSTO DOS SANTOS FILHO

Saulo de Tarso Marques Bezerra
Peter Batista Cheung

Perdas de Água

Tecnologias de Controle

Editora da UFPB
João Pessoa, 2013

1ª Edição: 2013 Editora Universitária da Universidade Federal da Paraíba

Revisão textual: Eduardo Ramos Duarte, Simone Ribeiro Matos, Eudes de Oliveira Bomfim e Sanmara Marques Bezerra

Impresso no Brasil / Printed in Brazil

Esta publicação foi viabilizada com recursos das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras, no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL.

B574p Bezerra, Saulo de Tarso Marques.

Perdas de água: tecnologias de controle / Saulo de Tarso Marques
Bezerra, Peter Batista Cheung – João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.
220p.

ISBN: 978-85-237-0701-9

1. Recursos hídricos. 2. Água - abastecimento. 3. Eficiência hidráulica
4. Água - controle - perdas. I. Cheung, Peter Batista.

UFPB/BC

CDU: 556.18

Reservados todos os direitos. É proibida a duplicação ou reprodução desta publicação, no todo ou em parte, sob quaisquer formas ou meios (eletrônico, fotocópia, distribuição na Web etc.), sem a citação dos autores.

Prefácio

As exigências do crescimento sustentável apresentam às empresas do setor de saneamento o desafio da gestão eficiente da produção de água, por meio da introdução de novas soluções e estratégias na operação dos seus sistemas de distribuição de água.

A questão das perdas de água nos sistemas urbanos de abastecimento tem sido um problema que vem afetando as empresas do setor de saneamento em todo o mundo há décadas. Apesar dos avanços tecnológicos alcançados, muitos problemas continuam existindo na grande maioria dos países. Dados do Banco Mundial atestam que mais de 32 bilhões de metros cúbicos de água tratada são perdidos todos os anos por causa de vazamentos nos sistemas urbanos de abastecimento de água, enquanto 16 bilhões de metros cúbicos são entregues aos clientes gratuitamente. No Brasil, conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o valor médio das perdas na distribuição de água nos sistemas urbanos, no ano de 2011, foi de 38,8%.

A presente publicação objetiva apresentar as principais técnicas e metodologias atuais para o controle de perdas em sistemas urbanos de abastecimento de água. O leitor tem acesso, de forma clara e concisa, às diversas fases para o desenvolvimento de um programa de combate a perdas de água, com vistas nas melhores práticas preconizadas pela *International Water Association* e pela *American Water Works Association*. Técnicos e gestores podem aproveitar este livro para aprimorar a sua visão sobre uma área estratégica que resultará em ganhos econômicos, ambientais e sociais. No decorrer do texto, os autores procuraram empregar uma nomenclatura adequada para os termos técnicos, preferencialmente, em português. Algumas traduções do texto são apresentadas entre parênteses para facilitar ao leitor futuras pesquisas em publicações internacionais.

O livro foi organizado em nove capítulos, de forma que os objetivos da publicação sejam alcançados mais facilmente. Inicialmente, há uma breve introdução (capítulo 1), seguida pelo segundo capítulo, que descreve, brevemente, as unidades componentes de um típico sistema urbano de abastecimento de água, de forma a contextualizar o leitor em relação aos locais de ocorrência das perdas.

A partir do terceiro capítulo, o texto trata especificamente sobre o tema principal do livro: o controle de perdas de água. Este capítulo aborda os conceitos básicos envolvidos no referido tema, apresentando o arcabouço teórico sobre o balanço hídrico da *International Water Association* e seus componentes. Ademais, os principais fatores e definições relacionados com as perdas reais e aparentes são discutidos plenamente neste capítulo. O capítulo 4 apresenta uma discussão sobre os principais indicadores de desempenho empregados. A implantação de um sistema de indicadores possibilita a definição e implementação de medidas de melhoria e se apresenta como a melhor alternativa para o acompanhamento dos serviços prestados. Possui aplicações diretas para os gestores, as agências reguladoras, os investidores, os usuários, a sociedade e os próprios prestadores de serviços, permitindo a identificação dos sistemas mais ineficientes, das principais áreas que devem ser avaliadas e das medidas prioritárias que devem ser adotadas.

O quinto capítulo aborda as principais técnicas e métodos adotados nos sistemas mais eficientes do mundo. Uma análise prática da aplicabilidade das metodologias e tecnologias reforça o conhecimento do leitor, que, apesar de essencial para os técnicos e gestores, não é, frequentemente, priorizada na formação básica dos profissionais do setor. O texto também focaliza, em sua estruturação, as técnicas de macromedição.

O sexto e sétimo capítulos apresentam dois tópicos essenciais nos programas de redução de perdas de água, o primeiro – Controle de Pressão – foi contemplado com um capítulo porque se apresenta como uma das ações mais eficazes para a diminuição do volume de água perdido em vazamentos nos sistemas (perdas reais); o segundo tópico – Sistemas de Gerenciamento de Dados – aborda, de forma resumida, os sistemas SCADAS e SIGs, que oferecem para os técnicos a oportunidade de fácil coleta, armazenamento e atualizações de informações em tempo real, contribuindo para um controle preciso dos dados relacionados com as perdas aparentes.

Ressalte-se que para combater, sistematicamente, as perdas reais e aparentes é necessário desenvolver e implantar um programa e/ou planejamento estratégico. O oitavo capítulo versa sobre os caminhos e as etapas para a elaboração e implementação de planos, procurando apresentar a perspectiva da sua organização e de seus componentes. O texto também apresenta um resumo do Planejamento Estratégico 2012-2015 e do Programa de Redução de Perdas da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA), de modo que o leitor possa se aproximar de uma aplicação real.

Finalizando a publicação, os autores inserem, em parceria com o professor Dr. Heber Pimentel Gomes, o capítulo Análise de Viabilidade Econômica de Projetos (capítulo 9), que apresenta tópicos para tornar o processo de análise econômica mais acessível ao leitor. Diversos exemplos práticos e de fácil compreensão, baseados em casos reais, são apresentados e analisados.

Saulo de Tarso Marques Bezerra

s.bezerra@yahoo.com.br

Sumário

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | Introdução | 11 |
| 2. | Concepção de Sistemas de Abastecimento de Água | 15 |
| 2.1 | Componentes de Sistemas de Abastecimento de Água | 15 |
| 2.1.1 | Manancial e Captação..... | 16 |
| 2.1.2 | Estação Elevatória..... | 17 |
| 2.1.3 | Estação de Tratamento de Água | 18 |
| 2.1.4 | Adução | 19 |
| 2.1.5 | Reservação..... | 23 |
| 2.1.6 | Rede de Distribuição | 23 |
| 2.2 | Projeto de Sistemas de Distribuição de Água | 26 |
| 3. | Conceitos Fundamentais sobre Perdas de Água | 29 |
| 3.1 | Balanço Hídrico (Abordagem <i>Top-Down</i>) | 30 |
| 3.2 | Tecnologias para Estimativa dos Componentes do Balanço Hídrico..... | 33 |
| 3.3 | Perdas Reais..... | 40 |
| 3.3.1 | Vazão Mínima Noturna | 43 |
| 3.3.2 | Modelagem Hidráulica..... | 48 |
| 3.3.3 | <i>Background and Bursts Estimates</i> - BABE | 53 |
| 3.4 | Perdas Aparentes..... | 54 |
| 3.5 | Nível Econômico de Perdas..... | 61 |
| 4. | Indicadores de Desempenho | 63 |
| 4.1 | Sistemas de Indicadores de Desempenho..... | 65 |
| 4.2 | Indicadores de Perdas de Água..... | 69 |
| 4.2.1 | Indicador Geral de Perdas na Distribuição..... | 72 |
| 4.2.2 | Índice Bruto de Perdas Lineares | 74 |
| 4.2.3 | Índice de Perdas por Ligação..... | 75 |
| 4.2.4 | Perda Real Inevitável | 76 |
| 4.2.5 | Índice de Vazamentos na Infraestrutura | 77 |
| 4.2.6 | Indicadores Complementares | 79 |

| | |
|---|------------|
| 5. Tecnologias de Controle de Perdas Reais e Aparentes | 81 |
| 5.1 Controle de Perdas Reais de Água | 81 |
| 5.1.1 Controle de Pressão | 83 |
| 5.1.2 Velocidade e Qualidade de Reparos..... | 84 |
| 5.1.3 Controle Ativo de Vazamentos | 84 |
| 5.1.4 Gestão da Infraestrutura | 89 |
| 5.2 Controle de Perdas Aparentes | 95 |
| 5.2.1 Redução dos Erros de Medição | 97 |
| 5.2.2 Controle de Integridade de Dados e da Contabilização dos Consumos | 102 |
| 5.2.3 Combate a Fraudes e Uso Não Autorizado..... | 106 |
| 5.3 Macromedição | 109 |
| 5.3.1 Tubo Pitot Tipo Cole | 109 |
| 5.3.2 Medidores Eletromagnéticos..... | 110 |
| 5.3.3 Medidores Ultrassônicos | 112 |
| 5.3.4 Medidores Tipo Turbina de Inserção..... | 114 |
| 5.3.5 Instalação de Medidores de Vazão | 116 |
| 5.3.6 Calibração de Medidores Portáteis | 118 |
| 5.3.7 Aferição em Campo de Medidores..... | 119 |
| 6. Controle de Pressão | 121 |
| 6.1 Setorização do Sistema de Distribuição de Água | 123 |
| 6.2 Válvulas Redutoras de Pressão | 127 |
| 6.3 Otimização Operacional dos Sistemas de Bombeamento..... | 131 |
| 6.4 Medidores de Pressão | 138 |
| 7. Sistemas de Gerenciamento de Dados | 141 |
| 7.1 Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados – SCADA | 141 |
| 7.1.1 Instrumentação para Medição e Controle..... | 143 |
| 7.1.2 Estações Remotas | 145 |
| 7.1.3 Rede de Comunicação | 146 |
| 7.1.4 Sistemas de Supervisão e Controle | 147 |
| 7.1.5 Controlador Lógico Programável..... | 150 |
| 7.1.6 Aplicações de Automação em Sistemas de Bombeamento | 151 |
| 7.2 Sistemas de Informação Geográfica – SIG | 153 |

| | |
|--|------------|
| 8. Planejamento Estratégico..... | 161 |
| 8.1 Programas de Redução de Perdas de Água..... | 174 |
| 8.1.1 Envolvimento dos Recursos Humanos | 180 |
| 8.2 Programa de Redução de Perdas da EMBASA..... | 181 |
| 9. Análise de Viabilidade Econômica de Projetos | 189 |
| 9.1 Juros, Valor Futuro e Valor Presente | 189 |
| 9.2 Custos e Receitas Periódicas, Fluxo de Caixa..... | 190 |
| 9.2.1 Série Uniforme de Parcelas..... | 191 |
| 9.2.2 Série Crescente de Parcelas..... | 196 |
| 9.2.3 Inflação nas Séries de Parcelas..... | 199 |
| 9.3 Identificação dos Custos e Benefícios dos Projetos..... | 200 |
| 9.3.1 Alcance do Projeto | 201 |
| 9.3.2 Identificação dos Custos..... | 201 |
| 9.3.3 Identificação dos Benefícios..... | 203 |
| 9.4 Métodos de Avaliação Econômica de Projetos | 205 |
| 9.4.1 Valor Presente Líquido | 205 |
| 9.4.2 Valor Uniforme Líquido..... | 206 |
| 9.4.3 Relação Benefício/Custo..... | 207 |
| 9.4.4 Taxa Interna de Retorno..... | 207 |
| 9.4.5 Tempo de Retorno do Capital..... | 207 |
| 9.4.6 Considerações sobre os Métodos de Avaliação Econômica..... | 208 |
| Referências | 217 |

CAPÍTULO 1

Introdução

A exploração dos recursos hídricos tem sido uma questão recorrente e central na agenda internacional nas últimas décadas, sendo a água reconhecida pela sociedade como um recurso limitado, escasso e vulnerável. O aumento da demanda hídrica tem sido bem maior que a curva de crescimento populacional, o que tem levado a reflexões sobre a vulnerabilidade, os diversos efeitos da má distribuição e a natureza finita deste recurso natural. No século XX, a população mundial cresceu a metade do crescimento do consumo de água.

Tradicionalmente, a agricultura, o saneamento e a indústria são os setores que mais consomem água. Segundo dados do Programa Ambiental das Nações Unidas, até 2025, a população mundial será de aproximadamente 8,5 bilhões de pessoas. Dessa forma, esses três setores juntos consumirão 5.200 quilômetros cúbicos de água. O crescimento populacional, a escalada da demanda, a poluição dos recursos e os efeitos das mudanças climáticas, causarão a denominada crise mundial da água. De acordo com os cálculos realizados por Mancisidor e Uribe (2008), em 2030, 40% da população não terá a quantidade necessária mínima de água para higiene pessoal, 1,2 bilhão de pessoas não terá acesso à água segura e 211 milhões serão afetadas por desastres naturais. Atribui-se isso a uma crise de governança, a qual envolve Estado, sociedade civil, organizações e as relações entre elas.

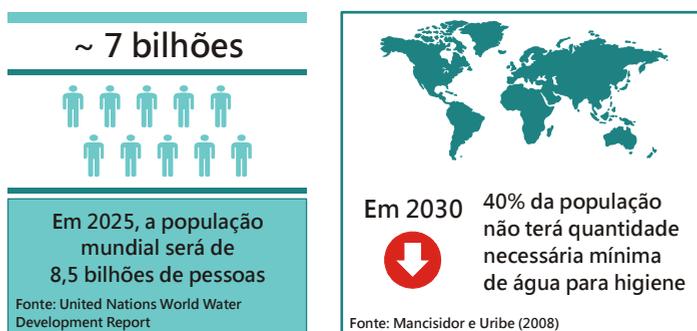


Figura 1.1 – Crescimento da população mundial e o impacto na demanda por água

No ritmo atual, a ausência de gestão eficaz no saneamento, associada às estruturas físicas deterioradas e aos padrões culturais de consumo incompatíveis, deixarão milhões de pessoas sem o adequado acesso à água, ocasionando diversos conflitos de uso. O Banco Mundial estima que mais de 32 bilhões de metros cúbicos de água tratada são perdidos todos os anos por causa de vazamentos nos sistemas urbanos de abastecimento de água, enquanto 16 bilhões de metros cúbicos são entregues aos clientes gratuitamente (KINGDOM *et al.*, 2006). Metade dessas perdas está em países em desenvolvimento, onde os serviços públicos estão famintos por receitas adicionais para financiar a expansão dos serviços e a maioria dos clientes conectados sofre de fornecimento intermitente e má qualidade da água. O valor médio de perdas de faturamento nos países abrangidos pela *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* - IBNET¹ é de cerca de 35%. É provável que este valor seja conservador e esteja abaixo do real, porque grandes países em desenvolvimento com altos níveis de perdas ainda não estão cobertos pelo IBNET. Estima-se que o valor real seja de 40% a 50% da água produzida.

Quadro 1.1 – Valores estimados de perdas de faturamento em sistemas urbanos

Fontes: Organização Mundial da Saúde e estimativas de Kingdom *et al.* (2006)

| Região | População abastecida (milhões) ^a | Entrada do sistema (L/hab./dia) | Água não faturada (%) | Relação das perdas (%) | | Volume (bilhões m ³ /ano) | |
|---------------------------|---|---------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|
| | | | | Perdas reais | Perdas aparentes | Perdas reais | Perdas aparentes |
| Países desenvolvidos | 744,8 | 300 | 15 | 80 | 20 | 9,8 | 2,4 |
| Eurásia (CIS) | 178,0 | 500 | 30 | 70 | 30 | 6,8 | 2,9 |
| Países em desenvolvimento | 837,2 ^b | 250 ^c | 35 | 60 | 40 | 16,1 | 10,6 |
| Total | | | | | | 31,7 | 15,9 |

^a 2002.

^b Baseado em uma população total com acesso ao abastecimento de água potável de 1,9 bilhão de pessoas, com 44% destes recebendo água através de ligações domiciliares individuais.

^c Este valor reflete uma grande discrepância entre os países em desenvolvimento. Os valores variam de 100 L/habitante/dia nos utilitários localizados nos países mais pobres ou aqueles que experimentam grave escassez de água, a 400 L/habitante/dia nas megacidades da América Latina e da Ásia Oriental. O valor indicado é uma média conservadora.

Os prestadores de serviços de saneamento dos países em desenvolvimento têm o desafio de universalizar o acesso à água e aos serviços de coleta e tratamento de esgoto nas áreas urbanas. No Brasil, segundo levantamento do Instituto Trata Brasil junto ao setor, para que todos os brasileiros tenham água e esgotos tratados são necessários recursos da ordem de R\$ 270 bilhões, R\$ 185 bilhões a mais do que o total previsto para a área nas duas fases do Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) do Governo Federal. Uma das soluções para

¹ O banco de dados do IBNET inclui informações de mais de 2600 empresas do setor de saneamento, abrangendo mais de 40 países em desenvolvimento, entre eles o Brasil.

acelerar esse processo é melhorar o desempenho financeiro e operacional dos prestadores de serviços, de forma que as economias obtidas pela eficiência possam ser utilizadas para ampliar o acesso e melhorar a qualidade do serviço. A diminuição das perdas de água dos sistemas de abastecimento de água representa uma produção virtual. Cada metro cúbico poupado significa um a mais disponível aos usuários do setor. Conforme dados do último Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos do Brasil (SNIS, 2013), o valor médio das perdas na distribuição de água nos sistemas brasileiros, ano base 2011, foi igual a 38,8%, enquanto o Japão possui um índice inferior a 10% e alguns países europeus possuem valores inferiores a 15%.

Quadro 1.2 – Panorama brasileiro das perdas de água - Índice de Perdas na Distribuição

Fonte: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2011 (SNIS, 2013)

| Região | Tipos de Prestador de Serviços | | | | | Total |
|---------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------|
| | Regional (%) | Micror-regional (%) | Local Direito Público (%) | Local Direito Privado (%) | Empresa Local Privada (%) | |
| Norte | 52,7 | - | 43,0 | - | 49,9 | 49,7 |
| Nordeste | 53,1 | - | 37,9 | 13,1 | - | 51,4 |
| Sudeste | 33,1 | 52,8 | 37,7 | 28,6 | 32,9 | 34,3 |
| Sul | 36,6 | 25,0 | 31,1 | 51,4 | 42,6 | 35,6 |
| Centro-Oeste | 30,0 | 19,3 | 38,2 | 59,0 | 28,9 | 33,6 |
| Brasil | 39,4 | 49,1 | 37,0 | 37,2 | 38,7 | 38,8 |

O acesso à água, seguro e suficiente, é uma necessidade básica do ser humano e não pode ser tratado apenas sob os pontos de vista técnico e econômico. É um direito que deve ser reconhecido pela comunidade internacional, promovido e protegido por autoridades públicas e privadas. Embora no Brasil tenha ocorrido um volume elevado de investimentos do governo federal no setor de saneamento nos últimos anos, a grande maioria das ações se concentra no aumento da oferta e não na melhoria de eficiência operacional e na diminuição das perdas de água. Para aquelas ações, apenas no primeiro semestre de 2011 foram contratados R\$ 9,5 bilhões em obras de novas adutoras, estações de tratamento, reservatórios, entre outras obras que aumentam a produção e a cobertura de água e melhoram a regularidade na distribuição. Investimentos voltados para o aumento da eficiência nos sistemas de abastecimento de água resultam em ganhos financeiros diretos para o setor de saneamento. Estudo publicado pelo Instituto Trata Brasil (TONETO JUNIOR *et al.*, 2013) apontou que uma redução de 10% nas perdas das companhias brasileiras agregaria R\$ 1,3 bilhão à receita operacional com água.

O combate efetivo das perdas de água é um dos problemas mais desafiadores da operação e manutenção de sistemas de abastecimento de água. Existem muitos fatores que influenciam o gerenciamento de perdas, tais como: condições físicas da infraestrutura, aspectos culturais e políticos, disponibilidade financeira, tecnologias disponíveis, qualificação da mão de obra etc. Entretanto, toda empresa prestadora de serviço de saneamento deve buscar

continuamente níveis elevados de eficiência e estar apta a fornecer o melhor serviço aos seus usuários. Além de impactar diretamente no faturamento, as perdas afetam a imagem da empresa de saneamento junto à sociedade, aos agentes financiadores, aos órgãos ambientais e aos poderes públicos.

As perdas de água também proporcionam desperdícios de energia elétrica, produtos químicos e materiais. A água deve ser transportada desde sua origem (rio, lago ou aquífero) até o usuário final. Isso requer energia em todos os processos. O bombeamento é a parcela do custo mais significativa nos processos de tratamento e distribuição de água e esgotos, representando 20% do consumo total de energia elétrica mundial (OLSSON, 2012). O índice médio de referência que relaciona energia e água bombeada é igual a 0,8 kWh/m³. Logo, os sistemas de abastecimento têm influência significativa na demanda de energia das concessionárias elétricas estaduais.

O gerenciamento de perdas é relativamente um novo campo de trabalho comparado a outras áreas da engenharia. O conhecimento tácito desse assunto geralmente é adquirido através de experiências práticas, sendo altamente pessoal e difícil de formalizar. O tema perdas de água é objeto de estudos realizados em diversas instituições de pesquisa e companhias de saneamento, que visam quantificar, classificar e determinar padrões para os processos das empresas de saneamento. Apesar dos estudos empíricos serem primordiais, as novas técnicas e metodologias também empregam princípios baseados em conhecimentos predominantemente científicos, como, por exemplo, teorias da engenharia hidráulica e de gestão (planejamento estratégico). A proposta deste livro é fornecer soluções técnicas referentes ao gerenciamento de perdas de água em sistemas de abastecimento de água.

CAPÍTULO 2

Concepção de Sistemas de Abastecimento de Água

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) são infraestruturas responsáveis pelo transporte de água aos núcleos populacionais urbanos com regularidade, segurança e qualidade. Para que os SAAs cumpram com eficiência a função de proteger os consumidores contra os riscos à saúde humana, é essencial que a concepção do sistema, a implantação e as formas de operação e manutenção sejam criteriosamente projetados.

Segundo a Lei Federal nº 11.445/2007, regulamentada pelo Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010, os serviços públicos de abastecimento devem ser prestados com eficiência e sustentabilidade econômica. O objetivo de qualquer entidade gestora de sistemas de abastecimento de água é pôr à disposição dos seus clientes a água de que eles necessitam com:

- Quantidade suficiente.
- Qualidade apropriada.
- Pressão adequada.
- Ininterruptamente.
- Condições de eficiência tão elevada quanto possível em termos do uso dos recursos naturais, humanos, tecnológicos e financeiros.

Neste capítulo são descritas, brevemente, as unidades componentes dos SAAs, visando contextualizar o leitor em relação aos locais de ocorrência das perdas.

2.1 Componentes de Sistemas de Abastecimento de Água

Um sistema convencional de abastecimento de água é constituído pelas seguintes unidades: captação, estação elevatória, estação de tratamento de água, adução de água, reservação e setor de distribuição. As unidades são dispostas de acordo com as características próprias de cada projeto. A Figura 2.1 ilustra os componentes funcionais de um sistema de abastecimento de água.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) disponibiliza uma série de normas técnicas para a elaboração dos estudos de concepção dos sistemas de abastecimento de água públicos e suas diversas unidades. As principais normas da ABNT são:

- NBR 12211 - Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água.
- NBR 12212 - Projeto de poço para captação de água subterrânea.
- NBR 12213 - Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público.
- NBR 12214 - Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público.
- NBR 12215 - Projeto de adutora de água para abastecimento público.
- NBR 12216 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.
- NBR 12217 - Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público.
- NBR 12218 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.

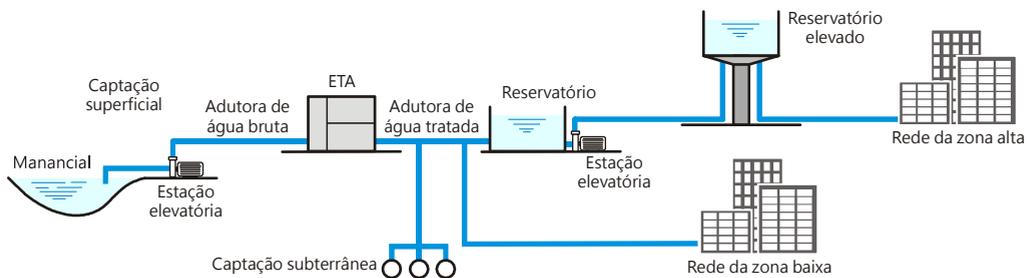


Figura 2.1 – Componentes de um sistema de abastecimento de água

Além das normas citadas, a ABNT disponibiliza diversas normas que tratam de assuntos mais específicos, como, por exemplo, a NBR 7665/2007 - Sistemas para adução e distribuição de água - tubos de PVC 12 DEFoFo com junta elástica - Requisitos; e a NBR 9797/1993 - Tubo de aço-carbono eletricamente soldado para condução de água de abastecimento.

2.1.1 Manancial e Captação

O manancial é uma das partes mais importantes de um sistema abastecimento de água, pois influencia diretamente na qualidade do fornecimento à população. Ao escolher um manancial, o profissional deve considerar aspectos relacionados à quantidade de água, à localização, aos custos de instalação e operação, à facilidade de adução e à proteção do manancial (qualidade da água).

A captação pode ser realizada em mananciais superficiais, subterrâneos ou águas pluviais (superfícies preparadas). A captação é um conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto a um manancial, para a retirada de água destinada a um sistema de abastecimento de água (ABNT, 1992a).

A captação superficial é feita nos rios, córregos, lagos ou represas, por gravidade ou bombeamento. Em geral, este tipo de manancial possui águas mais poluídas, entretanto, são as mais utilizadas para abastecimento por causa da disponibilidade e facilidade de captação. A captação subterrânea pode ser executada por galerias filtrantes, drenos, fontes ou poços. Para sistemas de abastecimento urbanos, a implantação de poços é mais frequente.

2.1.2 Estação Elevatória

Embora a água seja a substância mais abundante encontrada na superfície da terra, a sua distribuição por gravidade nem sempre é possível. É comum os SAA possuírem uma ou mais estações elevatórias responsáveis por fornecer energia para transportar a água (Figura 2.2). A bomba centrífuga é o equipamento frequentemente utilizado nas estações elevatórias do setor de saneamento básico, por operar com sensível variação de vazão e pressão. A maioria dos sistemas possui vários conjuntos motobomba em operação, seja para recalcar a água de mananciais de superfície ou de poços, seja para recalcar a água de pontos distantes ou elevados.



Figura 2.2 – Estação elevatória de água bruta e tratada

Um sistema de bombeamento é composto basicamente de uma tubulação de aspiração, um conjunto motobomba e uma tubulação de recalque. Sempre que possível, recomenda-se a instalação da bomba em um plano abaixo do nível da água do reservatório inferior, caracterizando o que, usualmente, os técnicos chamam de instalação com bomba afogada.

A escolha das bombas das estações elevatórias deve ser realizada com base nas características hidráulicas do sistema de adução/distribuição onde irá ser instalada. Naturalmente que no projeto de uma estação elevatória, consoante às soluções possíveis, geralmente aplicam-se diferentes bombas. A melhor solução é aquela que resulta o menor custo do ciclo de vida da bomba ao longo do alcance do projeto. É importante realçar que a análise da rentabilidade do sistema tem de considerar, além do investimento inicial, os custos energéticos e os custos de manutenção do equipamento. A opção pelo projeto mais econômico pode representar muitas vezes um valor de investimento inicial mais elevado, mas, neste caso, irá implicar uma redução dos custos energéticos.

Na prática, a escolha das bombas centrífugas é feita pela determinação da vazão e da altura manométrica - AMT. A AMT corresponde ao desnível geométrico entre os níveis da água na tomada e na chegada acrescido das perdas de carga. No dimensionamento das tubulações de sucção e recalque devem ser observados os seguintes critérios:

- Velocidade máxima de sucção conforme o Quadro 2.1.
- No barrilete, quando de aço ou ferro fundido, a velocidade máxima recomendada é de 3 m/s. Para valores maiores, o problema de cavitação precisa ser estudado nos aparelhos

a jusante da bomba nas diversas condições de operação. Para outros materiais, as velocidades máximas são as recomendadas pelos fabricantes dos tubos.

- No barrilete, a velocidade mínima é de 0,60 m/s.

Quadro 2.1 – Velocidade máxima de sucção

| Diâmetro (DN) | 50 | 75 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | ≥ 400 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Velocidade (m/s) | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,5 |

Nota: Para bombas afogadas, as velocidades podem ser excedidas excepcionalmente.

2.1.3 Estação de Tratamento de Água

A estação de tratamento de água (ETA) é o conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade. A principal função do tratamento é a redução de impurezas e a eliminação de substâncias que tornam a água inadequada para o uso humano, tais como bactérias e vírus.



Figura 2.3 – Estações de tratamento de água de Caruaru (PE)

As ETAs são compostas por um conjunto de unidades com funções específicas. Estas unidades são dispostas de modo a permitir o escoamento por gravidade, desde a chegada da água bruta até a saída da água tratada, com exceção da água destinada para lavagem e usos auxiliares.

Apresenta-se, a seguir, uma breve descrição das unidades e processos de uma ETA:

- Grades – são utilizadas na ETA quando circunstâncias especiais não permitem a sua localização na captação. Destinam-se a reter materiais grosseiros existentes nas águas.
- Aeradores – destinam-se a introduzir ar, aumentando o contato entre a água e o ar, para facilitar o intercâmbio ou troca de compostos voláteis e gases indesejáveis com o ar.
- Mistura rápida – operação destinada a dispersar produtos químicos na água a ser tratada, em particular, no processo de coagulação, para o qual são destinadas as disposições seguintes.

- Floculador – são unidades utilizadas para promover a agregação de partículas formadas na mistura rápida. Na floculação, a água coagulada movimentada-se lentamente dentro dos tanques, de tal forma, que os flocos misturam-se, ganhando peso e volume.
- Decantador – são unidades destinadas à remoção de partículas presentes na água, pela ação da gravidade. A água passa por tanques para que os flocos formados anteriormente separem-se da água, sedimentando-se, no fundo dos tanques.
- Filtros – são unidades destinadas a reter a sujeira que restou da fase de decantação. A água atravessa as diferentes camadas de carvão antracito, areia e cascalho e passa a ter um aspecto cristalino.
- Tanque de contato – para finalizar o processo de tratamento, a água ainda recebe produtos destinados à correção do pH, desinfecção e fluoretação.

Em síntese, a elaboração do projeto de ETAs compreende as seguintes atividades:

- Definição dos processos de tratamento.
- Disposição e dimensionamento das unidades dos processos de tratamento e dos sistemas de conexões entre elas.
- Disposição e dimensionamento dos sistemas de armazenamento, preparo e dosagem de produtos químicos.
- Elaboração dos projetos de arquitetura, urbanização e paisagismo.
- Elaboração dos projetos de fundações e superestrutura.
- Elaboração dos projetos de instalações elétricas, hidráulico-sanitárias, drenagem pluvial, drenagens, esgotamento geral da ETA, com indicação da disposição final e projetos complementares.
- Elaboração das especificações dos materiais e equipamentos relacionados aos processos e às suas instalações complementares, bem como dos materiais e equipamentos de laboratório e de segurança.
- Elaboração do memorial descritivo e justificativo, orçamento e manual de operação e manutenção.

2.1.4 Adução

A origem da palavra adução vem da palavra latina *adductio*, que significa ação de conduzir. A adução é o conjunto de tubulações, conexões e peças especiais destinadas a transportar água entre as unidades dos sistemas de abastecimento. A adução é responsável pelo transporte da água da captação ao tratamento ou do tratamento ao sistema de distribuição de água (Figura 2.4). As adutoras podem ser classificadas:

- De acordo com a energia de movimentação da água: gravidade, por recalque e mista.
- De acordo com o modo de escoamento do líquido: livre, forçada e mista.
- De acordo com a natureza da água transportada: bruta e tratada.

Os tipos de materiais empregados nas adutoras são praticamente os mesmos adotados nas redes de distribuição. Porém, os fatores que influenciam na escolha possuem pesos diferentes, em decorrência das suas particularidades. A escolha da adutora, segundo o material utilizado na fabricação do conduto, varia de acordo com fatores como:

- Custo.
- Condição de funcionamento hidráulico.
- Pressão interna e durabilidade do material face às características do solo.
- Cargas externas.
- Natureza da água transportada.



Figura 2.4 – Adutoras de água tratada por recalque e por gravidade

O traçado de uma adutora está sempre condicionado as características topográficas locais. Na adução por gravidade, a fonte de abastecimento possui elevação suficiente para atender as condições hidráulicas preestabelecidas no projeto (vazão e pressão). As principais vantagens deste tipo de sistema são a ausência de custos de energia, operação simples, baixos custos de manutenção e não há mudanças bruscas de pressão. Nas adutoras por gravidade com escoamento livre, a água escoar sempre por gravidade, mantendo uma superfície livre sob o efeito da pressão atmosférica. Os condutos podem ser abertos ou fechados e não operam com seção plena (totalmente cheios). Na adutora por gravidade em conduto forçado, a pressão interna é superior à pressão atmosférica, o que permite à água mover-se, quer em sentido descendente quer em sentido ascendente.

Nem sempre é possível a adoção do transporte por gravidade em decorrência das características topográficas da região a ser abastecida, neste caso, adotam-se os sistemas por recalque ou mistos. Nos sistemas por recalque, a água é conduzida pressurizada mediante estações elevatórias, também denominadas de estações de recalque ou estações de bombeamento.

É comum nas adutoras a presença de ar dissolvido na água. A entrada de ar nas adutoras ocorre nas tomadas de água e poços de sucção. Quando o ar entra nas instalações, tende a se separar da água e formar bolsas de ar que se alojam nas partes mais altas das adutoras. Tais bolsas reduzem a seção que efetivamente ocorre o escoamento, ocasionando a diminuição da vazão aduzida e, em situações mais críticas, a interrupção do funcionamento e golpes de aríete. As adutoras devem possuir mecanismos hidráulicos ou mecânicos de remoção de ar e de proteção, em decorrência das curvas de sobrepessão e subpressão. No primeiro caso, é preciso manter a velocidade da água acima de um valor crítico, que é determinado utilizando as fórmulas empíricas disponíveis nos Manuais de Hidráulica. No segundo caso, empregam-se as ventosas (Figura 2.5). As ventosas são usadas para expulsar o ar que porventura tenha sido admitido no enchimento da linha ou em outras situações, e na admissão de ar, que é necessária

para o esvaziamento da adutora. Estes equipamentos são montados sobre uma tomada vertical nos pontos altos da adutora.

Outro acessório indispensável nas adutoras é a descarga de fundo. Trata-se de uma válvula implantada nos pontos mais baixos da adutora com a função de esvaziar completamente o trecho por gravidade. O esvaziamento é indispensável na fase de pré-operação, por ocasião da limpeza e desinfecção dos tubos, e na operação quando a adutora necessita ser esvaziada para manutenção. Os efluentes das descargas de fundo precisam ser lançados em águas naturais, coletores pluviais ou reservatórios apropriados. O dimensionamento de uma descarga de fundo consiste na determinação do seu diâmetro de modo a obter-se um tempo de esvaziamento da adutora compatível com o bom funcionamento do sistema e uma velocidade que permita o arrasto do material sedimentado. O seu diâmetro não deve ser inferior a um sexto do diâmetro do tubo onde é instalada, com um mínimo de 50 mm.



Figura 2.5 – Ventosas instaladas em adutoras

Transientes Hidráulicos

Apesar de sua importância intrínseca, a análise de transientes hidráulicos é frequentemente relegada a um papel secundário quando as adutoras são projetadas. Normalmente, só depois da definição do perfil da adutora, do diâmetro e da vazão, os transientes são analisados no projeto. Os projetistas necessitam ter em mente que a análise dos transientes deve ser realizada nos estudos de novos projetos e quando há alterações na operação das adutoras implantadas. Em geral, o termo transiente refere-se a qualquer alteração nas condições do fluxo ao longo do tempo. Quando a alteração é lenta, este fenômeno é desconsiderado porque não afeta o escoamento. Entretanto, nos casos onde a mudança é brusca, surge uma onda de pressão que provoca choques nas paredes das tubulações e nas instalações. Estas ondas são chamadas de golpes de aríete. Segundo a norma ABNT NBR 12215/1992, é necessário calcular o golpe de aríete para condições normais e excepcionais de operação. Com base nestas recomendações, as simulações de golpe de aríete devem contemplar as seguintes situações:

- Interrupção súbita do bombeamento, normalmente causada por falta de energia elétrica, em cada estação elevatória do sistema adutor e em todas simultaneamente.
- Partida e parada do sistema de bombeamento.
- Manobras de abertura e fechamento de válvulas/registros e de seccionamentos, inclusive manobras não previstas nas regras operacionais especificadas no projeto.

- Falha em qualquer dos dispositivos de proteção e controle de golpe de aríete.
- Ruptura da adutora na seção de pressão máxima de regime permanente.
- Fechamento retardado de uma das válvulas de retenção na descarga das bombas até o instante de máxima velocidade reversa, após a interrupção do bombeamento.

Quanto aos dispositivos de proteção, estes se destinam quase exclusivamente às adutoras de adução por recalque, uma vez que, para escoamentos por gravidade, é suficiente, em geral, ter uma válvula manobrada lentamente de forma a reduzir a sobrepressão a valores aceitáveis. Entre os dispositivos disponíveis, os mais utilizados são:

- **Volantes de inércia** – dispositivo cujo princípio de funcionamento baseia-se no conceito físico de momento inércia. O volante colocado no conjunto motobomba aumenta a inércia das partes girantes, prolongando o tempo de parada da bomba. A grande limitação desse dispositivo é a aplicabilidade somente em pequenas adutoras.
- **Válvulas de alívio** – destinam-se à proteção contra sobrepressões e são instaladas junto dos órgãos que provocam o golpe de aríete. Estes dispositivos abrem-se quando a pressão excede os valores pré-fixados, permitindo a saída da água até que a pressão caia abaixo do valor estabelecido, quando se fecham imediatamente. Desta forma, controlam o excesso de pressão, mantendo a pressão estabilizada. Diversos fabricantes fornecem válvulas de alívio automáticas.
- **Reservatórios hidropneumáticos e chaminés de equilíbrio** – os reservatórios hidropneumáticos e as chaminés de equilíbrio são, sem dúvida, uma ótima opção contra golpes de aríete. Estes atuam, simultaneamente, no amortecimento de sobrepressões e subpressões, pois são dispositivos que possibilitam a oscilação da massa de água entre o reservatório e a adutora, evitando que ocorra neste trecho uma grande variação de pressão. O primeiro tipo de acumulação é feita em pressão, com ar comprimido, de tal forma que, em funcionamento normal da adução, a pressão do ar iguala a pressão de serviço na conduta. No segundo tipo, tem-se um reservatório com saída livre para a atmosfera.



Figura 2.6 – Tanque hidropneumático



Figura 2.7 – TAU

- **Tanques Alimentador Unidirecional (TAU)** – opera de forma semelhante à chaminé de equilíbrio, porém com a função única de combater as subpressões. Portanto, este apenas alimenta a adutora (sentido do fluxo único), o que resulta em um reservatório de dimensões menores. Recomenda-se que o TAU seja instalado próximo aos locais mais favoráveis a separação da coluna líquida.

2.1.5 Reservação

O uso de reservatório é um recurso adotado em praticamente todos os SAAs. A água é armazenada em reservatórios com a finalidade de manter a regularidade do abastecimento (compensar a diferença entre o pico de demanda dos consumidores e a adução), promover condições de abastecimento contínuo durante períodos curtos de paralisação do abastecimento, armazenar água para combate a incêndios, regularizar as condições de operação das estações elevatórias e condicionar as pressões disponíveis nas redes hidráulicas. Em geral, os reservatórios no Brasil são construídos de concreto armado e apresentam as mais diferentes formas.

No caso de reservatórios pertencentes a sistemas de distribuição de água, estes podem ser classificados como reservatórios de montante e de jusante. O reservatório de montante sempre fornece água à rede de distribuição, enquanto que o reservatório de jusante (também chamado reservatório de sobra e reservatório pulmão) pode fornecer ou receber água da rede de distribuição. Este tipo de reservatório armazena água nos períodos em que a capacidade da rede for superior à demanda simultânea para complementar o abastecimento quando a situação for inversa.

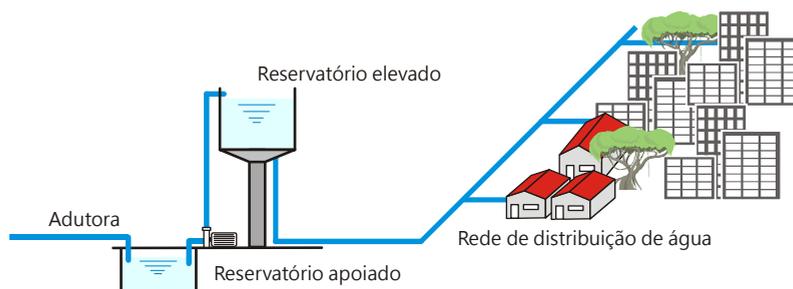


Figura 2.8 – Esquema de um sistema de distribuição de água urbano típico

2.1.6 Rede de Distribuição

A rede de distribuição é a unidade do SAA constituída de um conjunto de conexões, peças especiais e condutos assentados nas vias públicas ou nos passeios, aos quais se conectam os ramais domiciliares. Dessa forma, a função da rede de distribuição é conduzir as águas tratadas aos pontos de consumo (usos doméstico, industrial e público), de forma contínua, em qualidade, quantidade e pressão recomendadas.

A concepção dos sistemas de distribuição de água deve contemplar a divisão da rede em setores, que são chamados de Distritos de Medição e Controle (DMC) ou Setor de Medição (nome dado pela norma NBR 12218/1994). Para tanto, é necessário que sejam dotados de medidores de pressão e vazão na(s) entrada(s) da rede. A divisão da rede em DMC é primordial para a gestão das perdas de água em qualquer sistema. Não há um consenso sobre o tamanho máximo dos DMCs, a literatura cita valores que variam de 3.000 a 8.000 ligações. É importante ressaltar que é comum a divisão da rede em grandes setores, que não necessariamente são DMCs.

O traçado da rede deve, preferencialmente, considerar aspectos referentes à pavimentação das vias, ao tráfego local e à proximidade de grandes consumidores. Os condutos da rede de distribuição podem ser classificados em dois tipos (ABNT, 1994):

- Condutos principais (também denominados troncos ou mestres) – canalizações de maior diâmetro responsáveis pela alimentação dos condutos secundários.
- Condutos secundários – canalizações de menor diâmetro responsáveis pelo abastecimento dos pontos de consumo.

As redes ramificadas caracterizam-se por apresentarem um único sentido para o escoamento. A principal vantagem desta rede é que o seu custo de implantação é mais barato que o de uma rede malhada de mesmo porte. No entanto, as redes ramificadas apresentam inconvenientes na manutenção, visto que para se executar um reparo em um trecho, todos os trechos a jusante ficarão sem água. Outro problema são as extremidades mortas, que resulta em sedimentação e deterioração da qualidade da água. Desta forma, o emprego deste tipo de rede tem sido descartado em locais onde o abastecimento de água não pode sofrer paralisações, como nos centros urbanos de médio e grande porte. As redes ramificadas são empregadas principalmente no abastecimento de pequenas comunidades e condomínios horizontais.

As redes malhadas apresentam os seus trechos interligados em forma de malhas, fazendo com que o sentido do escoamento mude de acordo com a demanda nos nós e condições de operação. Por este motivo o dimensionamento de uma rede malhada é mais complexo. Na prática, a rede mista é a mais utilizada e apresenta um traçado malhado para os trechos principais e traçados ramificados nos trechos secundários.

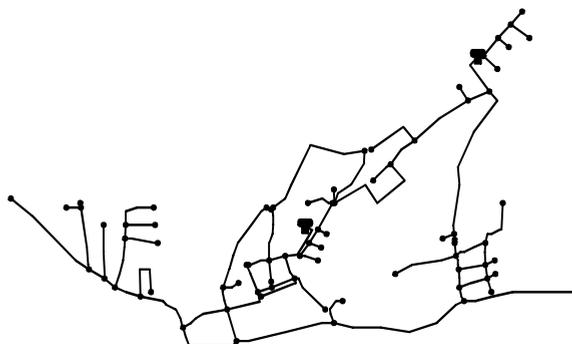


Figura 2.9 – Rede mista de distribuição de água da cidade de Salgadinho (PE)

As principais recomendações sobre o traçado das redes urbanas de abastecimento são:

- As tubulações devem ser assentadas em vias ou espaços públicos não edificados.
- As tubulações das artérias principais precisam ser dirigidas às zonas de maior demanda.

- Em algumas partes da rede, onde o traçado é ramificado, deverão ser instaladas válvulas de descarga nos pontos finais e mais baixos da rede, de modo a permitir o esvaziamento dos tubos.

A malha de distribuição da rede não é composta somente de tubos e conexões. Dela também fazem parte peças especiais que permitem a sua funcionalidade e operação satisfatória do sistema, tais como válvulas de manobra, ventosas, descargas e hidrantes. As redes possuem registros em locais estratégicos, de modo a permitir possíveis reparos ou manobras nos trechos. Também devem ser previstas válvulas de descarga nos pontos baixos da rede, que possuem a função de esvaziar as tubulações. O diâmetro mínimo da válvula de descarga em tubulações com diâmetro igual ou maior que 100 mm é de 100 mm, e, em tubulações com diâmetro inferior a 100 mm, é de 50 mm.

No que diz respeito ao combate de incêndio, segundo a ABNT NBR 12218, pode-se dispensar a instalação de hidrantes na rede em comunidades com demanda total inferior a 50 L/s, sendo previsto um ponto de tomada junto ao reservatório para alimentar caminhões pipa. Em comunidades com demanda total superior a 50 L/s, devem-se buscar os pontos significativos para combate a incêndio junto ao corpo de bombeiros. Os hidrantes necessitam ser ligados à tubulação da rede de diâmetro mínimo de 150 mm, podendo ser de coluna ou subterrâneo com orifício de entrada de 100 mm, para as áreas de maior risco, ou do tipo subterrâneo com orifício de entrada de 75 mm, para áreas de menor risco.

É importante que as companhias elaborem documentos para padronizar o teste de recebimento de redes novas. Estes testes precisam garantir que o novo sistema comece a ser operado com qualidade e baixo índice de perda de água. A norma ABNT NBR 9650/1986 traz os procedimentos para a verificação da estanqueidade no assentamento de adutoras e redes de água.

A escolha adequada dos tipos de tubulações é imperativa para o bom funcionamento das redes de distribuição e adutoras. Na definição de qual material, recomenda-se a consulta aos catálogos dos fabricantes para se obter as características funcionais dos tubos. De forma geral, para satisfazer os pré-requisitos hidráulicos e suportar as agressões do transporte, manuseio e assentamento, a definição do tubo deve considerar os seguintes fatores:

- Disponibilidade:
 - Gama disponível de diâmetros.
 - Disponibilidade local de mão de obra qualificada.
 - Pressão de serviço (classes ou pressões nominais).
 - Tipos de juntas e disponibilidade de acessórios.
- Condições de serviço:
 - Pressão de serviço (incluindo surtos e transientes).
 - Cargas do solo e capacidade de suporte do solo.
 - Potencial de corrosão do solo.
 - Natureza corrosiva.
- Propriedades do tubo:
 - Resistência mecânica.
 - Ductilidade.
 - Resistência à corrosão.

- Rugosidade das paredes internas.
- Proteção catódica.
- Economia:
 - Custo (custo de instalação, incluindo o frete para o local de trabalho e instalação).
 - Vida útil.
 - Custo de manutenção e reparos.

Os tubos são fabricados de diversos tipos de materiais, os principais tipos utilizados em redes hidráulicas e adutoras são o aço, polietileno de alta densidade (PEAD), PVC, Ferro Fundido Dúctil (FoFo), poliéster revestido com fibra de vidro (PRFV).

O PVC é usado em sistemas de distribuição de água desde 1960 e teve rápida aceitação. Atualmente, o PVC é o tubo mais adotado para tubulações com pequenos diâmetros, devido à sua resistência à corrosão, ao seu peso leve, à baixa rugosidade das paredes internas e à facilidade de instalação. Para diâmetros maiores, os tubos de ferro fundido dúctil são os mais utilizados, havendo também o emprego de tubulações de aço e PRFV.

Os tubos de PVC usados no setor de saneamento são divididos em dois tipos: PBA e DEFoFo. Os da linha PBA (ponta e bolsa com junta elástica) são fabricados de acordo com a ABNT NBR 5647 nos diâmetros nominais até 100 mm e nas classes 12, 15 e 20. Os tubos da linha DEFoFo permitem a intercambialidade com as redes de ferro fundido e são fabricados nos diâmetros nominais que variam de 100 a 600 mm.

Os tubos de ferro fundido dúctil (FoFo) são amplamente utilizados no Brasil e são constituídos de liga de ferro e carbono fundidos por centrifugação em moldes de areia ou metal. Os tubos de FoFo dúctil estão disponíveis nos tamanhos 100 mm a valores superiores a 1.200 mm e, atualmente, são revestidos internamente com uma argamassa de cimento. São empregados normalmente para operarem com pressões de serviço superiores a 1 MPa.

Os tubos PEAD têm a grande vantagem de possuírem características físicas que possibilitam a sua instalação através de métodos não destrutivos (ver Seção 5.1.4). Tal característica é imprescindível para a renovação de redes localizadas em vias de grandes centros urbanos, onde é praticamente inviável a abertura de valas. Por outro lado, o polietileno exige maiores cuidados com o controle de qualidade dos materiais e equipamentos mais sofisticados. Os primeiros anos de utilização apresentaram diversos problemas diagnosticados pela falta de normatização na fabricação e carência de mão-de-obra especializada.

Alguns sistemas existentes possuem tubulações de cimento-amianto. Deve ser prática da empresa a troca sistemática destas tubulações, fato que já ocorre em algumas companhias brasileiras. Além do uso do amianto ser prejudicial à saúde, estas tubulações sofrem rupturas com frequência, o que aumenta o volume de água perdido nos vazamentos.

2.2 Projeto de Sistemas de Distribuição de Água

O primeiro passo na concepção de um SAA é a determinação da quantidade de água requerida. Esta definição segue, quase sempre, o seguinte roteiro:

- Definição do horizonte de projeto.
- Cálculo da população.
- Determinação do consumo per capita.

A determinação da quantidade de água requerida exige a aquisição de informações básicas sobre a comunidade atendida, incluindo dados históricos de: consumo da região, tendência de crescimento demográfico, topografia, características climáticas, extensão da industrialização entre outras. Devido a essas variações, a única maneira confiável para estimar a demanda de água no futuro é estudar as peculiaridades de cada sistema, determinando as características atuais do uso da água e extrapolando a demanda para o futuro com base na tendência de crescimento da população. Em termos da quantidade total, a demanda de água é a soma do consumo da população, dos consumos industriais, de combate a incêndio e de serviços públicos (irrigação de jardins, lavagem de parques, praças etc.).

As companhias de saneamento convivem diariamente com o aumento da demanda proporcionado pelo crescimento econômico do país e pelo crescimento populacional. As empresas enfrentam o desafio de garantir água adicional à medida que a população cresce e o nível de desenvolvimento exige. De forma geral, para atender as demandas, têm-se três alternativas: a redução do consumo, o aumento da oferta e a diminuição das perdas de água. De modo geral, a redução do consumo pode ser conquistada por meio do racionamento ou campanhas educacionais que incentivem a população ao uso racional da água. A segunda alternativa é a tradicional e comumente adotada pelos gestores, que é ampliação dos sistemas existentes para aumentar a produção de água. Devido à escassez dos Recursos Hídricos nos grandes centros urbanos, cada vez mais os mananciais estão mais longe dos consumidores. A alternativa mais recomendada é a redução dos altos índices de perdas. Neste caso, tem-se uma produção virtual de água. Essa opção contempla os princípios da racionalidade e preceitos ambientais do desenvolvimento sustentável.

A previsão da população é calculada com base no alcance do projeto. Dentre os diversos métodos existentes para se estimar uma população futura (estatísticos, gráficos e determinísticos), destacam-se as metodologias adotadas pelo IBGE e a adoção de funções matemáticas definidas com base no histórico da população.

O consumo per capita é a quantidade média de água utilizada por um habitante em um determinado tempo, normalmente é expresso em litros/habitante/dia (L/hab./dia). No Brasil, de acordo com os dados do SNIS (2013), o consumo médio per capita de água dos prestadores de serviços foi 162,6 L/hab./dia - ano de 2011. De modo geral, considera-se que as cidades desprovidas de sistema de abastecimento possuem consumo per capita menor que 100 L/dia, enquanto as comunidades com SAA possuem per capita superior a 100 L/dia. A estimativa do consumo per capita é bastante utilizada para análise de perdas de água. O cálculo do consumo per capita de sistemas existentes inclui as perdas de água. No Brasil, de modo geral, as cidades que possuem valores de per capita superior a 250 L/dia tendem a ter índices de perdas de água elevados. É comum os técnicos adotarem como perda a diferença entre o consumo estimado com base no consumo per capita e o medido.

Os principais fatores que afetam o consumo de água da população são o tamanho da cidade, suas características, tipo e quantidade de indústrias, clima, hábitos higiênicos, qualidade do suprimento, valor da tarifa, a pressão na rede etc. Quando possível, recomenda-se ao projetista adotar a per capita com base em sistemas de abastecimento implantados com características semelhantes ao projetado.

O Quadro 2.2 apresenta alguns valores de consumo médio per capita de água no Brasil e nos Estados Unidos.

Quadro 2.2 – Consumo médio *per capita* de água em algumas cidades brasileiras – Ano Base 2011

| Local | População (hab.) | Consumo (L/hab./dia) | Fonte |
|---------------------|------------------|----------------------|-------------|
| Brasil | 195 milhões | 163 | SNIS (2013) |
| Mato Grosso, Brasil | 3,04 milhões | 167 | SNIS (2013) |
| Pará, Brasil | 7,58 milhões | 147 | SNIS (2013) |
| Ceará, Brasil | 8,45 milhões | 129 | SNIS (2013) |
| São Paulo, Brasil | 41,3 milhões | 187 | SNIS (2013) |
| Paraná, Brasil | 10,4 milhões | 142 | SNIS (2013) |

O dimensionamento das redes malhadas é realizado, comumente, com base na experiência do projetista (tentativa e erro). O profissional seleciona diversas configurações e as simula em planilhas eletrônicas. Porém, a identificação de soluções pode ser complexa, mesmo para sistemas de médio porte. Além disso, esta abordagem não proporciona a garantia de um “bom projeto”, muito menos uma solução próxima da “ótima”. Nas últimas décadas, a comunidade científica vem dedicando um esforço significativo na investigação de metodologias que proporcionem o projeto ótimo de sistemas de distribuição.

Analisando de forma simplificada, ao projetar um novo sistema ou a reabilitação de um sistema existente, o custo é sem dúvida a ênfase principal do projetista. Tradicionalmente, o problema é declarado com a função de minimizar os custos totais, que é soma do investimento de capital acrescido dos custos de energia. A concepção ótima de redes malhadas, considerando só os custos no processo de otimização, deve ser realizada com atenção, pois, em alguns casos, resulta em redes dimensionadas para funcionarem como redes ramificadas.

As novas metodologias recomendam a introdução de outras exigências no processo de dimensionamento ótimo, como a confiabilidade e a redundância. A intenção do projetista deve ser o dimensionamento de redes hidráulicas que funcionem eficazmente para a gama de condições reais que lhe serão impostas. De qualquer modo, o projeto de redes depara-se constantemente com paradoxos, pois melhorar a confiabilidade aumenta os custos do sistema e pode afetar negativamente a qualidade da água em condições normais de operação. Cabe ao projetista ter bom senso.

A sintonia entre os setores de projeto, operação e manutenção da companhia é necessária para que haja a compreensão das dificuldades e problemas operacionais na correção e concepção adequada de novos projetos, seja de redes, seja de unidades operacionais. Assim, o projeto do revestimento de reservatórios e a concepção de redes de distribuição setorizadas e dotadas de macromedição e controle de pressão repercutem diretamente no controle de perdas. O sucesso de um trabalho está intimamente dependente de como o mesmo foi concebido e projetado. Dessa forma, a implantação adequada de um sistema de abastecimento de água está ligada aos critérios adotados na fase de projeto, passando pelo dimensionamento correto e a especificação adequada dos serviços e materiais a serem aplicados na realização da obra. A mesma consideração vale para os casos de substituição de redes e equipamentos, bem como para manutenções preditivas, preventivas e corretivas (GONÇALVES e ITONAGA, 2007, p. 123).

CAPÍTULO 3

Conceitos Fundamentais sobre Perdas de Água

As perdas de água em sistemas de abastecimento de água são influenciadas por diversos fatores infraestruturais e operacionais. Estas dependem basicamente das características da rede hidráulica e de fatores relacionados às práticas de operação, do nível de tecnologia do sistema e da expertise dos técnicos responsáveis pelo controle dos processos.

Historicamente, a quantificação das perdas pelos técnicos do setor de saneamento é realizada com base no indicador percentual que relaciona o volume disponibilizado à distribuição (macromedido) com o volume micromedido. Isto porque o seu cálculo e entendimento é intuitivo e imediato para todos, não só para os técnicos das prestadoras de serviço, como para a sociedade. Mas por trás da simplicidade, escondem-se armadilhas que invariavelmente induzem a interpretações equivocadas. Como, por exemplo, a comparação de sistemas de distribuição com características e peculiaridades diferentes.

É comum por parte dos técnicos e alguns pesquisadores a dificuldade em definir com precisão os diversos tipos de perdas citados na literatura. Por exemplo, você é capaz de responder as seguintes perguntas: **existe diferença entre as perdas aparentes e as perdas de faturamento? Se existe, qual?**

Justamente para uniformizar a terminologia usada pelos técnicos das companhias de saneamento em todo o mundo, em 1997, a *International Water Association* (IWA) criou o Grupo de Trabalho sobre Perdas de Água (*Water Loss Task Force*)². Como parte dos resultados deste grupo, foi elaborado um balanço hídrico para os sistemas de abastecimento de água, em que se explicitavam as componentes das perdas, agora com as novas denominações “reais” (antes denominadas físicas) e “aparentes” (não físicas ou comerciais). A partir daí, foi delineado o arcabouço teórico para se avançar na padronização e proposição de indicadores de desempenho para os serviços de abastecimento. Em 2003, a *American Water Works Association*

² A *IWA Water Loss Task Force* era um pequeno grupo de profissionais de serviços públicos de água de todo o mundo e foi presidido, inicialmente, por Allan Lambert (Reino Unido). Após o trabalho inicial ser concluído, o grupo ampliou suas atividades, desenvolvendo práticas e metodologias voltadas para a gestão eficiente de perdas de água. A primeira conferência realizada pela Força Tarefa foi realizada, em 2002, no Chipre, e atraiu cerca de 80 profissionais de países predominantemente europeus. São Paulo sediou, em 2010, a quinta edição do evento, que atraiu 630 profissionais de mais de 30 países. O último encontro foi a *Water Loss 2012*, realizado nas Filipinas.

Water Loss Control Committee (AWWA WLC) publicou o relatório *Applying Worldwide Best Management Practices in Water Loss Control* que recomenda a adoção do Balanço Hídrico da IWA e seus indicadores de desempenho.

Até um passado recente era comum a indefinição do termo “perdas de água” em sistemas de abastecimento de água. A definição de perdas variava muito nas diferentes empresas ao redor do mundo, o que tornava praticamente impossível realizar comparações confiáveis de desempenho dos sistemas. O engenheiro Jairo Tardelli Filho exemplificou em um artigo da DAE (Revista DAE, n. 181, 2009, p. 35) a confusão que era os índices de perdas há algumas décadas atrás, citando que ao se deparar com as metas de águas não contabilizadas dos Estados Unidos, propostas pela AWWA em uma revista publicada em 1996, observou índices que se aproximavam de 10%. Ao se debruçar sobre os critérios adotados, percebeu que no conceito de “água não contabilizada”, os volumes perdidos nos vazamentos eram apurados e registrados, restando como não contabilizados aqueles volumes que efetivamente não havia informação do seu destino no sistema de abastecimento de água.

Compreender os tipos de perdas de água que ocorrem nos sistemas e ter definições consistentes e claras é o primeiro passo para um técnico ser capaz de gerenciar o problema das perdas de água. Não se pode confundir perda com desperdício. Um exemplo típico do desperdício é a quantidade de água não utilizada quando uma torneira permanece aberta a despeito da água não estar sendo utilizada. Tal fato pode ser observado no cotidiano, como quando um usuário está lavando o seu carro e simplesmente abandona a mangueira com água escoando enquanto o ensaboa.

Ocorrem também desperdícios associados a deficiências técnicas ou características tecnológicas inadequadas. Um caso de deficiência técnica é observado no posicionamento incorreto do tubo de extravasamento de reservatórios de água quando instalados em nível inferior ao da tubulação de água.

Outro conceito importante é a quantidade de água que os usuários desejam e podem comprar (demanda). Esta quantidade depende de variáveis que influenciam a decisão de consumo do usuário, sendo as principais o seu preço (tarifa) e a renda do usuário. É importante salientar que a demanda sempre influencia a oferta, o que se constitui no ponto central de interesse do gerenciamento dos recursos hídricos. Trata-se de um termo geralmente relacionado às quantidades necessárias previstas para os usos consuntivos da água, normalmente associado ao nível macro de gerenciamento. A atuação sob a demanda de água, no sentido de comprimi-la a níveis racionais, é uma das mais importantes ferramentas de otimização de sistemas de abastecimento.

Este capítulo fornece conceitos e definições sobre as perdas de água em sistemas de abastecimento de água visando entender os tipos, as causas e consequências, os locais de ocorrência e as formulações matemática que descrevem o fenômeno.

3.1 Balanço Hídrico (Abordagem *Top-Down*)

O processo de auditoria de água é uma ferramenta gerencial que auxilia na identificação do quanto de água está sendo utilizado, faturado e perdido. A auditoria serve também para monitorar se uma determinada intervenção física teve ou não sucesso. A auditoria é aplicada desde o local de retirada ou tratamento de água, passando pelo sistema de distribuição de

água, até os usuários finais. Normalmente, adota-se uma planilha quantitativa, onde se detalha os diversos tipos de consumo e de perdas que ocorrem no sistema de abastecimento de água. Teoricamente, deve haver equilíbrio entre o volume de água disponibilizado e o volume retirado do sistema. Neste sentido, a contribuição mais relevante na definição das perdas foi realizada pelos grupos especialistas da IWA, que propuseram um método para classificar, padronizar e uniformizar uma terminologia para o tema. Como foi dito anteriormente, esse método de análise denominou-se Balanço Hídrico, que é resumido no Quadro 3.1.

Internacionalmente, o Balanço Hídrico é conhecido como aplicação *Top-Down*, justamente por iniciar a avaliação das perdas por meio do cálculo do balanço hídrico de “cima para baixo”, ou seja, pelo volume de água que entra no sistema menos o volume de água efetivamente consumido. Neste método, são feitas hipóteses para determinar as perdas aparentes e, pela diferença, chega-se então às estimativas de perdas reais.

Quadro 3.1 – Balanço Hídrico proposta pela IWA/AWWA para sistemas de abastecimento de água

| | | | | |
|------------------------------|--------------------|---------------------------------|---|-------------------|
| Volume de entrada no sistema | Consumo autorizado | Consumo autorizado faturado | Consumo faturado medido (incluir água exportada) | Água faturada |
| | | | Consumo faturado não medido (estimados) | |
| | | Consumo autorizado não faturado | Consumo não faturado medido (usos próprios, caminhão pipa etc.) | Água não faturada |
| | | | Consumo não faturado não medido (combate a incêndios, favelas etc.) | |
| | Perda de água | Perdas aparentes | Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro) | |
| | | | Erros de medição (micromedição) | |
| | | Perdas reais | Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição | |
| | | | Vazamentos e extravasamentos em reservatórios | |
| | | | Vazamentos em ramais prediais (a montante do ponto de medição) | |

As definições dos termos adotados no Balanço Hídrico da IWA são as seguintes:

Volume de entrada no sistema (*system input volume*): este volume representa o somatório dos volumes referente às fontes (superficial e/ou subterrâneo) somada ao volume de água importada.

Consumo autorizado (*authorized consumption*): este volume refere-se ao volume de água medido e/ou não medido utilizado por consumidores cadastrados na empresa (por exemplo, cliente registrado sem hidrômetro), somado com os volumes que são implicitamente ou explicitamente autorizados pela empresa. Inclui-se também o volume de combate a incêndio, de limpeza de ruas e reservatórios, rega de espaços verdes municipais, abastecimento de caminhões pipas, alimentação de fontes públicas, chafarizes etc. Alguns desses consumos podem ser faturados ou não, dependendo da prática local.

Perdas aparentes (*apparent losses*), também chamadas de perdas não físicas e perdas comerciais: correspondem ao volume de água consumido, mas que não é contabilizado pela companhia de abastecimento, ou seja, é a que não foi “fisicamente perdida”, mas não gerou receita a empresa. As perdas aparentes são causadas por ligações clandestinas (chamadas popularmente de “gatos”), roubo ou uso ilegal (por exemplo, retirada de água em válvulas de descargas de adutoras), fraudes nos hidrômetros, erros de leituras dos hidrômetros e falhas no cadastro comercial (cadastro desatualizado, ligação não cadastrada por descuido, registro de inatividade em ligação ativa).

Perdas reais (*real losses*): representam o volume efetivamente perdido no sistema. As perdas reais são decorrentes de vazamentos que ocorrem nas tubulações das adutoras e nas redes de distribuição, nos ramais das ligações prediais, nas ETAs e nos extravasamentos de reservatórios.

Consumo faturado medido (*billed metered consumption*): é o volume de água anual que gera receita para a companhia prestadora de serviços e corresponde ao somatório dos valores arrecadados nas contas de água emitidas. É composto pelo volume medido nos hidrômetros. Este volume não pode ser calculado diretamente com base no volume faturado pelo setor comercial, porque o volume faturado inclui o volume da tarifa mínima. Por exemplo, a CEDAE adota uma tarifa mínima de 500 L/dia para as categorias residencial e pública, e para o comércio e a indústria são considerados 666 L/dia, enquanto a maioria das empresas admitem 10 m³ mensais por ligação residencial. É necessário verificar o volume realmente medido.

Consumo faturado não medido (*billed unmetered consumption*): corresponde ao estimado pelas companhias de abastecimento, relativo à economia onde não há hidrômetro, seja o consumidor de baixa renda ou não. Neste caso, em algumas companhias, cobra-se o volume de 10 m³ mensais. A receita da empresa advém da soma das cobranças relativas aos consumos faturados medidos e não medidos.

Consumo não faturado medido (*unbilled metered consumption*): é o consumo destinado aos clientes que a empresa dispensa o pagamento da conta de água mais o consumo interno medido da companhia (por exemplo, lavagem de filtros da ETA).

Consumo não faturado não medido (*unbilled unmetered consumption*): é o consumo destinado aos consumidores que a empresa dispensa o pagamento da conta de água e o volume não é medido (por exemplo, água para combate a incêndio, abastecimento de caminhões pipa, irrigação de praças etc.). Para um levantamento eficiente do balanço hídrico é necessária a medição do consumo autorizado não faturado por meio da instalação de hidrômetros nos locais cujos consumos são autorizados, como, por exemplo, em praças e campos de futebol. No atendimento gratuito a comunidades de moradores de baixa renda deve-se considerar este volume fornecido como consumo autorizado não faturado.

Uso não autorizado (*unauthorized consumption*): é o volume que não produz receita. Neste volume, incluem-se as ligações clandestinas, as fraudes etc.

Erros de medição: é o volume decorrente do erro de medição dos contadores, que pode ser causado por falhas de fabricação, dimensionamento inadequado, instalação incorreta etc.

Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição: é o volume de vazamentos que ocorre ao longo das adutoras e redes de distribuição. Nesse grupo, encontram-se as ocorrências de grande intensidade.

Vazamentos e extravasamentos em reservatórios: é o volume de vazamentos decorrentes do extravasamento de reservatórios.

Vazamentos em ramais prediais: é o volume de vazamentos que ocorre entre o colar de tomada e o cavalete residencial. As principais causas devem-se à instalação inadequada, à qualidade de material, às pressões atuantes e/ou à movimentação do solo.



Figura 3.1 – Exemplos de ligações clandestinas de água em ligação predial e adutora

Fontes: <http://www.caern.gov.br> e <http://www.tijucas.sc.gov.br>



Figura 3.2 – Vazamentos em reservatórios

O levantamento do Balanço Hídrico é uma fase imprescindível em processos de auditoria do uso da água em sistemas de abastecimento. *Um processo de auditoria ao uso da água consiste num conjunto de procedimentos que permite o conhecimento da utilização da água num sistema, incluindo a caracterização da infraestrutura e dos diferentes usos, bem como a quantificação de fugas, e que pode, ainda, incluir recomendações para melhorar a eficiência no uso da água* (ALMEIDA et al., 2006, p. 25).

3.2 Tecnologias para Estimativa dos Componentes do Balanço Hídrico

De forma prática, o cálculo dos componentes do Balanço Hídrico obedece aos seguintes passos (considere o Balanço Hídrico apresentado no Quadro 3.1).

- Determinar o volume de água fornecido ao sistema (1ª coluna).
- Determinar o consumo faturado medido e o consumo faturado não medido na 4ª Coluna. Introduzir o total destes como consumo autorizado faturado (3ª coluna) e volume de água faturada (5ª coluna).

- Calcular o volume de água não faturada (5ª coluna) subtraindo do volume de entrada (1ª coluna) a água faturada (5ª coluna).
- Definir o consumo não faturado medido e o consumo não faturado não medido na 4ª coluna. Registrar o consumo autorizado não faturado na 3ª coluna.
- Introduzir o resultado da soma dos volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado e ao consumo autorizado não faturado como consumo autorizado (2ª coluna).
- Calcular as perdas de água (2ª coluna) como a diferença entre a água entrada no sistema (1ª coluna) e o consumo autorizado (2ª coluna).
- Estimar, utilizando as metodologias citadas no Capítulo 5, as parcelas do uso não autorizado e dos erros de medição (4ª coluna), somá-las e registrar o resultado em perdas aparentes (3ª coluna).
- Calcular as perdas reais (3ª coluna) subtraindo das perdas de água (3ª coluna) as perdas aparentes (3ª coluna).
- Estimar as parcelas das perdas reais (4ª coluna) usando metodologias disponíveis (por exemplo, análise de vazões mínimas noturnas e modelagem), somá-las e comparar com o resultado das perdas reais (3ª coluna).

Os componentes do Balanço Hídrico (Quadro 3.1) podem ser medidos ou estimados por meio de várias técnicas. Todos os componentes do Balanço Hídrico devem ser quantificados sobre o mesmo período e expressos em termos volumétricos para efeitos de comparação. Eventuais erros na estimativa dos volumes, tanto na macromedição quanto na micromedição, reforça a necessidade de se adotar, periodicamente, ensaios de calibração de medidores. No caso da macromedição, dependendo do diâmetro, a calibração pode ser feita em campo. É importante que as empresas elaborem normas e regulamentos que padronizem as ações de calibração, por exemplo, a SABESP possui a norma NTS 280 para tubulações de diâmetros acima de 250 mm e o PO-AG-0294 para tubulações entre 100 mm até 250 mm. No caso da micromedição, o ideal é avaliar o parque de hidrômetros em bancadas de aferição rastreadas pelo INMETRO.

Farley e Trow (2003) descrevem as técnicas e os testes para quantificação e estimação dos componentes do balanço hídrico, são elas:

- a) Volume fornecido ao sistema
 - Levantamento da vazão utilizando medidores instalados (macromedidores, calha Parshall etc.) nos centros de produção (Figura 3.3) ou na entrada dos Distritos de Medição e Controle (Figura 3.4).
 - Estimativa do volume por meio de testes em reservatórios (fechamento de válvulas a montante e a jusante do reservatório).
 - Estimativa da vazão com base nas curvas características das bombas. Deve-se ter o cuidado de fazer o levantamento da curva característica real da bomba, é comum que as curvas apresentadas pelos fabricantes sejam alteradas ao longo do tempo.
 - Levantamento da vazão utilizando medidores portáteis (por exemplo, medidor ultrassônico, Figura 3.5) antes e depois da estação de tratamento de água.



Figura 3.3 – Calha parshall na entrada de uma estação de tratamento de água



Figura 3.4 – Medidor de vazão eletromagnético na entrada de um DMC



Figura 3.5 – Medidores de vazão ultrassônico - fixo e portátil

- b) Volume de água faturado medido
 - Levantar o volume registrado nos hidrômetros a partir de dados do sistema comercial.
 - Identificar consumidores residenciais e não residenciais.

- c) Volume de água faturado não medido
 - Identificar economias sem hidrômetro.
 - Estimar volumes com base no consumo per capita da região.
 - Estimar o consumo em alguns consumidores e extrapolar para os outros.

- d) Volume de água não faturado não medido
 - Identificar usuários autorizados (por exemplo, bombeiro, serviço de jardinagem, prédios públicos, entre outros). A estimativa será baseada na adoção de normas para registro do uso da água.
 - Identificar usuários em áreas desfavorecidas (por exemplo, favelas, áreas invadidas). Nesse caso, a estimativa de volume pode ser baseada no estudo de consumo per capita. Ressalta-se que o ideal é a instalação de um macromedidor na entrada destas áreas, o que mudaria o *status* deste consumo para volume de água não faturado medido.

- e) Volume de consumo não autorizado
 - Levantar registros históricos e evidências.
 - Por amostragem, realizar inspeção visual e com equipamentos específicos nos cavaletes.
- f) Volume de perdas por submedição
 - Estimar o volume de submedição retirando amostras aleatórias de hidrômetros e analisando em bancada de aferição de hidrômetros.
 - Estimar o volume de submedição por meio da instalação de hidrômetros classe C ou D em série com o medidor do usuário. Volume de perdas por submedição (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Técnica de campo para estimativa da submedição

- g) Volume de vazamentos nas redes
 - Estimar o volume de vazamentos por meio de medições em campo.
 - Estimar o volume de vazamentos por meio das ordens de serviço.

A grande maioria das técnicas para estimação de vazamentos em redes é baseada em medições de vazão entre dois pontos da tubulação. Os principais medidores utilizados pelos técnicos encarregados de medição são o medidor ultrassônico portátil (Figura 3.5) e o Tubo Pitot.

- h) Volume de extravasamentos em reservatórios
 - Garantir que as válvulas de entrada e saída do reservatório estejam fechadas.
 - Realizar inspeção visual no solo para identificar áreas úmidas.
 - Realizar testes noturnos quando a demanda é mínima.
 - A duração do teste recomendada é de 4 a 12 horas.
 - O reservatório deve estar cheio antes do teste.
 - Instalar um sensor para medir o nível de água no reservatório junto com um *datalogger*.
 - Estimar a taxa de vazamentos (por exemplo, em litros por h).

Embora os vazamentos em reservatórios e nas redes de adução sejam significantes, a maioria deles ocorre nas tubulações das redes de distribuição de água. O procedimento adotado para medir os vazamentos depende da configuração e das características de projeto. Os principais fatores a serem considerados são:

- Existe abastecimento 24 horas ou o abastecimento é intermitente?
 - A configuração do sistema pode ser temporariamente mudada?
 - O abastecimento ocorre em setores delimitados e definidos ou está todo interligado?
- i) Volume de vazamentos em ramais prediais
- Estimar o volume utilizando medidores de vazão (Figura 3.5) instalados na entrada dos Distritos de Medição e Controle (DMC).
 - Estimar o volume de vazamentos pelo método de vazões mínimas noturnas (ver Seção 3.3.1).

Uma gestão eficiente, em qualquer empresa, é realizada com base em registros confiáveis da produção e das transações realizadas para o fornecimento do produto. O balanço hídrico tem exatamente esta função nas empresas de saneamento, estimar os volumes consumidos nas diversas etapas do fornecimento de água, ou seja, controla o fluxo de água desde entrada do sistema, passando pela rede de distribuição de água, até o ponto de consumo dos usuários. O balanço hídrico é uma forma estruturada de avaliar os fluxos, usos e as perdas de água nos sistemas. É uma poderosa ferramenta de gestão, pois a partir de suas informações, calcula-se com mais precisão os indicadores de desempenho dos sistemas. Todas as informações de volumes devem se referir a um período de 12 meses, para dispersar o efeito de sazonalidades e diferenças de apuração nos volumes macro e micromedidos. Maiores detalhes sobre os indicadores de desempenho são apresentados no Capítulo 4.

O Balanço Hídrico geralmente é realizado pelos técnicos em uma planilha do programa Microsoft Excel®. Atualmente, estão disponíveis gratuitamente na internet diversas planilhas. Dentre as planilhas distribuídas gratuitamente, tem-se a planilha do Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC (Figura 3.7), a *AWWA's Free Water Audit Software* (Figura 3.8) e a desenvolvida por Liemberger & Partners - *WB-EasyCalc* (Figura 3.9). A planilha do LNEC foi desenvolvida como parte integrante do manual da ERSAR “Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição”. A planilha *WB-EasyCalc* possui 21 opções de idiomas, inclusive o português. O *download* das planilhas pode ser realizado nos sites dos desenvolvedores (<http://www.awwa.org>, <http://www.ersar.pt> e www.liemberger.cc).

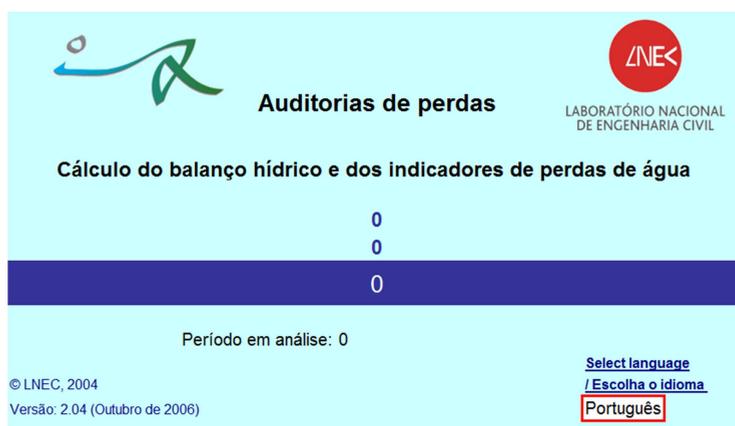


Figura 3.7 – Planilha para cálculo do Balanço Hídrico do LNEC

AWWA Water Loss Control Committee (WLCC) Free Water Audit Software v4.2
 Copyright ©2010, American Water Works Association. All Rights Reserved. WASv4.2

PURPOSE: This spreadsheet-based water audit tool is designed to help quantify and track water losses associated with water distribution systems and identify areas for improved efficiency and cost recovery. It provides a "top-down" summary water audit format, and is not meant to take the place of a full-scale, comprehensive water audit format.

USE: The spreadsheet contains several separate worksheets. Sheets can be accessed using the tabs towards the bottom of the screen, or by clicking the buttons on the left below. Descriptions of each sheet are also given below.

THE FOLLOWING KEY APPLIES THROUGHOUT:

| | |
|---|--|
| | Value can be entered by user |
| | Value calculated based on input data |
| | These cells contain recommended default values |

Please begin by providing the following information, then proceed through each sheet in the workbook:

NAME OF CITY OR UTILITY: COUNTRY:

REPORTING YEAR: START DATE(MM/YYYY): END DATE(MM/YYYY):

NAME OF CONTACT PERSON: E-MAIL: TELEPHONE:

PLEASE SELECT PREFERRED REPORTING UNITS FOR WATER VOLUME: Ext.:

Click to advance to sheet... Click here: [?](#) for help about units and conversions

| | |
|------------------------------|--|
| Instructions | The current sheet |
| Reporting Worksheet | Enter the required data on this worksheet to calculate the water balance |
| Water Balance | The values entered in the Reporting Worksheet are used to populate the water balance |
| Grading Matrix | Depending on the confidence of audit inputs, a grading is assigned to the audit score |
| Service Connections | Diagrams depicting possible customer service connection configurations |
| Definitions | Use this sheet to understand terms used in the audit process |
| Loss Control Planning | Use this sheet to interpret the results of the audit validity score and performance indicators |

Figura 3.8 – Planilha para cálculo do Balanço Hídrico - *AWWA's Free Water Audit Software*

WB-EasyCalc 😊
 The Free Water Balance Software
 Version 4.05 (May 21, 2012)

Nome da Empresa: Ano:

Os volumes usados para este balanço são para um período de: Dias

by courtesy of Liemberger & Partners
 ... because the best things in life are free! ...

www.liemberger.cc

| | |
|------------------|--|
| Dados de entrada | 1.) Volume de Entrada no Sistema |
| | 2.) Consumo faturado |
| | 3.) Consumo não faturado |
| | 4.) Consumo não autorizado |
| | 5.) Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados |
| | 6.) Dados da rede |
| | 7.) Pressão |
| | 8.) Abastecimento intermitente |
| | 9.) Informação financeira |
| Resultados | A) Balanço Hídrico em m³/ano |
| | B) Balanço Hídrico em m³/dia |
| | C) Balanço Hídrico para o período |
| | D) Indicadores de Performance |
| | E) THE "WHAT IF" TOOL |
| | F) Gráficos |

Mudar a língua
 Change Language

Figura 3.9 – Planilha para cálculo do Balanço Hídrico *WB-EasyCalc*

O Balanço Hídrico em si, é um resumo de todos os componentes de consumo e perdas em um formato padronizado. Cada unidade de água fornecida para o sistema precisa ser avaliada e atribuída ao componente apropriado. É comum, que no primeiro balanço do sistema o nível de confiabilidade dos dados seja baixo. Existem várias razões para um baixo nível de confiança no cálculo do volume de perda, o principal fator é o nível de erro nos valores de vazão. Esta primeira análise auxiliará na definição das prioridades que devem ser atacadas. A lógica que orienta a elaboração do Balanço Hídrico da IWA permite distinguir o volume perdido do volume total, discriminando os diversos componentes e os relacionando com o aspecto financeiro. Em resumo, o balanço permite:

- Melhor monitoramento dos efeitos das decisões de gestão.
- Fornece informações-chave para suporte a atitudes proativas.
- Permite destacar os pontos fortes e fracos dos diversos setores da empresa.
- A criação de uma base técnica de suporte a processos de auditoria das atividades.

- Identificar cada parcela de água adicionada ao sistema.
- Segregar as perdas de água reais e aparentes.
- Identificar falhas de equipamentos de medição, de sistemas de informação, entre outros.
- Implementação de um sistema de gestão.

Quadro 3.2 – Balanço Hídrico da SABESP (agosto de 2011)

| | | | | |
|--|--|--|--|------------------------------------|
| Volume produzido (SABESP) 2.989 milhões | Consumo autorizado 2.029 milhões (68%) | Água faturada 1.839 milhões | | |
| | | Consumo autorizado não faturado 190 milhões | Usos emergenciais, operacionais e sociais 190 milhões | Água não faturada 1.150 milhões |
| | Perda de água 960 milhões (32%) | Perda aparente 248 milhões | Submedição 164 milhões | |
| | | | Fraudes e falhas comerciais 84 milhões | |
| | | Perda real 712 milhões | | |

Respondendo a questão levantada no início do capítulo “Existe diferença entre as perdas aparentes e as perdas de faturamento?” Sim. Conforme observamos no Balanço Hídrico (Quadro 3.1), a perda de faturamento corresponde à água não faturada (*non-revenue water*), que é a diferença entre o volume de água distribuído e o volume de água que é faturado dos clientes. A água não faturada é a soma do consumo autorizado não faturado (por exemplo, serviço de combate a incêndios) com as perdas de água (reais e aparentes).

Por vezes, a designação de “água não contabilizada” refere-se às perdas aparentes ou as perdas de faturamento, por isso recomenda-se evitar o uso deste termo, justamente por não ter interpretação única.

Embora seja recomendável o método *Top-Down*, existem desvantagens em utilizar o Balanço Hídrico para avaliar perdas reais, tais como (PENA, 2010):

- Os erros acumulados dos outros componentes serão associados à estimativa das perdas reais.
- O Balanço Hídrico cobre normalmente um período de doze meses, sendo assim limitado na identificação de novos vazamentos e rupturas não notificadas em início do período, e necessitando de controle ativo de vazamentos para limitar a sua duração.
- O Balanço Hídrico não oferece indicação de cada componente de perdas reais, ou como são influenciadas pela política do prestador.

De forma semelhante às planilhas de Balanço Hídrico, há planilhas voltadas para o balanço energético de SAAs. No site da Rede LENHS (<http://redelenhs.org>) está disponível a planilha de balanço energético EE-SAA (Figura 3.10), elaborada pelo engenheiro Airton S. Gomes. Esta tem a função de avaliar o desempenho energético em sistemas de abastecimento de forma integrada.



Figura 3.10 – Planilha EE-SAA

3.3 Perdas Reais

As perdas reais são inerentes a todos os sistemas de abastecimento de água. Não é possível zerar este tipo de perda, porém o volume de perdas reais na maioria dos sistemas do Brasil é significativamente mais elevado do que o justificável. Como foi dito anteriormente, as perdas reais são decorrentes de vazamentos que ocorrem nas tubulações das adutoras e redes de distribuição, nos ramais das ligações prediais, nas ETAs e nos extravasamentos de reservatórios.

Os vazamentos podem ser classificados em três tipos: visíveis, detectáveis (não visíveis) e inerentes. Os vazamentos inerentes são denominados por alguns autores de “fugas” e representam toda a água perdida nos pequenos orifícios das tubulações, nas juntas das conexões, nas peças especiais de controle etc. Estes vazamentos não são visíveis e, na maioria das vezes, não são detectáveis. Normalmente, as vazões associadas a este tipo de vazamento são pequenas (menores que 250 L/h). Apesar de possuírem baixa vazão, é comum que o volume perdido seja representativo nas perdas de água, em virtude destes vazamentos permanecerem por longos períodos de tempo. Estes pioram gradualmente até alcançarem o ponto em que podem ser detectados. **A solução para a redução do volume perdido por vazamentos não detectáveis é o controle de pressão e a reabilitação da infraestrutura.**



Figura 3.11 – Classificação dos vazamentos

Os vazamentos detectáveis (não visíveis) não afloram à superfície e são localizáveis por equipamentos de detecção acústica, possuem vazões moderadas e sua duração depende da frequência com que a empresa realiza pesquisas de vazamentos. Como no Brasil, a maioria das empresas não realiza campanhas de detecção de vazamentos, estes acabam resultando em uma parcela significativa das perdas reais.

Os vazamentos visíveis são derivados de rupturas das tubulações e peças, que são provocadas por sobrepressões ou sobrecargas excessivas, defeitos estruturais, recalque do terreno e cargas excessivas sobre o pavimento. Os vazamentos por rupturas manifestam-se imediatamente e são facilmente detectáveis. Geralmente, estes vazamentos possuem vazões elevadas e manifestam-se imediatamente após a ocorrência. É um equívoco o entendimento que grandes rupturas nas redes hidráulicas são responsáveis pela maior parte da água perdida nas redes hidráulicas. Na maioria dos casos, grandes vazamentos chamam a atenção da população e em pouco tempo a companhia realiza o reparo. Para a companhia de saneamento, a existência de vazamentos escoando pelas vias é fator de degeneração de sua imagem perante a população. Por outro lado, os vazamentos não visíveis (ocultos) permanecem por um longo período antes de serem reparados, ocasionando grandes volumes de perdas de água. Logo, o volume perdido depende principalmente da taxa do fluxo e do tempo de reparo. Ambos os parâmetros devem ser considerados no desenvolvimento dos planos de combate a perdas reais. É comum as empresas não terem políticas para o controle de vazamentos de pequeno fluxo, permitindo que estes desperdicem um volume considerável de água.



Figura 3.12 – Vazamentos em ramais

Fonte: Apresentação “Controle de Perdas por Blocos - Os Métodos de Controle”, de Genival A. de Carvalho

As redes de distribuição e os ramais prediais são os componentes do sistema de abastecimento de água onde ocorrem o maior número de vazamentos e o maior volume perdido de água, por causa principalmente da sua extensão e condições de operação. Para muitos sistemas, os vazamentos nos ramais (tubos de pequeno diâmetro) representam o maior número de vazamentos encontrado nas redes hidráulicas, especialmente, em sistemas com uma elevada densidade de ramais. Isso ocorre pela má qualidade dos materiais aplicados e instalações inadequadas, além da própria idade destas ligações. Levantamento de vazamentos efetuado na SAPESP apontou que dos vazamentos consertados nas redes de distribuição, mais de 92% ocorreram nos ramais prediais e cavaletes (Quadro 3.3). A fim de minimizar as perdas nos ramais, as companhias devem ter um regulamento/padrão para os prestadores de serviços que estabeleça as normas técnicas de instalação de novos ramais. Ressalta-se que o maior número de vazamentos nos ramais não significa, necessariamente, que o volume de água perdido nos ramais é superior ao volume perdido na rede hidráulica. As principais causas de vazamentos são apresentadas no Quadro 3.4.

Quadro 3.3 – Número de reparos executados pela SABESP em 2008 e 2010

| Local | 2008 | 2010 |
|----------|------------------|------------------|
| Rede | 69.310 (7,70%) | 63.871 (7,99%) |
| Ramal | 385.190 (42,78%) | 276.276 (34,56%) |
| Cavalete | 445.978 (49,53%) | 459.327 (57,45%) |

Quadro 3.4 – Principais causas do surgimento de vazamentos

Fonte: modificado de TARDELLI FILHO (2005)

| Localização | Causas internas | Causas externas |
|--------------------------|---|--|
| Reservatórios | Má qualidade dos materiais Má execução da obra Envelhecimento dos materiais Falta de manutenção | Ambiente: Carga de tráfego Agressividade do solo Poluição do solo Desastres naturais: Movimentos de terra Deslizamentos Movimentos sísmicos |
| Sistemas de Bombeamentos | Desgastes das gaxetas Ajustes inadequados nos registros Pressões elevadas Envelhecimento Falta de manutenção | |
| Tubulações | Má qualidade dos materiais Corrosão Envelhecimento Assentamento inadequado Encaixes inadequados Aterramento incorreto Danos nas tubulações Profundidade inadequada Transientes hidráulicos Qualidade da água Excesso de pressão Variações bruscas de pressão | |

As principais implicações dos vazamentos nos sistemas de distribuição são:

- Danos ao patrimônio público ou privado, pela gradação do sistema viário e comprometimento das edificações devido às infiltrações de água.
- Aumento dos custos de produção, operação e manutenção, resultando em preços mais elevados de tarifa de água para o consumidor.
- Riscos maiores de contaminação da água distribuída. No caso de pressões negativas ou ausência de pressão, há a possibilidade de introdução de agentes nocivos à população.

As perdas por extravasamento em reservatórios ocorrem mais frequentemente devido a falhas operacionais e nos mecanismos de controle de nível dos reservatórios. As perdas podem ser estimadas a partir da subtração entre a vazão de entrada do reservatório e a de saída, associadas ao período de duração do extravasamento.

Caso considerarmos que o volume de água utilizado no tratamento da água nas ETAs é classificado como perdas, tem-se que as ações para redução destas perdas compreendem, basicamente, a racionalização do uso e o reaproveitamento da água usada na lavagem dos filtros e descarga do lodo dos decantadores.

Segundo AWWA (1987), uma ETA gasta em média de 2% a 5% do volume produzido na lavagem de filtros. Sistemas com reaproveitamento chegam a ter índices menores a 1%, o que em grandes sistemas gera uma economia significativa de água. Como exemplo bem sucedido, cita-se o caso da ETA Bragança Paulista (LIMA e MAGALHÃES, 2011), que usou um sistema de tecido geotêxtil de polipropileno, do tipo bolsa (*bag*) ou tubular, com dimensões aproximadas de $4,2 \times 15$ m e resistência de 60 kg/m^2 , para realizar a desidratação dos resíduos provenientes da lavagem dos filtros e da descarga dos lodos. O desaguamento ocorreu com contenção dos sólidos no interior da bolsa e drenagem da parcela líquida. O sistema contou com 10 *bags*, bombas e tanques de equalização e sedimentação. O lodo desidratado é destinado a aterro sanitário e/ou para testes de fabricação de tijolos. Esse processo possibilitou uma redução significativa das perdas de 3,5% para 0,3%. Ainda segundo informações dos autores, a partir de junho de 2009, os valores médios de água tratada usada nas lavagens foram reduzidos de 30 mil m^3 para 3 mil m^3 .

As características das perdas reais nas adutoras se assemelham bastante com as perdas das redes de distribuição. Por definição, as adutoras não fornecem água diretamente aos consumidores, o que facilita a identificação e o reparo dos vazamentos e rupturas. Até as adutoras que não possuem macromedicação podem ser acompanhadas, indiretamente, através da medição da corrente elétrica dos motores. Nestes casos, quando há um aumento brusco da corrente elétrica, descartando questões eletromecânicas, pode-se concluir que a vazão aduzida aumentou em virtude de um vazamento ou ruptura.

A IWA e AWWA WLC recomenda que a avaliação de perdas reais através do Balanço Hídrico (abordagem *Top-down*) seja complementada pelos métodos:

- **Bottom-up** – método da vazão mínima noturna e simulações hidráulicas do sistema (calibração de modelos).
- **Background and Bursts Estimates (BABE)** – técnica que modela o volume perdido de água com base na natureza e na duração das ocorrências de vazamentos.

3.3.1 Vazão Mínima Noturna

O método *bottom-up* mais utilizado no mundo é a avaliação da vazão mínima noturna. O método da vazão mínima noturna foi originalmente recomendado no documento *Report 26 Leakage Control Policy & Practice* (1980) e utiliza dados de pesquisas, testes e inspeções de campo para quantificar o volume de perdas reais dentro de setores de sistemas de distribuição de água. Esta análise só é possível se a rede de distribuição estiver setorizada. A setorização consiste na divisão da rede em setores de menor dimensão com fronteiras conhecidas e bem delimitadas, onde é possível acompanhar e controlar a vazão e a pressão (ver Seção 6.1). Os resultados podem ser comparados diretamente com o volume de perdas reais obtidos a partir do balanço hídrico da IWA.

O método da vazão mínima noturna tem por base a análise detalhada das vazões durante o horário de menor consumo, o que em sistemas urbanos ocorre entre 2 e 4 horas da madrugada. Esta vazão é denominada de vazão mínima noturna. Como a maioria dos consumidores nesse horário está dormindo e os reservatórios domiciliares estão cheios, uma parcela significativa dessa vazão corresponde às perdas de água por vazamentos (cerca de 70% a 90%), podendo dessa forma se estimar as perdas reais do setor analisado. A utilização desta metodologia se baseia no fato que, geralmente, durante este período o consumo autorizado é mínimo e, portanto, o vazamento ocorre no valor máximo (percentualmente). A Figura 3.13 mostra um gráfico representando a vazão mínima noturna e seus principais componentes.

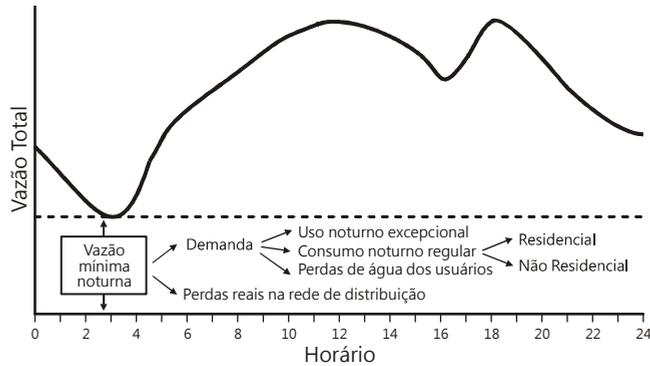


Figura 3.13 – Representação gráfica dos componentes da vazão mínima noturna

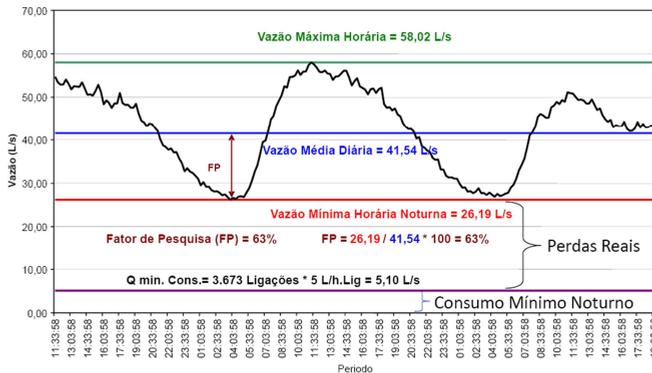


Figura 3.14 – Exemplo de aplicação da metodologia de vazão mínima noturna - Região dos Cristais - Nova Lima - COPASA, 30/09/2007 (SOUZA, 2011)

A estimativa da parcela de vazamentos na vazão noturna é realizada subtraindo o consumo medido da soma do consumo avaliado como legítimo para cada um dos clientes ligados à rede hidráulica na zona estudada. Segundo Thornton *et al.* (2008), nos países europeus e norte-americanos, cerca de 6% da população dos sistemas urbanos está ativa durante o período de vazão mínima noturna. Faltam estudos específicos para as condições brasileiras. Logo, deve-se realizar estudos por amostragem do consumo noturno por meio de medidores eletrônicos instalados em residências localizadas na área de estudo. Com isto, os resultados podem ser generalizados para toda região.

A análise da vazão mínima noturna requer a utilização de técnicas sofisticadas para determinar a demanda real noturna. Caso haja no setor uma demanda excepcional durante a campanha de medição/análise, estas devem ser ponderadas no cálculo ou as medições necessitam ser desconsideradas.

O acompanhamento *online* da vazão noturna permite um controle eficiente de novos vazamentos nos sistemas de distribuição de água automatizados com telemetria. Nestes casos, são inseridos alertas no sistema supervisorio para indicar aos usuários o surgimento de anomalias nos consumos noturnos, possibilitando o rápido conhecimento de novos vazamentos. A Figura 3.15 traz um exemplo real que demonstra a variação significativa da vazão mínima noturna provocada por um vazamento.

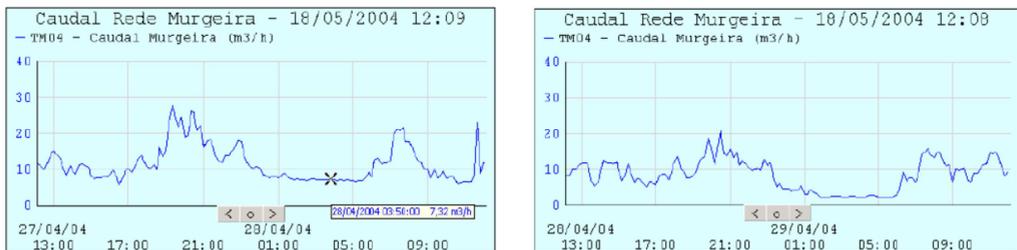


Figura 3.15 – Detecção de vazamento por meio de um sistema de telemetria - Registros de vazão de um sistema antes (27/04/04) e após a reparação do vazamento (28/04/04) (ALEGRE *et al.*, 2005)

Erroneamente, pode-se pensar em calcular o volume diário perdido nos vazamentos através da multiplicação da vazão mínima noturna pelo número de horas do dia (24 horas). Como os vazamentos são sensíveis à pressão, o resultado obtido estaria supervalorizando os volumes perdidos. Para solucionar esse erro, foi criado o “Fator Noite-Dia” (F_{ND}), que é um número, dado em horas por dia, que multiplicado pela Vazão Mínima Noturna, resulta no Volume Médio Diário dos Vazamentos. Com isto, as perdas reais médias podem ser calculadas pela Equação:

$$\text{Perdas Reais} = F_{ND} \times Q_{MIN} \tag{3.1}$$

onde Q_{MIN} é a vazão média mínima noturna. O F_{ND} é determinado a partir das medições de pressão, ao longo de 24 horas, em um ponto representativo do setor, utilizando a seguinte relação:

$$F_{ND} = \sum \left(\frac{P_i}{P_{3:00-4:00}} \right)^{N_1} \tag{3.2}$$

onde P_i representa a média das pressões ao longo de 24 horas medida de hora em hora, $P_{3:00-4:00}$ representa a pressão medida na entrada do setor das 03:00 às 04:00 horas. O N_1 pode ser calculado com dados de campo (Equação 3.3).

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N_1} \tag{3.3}$$

onde Q_0 é a volume de vazamento inicial, associada a pressão P_0 e Q_1 é o volume de vazamento final, associada a pressão P_1 . O fator N_1 é obtido a partir do fechamento do registro (manobra) de entrada do setor. Maiores detalhes sobre a Equação 3.3 são apresentados no início do Capítulo 6.

Protocolo para aplicação do método das vazões mínimas noturnas

Para execução deste método, é preciso seguir algumas recomendações, tais como:

- **Representatividade da área:** a escolha da área que servirá de amostra deve ser representativa para todo o sistema.
- **Estanqueidade do sistema:** deve-se garantir que o sistema em estudo seja totalmente fechado, não permitindo a importação e/ou exportação de água de outro setor.
- **Período de monitoramento:** o teste é efetuado entre duas e quatro horas da madrugada, horário em que se estima que o consumo noturno seja mínimo e os reservatórios domiciliares estão cheios.
- **Perfil dos consumidores:** é necessário conhecer o perfil dos consumos noturnos específicos, tais como: grandes consumidores, indústrias, hospitais etc. Consumidores com utilizações excepcionais precisam ser monitorados com registradores eletrônicos de vazão, cujo consumo deve ser descontado da vazão de entrada.
- **Monitoramento de pressão:** há que se determinar o ponto médio de pressão do sistema, levando-se em consideração não a cota média, mas o ponto de maior concentração de ramais. Sabendo-se que a probabilidade da existência de vazamentos é muito maior nos ramais, definir o ponto médio dentro desta referência nos dá a indicação do valor real da pressão atuante nos vazamentos.

Outras considerações:

- a) O macromedidor instalado na entrada do sistema deve ter precisão para registrar pequenos volumes e ser adequado para receber um registrador de vazões. O registrador de vazões (*datalogger*) precisa ter capacidade para armazenar os dados medidos.
- b) Ao se efetuar as sucessivas reduções de pressão, há que se verificar a estabilização da vazão de entrada e da pressão do ponto médio. Dependendo do tamanho da área, isto ocorre entre 15 e 20 minutos após a redução da pressão.
- c) São necessários pelo menos três reduções de pressão para que se possa obter uma boa média do fator N_1 (ver Equação 3.3). Estas variações devem ser de pelo menos 10 mca entre uma e outra, ou a variação na vazão será pequena para gerar valores significativos para os cálculos.
- d) A análise profunda da coerência dos dados obtidos precisa ser realizada no início das avaliações e é imprescindível.
- e) Valores de N_1 menores que 0,5 indicam que houve consumo não controlado, e logo não considerado. O propósito do teste é determinar o comportamento dos orifícios dos vazamentos, logo, quando se expurga os consumos legítimos, excepcionais ou não, a vazão resultante deve se referir apenas a estes vazamentos. No caso de não ter havido controle total sobre todos os consumos que possam estar interferindo nos resultados, há de se observar as falhas e realizar outro teste. Para ficar mais claro, se a vazão do

macromedidor se mantiver constante ou sofrer uma variação muito pequena apesar da redução da pressão, estes valores não podem ser considerados.

- f) Para se determinar o volume consumido neste horário apenas pela população, uma das estimativas que se pode adotar é de 25 litros por habitante por hora, no horário compreendido entre 03h00min e 04h00min da madrugada. Os valores a serem adotados nos cálculos, tanto para vazão quanto para pressão média, devem ser os últimos obtidos imediatamente antes da variação da pressão subsequente.
- g) Com o conhecimento do N_1 , a vazão de quaisquer vazamentos pode ser calculada a partir da pressão atuante no local. Pode-se determinar o Fator Noite-Dia e realizar estimativas da redução do volume perdido a partir da otimização (diminuição) das pressões.

A metodologia acima foi aplicada em dois sistemas reais de distribuição de água denominados Piloto 1 (Figura 3.16) e Piloto 2 (Figura 3.17). Esses sistemas localizam-se nos Estados de Santa Catarina e Mato Grosso do Sul. Os estudos realizados em Santa Catarina foram feitos por Girol (2008). Foram utilizados dois métodos para avaliar as perdas reais: vazões mínimas noturnas e calibração dos parâmetros de pressão e vazão utilizando o EPANET Calibrator³.

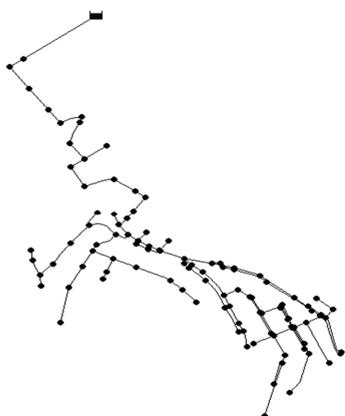


Figura 3.16 – Modelo da rede Piloto 1

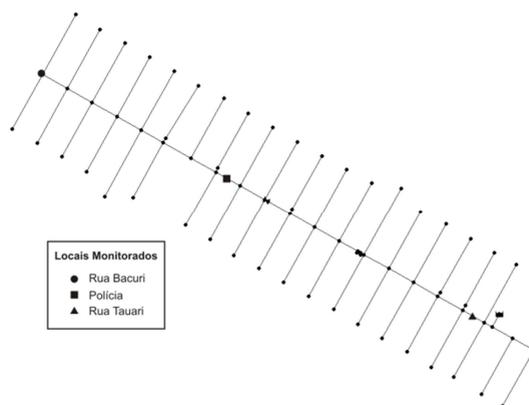


Figura 3.17 – Modelo da rede Piloto 2

Com base nos valores de vazão e pressão observados durante os procedimentos de mínimas noturnas realizados nos sistemas 1 e 2, estimou-se os valores de N_1 para cada ponto de monitoramento e os valores do Fator Noite-Dia. Fazendo uma média dos valores encontrados, obteve-se o F_{ND} igual a 19,12 e 22,26 para os Pilotos 1 e 2, respectivamente. O Quadro 3.5 apresenta os dados dos referidos sistemas.

³ O Epanet Calibrator Desktop é um programa que permite a inserção de dados medidos em campo para calibração dos modelos criados no Epanet.

Quadro 3.5 – Dados dos sistemas Pilotos 1 e 2

| Informação | Piloto 1 | Piloto 2 |
|---|----------|----------|
| População atendida (habitantes) | 2.000 | 5.656 |
| Extensão total das tubulações (km) | 6,70 | 9,70 |
| Diâmetro das tubulações (mm) | 20 - 100 | 50 - 150 |
| Número de ligações (ramais) | 470 | 1.414 |
| Volume macromedido (m ³ /dia) | 230 | 1.085 |
| Volume micromedido (m ³ /hab./dia) | 156 | 579 |
| Consumo per capita (L/hab./dia) | 78 | 102 |

**Figura 3.18 – Medidor de pressão contínuo instalado na rede Piloto 1 (GIROL, 2008)**

A vazão mínima noturna média do Piloto 1, de acordo com os dados do supervisório, durante o período das 03h00min e 04h00min é de 2,8 m³/h. Com isso, foi possível calcular o volume diário de perdas reais (VDPR):

$$VDPR_{\text{Piloto 1}} = 19,12 \times 2,80 = 53,54 \text{ m}^3/\text{dia}$$

As vazões do Piloto 2 foram monitoradas por meio de um Tubo Pitot. O resultado da campanha de medições foi uma vazão mínima noturna média na rede de 6 L/s (21,60 m³/h). Com isso, foi possível calcular o volume diário de perdas reais (VDPR):

$$VDPR_{\text{Piloto 2}} = 22,26 \times 21,60 = 480,82 \text{ m}^3/\text{dia}$$

3.3.2 Modelagem Hidráulica

A modelagem hidráulica dos sistemas de distribuição de água é um instrumento eficiente para o combate às perdas de água, pois permite aos técnicos analisarem o impacto das possíveis estratégias (reabilitação, setorização, instalação de válvulas redutoras de pressão etc.), a partir de cenários previamente definidos. De forma geral, os modelos hidráulicos permitem:

- Conhecimento das grandezas hidráulicas (vazão, pressão e perda de carga) para os diversos cenários de interesse.
- Avaliar o comportamento da qualidade da água ao longo da rede.
- Estimar os valores de perdas por vazamentos nas redes hidráulicas.
- Analisar previamente o impacto de ações na redução das perdas de água e no consumo de energia.
- Definição dos procedimentos operacionais dos sistemas.
- Adoção de métodos de otimização e de sistemas de suporte à decisão.
- Avaliação de ações de reabilitação e ampliação do sistema.
- Manter os dados do sistema registrados, eliminando a necessidade constante de consultar os técnicos mais antigos.

A modelagem hidráulica de redes de distribuição de água ainda não é uma prática difundida entre os operadores no Brasil. O principal motivo é a dificuldade em se montar tais modelos com a precisão necessária. Essa tarefa exige um processo de estruturação da base de dados da empresa, partindo do cadastro de redes, que deve estar em meio digital, até a sistematização do monitoramento em campo, envolvendo a medição do consumo e dos pontos de controle de vazão e pressão para fins de calibração do modelo. Considerando que a rede hidráulica por si só é uma base de dados complexa e de difícil manutenção e atualização, constata-se que o objetivo de utilizar modelos hidráulicos exige um trabalho anterior de estruturação de procedimentos para adequação dos cadastros de redes, mapas de referência (urbanismo, topografia etc.), dados de consumo e dados de monitoramento da rede (pressão, vazão e concentrações de parâmetros de qualidade da água) (GONÇALVES e ITONAGA, 2007).

Para iniciar o processo de construção do modelo hidráulico de um sistema de abastecimento de água existente ou que será implantado, são necessárias as seguintes etapas:

- **Definir o que será modelado e com qual propósito:** antes de iniciar a construção do modelo hidráulico, é necessário definir o que será modelado (um setor, um bairro, um loteamento ou o sistema completo). Após esta escolha, deve ser definido qual o propósito do modelo hidráulico (estudar perdas de água, verificar pressões na rede, estudo de eficiência energética, setorização etc.). Quanto mais detalhado for o modelo e quanto mais específico e complexo for sua destinação, maior a quantidade de dados e trabalho o profissional terá.
- **Escolha do programa computacional de modelagem hidráulica:** definidos os propósitos da modelagem e qual será sua abrangência, é preciso escolher um programa de modelagem hidráulica que atenda as suas necessidades. O simulador mais difundido mundialmente e mais utilizado chama-se EPANET. Este livro tratará a modelagem de sistemas considerando o uso do EPANET.

O EPANET é um programa computacional para modelagem de sistemas de abastecimento de água que pode ser executado em plataforma Windows. Foi desenvolvido pela Divisão de Recursos Hídricos e Sistemas de Água da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*U. S. Environmental Protection Agency*) e tem a grande vantagem de ser um programa livre e de código aberto. Em termos de aplicação, o EPANET permite realizar simulações em período estendido com objetivo de representar o comportamento hidráulico e da qualidade da água de sistemas pressurizados.

1. **Aquisição e instalação do EPANET:** O EPANET em português, versão brasileira, está disponível para *download* no site do LENHS UFPB (www.lenhs.ct.ufpb.br). Para instalá-lo, basta seguir o passo a passo durante o processo de instalação.
2. **Levantamento de dados do sistema:** Os dados dos sistemas a serem levantados estão, obviamente, vinculados ao propósito da modelagem. Basicamente, os dados a serem levantados encontram-se divididos em duas categorias:
 - **Dados físicos:** são os dados relativos à estrutura física do sistema, geralmente encontrados no cadastro técnico (em meio impresso ou digital). São necessários curvas de nível e/ou pontos cotados, características das tubulações (comprimento, diâmetro e rugosidade), localização das ETAs e/ou captações com sua respectiva vazão de produção, dimensões dos reservatórios (nível máximo e mínimo de água, diâmetro, cota geométrica), locação das estações elevatórias, válvulas, registros e singularidades da rede, e demandas de água (volume micromedido).
 - **Dados não físicos:** são os dados relativos aos elementos não físicos do sistema como curva característica das estações elevatórias ($Q \times H$), curvas de padrão de consumo de água e *setpoint* de válvulas.
3. **Ambientação do EPANET:** Após a instalação do programa, é preciso que o seu ambiente de trabalho seja conhecido e explorado para facilitar a construção do modelo.

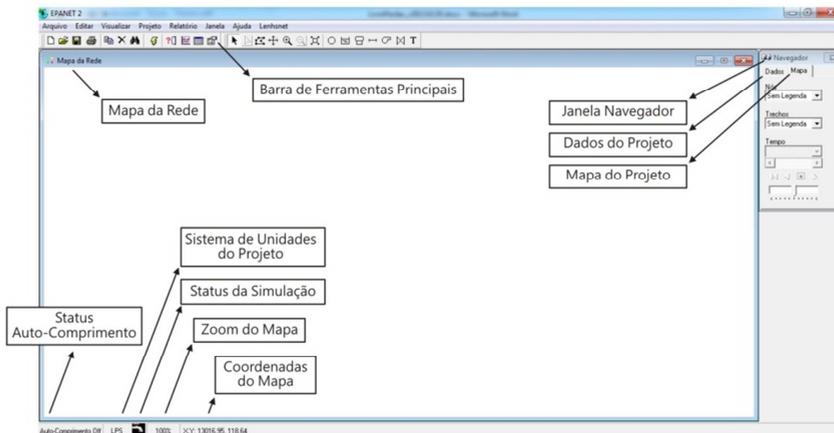


Figura 3.19 – EPANET 2.00.12

- **Mapa da Rede:** É o espaço onde será construído o modelo hidráulico.
- **Barra de ferramentas principais:** Possui as principais ferramentas do EPANET, onde é possível criar e salvar arquivos, executar simulações, visualizar resultados e inserir novos elementos no modelo.
- **Janela “Navegador”:** É o local onde é possível gerenciar os componentes do modelo. Através da aba “Dados”, pode-se selecionar qual propriedade deseja-se visualizar no “Mapa da Rede”, além de acompanhar o tempo de simulação através da aba “Mapa”.
- **Status “Auto-Comprimento”:** Neste campo é possível visualizar se o seu projeto está com a opção de “Auto-Comprimento” ativada ou não.

- **Sistema de unidades do projeto:** É possível visualizar neste campo em qual sistema de unidades encontra-se o projeto.
 - **Status da simulação:** Pode-se observar neste ícone se alguma simulação foi executada. Caso a imagem da “torneira” esteja sem água, nenhuma simulação foi feita, ao passo que se a imagem apresentar a “torneira” com água saindo dela, uma simulação já foi executada.
 - **Zoom do mapa:** Neste campo é possível observar qual o Zoom encontra-se o modelo.
 - **Coordenadas do mapa:** Ao movimentar o cursor do mouse pelo “Mapa da Rede” pode-se ir acompanhando qual coordenada encontra-se determinado elemento da rede.
4. **Configuração inicial do EPANET:** Antes de iniciar o processo de construção do modelo, é necessário configurar o EPANET para compatibilização das unidades de medida. Basicamente, configuram-se os seguintes parâmetros hidráulicos: unidade de vazão, sistema métrico e fórmula de perda de carga. O programa adota como padrão a vazão em L/s (litros por segundo), o comprimento dos trechos e as cotas em metros, e os diâmetros das tubulações em milímetros. A equação de Hazen-Willians é a fórmula de perda de carga *default*. Para configurar estes parâmetros, na barra de menu, no canto superior da tela, clique em “Projetos -> Configurações Pré-Definidas”.

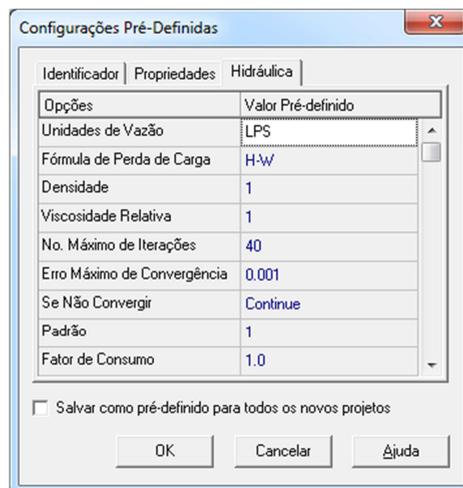


Figura 3.20 – Configuração de unidades no EPANET

5. **Construção do modelo:** Definidos os propósitos e a área de abrangência do modelo, levantados os dados de entrada do sistema, escolhido o programa para construção do modelo, parte-se para a etapa de sua construção. Para construir o modelo, o EPANET dispõe dos seguintes elementos:
- **Nós:** são os pontos da rede que representam as ligações entre as tubulações, mudanças de material e diâmetro, pontos de medição, topografia, entre outros.
 - **Reservatórios de nível fixo (RNF):** Os reservatórios de nível fixo são nós especiais que representam um volume de armazenamento de água, de capacidade ilimitada e carga

hidráulica constante. São utilizados para simular qualquer tipo de captação de água, além de estações de tratamento de água.

- **Reservatórios de nível variável (RNV):** São também nós especiais da rede, possuindo uma capacidade de armazenamento limitada, com variação no seu volume ao longo tempo. São os reservatórios internos do sistema que são responsáveis por abastecer as diversas zonas de abastecimento.
- **Tubulações:** São trechos que transportam água entre os vários pontos da rede. Esse transporte é pressurizado em todas as tubulações, ao longo da simulação.
- **Bombas:** As bombas são trechos da rede que depositam energia no sistema, elevando a carga hidráulica de um ponto a outro.
- **Válvulas:** São trechos especiais que limitam a pressão ou vazão num ponto da rede.

Comece a modelar inserindo inicialmente os nós (pontos de consumo, pontos de elevação, pontos de conectividade e reservatórios) do modelo. Após inserir os nós, conecte-os por meio dos trechos (tubulações, válvulas ou bombas). Construído o esqueleto físico do modelo, inicie a inserção das propriedades de cada elemento. Para os nós, insira as cotas dos pontos, as demandas de água (somente para os nós que possuem demanda de água) e uma curva de padrão de consumo. Para os reservatórios, insira os níveis operacionais e o diâmetro. Para as tubulações, insira o diâmetro, o comprimento e a rugosidade (conforme tipo do material). Para as válvulas, indique qual é o tipo de válvula e qual o seu parâmetro de controle. Por fim, para as bombas, insira as curvas características.

Recomenda-se que a construção do modelo seja iniciada com os elementos principais do sistema, de modo que será mais fácil para o profissional encontrar erros que possam vir a surgir. O detalhamento da rede deve ser realizado gradualmente.

O manual do EPANET em português está disponível para *download* no site do LENHS UFPB (www.lenhs.ct.ufpb.br). O documento disponibiliza ao leitor exemplos de aplicações e um passo a passo de como construir o seu modelo. A Figura 3.16 apresenta o leiaute de um modelo hidráulico no EPANET.

6. **Verificação de erros:** finalizada a construção do modelo, é necessário fazer a verificação dos possíveis erros construtivos do modelo. Para isso, execute uma simulação, clicando no “Executar Simulação”. Caso não haja nenhum erro na construção do modelo, a mensagem “Simulação bem sucedida” aparecerá na tela. Caso contrário, uma mensagem de erro será mostrada, apontando os elementos que possuem alguma inconformidade, como: nós sem cota, tubulações sem comprimentos, bombas sem curva de operação etc.
7. **Visualização de resultados:** após solucionar os erros da etapa anterior, verifique como o seu modelo se comportou ao longo do tempo. Primeiramente, ajuste o tempo de simulação para um período de 24 horas. Para isso, vá até o canto direito da tela, na janela “Navegador”, clique na aba “Dados -> Opções -> Tempos” e altere o tempo.

Para a correta aplicação do modelo é necessária a sua calibração. Essa etapa é imprescindível para ajustar os parâmetros de entrada do modelo, de modo a minimizar os erros entre os valores observados e simulados.

Embora a formulação matemática do EPANET não considere explicitamente as perdas reais, é possível simulá-las utilizando um artifício de modelagem, denominado coeficientes emissores, que são correspondentes aos aspersores nos sistemas de irrigação. Esse artifício de modelagem assume que em cada nó do sistema existe um consumo efetivo mais uma vazão incremental, correspondente ao dispositivo emissor. Os emissores são modelados por meio de uma tubulação fictícia que liga o nó a um reservatório fictício. A carga hidráulica no reservatório fictício passa então a ser a energia disponível no nó. Assim, o nível piezométrico com vazamentos é inferior ao nível sem vazamentos. Atendendo às considerações anteriormente expostas, a demanda ou consumo (q_d), em cada nó, pode ser escrita por:

$$q_d = q_c + q_{dl} \quad (3.4)$$

onde q_c representa a parte do consumo efetivo, relativamente ao consumido pelos usuários, e q_{dl} a parte do consumo relativo aos vazamentos em orifício ou rupturas ocorridas na rede de distribuição. No EPANET, o termo q_{dl} é expresso pela Equação:

$$q_{dl} = C_i (p_i)^\alpha \quad (3.5)$$

onde q_{dl} equivale ao vazamento no nó i , p_i representa a pressão no nó i . O valor assumido por α no EPANET é igual a 0,5, o qual representa uma limitação considerável.

3.3.3 *Background and Bursts Estimates* - BABE

Em 1993, foi desenvolvido um conjunto de técnicas que ficou conhecido como procedimento *Burst and Background Estimates* (BABE), caracterizando-se como o primeiro modelo de análise de componentes. Foi precursor na modelagem objetiva das perdas reais, permitindo um gerenciamento racional do planejamento e um controle operacional e das estratégias para a redução de vazamentos. Esta técnica assume que o volume anual de perdas reais está diretamente relacionado com a quantidade de vazamentos, onde o volume perdido em cada vazamento é influenciado pela taxa de fluxo e pelo tempo gasto para reparo. O BABE foi testado com sucesso em sistemas britânicos e possibilita o cálculo estimado de dezenas de componentes das perdas reais segundo três tipos distintos de vazamentos: inerentes, visíveis e não visíveis (ocultos). O BABE possibilita a realização de análises econômicas para a determinação da frequência com que as campanhas de controle ativo de vazamentos devem ser realizadas, e os impactos do controle de pressão e melhorias na qualidade da infraestrutura.

O modelo BABE anual pode ser considerado como um modelo estatístico, na medida em que não procura identificar todos os vazamentos e calcular um volume de perda anual, mas sim, agrupar eventos similares. Quanto maior for o número de eventos, melhor a precisão dos valores calculados. A poderosa combinação de conceitos Babe e FAVAD resultou, na década de 90, em uma gama de modelos para abordar uma série de problemas de gestão de vazamentos, numa base sistemática e racional (THORNTON *et al.*, 2008). A Figura 3.21 mostra a gama de problemas que têm sido modelados com sucesso.

O uso isolado da análise de componentes não é recomendado para estimar o volume anual de perdas reais, porque há um nível significativo de incerteza em grande parte dos dados

utilizados na análise. No entanto, uma análise de componentes auxilia bastante na definição das componentes do balanço hídrico, pois fornece estimativas dos volumes de perdas reais em diferentes elementos da infraestrutura do sistema de distribuição. Esta informação é valiosa para o desenvolvimento da estratégia de redução de perdas mais adequada e é essencial para uma boa estimativa do nível econômico de perdas reais.

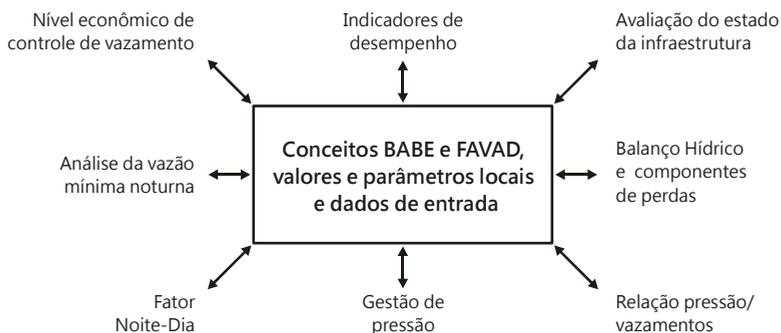


Figura 3.21 – Problemas que podem ser modelados utilizando os conceitos BABE (THORNTON *et al.*, 2008).

Como demonstrado no Quadro 3.1, o Balanço Hídrico não fornece informações sobre as perdas reais decorrentes de vazamentos inerentes (ocultos). Ao avaliar o volume de perdas reais através dos componentes de perdas reais, é possível determinar o volume de perdas reais que foram capturados durante das campanhas de reparo de vazamentos. Portanto, deduzindo as perdas reais a partir da análise baseada em componentes, é possível determinar o volume de perdas ocultas no Balanço Hídrico. O método também é importante para que o gestor tenha uma compreensão detalhada da eficiência da política de reparo de vazamentos da empresa.

Os Balanços Hídricos e as análises de componentes de perdas reais devem ser realizados uma vez por ano, uma vez que são partes integrantes de qualquer programa de controle de perda de água. Atualmente, algumas empresas estabeleceram o balanço hídrico em uma base mensal para manter um olhar atento sobre o seu desempenho de gestão da água perda.

3.4 Perdas Aparentes

As perdas aparentes representam a parcela da perda total que não é causada por vazamentos e extravasamentos nos reservatórios. São causadas por ligações clandestinas, roubo ou uso ilegal (por exemplo, retirada de água em válvulas de descargas de adutoras), fraudes nos hidrômetros, erros de leituras dos hidrômetros e falhas no cadastro comercial (cadastro desatualizado, ligação não cadastrada por descuido, inatividade em ligação ativa).

Em comparação com as perdas reais, as perdas aparentes têm um efeito negativo muito maior sobre o orçamento das companhias, pois, além do gasto com a produção, perde-se o valor agregado à água entregue. As perdas aparentes devem ser sempre avaliadas pelo valor de varejo da água (tarifa). Assim, como a perda real, esta resulta em custo adicional a ser repassada para os clientes pagantes.

As perdas aparentes ocorrem principalmente de três formas:

- Erros de medição e leitura.
- Erros cadastrais ou na contabilidade do consumo de água.
- Consumo não autorizado.

O **erro de medição** (submedição) é uma das principais causas das perdas aparentes nas companhias de saneamento e ocorrem por diversos motivos. A ocorrência de uma ampla gama de medidores, que variam de tamanho, tipo e classe, juntamente com uma vasta variação de padrões de consumo existentes nos sistemas urbanos, dificulta a correta especificação dos medidores pelos profissionais. As principais razões pelas quais os hidrômetros não conseguem medir com precisão a vazão fornecida são:

- Fraudes.
- Tempo em operação.
- Qualidade da água.
- Qualidade do medidor.
- Regime de funcionamento da rede de distribuição.
- Instalação incorreta, por exemplo, hidrômetro inclinado.
- Exposição ao sol ou calor extremo.
- Dimensionamento errado.
- Adulteração.
- Falha na manutenção.
- Reparação incorreta.



Figura 3.22 – Hidrômetro com mostrador ilegível

Atualmente existe pouca informação disponível, baseada em dados reais, sobre o desempenho dos hidrômetros instalados ao longo do tempo e sobre os diversos fatores que afetam a exatidão desses aparelhos. Porém, é fato que a idade influencia negativamente nas medições. Por isto, é fundamental que a prestadora de serviço avalie em condições reais as perdas por submedição, relacionando-as com as prováveis causas. Para exemplificar, a Figura 3.23 apresenta o resultado do estudo realizado em Maceió (AL) pelo engenheiro Maurício Fourniol (FOURNIOL, 2004). Neste estudo foram realizados ensaios de laboratório para verificar os erros de hidrômetros velocimétricos de 3 m³/h de vazão máxima. Obviamente que os resultados não apresentam uma verdade absoluta para todos os hidrômetros, mas,

pontualmente, demonstram a gravidade e o tamanho do problema que as companhias de saneamento enfrentam. Neste estudo verifica-se uma perda média de 14,5% após o primeiro ano e 47,8% nos hidrômetros com idade igual ou maior que 10 anos (Figura 3.23).

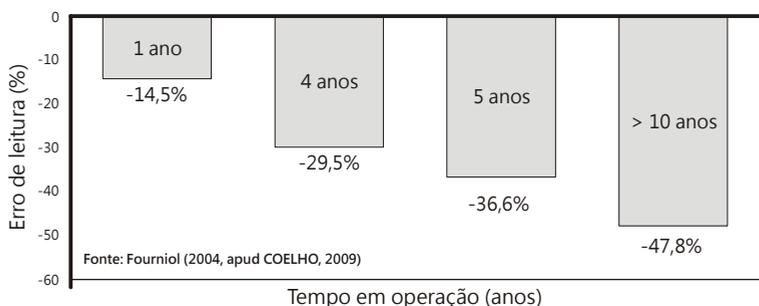


Figura 3.23 – Erros de medição de hidrômetros resultantes dos ensaios de hidrômetros domiciliares velocimétricos em uma rede de distribuição de Maceió sem intermitência

Para que se tenha uma ideia da importância da necessidade da avaliação sistemática do parque de hidrômetros, Coelho (2009) ressalta que as concessionárias de água que não tem um programa sistemático de manutenção de hidrômetros possuem perdas por submedição que variam de 10% a 30%. Isto representa nas empresas perdas da ordem de centenas de milhares de reais por ano. Dentre os aspectos apresentados, é importante ressaltar que a perda por submedição é provocada principalmente pelos seguintes aspectos:

- Falta de um programa de substituição preventiva e corretiva eficiente.
- Seleção incorreta do equipamento.
- Dimensionamento inadequado.

Outra ocorrência comum, e que se destaca negativamente, é a inclinação dos hidrômetros, que pode ocorrer por dois motivos: o primeiro é resultado da má fé do consumidor, que intencionalmente inclina o hidrômetro para diminuir o volume registrado no equipamento. O segundo motivo é a falta de capacitação ou conscientização dos leituristas, que erroneamente inclinam o hidrômetro para facilitar a sua leitura. A Figura 3.24 mostra um exemplo da influência da inclinação na medição de um hidrômetro novo (medidor Lautaro). Os equipamentos mais modernos de medição possuem mecanismos de detecção de violação que ajudam a impedir tal atividade.

A má qualidade da água pode afetar sensivelmente os medidores, sejam eles volumétricos ou velocimétricos, caso haja partículas que se depositem no mecanismo de medição do hidrômetro e sólidos em suspensão na água. Os efeitos variam de acordo com o modelo e tipo de medidor. No caso de deposição, inicialmente a maioria dos medidores tendem a indicar sobremedição em médias e altas vazões e submedições em baixas vazões. Com o aumento de material depositado, cria-se resistência ao movimento das engrenagens, e todas as vazões podem passar a ser submedidas.

Onde o abastecimento de água é intermitente, ou seja, o cliente não recebe água de forma contínua, os medidores podem registrar a passagem de ar. O quanto da medição de ar está relacionado com a sobremedição é difícil de estimar. Este tema é polêmico e as interpretações são diversas.

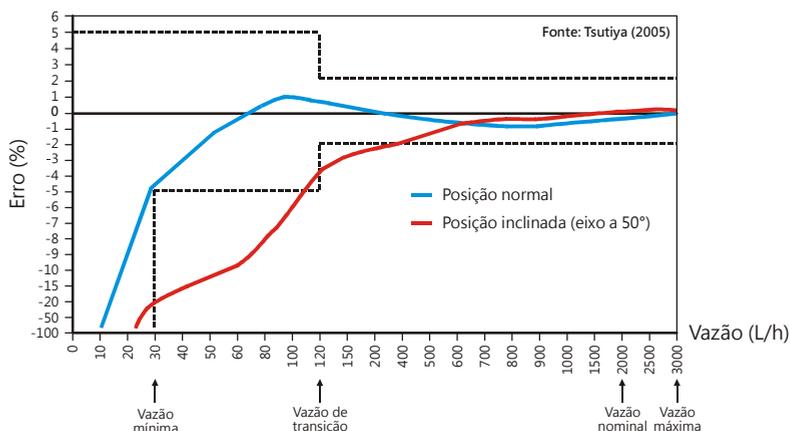


Figura 3.24 – Curvas de erro de um hidrômetro novo - posição normal e inclinada

No Brasil, é comum o uso de reservatórios domiciliares, que induzem as redes hidráulicas a fornecer baixas vazões. As boias convencionais são responsáveis por baixas vazões quando o nível do reservatório está quase completo, prejudicando a eficiência da medição dos hidrômetros. Quando a boia está fechando, o fluxo é pequeno e é comum que a vazão que passa pelo medidor permaneça abaixo do limite inferior estabelecido para o equipamento (vazão mínima), onde não é garantida a sua precisão, ocasionando um erro de leitura considerável. Porém, a intermitência em muitos sistemas de abastecimento torna o uso de caixas d'água indispensável.

Quanto maior a área do reservatório, maior é o volume abastecido em baixas vazões. Assim, os reservatórios mais altos e com menores áreas provocam menores erros de submedição. Ensaios realizados no IPT demonstraram a influência negativa dos reservatórios na submedição (Quadro 3.6).

Quadro 3.6 – Erro de medição em hidrômetros instalados em imóveis sem reservatório domiciliar e a montante do reservatório domiciliar

| Idade (anos) | Modelo 1 | | Modelo 2 | |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Imóveis sem reservatório domiciliar | Imóveis com reservatório domiciliar | Imóveis sem reservatório domiciliar | Imóveis com reservatório domiciliar |
| 1 a 3 | - 7% | - 12% | - 11% | - 23% |
| 4 a 5 | - 6% | - 16% | - 13% | - 28% |
| 6 a 8 | - 7% | - 17% | - 12% | - 20% |

A concessionária de água pode medir com boa precisão o consumo de seus clientes, mas, a menos que a integridade das leituras de consumo seja assegurada durante todo o processo de fatura da conta, erros podem aparecer nas contas de clientes ou relatórios de gestão. Acredita-se que os **erros cadastrais ou na contabilidade do consumo de água** sejam pouco significativos. Os principais motivos que ocasionam erro no manuseio das contas dos clientes são:

- Mudança no banco de dados das empresas.
- Alguns clientes que consomem, temporariamente, água sem registros de faturamento.
- Erro de leitura dos contadores.
- Erro humano na análise dos dados e do faturamento.
- Desatualização do cadastro dos clientes.

Leituristas incompetentes ou inexperientes leem os medidores incorretamente ou registram os dados erradamente, como, por exemplo, colocar uma vírgula no lugar errado. Medidores com visores sujos, defeituosos e em locais com difícil acesso também podem contribuir para o surgimento de erros nas leituras. Os leituristas devem comunicar imediatamente quaisquer problemas observados, e a equipe de manutenção deve tomar medidas para remediar o problema o mais breve possível. Se a ação de reparação é demasiada lenta, os leituristas ficam desmotivados e menos inclinados a relatar os problemas observados. Como os leituristas são os profissionais que estão em contato direto com os medidores e clientes, suas atividades têm um impacto imediato no fluxo de caixa da companhia. Os gestores das empresas devem, portanto, investir na formação e motivação de seus leituristas, de maneira que eles registrem e reportem as informações de forma eficaz e eficiente. O gerente também deve estabelecer sistemas e procedimentos para evitar os erros de leitura, melhorando os processos e estabelecendo rotas otimizadas.

Para a maioria das empresas, o banco de dados do sistema de informação dos clientes é a principal fonte de pesquisa. Quando a integridade deste sistema é corrompida por erros ou negligenciada, a avaliação dos programas de controle de perdas é altamente prejudicada. Da mesma forma, os dados de demanda de água para a modelagem dos sistemas de distribuição ou estudos de planejamento serão equivocados. As concessionárias de água têm muitos motivos técnicos para manter um bom banco de dados.

É comum haver incoerências nos dados arquivados, fato que geralmente é descoberto quando estes são solicitados para análises de gestão de perdas. Recentemente, foi feita uma análise em uma cidade do interior da Região Nordeste onde o índice de hidrometração é de 99%, e foi constatado que o valor dos consumos estimados (sem leitura) é superior a 30%. Em uma situação comum, é totalmente impossível que 1% dos consumidores (excluindo os grandes consumidores) sem hidrômetros resulte em uma parcela tão alta do volume faturado. Neste caso, o setor de cadastro da companhia ficou de verificar qual a falha nos dados.

Muitas empresas usam estimativas de consumo para clientes sem hidrômetros, com hidrômetros defeituosos, hidrômetros de difícil acesso ou com mostrador ilegível (Figura 3.22). As estimativas, que são utilizadas tanto de forma temporária como permanente, geralmente são imprecisas. Fato que é agravado quando as estimativas são concebidas sem critério ou não consideram o padrão de consumo dos clientes. O impacto no faturamento da companhia, quando a cobrança é realizada por estimativa, é sabido pela maioria dos técnicos. Nesta situação, com exceção de áreas muito carentes, dificilmente o usuário consome menos do que é cobrado como volume mínimo. É importante citar que algumas publicações consideram que o volume consumido por clientes que pagam uma tarifa fixa não pode ser contabilizado como perdas e sim como volume faturado (medido ou não). Esta situação se enquadra melhor nos países cuja cobrança é “fixa” e não tem como base diretamente o consumo efetivo. Alguns países, como a Inglaterra, não possuem medição individualizada. Os contratos de fornecimento de água preveem um determinado nível de consumo. Nestes casos, se não há hidrômetros, não

há perdas aparentes. A água distribuída para os setores é medida e rateada pela população abastecida. No caso do Brasil, o volume que excede o cobrado não é faturado por falha da empresa prestadora do serviço.

Apesar da ausência de hidrometração ser uma realidade de muitas companhias do Brasil, as vantagens da micromedição são bastante disseminadas no país. Atualmente, praticamente todas as empresas brasileiras buscam 100% de hidrometração, justamente por ser altamente difundida a grande perda de recursos financeiros ocasionada pela cobrança de faturas de água por estimativas ou volume mínimo. A hidrometração também tem por objetivo colaborar com o meio ambiente a partir da prática da economia de água e conscientização de cada usuário utilizar esse importante recurso natural sem desperdício. O usuário que paga um valor fixo, dificilmente se preocupa em poupar água.

A hidrometração com ligação e emissão de conta contribui para que o morador fique em alerta sobre importância da utilização racional da água e de evitar vazamentos e desperdícios. O usuário pagará conforme o volume de água consumido. Por exemplo, caso um morador deixe a caixa d'água sem boia ou o registro aberto, será inteiramente responsável pelos custos envolvidos no desperdício.

A Figura 3.25 mostra o índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado (IN_{010}) e o índice de perdas de faturamento (IN_{013}) dos prestadores regionais brasileiros (as chamadas companhias estaduais, prestadores que atendem a considerável número de municípios no mesmo estado, limítrofes ou não, uns dos outros). Uma simples análise da relação entre a micromedição e as perdas de faturamento, representada no Gráfico da figura, aponta os reflexos positivos da hidrometração sobre o controle da perda de faturamento, evidenciando que somente essa ação de controle seria suficiente para uma drástica redução neste tipo de perda. Ressalta-se que, no caso do SNIS, a perda de faturamento é calculada pela diferença do “volume produzido” e o “volume anual de água debitado ao total de economias (medidas e não medidas)” dividido pelo “volume produzido”. Logo, esta perda de faturamento inclui as perdas reais e aparentes, e o consumo autorizado não faturado.

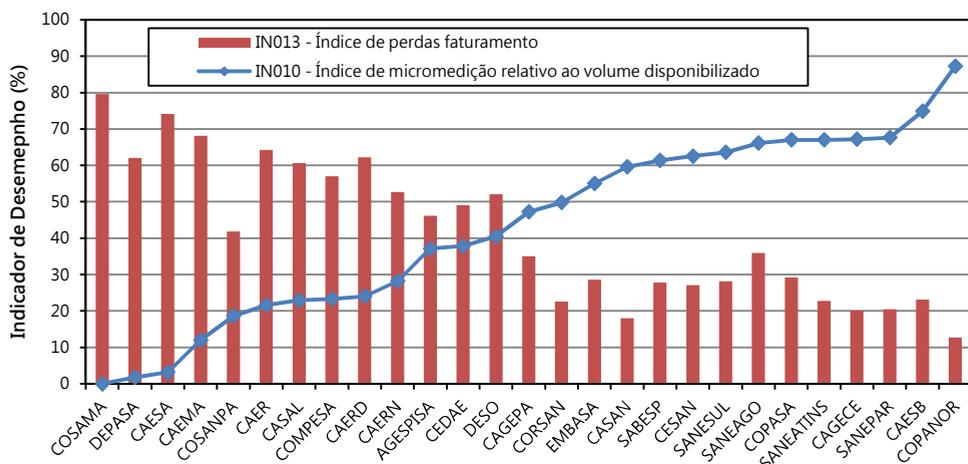


Figura 3.25 – Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado (IN_{010}) e índice de perdas de faturamento (IN_{013}) correspondente ao ano de 2010

A última das três principais ocorrências de perda de água aparente é o **consumo não autorizado**. O consumo não autorizado pode ocorrer de diversas maneiras, pois há sempre consumidores que buscam roubar da companhia. As ocorrências mais comuns são as ligações clandestinas e o uso fraudulento de água de descargas e hidrantes.



Figura 3.26 – Consumo não autorizado em área carente

Fonte: <http://aruradopantanal.blogspot.com.br>

As ligações clandestinas ocorrem por meio da instalação de um *bypass* (chamados popularmente de “gatos”) por parte dos clientes fraudadores, evitando que a água fornecida pela companhia passe pelo hidrômetro, ou através da religação sem autorização da companhia. A tubulação de desvio é, geralmente, enterrada e muito difícil de detectar, porém, quando a companhia tem uma boa gestão de informações, esta tem como detectar as religações arbitrárias. Para tanto, é necessário ter um sistema que emita relatórios com alertas para as situações onde o cliente permanece por um período longo sem “consumir”. Com exceção dos imóveis abandonados, é muito improvável que um cliente permaneça muito tempo sem água. Algumas companhias desconsideram de tal maneira o seu sistema de cadastro dos clientes, que possuem clientes com ligações ditas como cortadas em suas faturas que permanecem com o fornecimento inalterado, inclusive com a companhia realizando a leitura e emitindo as faturas normalmente. Neste caso, não há um sistema de informação de clientes eficiente. As concessionárias de água deveriam ter claramente definidas os regulamentos para a prestação de serviço de água e os meios para detectar falhas comuns nos processos de medição, distribuição e faturamento.

Dentre os consumos não autorizados, pode-se incluir o chamado “volume social”, que ocorrem em comunidades carentes ou áreas invadidas, onde não é possível a regularização das ligações nas redes de abastecimento. Nestes locais, as ligações clandestinas se proliferam e tem-se uma característica singular de perdas, pois além do consumo desta água, existem vários vazamentos em suas precárias ligações, ocasionando um volume perdido maior e um maior consumo de energia elétrica quando inseridos em áreas com *booster*. Entretanto, deve ser instalado um macromedidor na entrada da rede de distribuição, de modo que se conheça o volume exato abastecido e que o volume de água fornecido seja contabilizado como consumo autorizado não faturado.

Uma ação adotada por companhias brasileiras para minimizar o consumo das áreas citadas é a tarifa social, que estimula as comunidades carentes e os conjuntos habitacionais destinados a moradores de baixa renda a se manterem dentro da legalidade.

Para exemplificar, a SABESP colocou em prática, na Zona Leste da região metropolitana de São Paulo, o Projeto de Ações para Regularização, Integração e Transformação de Áreas Irregulares (Projeto Paritá). Segundo informações do Relatório de Sustentabilidade de 2011 da companhia, em 2011, foram regularizadas cerca de 1.300 ligações de água em 14 áreas ocupadas irregularmente; entre 2008 e 2010, outras 37 áreas haviam sido contempladas. Considerando os resultados obtidos nos últimos quatro anos, o universo dos domicílios com ligações irregulares localizados na Zona Leste da RMSP diminuiu em 22,5%. Vale dizer que essas ações também possibilitaram a redução de perdas de 2,3 milhões de m³ anuais de água.

3.5 Nível Econômico de Perdas

Considera-se que o combate às perdas possui dois níveis:

- **Limite Técnico** - aquele possível de se chegar utilizando todas as técnicas, tecnologias e recursos disponíveis (perdas inevitáveis).
- **Limite Econômico** - nível de perdas em que o custo para recuperar um determinado volume supera o custo de produção e distribuição desse volume. Normalmente, este limite é atingido antes do limite técnico.

Por melhor que seja a gestão de um sistema de distribuição de água, as perdas não podem ser eliminadas totalmente, ou seja, não existe “perda zero” de água. O volume mínimo de perdas de água que um sistema pode ter é chamado de perdas inevitáveis. A diferença entre a perda existente e a perda inevitável representa o volume de perdas potencialmente recuperável.

A operação de um sistema no nível econômico de perdas resulta na mais baixa combinação entre o custo das ações de controle de perdas e o preço da água perdida. Logo, não é econômico operar os sistemas com as perdas entre o nível econômico de perdas e o nível das perdas inevitáveis (Figura 3.27).

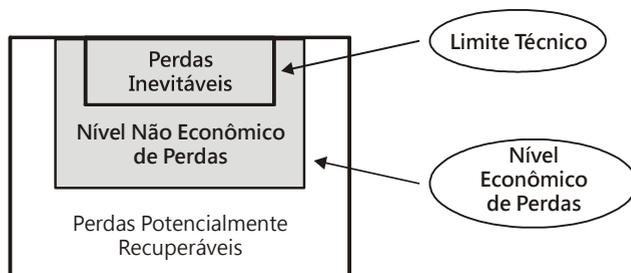


Figura 3.27 – Níveis de perdas (reais ou aparentes)

O nível econômico de perdas (na terminologia anglo-saxônica, *Economic Level of Leakage*) pode ser definido como a situação em que o custo marginal do controle de perdas equilibra o custo marginal da água perdida.

Como determinar o ponto ótimo? Este ponto é definido com base em critérios econômicos. Os prestadores devem procurar gerir as perdas, a fim de minimizar os custos globais de operação. Obviamente, à medida que o índice de perdas cai, o custo específico ($\$/m^3$) para redução do volume perdido aumenta. Por esta razão, nunca é econômico para a empresa tentar remover 100% das perdas de água, a não ser em regiões onde os Recursos Hídricos são altamente escassos. O nível econômico/ótimo de perdas corresponde à situação em que o custo de redução da perda de $1 m^3$ é igual ao ganho recuperado por um $1 m^3$.

O ótimo econômico é o ponto de equilíbrio em que o valor da água perdida (perdas reais ou aparentes), mais o custo de reduzir o volume de perdas é mínimo. Existem diversos modelos para determinar o volume de perda ótimo em longo prazo, onde a maioria são complexos e trabalhosos. No entanto, para análise em curto prazo, a análise econômica é basicamente a comparação dos custos de intervenção e os benefícios econômicos oriundos da diminuição das perdas (reais e aparentes), abordando, assim, o problema de forma simples e objetiva. Detalhes e exemplos sobre a avaliação econômica de projetos são apresentados no Capítulo 7.

No caso das perdas reais, não há como tornar uma rede 100% estanque. O reparo de todos os vazamentos detectáveis não isenta as redes de abastecimento das perdas inerentes, que continuam ocorrendo nos registros, hidrantes, juntas, tubulações etc. Os principais fatores locais que afetam o nível econômico de perdas reais são:

- Localização da rede.
- Topografia da região.
- Custo de mão de obra.
- Custo da água.
- Pressão de serviço.
- Idade e estado de conservação da infraestrutura.
- Métodos utilizados para controle de vazamentos - quanto mais dispendioso, mais alto será o nível econômico de perdas.

Cada sistema de distribuição de água possui diferentes tipos e graus de perda e cada um tem as ações mais apropriadas. É importante que, conjuntamente com a análise econômica, as alternativas técnicas sejam identificadas e hierarquizadas. Estas alternativas devem considerar as peculiaridades locais e a sustentabilidade econômica e técnica da solução adotada.

CAPÍTULO 4

Indicadores de Desempenho

A avaliação de desempenho em organizações permite medir as metas e os objetivos da prestação de serviços. De fato, é uma prática bastante comum no setor de saneamento e se apresenta como a melhor alternativa para acompanhamento dos serviços prestados, com aplicações diretas para os gestores, as agências reguladoras, os investidores, os usuários, a sociedade e os próprios prestadores de serviços.

Segundo a definição da NBR ISO 24512/21012, os Indicadores de Desempenho são utilizados para medir a eficiência e a eficácia de um prestador de serviço em atingir seus objetivos. É importante que os sistemas de indicadores de desempenho sejam considerados como um instrumento essencial para avaliação entre as várias ferramentas existentes, e que sejam utilizados no contexto de um sistema abrangente de avaliação do serviço.

Os Indicadores de Desempenho são amplamente utilizados como ferramenta para avaliação de performance dos serviços de abastecimento de água. Há diversos órgãos no mundo (Banco Mundial, *International Water Association*, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal, *Office of Water Services* - Reino Unido, *Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas* etc.) que estabeleceram seus próprios indicadores para avaliação dos prestadores de serviço de saneamento. Os indicadores são utilizados como instrumentos de *Business Intelligence* e envolvem não apenas aspectos econômicos, mas também operacionais. Sua principal qualidade, se bem desenvolvidos, é apresentar valores numéricos que permitem aos técnicos terem informações claras, concisas e simples.

Os Indicadores de Desempenho exercem um importante papel na transparência dos serviços prestados, fato valorizado para o setor de saneamento dado à sua natureza de serviço público e essencial, ou seja, de interesse de todos.

Segundos os conceitos apresentados no Guia Técnico “Guia de Avaliação da Qualidade dos Serviços de Águas e Resíduos Prestados aos Utilizadores - 2ª Geração do Sistema de Avaliação” da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal (ERSAR), os indicadores de desempenho são medidas de avaliação quantitativa da eficiência e da eficácia de um elemento do serviço prestado pela entidade gestora. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço. A eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos específica e realisticamente, são cumpridos. No seu conjunto, os indicadores de desempenho selecionados traduzem, de modo

sintético, os aspectos mais relevantes da qualidade do serviço de uma forma que se pretende verdadeira e equilibrada. Cada indicador, ao contribuir para a quantificação do desempenho sob um dado ponto de vista, numa determinada área e durante um período de tempo, facilita a avaliação do cumprimento de objetivos e o estudo da sua evolução ao longo do tempo. Desta forma, simplifica-se uma análise que por natureza é complexa.

Os indicadores são necessários para que as empresas de saneamento analisem o comportamento dos sistemas ao longo do tempo e viabilizem a comparação entre sistemas, que podem ser da própria empresa ou de empresas regionais, nacionais ou internacionais, contribuindo para induzir a melhoria da eficiência e da eficácia.

A quantificação dos indicadores é primordial para o refinamento da gestão e podem alavancar de sobremaneira o processo de decisão organizacional. Em resumo, estes permitem a identificação mais fácil dos problemas e a consequente promoção das medidas corretivas, além de apoiarem à formulação de políticas e estratégias mais eficientes. São capazes de possibilitar uma visão abrangente, de forma a se obter avaliações consistentes sobre o desempenho dos serviços.

Os indicadores de desempenho são tipicamente expressos pela razão de duas variáveis. Por exemplo, o indicador geral de perdas, que representa a razão entre o volume consumido e o volume produzido. Geralmente, o denominador representa uma dimensão do sistema em análise ou do operador (por exemplo, o número de ramais domiciliários, o comprimento da tubulação e os custos anuais). O uso de variáveis suscetíveis a variações significativas de ano para ano por fatores externos ao operador (por exemplo, o consumo anual de água, que depende de fatores meteorológicos, realização de grandes eventos etc.) não deve ser adotado como denominador, a não ser que esta variação se reflita no numerador na mesma proporção (ALEGRE *et al.*, 2004).

Os indicadores de desempenho permitem às companhias:

- Acompanhar os procedimentos de auditoria.
- Diminuir a assimetria de informações e incrementar a transparência nas empresas que prestam serviços públicos.
- Avaliar objetivamente e sistematicamente a prestação dos serviços.
- Comparar unidades distintas, da mesma empresa ou de empresas diferentes (*benchmarking*).
- Verificar a evolução de um sistema ao longo do tempo.
- Melhorar a qualidade e agiliza a resposta dos gestores e técnicos.
- Subsidiar estratégias para estimular a expansão e a modernização da infraestrutura.
- Monitorar com eficácia os efeitos das decisões tomadas.
- Melhorar a produtividade e modernizar os procedimentos e rotinas operacionais.
- Auxiliar o acompanhamento e a verificação do cumprimento dos contratos, incluindo a assistência do atendimento de metas operacionais e a avaliação do equilíbrio econômico e financeiro da prestação dos serviços.
- Uma abordagem de gestão proativa.

Apesar dos indicadores de desempenho apresentarem informações relevantes à gestão, são inevitavelmente uma visão parcial da realidade, não incorporando toda a complexidade do sistema. Assim, o seu uso descontextualizado pode levar a interpretações erradas. É necessário

analisar sempre os indicadores de desempenho em conjunto, com conhecimento de causa, e associados ao contexto em que se inserem.

Geralmente, os indicadores são utilizados para estabelecimento de metas nos planos estratégicos e nos programas de redução de perdas de água e energia das companhias de saneamento. Neste caso, é interessante que o sistema de avaliação se desdobre em indicadores quantitativos e qualitativos de curto, médio e longo prazo, sempre alinhados com os objetivos e metas dos programas.

Outro papel importante que os indicadores de desempenho exercem no setor de saneamento está nas atividades de regulação do setor. Eles são reconhecidos como ferramentas para avaliação do atendimento aos objetivos da regulação, tais como a modicidade tarifária, a eficiência, a eficácia e a garantia do atendimento aos padrões. Com base nos dados dos indicadores, as agências reguladoras podem exigir mais eficiência e elaborar planos de metas progressivas para a melhoria da qualidade do serviço. Os indicadores de desempenho traduzem sistemas complexos em informações objetivas e de fácil interpretação, permitindo a verificação por parte das agências reguladoras.

4.1 Sistemas de Indicadores de Desempenho

Um indicador de desempenho analisado individualmente tem pouco interesse prático, podendo até conduzir a conclusões erradas. É importante que a avaliação de desempenho atenda, simultaneamente, pontos de vista relevantes e seja realizada com o apoio de um sistema de indicadores de desempenho. Não se recomenda selecionar um único indicador para fazer um diagnóstico.

A seleção dos indicadores deve reunir um conjunto de requisitos. Os principais são:

- Ser representativo e abrangente.
- Conter definições precisas. Devem permitir o cálculo simples pelos gestores. Geralmente, indicadores que requerem grandes esforços para serem calculados não são representativos.
- Permitir fácil adaptação a situações concretas.
- Ter compreensão simples. A facilidade para que os técnicos tirem suas conclusões a partir de um indicador é fundamental para a sua utilidade.
- Resposta rápida. Dados atrasados, que não representam a situação atual, não são válidos.
- Compatibilidade com os métodos de coleta disponíveis.
- Possibilitar a verificação por entidades independentes, como as agências reguladoras, que realizam auditorias externas.
- Para que seja feita uma avaliação de desempenho apropriada, o número de indicadores de desempenho deve ser cuidadosamente ponderado. Tendo em conta os objetivos e perspectivas da avaliação. A estrutura elementar de um Sistema de Avaliação de Desempenho pode ser definida por três vetores essenciais:
 - Prestação de serviços – a proteção dos interesses dos usuários dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário é avaliada através da maior ou menor acessibilidade que têm aos serviços e da qualidade dos mesmos, subdividindo-se em vários aspectos: acessibilidade e qualidade do serviço prestado.

- Gestão empresarial – a proteção da sustentabilidade técnica e econômico-financeira da prestação dos serviços é avaliada através dos seguintes aspectos: capacidade e condições das infraestruturas, recursos humanos e indicadores econômico-financeiros.
- Sustentabilidade ambiental – a proteção ambiental, com relação aos critérios de eficiência na utilização de recursos naturais associados à sustentabilidade ambiental.

Em se tratando do problema de perdas no setor de saneamento, pode-se exemplificar um sistema de avaliação de desempenho que considere os três vetores citados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Exemplo de um conjunto de indicadores de desempenho para medir o problema de perdas em sistemas de abastecimento de água

| Vetor | Objetivo | Indicador |
|----------------------------|---|--|
| Prestação de Serviços | Este indicador avalia o nível de qualidade de serviço fornecido ao usuário, no que diz respeito à disponibilização do serviço de abastecimento de água. É definido pela duração total de paralisações por mês, expresso em horas por dia. | $I_{CONTINUIDADE} = 24 - \frac{D_{PARALISAÇÕES}}{N_{DIAS}}$ <p>$D_{PARALISAÇÕES}$: duração das paralisações N_{DIAS}: número de dias</p> |
| Gestão Empresarial | Este indicador avalia a gestão empresarial do prestador de serviços em termos de vazamentos em redes, ligações e acessórios por 100 km de rede. | $I_{INFRA} = \frac{N_{VAZAMENTOS}}{100 \text{ km/ano}}$ <p>$N_{VAZAMENTOS}$: número de ocorrências de vazamentos no ano</p> |
| Sustentabilidade Ambiental | Este indicador avalia a gestão ambiental do prestador de serviços. É definido como a razão entre o volume de água perdido e o número de ligações ativas. | $I_{PERDAS} = \frac{V_{PERDAS}}{N_{LIGAÇÕES}}$ <p>V_{PERDAS}: volume de água perdido por dia $N_{LIGAÇÕES}$ o número de ligações ativas</p> |

A implementação de indicadores de desempenho deve ocorrer de forma progressiva, de modo a permitir a adaptação consistente dos técnicos. A estratégia inicial é adaptar o sistema às reais condições de operação, enquanto, paralelamente, se impõem metas, uma visão empresarial e unidades de negócios. Antes de estabelecer as condições de indicadores de desempenho para um sistema de abastecimento, é importante que o gestor leve em conta a condição atual das instalações do sistema, a fim de definir níveis de desempenho que são viáveis, bem como incorporar na análise desses indicadores aspectos que reflitam o aumento da eficiência do sistema. Assim, uma avaliação da condição inicial facilita o estabelecimento de metas alcançáveis e desafiadoras.

As fases de implantação de um sistema de indicadores são:

- Definição dos objetivos do sistema de indicadores.
- Definição da estratégia da avaliação de desempenho.
- Seleção dos indicadores de desempenho relevantes.

- Identificação dos dados requeridos para cálculo dos indicadores e descrição de seu contexto.
- Definição da frequência de cálculo dos indicadores.
- Seleção ou desenvolvimento do programa de apoio.
- Aquisição, validação e entrada de dados.
- Implementação do sistema (cálculo dos indicadores, elaboração de relatórios e interpretação dos resultados).

Os relatórios devem conter, obviamente, os valores dos indicadores (comparados com valores de referência sempre que possível) e informações complementares relevantes para a interpretação. O monitoramento de indicadores de desempenho deve ser consolidado em relatórios periódicos, com um período não superior a um ano.

Como resultado da implantação de um sistema de indicadores, espera-se a definição e implementação de medidas de melhoria e ajuste dos objetivos pretendidos, identificando os sistemas mais ineficientes, as principais áreas que devem ser avaliadas e as medidas prioritárias que devem ser adotadas. Os indicadores precisam ser permanentemente reavaliados, visando a sua adequação progressiva às necessidades da empresa. Ao longo das discussões para reavaliação do sistema de indicadores é comum a inclusão de novos indicadores.

A análise e a interpretação dos indicadores de desempenho de uma prestação de serviços devem estar sempre contextualizadas, sendo indispensável as considerações sobre os principais fatores explanatórios associados a cada indicador. Em muitos casos, esses fatores causam impactos determinantes nos resultados apresentados em seu desempenho. Exemplificando, há localidades em que a geografia e a formação topográfica possibilitam a adoção de sistemas por gravidade, enquanto outros a energia para adução através de bombas é a única opção para a distribuição da água. Caso compararmos isoladamente o indicador de eficiência energética, sem levar em consideração as características topográficas, pode-se erroneamente constatar que há uso excessivo de energia elétrica no segundo sistema, o que é, obviamente, uma interpretação totalmente equivocada.

Assim, sugere-se que sejam apresentados, para cada indicador, os principais fatores explanatórios relevantes para o desempenho da prestação dos serviços. Os fatores podem ser classificados como externos, que são independentes de opções de gestão, por exemplo, clima, sazonalidade, ocupação urbanística, topografia etc., ou internos, como a idade média da infraestrutura ou as características que geram mais impactos nos sistemas e na gestão.

Para a construção de cada indicador, as seguintes informações devem ser registradas:

- Nome do indicador de desempenho.
- Unidade de medida do indicador de desempenho.
- Tipo do indicador de desempenho.
- Descrição do Indicador – descrição sucinta do que o indicador mede ou demonstra.
- Fórmula de cálculo – detalhamento da fórmula de cálculo, com descrição dos seus elementos constituintes e respectivas unidades de medida, inclusive se algum elemento for outra fórmula, descrevê-la por completo.
- Origem dos componentes da fórmula de cálculo – indicação da fonte de onde será retida a informação para cada elemento da fórmula.

- Faixa de aceitação – definição da faixa de aceitação do indicador (limites inferior e superior da faixa).
- Pré-avaliação dos resultados – descrição simplificada de como interpretar os valores obtidos pela aplicação do indicador. Relacionar valores com avaliações do tipo bom, regular, ruim; baixo, médio, alto etc.
- Periodicidade de aplicação – definição da periodicidade de aplicação do indicador (semanal, quinzenal, mensal, anual etc.).
- Fatores explanatórios.

Os fatores explanatórios auxiliam a interpretação de alguns indicadores de desempenho, sem interferir nos resultados efetivamente obtidos na análise. Para isso, o melhor a ser feito é que o prestador de serviço selecione e identifique quais os fatores explanatórios que são relevantes para cada indicador.

Quadro 4.2 – Exemplos de fatores explanatórios para indicadores relacionados com o fornecimento de água

| |
|---|
| Continuidade |
| <ul style="list-style-type: none"> - Elevado nível de envelhecimento e/ou degradação do sistema. - Baixa disponibilidade de água na origem em quantidade e/ou qualidade. - Existência de condições contratuais com impacto na reabilitação de tubulações e redes. |
| Capacidade de reserva |
| <ul style="list-style-type: none"> - Existência de condições contratuais com impacto na capacidade de reserva. - Picos de consumo. |
| Reabilitação da rede |
| <ul style="list-style-type: none"> - Elevado nível de envelhecimento e/ou degradação das tubulações. - Existência de condições contratuais com impacto na reabilitação das tubulações. |
| Vazamentos |
| <ul style="list-style-type: none"> - Elevado nível de envelhecimento e/ou degradação do sistema. - Problemas com pressões (mínima, máxima e variação). - Topografia da região. - Existência de condições contratuais com impacto na reabilitação das tubulações. |
| Perdas por ligação ativa |
| <ul style="list-style-type: none"> - Elevado nível de envelhecimento e/ou degradação do sistema. - Elevado nível de envelhecimento e/ou degradação do parque de hidrômetros. - Existência de condições contratuais com impacto no controle das perdas. <ul style="list-style-type: none"> - Elevado nível de usos não autorizados. - Pressões elevadas. |

Para que o sistema de indicadores de desempenho seja confiável é necessário que haja qualidade nos dados. Um indicador é denominado confiável quando seus valores, ao longo das medições, encontram-se nos limites (bandas) de referência determinados pelo *benchmarking* internacional. Para avaliação da confiança dos dados fornecidos para cálculo dos indicadores, devem-se adotar metodologias/equipamentos que medem a exatidão dos dados.



Figura 4.1 – Balança de peso morto para calibração de transdutores de pressão

Ressalta-se que nenhum tipo de medidor de vazão pode ser considerado indefinidamente inalterado quanto à sua exatidão, ou seja, a calibração sistemática e periódica deve ser praticada quaisquer que sejam os medidores instalados. Caso as condições operacionais ou a situação da instalação do macromedidor não permita sua retirada para calibração em bancada, recomenda-se realizá-la em campo por meio de estação pitométrica associada ao medidor.

O sistema de indicadores de desempenho é uma ferramenta poderosa para gerenciar serviços públicos de água. Existe disponível para *download* gratuito no site www.sigmalite.com o programa **Sigma Lite**. Este apresenta o conjunto de indicadores de desempenho proposto pela IWA e auxilia o usuário no processo de seleção e implementação de um sistema de indicadores. Sigma Lite foi lançado oficialmente em julho de 2000, como parte do manual de boas práticas da IWA e do documento *Performance Indicators for Water Supply Services*. Nos anos seguintes surgiram novas versões à medida que os testes de campo possibilitaram novos aperfeiçoamentos. O *Instituto Tecnológico del Agua (Universitat Politècnica de València)* incluiu no referido site um mecanismo que permite a execução de atualizações automaticamente.

4.2 Indicadores de Perdas de Água

Desde a década de 1990, observam-se enormes avanços na sistematização de bases de dados e referenciais de desempenho dos serviços de saneamento, tanto no Brasil como no exterior. No Brasil, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS foi criado em 1995⁴, no âmbito do Programa de Modernização do Setor Saneamento - PMSS. Na estrutura atual do Governo Federal, o SNIS é gerenciado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, sendo o maior sistema de informações sobre a prestação de serviços de saneamento do Brasil, possuindo um grande acervo de informações e indicadores relevantes para os diversos segmentos com atuação no setor saneamento do país.

⁴ A Lei 11.445/2007 criou o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), institucionalizando o atual SNIS e ao mesmo tempo dando a ele maior envergadura em termos de abrangência e escopo.

O sistema foi desenvolvido com base em um banco de dados administrado na esfera federal. O banco de dados foi composto a partir de informações de caráter operacional, financeiro e gerencial, fornecidas pelos prestadores de serviços⁵. O SNIS foi concebido de forma a permitir a construção de séries históricas articuladas com os antigos relatórios publicados nos Catálogos Brasileiros da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES.

O principal produto extraído do SNIS é o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, que divulga anualmente a base de dados do sistema. O conjunto completo dos dados pode ser acessado gratuitamente no site do SNIS (www.snis.gov.br). As informações são fornecidas por companhias estaduais, autarquias municipais, empresas privadas e, em muitos casos, por prefeituras. Os dados permitem identificar, com elevado grau de objetividade, os aspectos da gestão dos respectivos serviços nos municípios brasileiros. O Diagnóstico 2011 apurou informações sobre abastecimento de água em 4.941 municípios e sobre esgotamento sanitário em 2.925 municípios, que correspondem a 97,3% e 86,6%, respectivamente, da população urbana do país (SNIS, 2013). Apesar dos dados serem fornecidos pelas próprias empresas e nem sempre serem reais, o SNIS permite ao Brasil ter seu próprio *benchmarking*. Apesar de ser uma base de referência imprescindível, este apresenta duas deficiências que devem ser destacadas: tempestividade (curto prazo para coleta de dados, organização, revisão e publicação) e falta de certificação das informações (ausência de auditoria, que interfere na qualidade dos resultados).

O sistema mostra ainda as diversas definições e terminologias dos indicadores e variáveis, que ainda se apresentam de forma consolidada em glossários públicos para todo o setor. Composto por serviços de água, esgotos e manejo de resíduos sólidos, o SNIS abrange aspectos operacionais, administrativos, econômico-financeiros, contábeis e de qualidade dos serviços, permitindo identificar, com elevado grau de objetividade, os aspectos da gestão dos respectivos serviços nos municípios brasileiros.

Os indicadores calculados pelo SNIS são apresentados nos Diagnósticos agrupados por famílias de mesma natureza. As famílias de mesma natureza são:

- Indicadores econômico-financeiros e administrativos.
- Indicadores operacionais – água.
- Indicadores operacionais – esgoto.
- Indicadores de balanço contábil.
- Indicadores sobre qualidade dos serviços.

Desconhecido da maioria dos usuários, o **Aplicativo da Série Histórica** do SNIS está disponível no site do SNIS e disponibiliza de forma amigável todo esse acervo de dados do Sistema, possibilitando acesso irrestrito às informações e indicadores constantes do banco de dados, em seus dois componentes: "água & esgotos" e "resíduos sólidos". A disposição das consultas em abas e o menu de opções tornam a navegação simples e intuitiva, permitindo ao usuário encontrar de forma rápida os dados procurados. Suas diversas funcionalidades permitem a realização de consultas, a exportação dos dados para planilhas eletrônicas e a elaboração de gráficos e mapas.

⁵ Para o SNIS, prestador de serviços corresponde à entidade legalmente constituída para administrar serviços e operar sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário ou manejo de resíduos sólidos, podendo ser empresa, autarquia, fundação, organização social ou, ainda, secretaria ou departamento da prefeitura municipal.

Da experiência estrangeira, destaca-se o sistema IWA PI (ALEGRE *et al.*, 2006), que vem sendo desenvolvido desde 1998 e testado em vários países como instrumento de apoio à gestão e regulação dos serviços de abastecimento público de água (GALVÃO JUNIOR e XIMENES, 2008). Em julho de 2000, A IWA publicou a primeira edição do Manual de Boas Práticas (*Manual of Best Practice*), que apresentou o sistema de indicadores da IWA. Estes indicadores foram desenvolvidos com a colaboração de gestores, profissionais e pesquisadores do mundo todo. Os indicadores de perdas propostos pelo IWA classificam-se em três níveis: básicos, intermediários e avançados. A seguir, detalha-se cada um dos níveis:

- **Básicos:** composto por indicadores derivados de informações técnicas mínimas, exigíveis de todos os sistemas indistintamente; fornecem uma síntese da eficiência e da eficácia do operador. São basicamente as perdas percentuais ou volumétricas associadas à extensão da rede ou ao número de ligações, em termos de perdas totais.
- **Intermediários:** composto por indicadores derivados de informações técnicas específicas mais refinadas do que as utilizadas nos indicadores do nível básico; permitem um conhecimento mais pormenorizado que os indicadores do nível básico, para uma análise mais profunda. Têm a mesma forma que os indicadores básicos, mas separando perdas reais de perdas aparentes.
- **Avançados:** composto por indicadores derivados de informações técnicas que, adicionalmente aos atributos das anteriores (níveis básico e intermediário) envolvem um grande esforço de monitoramento e controle operacional, utilizando técnicas e equipamentos mais sofisticados. Relacionam as perdas reais à pressão de operação da rede.

Os indicadores de desempenho da IWA são apresentados no Guia Técnico - Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água (ALEGRE *et al.*, 2004), disponível para *download* gratuito no site da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal - ERSAR (<http://www.ersar.pt>). Este Guia corresponde a uma versão revista da 1ª edição do sistema de indicadores da IWA. Contém ainda alguns comentários e adaptações adicionais relativos ao uso em Portugal deste sistema.

Segundo a classificação da IWA, os indicadores de desempenho voltados para análise do abastecimento de água podem ser agrupados nos seguintes grupos:

- Indicadores de recursos hídricos.
- Indicadores de recursos humanos.
 - Pessoal total.
 - Pessoal por função principal.
 - Pessoal da gestão técnica por tipo de atividade.
 - Qualificação do pessoal.
 - Formação do pessoal.
 - Saúde e segurança do pessoal.
- Indicadores infraestruturais.
 - Tratamento.
 - Armazenamento.
 - Bombeamento.
 - Adução e distribuição.
 - Automação e controle.

- Indicadores operacionais.
 - Inspeção e manutenção de infraestruturas.
 - Reabilitação de tubulações, de válvulas e de ramais.
 - Reabilitação de grupos eletrobomba.
 - Perdas de água.
 - Avarias.
 - Medição de vazão.
 - Monitoramento da qualidade da água tratada.
- Indicadores de qualidade de serviço.
 - Serviço.
 - Cobertura.
 - Reclamações.
- Indicadores econômico-financeiros.
 - Proveitos.
 - Custos.
 - Investimento.
 - Preço médio de venda de água.
 - Indicadores de eficiência.
 - Indicadores de desempenho econômico-financeiro.

Tanto o sistema de indicadores da IWA PI como o SNIS, apresentam indicadores de interesse inegável à regulação, por envolverem aspectos de eficácia final dos serviços. Mas nem todos os indicadores se prestam diretamente à regulação. Ao contrário, a formalização de um referencial excessivamente extenso de indicadores tenderia a dispersar e tornar fluida a relação normativa entre o serviço regulado e sua eficácia final. Hoje, a facilidade de tratar dados e gerar relatórios pode levar a uma falsa ideia de completude que, ao invés de ajudar, atrapalha o trabalho de regulação e controle sobre os serviços. A grande disponibilidade de informações setoriais acessíveis a partir de múltiplas bases de dados não resolve, por si mesma, o desafio de estabelecer relações de nexos entre os objetivos finais da ação pública e o desempenho das ações meio em diferentes estágios de seus processos de planejamento e execução (GALVÃO JUNIOR e XIMENES, 2008).

Especificamente, em relação a projetos de perdas de água e de energia, o Projeto COM+ÁGUA classifica os indicadores em: desempenho geral, operacionais, específicos de energia elétrica e mobilização social.

A seguir, são apresentados e discutidos os principais indicadores de perdas adotados no setor de saneamento. A descrição de todos os indicadores das instituições citadas no texto é encontrada nos seus sites.

4.2.1 Indicador Geral de Perdas na Distribuição

Segundo informações da AWWA, acredita-se que o cálculo da perda por meio do indicador geral de perdas de água tenha sido documentado pela primeira vez em 1957 no relatório da AWWA *Revenue Producing vs. Unaccounted for Water*. Nas décadas seguintes, este

indicador foi adotado por diversas empresas e agências para medir a perda de água. Infelizmente, há falhas na aplicação e análise deste indicador. Desde a publicação do relatório *Applying Worldwide Best Management Practices in Water Loss Control*, em 2003, a AWWA recomenda o uso da terminologia *non-revenue water* (água não faturada) e os indicadores da IWA.

As comparações entre indicadores percentuais de sistemas de abastecimento estruturalmente muito diferentes entre si levam a distorções muito grandes na interpretação. O caso mais emblemático é quando se compara um sistema com elevado consumo per capita com outro com baixo consumo per capita. Para um mesmo volume perdido, aquele sistema com maior consumo per capita obterá um indicador substancialmente menor do que o outro com menor consumo per capita. Igualmente, a presença de concentrações elevadas de indústrias (grandes consumidores) em determinado sistema também leva à obtenção de índices percentuais de perdas mais baixos (Eng. Civil Jairo Tardelli Filho, Revista DAE n. 181, 09/2009, p. 35).

O indicador geral de perdas na distribuição, referenciado no SNIS como IN₀₄₉, relaciona o volume disponibilizado ou de entrada no sistema com o consumo autorizado. É considerado um indicador básico e não pode ser aplicado para fins operacionais. A água que é disponibilizada e não é utilizada, constitui uma parcela não contabilizada, que incorpora o conjunto de perdas reais e aparentes no subsistema de distribuição. Os volumes disponibilizados e utilizados são anuais.

$$IN_{049} (\%) = \frac{V_F - V_{CA}}{V_F} \times 100 \quad (4.1)^6$$

onde V_F é o volume fornecido (entrada no sistema); V_{CA} é o volume de consumo autorizado (volume de água consumido por todos os usuários, compreendendo o volume micromedido somando com o volume de consumo estimado para as ligações desprovidas de hidrômetro ou com hidrômetro parado). O V_{CA} não deve ser confundido com o volume de água faturado, pois para o cálculo desse último, as empresas adotam consumos mínimo ou médio. De forma geral, índices superiores a 40% representam más condições do sistema quanto às perdas. Numa condição intermediária, estariam os sistemas com índices de perda entre 25% e 40%, enquanto valores abaixo de 25% indicam sistemas com bom gerenciamento de perdas.

Existem várias críticas em relação ao Indicador Geral de Perdas na Distribuição, as principais são:

- O uso isolado desse indicador traz muitas distorções na análise de desempenho e comparação entre os sistemas.
- Dificuldade na compatibilização entre os períodos de medição da água disponibilizada e consumida.
- Dificuldade na compatibilização física entre os grupos de leitura de hidrômetros e os setores de macromedição.

⁶ A nomenclatura e a definição das variáveis empregadas para o cálculo dos indicadores neste livro não são descritas da mesma forma que são apresentadas nos diagnósticos do SNIS, porém os cálculos representam fielmente os indicadores. Optou-se por rescrever a equação para facilitar o entendimento por parte do leitor.

- Falta de padronização entre os diversos sistemas brasileiros das definições dos componentes utilizados na fórmula de cálculo.
- A utilização da relação percentual entre volumes (disponibilizado e consumido) não são apropriados para expressar perdas.

Ressalta-se que este indicador não é adequado para a comparação de desempenho entre sistemas e prestadores de serviços distintos, principalmente porque não levam em consideração características que implicam diretamente no grau da perda de água dos sistemas, como, por exemplo, topografia, comprimento das tubulações, números de ligações e a forma como o sistema é operado e mantido. A conotação dada pela IWA é que esse é um “indicador financeiro” da companhia, não primordialmente “técnico”.

Apesar do que foi citado anteriormente, é importante a apuração sistemática do Indicador Geral de Perdas, que mostrará, com certo grau de fidelidade, as tendências e a evolução das perdas nos sistemas e nas companhias, constituindo-se em uma ferramenta útil para o controle e acompanhamento do nível de perdas.

4.2.2 Índice Bruto de Perdas Lineares

Na busca de um indicador que seja adequado para comparar sistemas de abastecimento de água distintos, foram apresentados alguns indicadores que considerem a pressão de serviço, a extensão da rede, o número e comprimento das ligações etc.

O índice bruto de perdas lineares, referenciado como IN_{050} (SNIS) e Op24 (IWA), relaciona a diferença entre o volume disponibilizado e o volume utilizado ao comprimento da rede. As perdas que são expressas por este indicador incorporam as perdas reais e aparentes, uma vez que não se controlam os desvios sistemáticos de medição. Este indicador, classificado como intermediário e operacional, é calculado para se ter a distribuição das perdas ao longo da extensão da rede, apresentando valores altos quando há uma ocupação urbana muito elevada.

$$IN_{050} \text{ (m}^3\text{/km/dia)} = \frac{V_F - V_{CA}}{EXT \times D} \quad (4.2)$$

onde V_F é o volume fornecido (m^3); V_{CA} é o volume de consumo autorizado (m^3), EXT é a extensão total da rede (km) e D é a duração do período de referência (dias). Sugere-se aplicar o indicador para sistemas que possuem um número inferior a 20 ligações/km de rede, o que representa geralmente sistemas de adução e subúrbios com características mais próximas à ocupação rural.

A IWA apresenta o índice bruto de perdas lineares especificamente para as perdas reais, o Op28 (perdas reais por comprimento de conduta).

$$OP_{28} \text{ (L/km/dia com sistema em pressão)} = \frac{1000 \times P_{REAIS}}{EXT \times T / 24} \quad (4.3)$$

onde P_{REAIS} é o volume de perdas reais (m^3); EXT é a extensão total da rede (km); e T é o tempo médio de pressurização do sistema.

4.2.3 Índice de Perdas por Ligação

O índice de perdas por ligação, referenciado como IN₀₅₁ (SNIS) e Op23 (IWA), classificado como intermediário e operacional, relaciona a diferença entre volume disponibilizado e volume utilizado ao número de ligações ativas. Este também é um indicador volumétrico de desempenho, e as magnitudes obtidas neste indicador incorporam as perdas reais e aparentes. Como tende a dar valores muito elevados em áreas com baixa ocupação urbana, recomenda-se seu uso para sistemas que possuem um número superior a 20 ligações/km de rede, valor que ocorre praticamente em todas as áreas urbanas. Logo, deve-se adotar apenas o IN₀₅₀ ou o IN₀₅₁, em alternativa.

$$IN_{051} \text{ (litros/ligação/dia)} = \frac{V_F - V_{CA}}{LIG} \quad (4.4)$$

$$Op23 \text{ (m}^3\text{/ligação/ano)} = \frac{(V_F - V_{CA}) \times 365}{LIG \times D} \quad (4.5)$$

onde V_F é o volume fornecido; V_{CA} é o volume de consumo autorizado, LIG é o número de ligações ativas e D é a duração do período de referência (dias).

Como é esperado, não há indicador perfeito que possa ser aplicado com eficácia em 100% das redes. No caso deste indicador, observou-se que existem problemas na sua adoção em locais com elevada verticalização (as ligações abastecem várias economias).

Assim como o indicador Op28, a IWA também apresenta o indicador de perdas por ligação especificamente para as perdas reais, o Op27 (perdas reais por ramal).

$$OP_{27} \text{ (L/ligações/dia com sistema em pressão)} = \frac{1000 \times P_{REAIS}}{LIG \times T / 24} \quad (4.6)$$

onde P_{REAIS} é o volume de perdas reais (m³); LIG é o número de ligações ativas; e T é o tempo médio de pressurização do sistema. De forma semelhante ao IN₀₅₀ e o IN₀₅₁, deve-se adotar apenas o OP₂₇ ou o OP₂₈ (densidade de ramais < 20/km de rede), em alternativa.

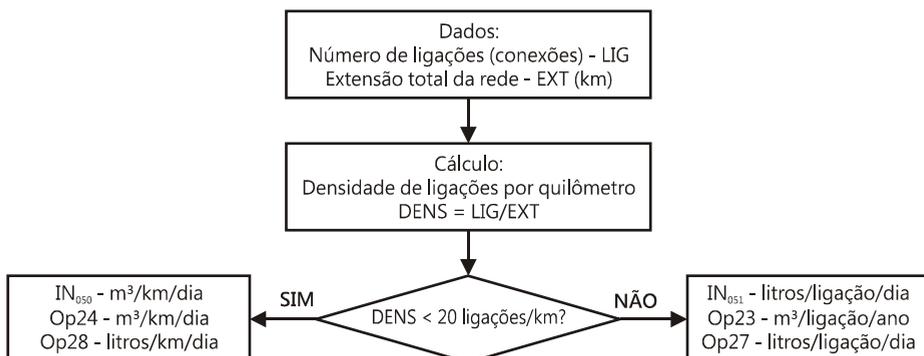


Figura 4.2 – Definição dos indicadores de perdas

4.2.4 Perda Real Inevitável

A Perda Real Inevitável (em inglês, *Unavoidable Annual Real Losses* ou *Minimum Achievable Annual Physical Losses*), representa a mínima perda real tecnicamente atingível, se não houvesse restrições econômicas. O Grupo de Trabalho sobre Perdas de Água da IWA, com base em resultados de observações de estudos de casos internacionais, estipulou que a PRI pode ser calculada pela Equação 4.7.

$$\text{PRI (litros / dia)} = (18 \times \text{EXT}_{\text{REDE}} + 0,8 \times \text{LIG} + 25 \times C_{\text{RAMAL}} \times \text{LIG}) \times P \quad (4.7)$$

onde PRI é a perda real inevitável; EXT_{REDE} é a extensão da rede em km; LIG é o número de ligações ativas; C_{RAMAL} é o comprimento médio da ligação desde a divisa do terreno até o hidrômetro em km; e P é a pressão média do setor em mca.

A Equação 4.7 mostra que a estimativa das perdas inevitáveis é bastante influenciada pela pressão do sistema. A fórmula foi desenvolvida para sistemas com boas condições de infraestrutura, com controle eficaz de vazamentos e manutenção eficiente. Deve-se ter o cuidado em interpretar os resultados desta equação, porque esta foi desenvolvida com base em estudos europeus e norte-americanos, que possuem características de operação diferentes dos sistemas brasileiros. Porém, alguns estudos no Brasil demonstraram que a formulação da IWA pode ser utilizada para uma boa estimativa da perda real inevitável. Na verdade, a maior fonte de erro na aplicação está na determinação da pressão média do sistema, que é diretamente proporcional à PRI calculada. Assim, pequenas variações no valor da pressão resultam em alterações significativas no resultado da Equação 4.7.

A adoção desta equação não é recomendada para sistemas que operam com pressões abaixo de 20 mca, devido à maior dificuldade de localização de vazamentos, e em regiões onde há intermitência no fornecimento e os vazamentos afloram com facilidade. Neste último caso, os vazamentos são rapidamente eliminados e a equação aponta para valores superiores aos reais.

Exemplo 4.1

Deprexe e Arrosi (2011) avaliaram a aplicabilidade da Equação 4.7 mediante o seu emprego em um sistema de abastecimento com infraestrutura nova e que apresenta um baixo índice de perdas. Um sistema nestas condições deve ter, por hipótese, perda aparente baixa e perda real próxima a PRI. O estudo de caso foi a rede de distribuição de água de Marajó, distrito do município de Nova Aurora (Paraná). O sistema é composto de um poço, um reservatório elevado, 2.639 metros de rede de PVC e 113 ligações. Os autores consideraram que o comprimento da ligação desde a divisa do terreno até o medidor é igual à zero.

O estudo foi realizado com dados de setembro de 2008 a agosto de 2009 (1 ano). Nesta fase, o volume produzido foi de 14.198 m³ e o volume micromedido igual a 13.170 m³. Desta forma, tem-se um volume de perdas de 1.028 m³.

Calculando a PRI de acordo com os dados e adotando a pressão média de 17,5 mca (calculada pela média das pressões em quatro pontos de medição monitorados por sete dias), os autores obtiveram o seguinte resultado:

$$PRI = (18 \times 2,639 + 0,8 \times 113) \times 17,25 = 2.378,8 \text{ litros/dia} = 868,2 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Considerando que o volume de perdas anual do sistema foi de 1.028 m³, pode-se afirmar que aproximadamente 84,5% deste valor foi PRI e que o restante, 15,5%, foram perdas reais e aparentes. Neste caso, apesar da pressão média da rede ter sido de 17,5 mca, a análise dos resultados demonstrou que a formulação proposta pela IWA apresenta um valor próximo do estimado pelos dados de campo.

4.2.5 Índice de Vazamentos na Infraestrutura

O índice de vazamentos da infraestrutura (IVI), também denominado de *Índice Infraestrutural de Fugas* (português de Portugal) e *Infrastructure Leakage Index - ILI* (inglês), é classificado como avançado e operacional. Representa a relação entre perdas reais e o limite de recuperação de perdas, denominado perdas inerentes ou volume de perdas reais inevitáveis. Na metodologia COM+ÁGUA, o denominador do IVI foi definido como sendo o nível de perdas esperado para um sistema de distribuição em boas condições e com práticas intensivas de controle ativo de vazamentos.

O IVI é considerado, pela maioria dos especialistas, o indicador mais avançado da atualidade e o mais consistente. O IVI representa a razão entre os volumes de perda real e a perda real inevitável (Equação 4.7). Trata-se de um indicador de desempenho adimensional que analisa a gestão da infraestrutura para fins de controle de perdas reais, que pode ser utilizado para comparação de sistemas diferentes. Quanto maior o valor do IVI, maior é o potencial de oportunidade para os programas de combate as perdas reais.

$$IVI = \frac{V_F - V_{CA} - V_{PA}}{PRI} \quad (4.8)$$

$$IVI = \frac{V_F - V_{CA} - V_{PA}}{(18 \times EXT + 0,8 \times LIG + 25 \times C_{RAMAL} \times LIG) \times \bar{P} \times (365 / 1000)} \quad (4.9)$$

onde V_F é o volume fornecido, em m³; V_{CA} é o volume de consumo autorizado, em m³; e V_{PA} é o volume de perdas aparentes, em m³.

Os valores de IVI podem ser agrupados em quatro categorias de desempenho técnico (A, B, C e D), ver Quadro 4.3:

- A – redução adicional de perda pode não ser econômica, ao menos que haja insuficiência de abastecimento; são necessárias análises mais criteriosas para identificar o custo de melhoria efetiva.
- B – potencial para melhorias significativas; considerar o gerenciamento de pressão; práticas melhores de controle ativo de vazamentos e uma melhor manutenção da rede.
- C – registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água for abundante e barata; mesmo assim, analisar o nível e a natureza dos vazamentos e intensificar os esforços para redução de vazamentos.

- D – uso muito ineficiente dos recursos; programa de redução de vazamentos é imperativo e altamente prioritário.

Quadro 4.3 – Matriz de avaliação de perdas de água com base no IVI

| Categoria de desempenho técnico | | IVI | Pressão média (metros) | | | | |
|---------------------------------|---|--------|-----------------------------|---------|---------|---------|----------|
| | | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| | | | Perdas (litros/ligação/dia) | | | | |
| Países Desenvolvidos | A | 1 - 2 | - | < 50 | < 75 | < 100 | < 125 |
| | B | 2 - 4 | - | 50-100 | 75-150 | 100-200 | 125-250 |
| | C | 4 - 8 | - | 100-200 | 150-300 | 200-400 | 250-500 |
| | D | > 8 | - | > 200 | > 300 | > 400 | > 500 |
| Países em Desenvolvimento | A | 1 - 4 | < 50 | < 100 | < 150 | < 200 | < 250 |
| | B | 4 - 8 | 50-100 | 100-200 | 150-300 | 200-400 | 250-500 |
| | C | 8 - 16 | 100-200 | 200-400 | 300-600 | 400-800 | 500-1000 |
| | D | > 16 | > 200 | > 400 | > 600 | > 800 | > 1000 |

Assim como o PRI, deve-se ter cautela ao adotar este indicador em sistemas com baixas pressões operacionais e com elevada intermitência no suprimento de água. Não é adequado para setores com baixo índice de ligações, pressão menor que 20 mca e baixa densidade de ligações.

Os indicadores citados não devem ser calculados para períodos inferiores a um ano, porque os resultados obtidos podem levar a erros de interpretação. De qualquer modo, caso a empresa tenha interesse em acompanhar os seus indicadores em períodos curtos, as comparações internas devem ser feitas com cautela e as comparações externas não são recomendadas.

Exemplo 4.2

Um sistema de distribuição de água tem 1.000 quilômetros de rede e 50.000 ligações de serviços. O comprimento médio da ligação dos clientes é de 2 metros. A perda real do último ano no sistema, calculada a partir de Balanço Hídrico, foi de 3 milhões metros cúbicos. Calcular o IVI para o ano em questão, considerando que a rede foi pressurizada 90% do tempo e a pressão média de 30 metros.

Resolução:

Utilizando as Equações 4.7 e 4.9 e substituindo os dados, tem-se:

$$IN_{051} = \frac{3.000.000}{50.000 \times 365} \times 1000 = 164,4 \text{ litros/ligação/dia}$$

PRI = 1.634 milhões de m³/dia

$$IV = \frac{3.000.000}{(18 \times 1.000 + 0,8 \times 50.000 + 25 \times 0,002 \times 50.000) \times 30 \times (365/1000) \times 0,9} = 5,03$$

Com base nos resultados, o sistema se enquadra na categoria B, se estiver em um país em desenvolvimento e na C, se estiver localizado em um país em desenvolvimento.

O mais importante é que a utilização desses indicadores da IWA vai ao encontro da evolução e da melhoria contínua do entendimento das perdas nos sistemas de distribuição de água, com repercussões positivas na forma de apurar as variáveis em jogo, acompanhar os números no tempo, comparar espacialmente os resultados e interpretá-los adequadamente para o direcionamento das ações corretivas e preventivas. A sua grande contribuição é menos na definição do indicador ideal e único, sonho cada vez mais distante, a despeito das tentativas e ilusões iniciais, mas sim na ampliação das possibilidades de análise e diagnóstico das situações ocorrentes nos sistemas de água, a partir de variáveis e indicadores bem definidos e auditáveis (Eng. Civil Jairo Tardelli Filho, Revista DAE, n. 181, 09/2009, p. 36).

4.2.6 Indicadores Complementares

Existem outros indicadores do SNIS relacionados à qualidade do serviço prestado que devem ser analisados conjuntamente com os indicadores de perdas. Alguns exemplos são:

Economias atingidas por paralisações

$$IN_{071} \left(\frac{\text{economias}}{\text{paralisação}} \right) = \frac{\text{Quant. Economias Ativas Atingidas por Paralisações}}{\text{Quantidade de Paralisações}} \quad (4.10)$$

Duração média das paralisações

$$IN_{072} \left(\frac{\text{horas}}{\text{paralisação}} \right) = \frac{\text{Duração Média das Paralisações}}{\text{Quantidade de Paralisações}} \quad (4.11)$$

Economias atingidas por intermitências

$$IN_{073} \left(\frac{\text{economias}}{\text{interrupções}} \right) = \frac{\text{Quant. Economias Ativas Atingidas por Interrupções}}{\text{Quantidade de interrupções sistemáticas}} \quad (4.12)$$

Duração média das intermitências

$$IN_{074} \left(\frac{\text{horas}}{\text{interrupções}} \right) = \frac{\text{Duração das Interrupções Sistemáticas}}{\text{Quantidade de interrupções sistemáticas}} \quad (4.13)$$

Um indicador bastante utilizado para analisar a eficiência energética de sistemas de distribuição de água é o consumo específico de energia elétrica (Equação 4.14), chamado pelo SNIS de “Índice de Consumo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água” - IN_{058} . Apesar deste indicador não ser indicado para comparar sistemas distintos, é bastante útil e eficaz para o acompanhamento da evolução da eficiência energética dos sistemas ao longo do tempo. Por exemplo, caso uma adutora tenha um expressivo crescimento no valor deste indicador, há a indicação de que algum elemento do sistema perdeu eficiência, que pode ser o acúmulo de incrustações nos tubos ou a perda de rendimento do motor elétrico.

$$CE = \frac{E}{V} \quad (4.14)$$

onde CE é o consumo específico de energia elétrica (kWh/m³); E é a energia consumida no tempo t (kWh); e V é o volume bombeado no tempo t (m³).

Os pesquisadores ainda não desenvolveram um indicador de eficiência energética que possa ser empregado corretamente para a comparação de sistemas distintos. Esforços estão sendo realizados, mas, por enquanto, sem sucesso na busca.

CAPÍTULO 5

Tecnologias de Controle de Perdas Reais e Aparentes

Perda de água pode ser definida como a quantidade de água prevista para a realização de um ou mais usos, mas que não é utilizada devido a deficiências técnicas, operacionais e econômicas. A definição deixa implícito que se trata de águas não utilizadas, reconhecidas como pertencentes a essa categoria, mas que não foram aproveitadas em função de limitações ou impossibilidades. As perdas inevitáveis representam o volume perdido em um dado período no qual o agente responsável pela estrutura física não tem condições de corrigir o problema. Exemplos típicos de perdas inevitáveis são os vazamentos que não podem ser suprimidos em face da impossibilidade de acesso ou inexistência de tecnologia adequada.

Conceitualmente, as perdas de água são compostas por duas parcelas: real e aparente. As perdas reais estão associadas à parcela de água que não chega aos consumidores em função de vazamentos e extravasamentos nos sistemas públicos de abastecimento, enquanto que as perdas aparentes estão relacionadas com o volume consumido que não é faturado por causa de erros de medição e uso ilegal. Este capítulo apresenta as principais tecnologias e metodologias para o controle de perdas de água.

5.1 Controle de Perdas Reais de Água

É importante observar que não existem redes totalmente estanques, ou seja, em maiores ou menores proporções, todas vazam. Entretanto, índices de perdas reais da ordem de 40% do total disponibilizado para o abastecimento, com certeza, são inaceitáveis. Ressalta-se que o alto índice de perdas não é “privilégio” só do Brasil, há diversos países com sistemas que possuem índices superiores a média brasileira.

Segundo Tardelli Filho (2005), as principais ações para o controle de vazamentos podem ser resumidas conforme o Quadro 5.1. Destaca-se que a gestão da pressão, que incorpora a redução da pressão e a minimização de flutuações, apresenta resultados mais eficientes do que simplesmente diminuir a pressão da rede. A probabilidade de ocorrência de rompimentos aumenta mais com a amplitude de oscilação de pressão do que com o seu valor médio e máximo. Portanto, a diminuição da oscilação de pressão reduz a frequência de rupturas nos

tubos, e, conseqüentemente, a diminuição do volume perdido nos três tipos de vazamentos (inerentes, não visíveis e visíveis). Os benefícios financeiros derivados da diminuição da frequência de rupturas são muito maiores do que geralmente os técnicos esperam e muitos casos de sucesso já foram relatados.

Quadro 5.1 – Síntese das ações para o controle de perdas reais

Fonte: modificado de Tardelli Filho (2005)

| Vazamentos Inerentes | Vazamentos Não Visíveis | Vazamentos Visíveis |
|---|---|---|
| Não visíveis e não detectáveis por equipamentos de detecção acústica. | Não aflorantes à superfície, detectáveis por métodos acústicos de pesquisa. | Aflorantes à superfície, comunicados pela população. |
| Principais Ações | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Redução de pressão. - Qualidade dos materiais e da execução da obra. - Redução do número de juntas. | <ul style="list-style-type: none"> - Redução de pressão. - Qualidade dos materiais e da execução da obra. - Pesquisa de vazamentos não visíveis. | <ul style="list-style-type: none"> - Redução de pressão. - Qualidade dos materiais e da execução da obra. - Diminuição do tempo de reparo. |

Diversos estudos foram realizados nas últimas décadas sobre a natureza e o impacto dos vazamentos, várias metodologias e tecnologias eficazes foram desenvolvidas e implementadas com sucesso em todo o mundo para reduzir, controlar e gerenciar as perdas reais. Destacou-se, nos últimos anos, a metodologia proposta pelo Grupo de Trabalho sobre Perdas de Água da IWA, que, em resumo, considera que o volume de perdas reais pode ser significativamente reduzido através da implementação das quatro ações apresentadas na Figura 5.1. Esta metodologia foi e é replicada em diversos livros, teses e trabalhos técnicos e científicos, sendo atualmente a mais aceita pela comunidade técnica. É rara a abordagem do tema perdas de água sem a apresentação da Figura 5.1. Cada uma das quatro setas representa um conjunto de métodos de intervenções contra perdas reais. Geralmente, os sistemas de abastecimento brasileiros requerem a adoção simultânea de todas as ações. Os próximos itens tratam de cada conjunto de ações separadamente.

A experiência prática tem comprovado que o combate aos vazamentos constitui uma tarefa contínua. Independente do nível de perda que o sistema se enquadre, a permanência das ações é importantíssima para a manutenção dos bons índices. O Quadro 5.1 apresenta as etapas do controle de vazamentos, em função do nível, com os respectivos meios que devem ser adotados.

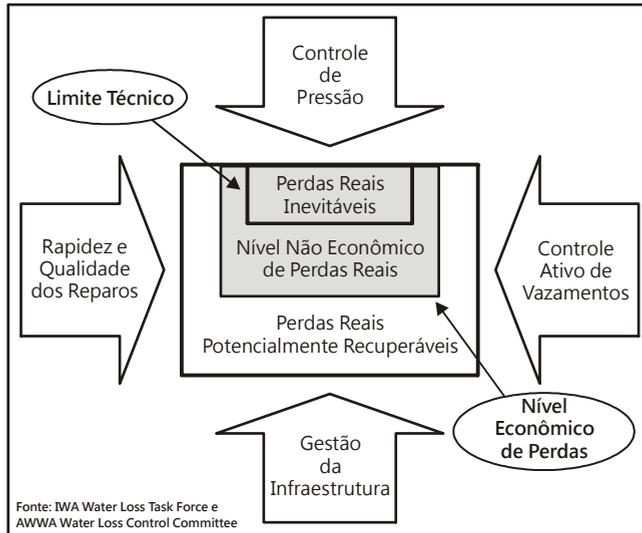


Figura 5.1 – Principais ações para controle de perdas reais

Quadro 5.2 – Etapas do controle de vazamentos

Fonte: Apresentação “Gestão de Perdas Otimizada”, de Masahiro Shimomura

| Etapa | Vazamentos (%) | Propósito do Controle | Meios |
|-------|----------------|--|--|
| 1 | Mais que 30% | Reduzir vazamentos visíveis | Força humana |
| 2 | 20% - 30% | Reduzir vazamentos não visíveis | Zoneamento, mapeamento exato das tubulações, treinamento e bons equipamentos |
| 3 | 20% - 25% | Impedir a reincidência de vazamentos | Elevar o nível de controle de vazamentos e início de substituição da infraestrutura |
| 4 | 12% - 20% | Realizar trabalho minucioso de controle de vazamentos | Revisão do método de trabalho e aceleração dos trabalhos de substituição da infraestrutura |
| 5 | 5% - 12% | Concluir um agressivo trabalho de controle de vazamentos | Conclusão da substituição da infraestrutura e racionalização da organização |
| 6 | Menor que 5% | Preservar a porcentagem mínima | Trabalhos regulares de controle de vazamentos |

5.1.1 Controle de Pressão

Dentre as ações de eficiência voltadas para a gestão de perdas, o controle da pressão apresenta-se como uma das alternativas mais eficazes para a diminuição do volume de água perdido em vazamentos nos sistemas de distribuição de água. Intuitivamente, é facilmente

perceptível que a taxa do fluxo da água em um vazamento é maior quanto maior for a pressão. A influência da pressão nas perdas reais é conhecida há muito tempo pelos pesquisadores e técnicos das companhias de saneamento. No início dos anos 90, foram publicados no Reino Unido vários relatórios como resultado da *National Leakage Initiative*⁷, destacando o *Report G - Managing Water Pressure*, que se tornou uma referência tradicional da relação entre pressão e volume de vazamento.

O Capítulo 6 descreve os princípios e práticas de gestão de pressão em sistemas de distribuição, um dos principais alicerces na estratégia de combate às perdas de água.

5.1.2 Velocidade e Qualidade de Reparos

A velocidade do reparo de vazamentos contribui diretamente para o volume total da perda real. Como foi dito anteriormente, os vazamentos ocultos têm grande peso no volume perdido justamente por não serem reparados e permanecerem por longos períodos. Portanto, devem-se adotar medidas para assegurar que o tempo médio de reparação seja o mínimo possível, de maneira que os vazamentos visíveis tenham uma participação pequena no total das perdas reais.

O tempo de reparo total é dividido em três etapas: conhecimento, localização e reparo. Com o avanço dos sistemas de informação nos últimos anos, o tempo total necessário para reparo de vazamentos tem diminuído gradativamente. Atualmente, a população tem acesso a meios para informar os vazamentos às companhias e há a possibilidade de comunicação rápida com as equipes responsáveis pelos reparos, permitindo que os serviços sejam realizados com qualidade e rapidez. A companhia deve estabelecer e avaliar, periodicamente, as metas específicas para a velocidade e qualidade dos trabalhos de reparações de vazamentos detectados.

A maioria das empresas possui canais para a comunicação de vazamentos visíveis por parte da população. É interessante que a população seja informada, através de campanhas, que todos os clientes regulares pagam a água perdida pelos vazamentos. As empresas devem possuir campanhas permanentes voltadas para a conscientização da importância da comunicação de vazamentos e fraudes.

5.1.3 Controle Ativo de Vazamentos

Tão ou mais importante que o reparo rápido dos vazamentos visíveis é o controle ativo de vazamentos “invisíveis”. A maioria das companhias de saneamento só providencia o reparo dos vazamentos depois de ser informada pela população, ignorando os vazamentos ocultos. Companhias que operam reativamente, em geral, possuem altos índices de perdas reais provocadas por vazamentos não visíveis, justamente porque estes demoram muito tempo até se tornarem visíveis e serem efetivamente contidos. Em muitos sistemas, os vazamentos

⁷ Em 1989, a indústria da água na Inglaterra e no País de Gales foi privatizada. Após a regulamentação do setor, maior ênfase foi dada a redução da perda de água, gerando pressão por medidas voltadas para o aumento da eficiência da gestão das redes hidráulicas. Como resultado desta conjuntura, surgiu a *National Leakage Initiative*, que após extensas experiências em todo o Reino Unido, culminou em uma série de documentos técnicos.

invisíveis representam a maior parcela de perdas reais. Empresas com baixos índices de perdas reais possuem um programa de gestão de perdas proativo, que inclui planos de ação para identificar vazamentos invisíveis, otimização dos reparos e melhora na infraestrutura das redes. Atualmente, existe uma gama de novos equipamentos e tecnologias disponíveis para o combate aos vazamentos. Simplesmente responder a vazamentos relatados e grandes rompimentos (controle passivo de vazamentos) não está correto. Na verdade, significa que a companhia não tem controle ativo de vazamentos. Inúmeras companhias brasileiras já iniciaram programas pontuais para o controle de vazamentos visíveis e invisíveis.

Conceitualmente, o controle ativo não visa as reparações de rompimentos reportados pela população, ou seja, aquelas comunicadas ao setor competente da empresa pelos técnicos, pela observação visual ou reclamações dos consumidores. O controle ativo de vazamentos é uma estratégia de controle de perdas, de natureza periódica, que procede ao monitoramento da rede, permitindo a detecção e a reparação de vazamentos não comunicados.

O controle ativo de vazamentos iniciou-se precariamente com a medição de vazão por meio de Tubos Pitot. Em 1940, começou a ser realizada a pesquisa de vazamentos não visíveis com geofone mecânico e, a partir de 1950, com o geofone eletrônico. O correlacionador de ruídos e o armazenador de dados surgiram após os anos 70. Nos anos 80 e 90, as perdas reais passaram a serem monitoradas por meio do controle de pressão e modelagem ativa das perdas (TSUTIYA, 2008).

Apesar de distante da realidade da grande maioria das companhias brasileiras, as campanhas de detecção devem fazer parte da política de combate às perdas. As campanhas devem ser previstas nos planos de ação e serem planejadas de maneira a se tornarem uma rotina na companhia. O ideal é que a empresa tenha equipes dedicadas exclusivamente a este tipo de ação, visto que esta é a única forma de controle preventivo. A retirada de vazamentos antes de seu afloramento também diminui a quantidade de reclamações dos clientes e melhoram a imagem da companhia de saneamento.

O resultado das campanhas está diretamente relacionado com a qualidade do pessoal de campo. Os treinamentos teóricos e práticos do pessoal de campo precedem às campanhas e são desenvolvidos com o intuito de aumentar o nível de habilidade de todos os técnicos envolvidos, desde pessoal operacional ao administrativo. Além disso, a padronização das técnicas de detecção de vazamentos e combate às fraudes traz um melhor desempenho às atividades.

Os setores da rede com volumes de perdas elevados são os candidatos prioritários para aplicação das campanhas de detecção e localização de vazamentos. Covas e Ramos (2007) citam o exemplo de Lisboa (Portugal), onde a maioria das DMCs é de caráter não permanente e estas são criadas mediante o fechamento de válvulas de seccionamento durante o período de campanha. Tipicamente, as campanhas têm uma duração de três semanas, sobrepondo-se a 1ª e a 3ª semana com outras duas campanhas; são realizadas anualmente 50 campanhas, sendo cada DMC inspecionada 1 vez a cada 3 anos. A primeira semana é dedicada à realização de trabalhos de campo: fechamento de válvulas, instalação de equipamentos de medição de pressão e vazão na entrada dos DMCs, e instalação de detectores acústicos de ruído (Figura 5.2). As medições são efetuadas com frequências de 2 minutos. As duas semanas seguintes são utilizadas para a detecção, localização e reparação dos vazamentos. As vazões mínimas noturnas são monitoradas durante a campanha, de modo a avaliar a redução das perdas reais durante este período.



Figura 5.2 – Medidores de vazão e pressão instalados na entrada de um DMC (JACOB, 2006)

O procedimento mais empregado para o controle ativo de perdas reais é a pesquisa de vazamentos não visíveis por meio de métodos acústicos. Estes consistem na utilização de aparelhos eletrônicos que permitem a escuta de determinados ruídos, que podem ser associados a vazamentos não visíveis existentes nas tubulações. Os principais equipamentos utilizados na pesquisa acústica de vazamentos são:

- Haste de escuta.
- Geofones mecânicos e eletrônicos.
- Locadores de massa metálica.
- Locadores de tubulações metálicas e não metálicas.
- Correlacionadores de ruídos.
- *Dataloggers* de ruído.

A Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI)⁸ possui normas que orientam os procedimentos para pesquisas de vazamentos. O Procedimento PR-051 da ABENDE estabelece as condições mínimas para a execução do Ensaio de Estanqueidade - Detecção de Vazamentos Não Visíveis de Líquidos sob Pressão em Tubulações Enterradas a ser utilizado no Sistema Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal em Ensaios Não Destrutivos (SNQC-END). O procedimento está disponível para *download* no site da ABENDI e aborda:

- Detecção de vazamentos não visíveis de líquidos sob pressão em tubulações enterradas.
- Técnica de escuta de ruído de vazamento através de haste de escuta.
- Técnica de escuta de ruído de vazamento através de geofones eletrônicos ou mecânicos.
- Técnica de detecção de vazamento através de correlacionador de ruídos e vazamentos.

Na primeira fase da pesquisa de vazamentos devem ser verificados todos os pontos acessíveis da tubulação, isto é, cavaletes, hidrantes, registros, válvulas, tubulação aparente, registro de passeio, se houver, utilizando-se de haste de escuta. Deve-se caminhar na rua observando com atenção a possível existência de vazamentos visíveis na rede, nos ramais e

⁸ Essa associação foi criada visando padronizar procedimentos relacionados a ensaios não destrutivos, inicialmente, as ações eram voltadas para a indústria Petrolífera, principalmente a Petrobrás, estendendo num período posterior para as áreas da aeronáutica, nuclear, naval e automobilística.

cavaletes. É importante anotar as residências cujos cavaletes não foram pesquisados e o motivo (portão fechado, morador ausente etc.) e verificar a situação das válvulas (não localizada, entulhada, inundada), com anotações na planta cadastral (ABENDI, 2004).

A **haste de escuta** é um equipamento dotado de um amplificador acoplado a uma barra metálica, que é utilizado para auxiliar o geofone mecânico ou eletrônico na busca de vazamentos no pé do cavalete, em ramais, válvulas, ventosas, hidrantes, torneiras e demais peças especiais e controle. Auxilia, também, na detecção de ligações clandestinas de água. Possui diafragma de alta sensibilidade para percepção de ruídos de vazamentos não visíveis e são, geralmente, fornecidos no comprimento de 1 e 1,5 m.

A haste de escuta eletrônica, com haste metálica para ser acoplada ao equipamento, permite transmitir o ruído do vazamento a um amplificador quando colocada em contato com um cavalete ou registro. Possui *mostrador digital (display)* com indicação da intensidade do ruído e é totalmente portátil, com bateria interna e fone de ouvido para evitar interferências de ruídos externos.

Após a análise com a haste de escuta, a pesquisa terá prosseguimento com o geofone, correlacionador e haste de perfuração ou perfuratriz.

A segunda fase da pesquisa de vazamentos é realizada com o geofone eletrônico, onde são ouvidos todos os pontos suspeitos marcados na pesquisa com haste de escuta e as redes de distribuição em que existem poucos pontos de contato (cavaletes muito distantes, anéis de distribuição, travessias etc.). O **geofone eletrônico** é um equipamento acústico capaz de localizar vazamentos em redes de distribuição de água, através da detecção de vibrações proporcionadas pelo movimento da água fora da tubulação, no seu escoamento através das partículas do solo. O equipamento capta ruídos situados, normalmente, entre as frequências de 100 e 2.700 Hz. A escuta com geofones é recomendada para pressões superiores a 15 mca.

O geofone eletrônico é composto de um amplificador, que amplia os sinais captados pelos sensores, permitindo escutar o ruído do vazamento; medidor de nível de som; filtros para eliminar os ruídos indesejáveis do meio ambiente e selecionam as faixas de frequências típicas dos sons do vazamento; sensor ou transdutor de alta sensibilidade; e fones de ouvido para o operador escutar o ruído de vazamento (Figura 5.3). Há também o geofone mecânico, menos sensível que o eletrônico, sem filtro de ruídos, que utiliza o princípio da estetoscopia na detecção de vazamentos.



Figura 5.3 – Geofone eletrônico

A **haste de perfuração** é um dispositivo composto de uma barra metálica e empunhadura de borracha para uso manual, que é utilizado para confirmar o local com suspeita de vazamento não visível. Possui capacidade para perfurar pisos de cimento e asfalto, e são fornecidos nas opções de comprimento de 1 e 1,5 m.

Uma forma precisa, embora bem mais custosa, para a detecção de vazamentos não visíveis em redes pressurizadas é o emprego do **correlacionador de ruído**. Este equipamento é empregado para detectar vazamentos em um trecho de tubulação limitado por dois pontos de sondagem, que são, normalmente, peças metálicas de controle, como válvulas, registros, hidrantes e ramais prediais. O equipamento é composto, geralmente, por dois sensores-transmissores, posicionados nas peças de controle das duas extremidades do trecho a ser analisado, amplificadores de ruído e uma unidade receptora de processamento (Figura 5.4). A função do equipamento é localizar a posição precisa do vazamento entre as duas extremidades do trecho a ser pesquisado.

O princípio de funcionamento do processo de detecção do vazamento se baseia no fato das ondas sonoras proporcionadas pelo vazamento se propagarem nos dois sentidos da tubulação. A correlação entre o ruído e a localização do vazamento é obtida pela diferença de tempo em que este ruído leva para atingir cada um dos sensores. Além dos modelos tradicionais com dois ou três sensores, há correlacionadores multipontos, que realizam múltiplas correlações entre todos os sensores instalados.



Figura 5.4 – Correlacionador de ruídos (COVAS e RAMOS, 2007)

Para evitar a falsa indicação de ruídos, os equipamentos não devem ser instalados próximos a VRP, *boosters*, grandes reduções de rede, casas noturnas, linhas de alta tensão, geradores, motores elétricos, transformadores de energia, máquinas que emitam ruídos constantes, entre outros.

Novas tecnologias estão sendo disponibilizadas nos últimos anos, onde se destaca o *datalogger* de ruídos. O *datalogger* de ruído é um equipamento utilizado em pesquisas de vazamentos ocultos em grandes áreas, e fica instalado em pontos de contato direto com as redes de distribuição, como cavaletes, registros e válvulas, permitindo um aprimoramento da detecção de vazamentos. São programados para “varrer eletronicamente” a área onde ficam instalados (em torno de 100 metros de raio para cada sensor implantado), no horário que for mais conveniente, monitorando e analisando as características de ruídos por eles detectados, e

comunicando-se via rádio com o equipamento receptor. Através da análise de amplitude e distribuição dos ruídos, o aparelho informa ao operador a possibilidade da existência ou não de vazamentos na área de influência de cada sensor, delimitando dessa maneira a área em que será necessária a pesquisa de vazamentos (GONÇALVES e ITONAGA, 2007).

Caso a companhia de saneamento terceirize a busca por vazamentos ocultos, recomenda-se especificar nos editais a obrigatoriedade das empresas possuírem uma estrutura mínima, que contenha, pelo menos, equipamentos como haste de escuta, geofone, correlacionador, registrador de ruído entre outros. É recomendada a adoção de contratação cuja remuneração dos serviços seja em função dos resultados obtidos pela empresa terceirizada. A referência pode ser a vazão mínima noturna do setor, por exemplo. Também é importante valorar em função do grau de dificuldade da obtenção dos resultados. Os valores atribuídos a cada faixa de redução são estabelecidos visando à crescente utilização de equipamentos. Quanto maior a redução da vazão, maior é a necessidade da adoção de técnicas e equipamentos mais sofisticados.

Buscando aumentar a eficiência dos resultados obtidos pelos prestadores de serviço terceirizados na detecção de vazamentos não visíveis, em 1999, a SABESP caracterizou a atividade como um ensaio não destrutivo, passando a exigir das empresas que seus profissionais tenham certificação. Segundo informações do Boletim ENDESTAQUE (ano 12, n. 60, 2009, p. 8), desde que o Programa de Certificação foi implantado (janeiro de 2000) até junho de 2008, 118 profissionais foram certificados no mercado. E, de acordo com a SABESP, graças a esses profissionais, houve um ganho de 75% na produtividade (km pesquisado/profissional/dia) de varredura; e acréscimo de 12% no índice de acertos dos vazamentos (vazamento locado/vazamento reparado).

... é importante que os profissionais e gestores do setor de saneamento estejam comprometidos com a Certificação, que proporcionará diretamente um ganho na qualidade dos serviços prestados, capacitação da força de trabalho, valorização profissional, estímulo pela busca da competitividade, aumento da produtividade, melhoria da imagem da companhia, aumento da satisfação do cliente, redução dos custos operacionais, confiabilidade dos serviços de manutenção, conservação do meio ambiente através da preservação do recurso natural (água) e contribuição para o abastecimento de água com qualidade e redução de perdas (Eng. Civil da SABESP Paulo Sérgio Padilha, Boletim ENDESTAQUE, ano 12, n. 60, 2009, p. 8).

5.1.4 Gestão da Infraestrutura

Ao longo da vida útil de um sistema de abastecimento de água, mesmo que o projeto tenha sido bem projetado, surgem situações que não foram consideradas inicialmente, tais como ampliações da rede, surgimento de demandas em áreas não previstas, mudança do tipo de edificação, deterioração física dos componentes das instalações hidráulicas, ineficiência na operação relacionada com vazamentos, rompimentos de tubulações, falta de otimização operacional eletromecânica dos conjuntos motobomba, dentre outros. Dentre estes fatores, o envelhecimento das tubulações é o mais impactante no aumento do volume de água perdido por vazamentos.



Figura 5.5 – Tubulações (DN 75) retiradas de redes hidráulicas de São Paulo

Fonte: Apresentação “Programa de Reabilitação de Redes - A Experiência da Unidade de Negócio Centro - MC”, de Roberto Abranches (XVIII Encontro Técnico AESABESP)

Segundo recomendação do Grupo de Trabalho sobre Perdas de Água da IWA (*IWA Water Loss Task Force*), a gestão da infraestrutura é uma das quatro ações potenciais que devem ser adotadas em um programa de combate a perdas de água. Esta gestão engloba os aspectos relacionados à instalação, manutenção e reabilitação das tubulações.

A grande maioria dos sistemas de distribuição de água em operação necessita de ações de reabilitação para corrigir as situações antes apontadas. Pode-se definir reabilitação como qualquer intervenção no sistema que prolongue sua vida útil, melhorando seu desempenho hidráulico, estrutural e da qualidade da água. A importância da reabilitação está intimamente ligada à diminuição do custo operacional e ao aumento da confiabilidade dos serviços prestados. O conceito de reabilitação, aqui expresso, engloba a renovação de instalações existentes, recuperação e limpeza dos componentes físicos e alterações de medidas operacionais.

A reabilitação de sistemas de distribuição é uma prática antiga, que vem sendo aplicada desde a implantação das primeiras redes de abastecimento urbano. No entanto, a reabilitação só se consolidou como uma técnica científica com o surgimento das tubulações de ferro fundido. Um fato histórico marcou o início do processo de reabilitação em sistemas de distribuição de água, quando, em 1810, todas as tubulações de madeira da cidade de Thames (Inglaterra) foram substituídas por outras de ferro fundido.

Os ramais que apresentam deficiência funcional ou problemas de qualidade do material devem ser substituídos, incluindo na troca o colar de tomada. No final, esta ação resulta na redução dos custos e otimiza os investimentos. Em uma boa gestão de infraestrutura de ramais, é imprescindível:

- Padronização dos ramais.
- Especificações mais exigentes.
- Melhor controle de qualidade.

As companhias estão utilizando bastante o PEAD nas ligações prediais e extensões de redes. As principais vantagens da adoção deste material são: fácil manuseio, menos pontos de

vazamentos (soldagem por eletrofusão, que elimina as juntas), execução mais rápida, fácil estocagem e menores custos. Ressalta-se que estes benefícios são altamente dependentes de uma correta especificação, metodologia apropriada de instalação em campo, equipamentos adequados e mão de obra qualificada.

De acordo com o Relatório Anual e de Sustentabilidade 2011 da COPASA, estudos realizados na companhia concluíram que a utilização do PEAD contribuiu significativamente para a redução de perdas de água nas redes. Isso porque, com a utilização de juntas soldáveis, os materiais em contato formam um conjunto único, evitando, assim, os vazamentos. O processo é realizado a partir de um equipamento que controla a tensão fornecida à conexão e o tempo necessário para se atingir a temperatura de fusão e resfriamento dos elementos. Com o PEAD é possível fazer a implantação de uma rede única, com tubulação contínua, já que o material é fornecido em bobinas de até 100 metros de comprimento, o que reduz a utilização de conexões. Além disso, como os tubos são leves e flexíveis, tem-se maior rapidez e economia no assentamento dos mesmos, pois podem ser montados e soldados previamente, fora das valas. Com isso, é possível ainda fazer valas menores, diminuindo a movimentação de terra e a pavimentação, reduzindo o custo de execução das obras.

No caso das redes ou trechos de rede de distribuição que apresentam deficiência funcional ou problemas de qualidade do material, estes devem ser considerados prioritários nos projetos de reabilitação. Os tubos de ferro sem revestimento (redes com altos níveis de incrustação e corrosão) e de cimento-amianto, ou com grande ocorrência de vazamento são fortes candidatos a sofrerem intervenções. De modo geral, recomenda-se a substituição, ao ano, de pelo menos 1% da extensão das redes de distribuição.

Técnicas de Reabilitação de Redes Hidráulicas

Existe um grande número de técnicas que podem ser utilizadas para a reabilitação de redes hidráulicas, que podem ser classificadas em destrutivas e não destrutivas. As destrutivas utilizam procedimentos convencionais de abertura de valas que provocam acentuados transtornos nas vias urbanas. A substituição de redes antigas por novas através de métodos destrutivos é uma solução adotada em larga escala, no entanto nem sempre esta é indicada. Para sistemas em grandes centros urbanos, que apresentam tráfego intenso nas regiões centrais, vias destinadas a pedestres, vias exclusivas para ônibus, a simples substituição dos tubos resulta em transtornos de grande impacto para a população, o comércio e a organização do tráfego.

O processo não destrutivo é caracterizado pela abertura de pequenas valas ou poços de inspeção, o que diminui consideravelmente o impacto social das intervenções. As técnicas não destrutivas têm sido amplamente empregadas em países desenvolvidos, destacando-se a Inglaterra, Estados Unidos e Alemanha. No Brasil, estas técnicas chegaram ao final da década de 90 e começam a ser adotadas com frequência em algumas companhias. Segundo informações não oficiais, as técnicas não destrutivas estão sendo empregadas, atualmente, em 60% das obras das SABESP. Os custos são mais elevados, porém o custo social justifica a adoção destas técnicas. Em muitos casos, as obras passam despercebidas pela maioria da população.

Existem diversas técnicas não destrutivas disponíveis no Brasil e no mundo para a reabilitação de redes de distribuição de água, a seguir, são destacadas algumas.

Limpeza e Aplicação de Revestimento com Argamassa

A limpeza interna da tubulação pode ser executada por processo de arraste mecânico ou turbilhonamento. No primeiro processo, a eliminação de carepas e tubérculos pode ser feita pelo arraste mecânico de um conjunto de lâminas de aço especiais, que são puxadas por guincho hidráulico na extremidade oposta do tubo, devendo a velocidade de arraste ser rigorosamente constante, evitando-se imperfeições na raspagem. O processo é realizado, como o próprio nome sugere, por turbilhonamento de alta pressão com ar e agregado (brita zero ou granalha de ferro). A limpeza é feita com agregado e ar comprimido para remover a incrustação presente no interior da tubulação.

Após a realização da limpeza interna, aplica-se o revestimento para proteção dos tubos. O revestimento com argamassa de cimento consiste na colocação de uma camada de argamassa de cimento com espessura da ordem de 3 a 6 mm sobre a superfície metálica. Tal procedimento somente é adotado quando não existe comprometimento estrutural das paredes das tubulações.

Desde a década de 1960, as tubulações de ferro fundido para abastecimento de água são fabricadas com um revestimento protetor de argamassa de cimento. O revestimento é aplicado nas paredes internas das tubulações metálicas, abrangendo diâmetros que variam de 100 mm a 2000 mm. A desvantagem deste método é a redução do diâmetro interno, porém isto é compensado pela diminuição da rugosidade da tubulação.

Também há a possibilidade do revestimento ser executado com outras argamassas, como, por exemplo, a argamassa acrílica, que permite uma expectativa de vida maior que a argamassa de areia e cimento. A argamassa acrílica é uma argamassa de areia e cimento, aditivada com polímeros ou resina acrílica, tornando-a mais nobre e aumentando as características de adensamento, impermeabilidade, coesão, fluidez, trabalhabilidade e durabilidade.

Outro tipo de revestimento empregado é o epóxi, que tem sido utilizado com frequência em países como o Japão e o Reino Unido. O procedimento consiste na aplicação, através de *spray*, de resinas líquidas que posteriormente solidificam, protegendo o interior das tubulações contra a corrosão. Este material proporciona uma superfície mais lisa e uma maior durabilidade que a argamassa de cimento. No entanto, possui a desvantagem de não ser aconselhável a sua aplicação em tubos com diâmetros superiores a 1.000 mm e em comprimentos muito longos (acima de 1 km).



Figura 5.6 – Tubos não reabilitados e após a aplicação do revestimento epoxy

Fonte: <http://www.craftsmanpipelining.com>

Substituição de Tubulações - Método *Pipe Bursting*

A substituição de tubulações é empregada quando o sistema apresenta um grande número de rompimentos, nível de deterioração alto, capacidade de transporte limitada ou quando o material das tubulações empregadas coloca em risco a saúde da população.

O método *Pipe Bursting* (substituição com arrebentamento do tubo antigo), também conhecido como *Pipe Cracking*, foi desenvolvido pela *British Gas* para substituição de tubos da rede de distribuição de gás de Londres e rapidamente se espalhou pelo mundo. O método consiste na técnica de arrebentar a tubulação existente pelo uso de um equipamento fragmentador, que exerce uma força radial dentro da tubulação, enquanto um novo tubo ocupa o lugar do conduto antigo (Figura 5.7). Normalmente se introduz tubos de PEAD, mas podem ser instalados tubos de PVC e até de ferro fundido. O método é aplicável para substituir praticamente qualquer tipo de tubulação. O diâmetro da nova tubulação pode ser igual ou superior à tubulação antiga, podendo alcançar, em alguns casos, o dobro do original. Antes da aplicação desta técnica, devem ser localizadas e desconectadas todas as conexões de serviço.

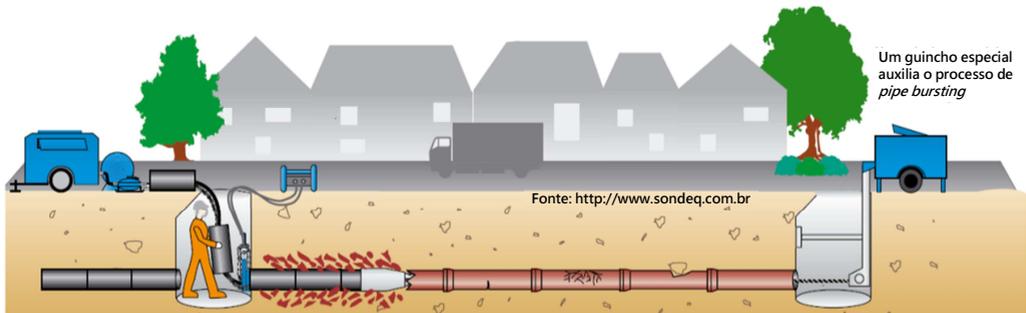


Figura 5.7 – Esquema do método *Pipe Bursting*

Técnica *Sliplining* e *Pipe Deformed*

O método *Sliplining* (inserção de novo tubo), utilizado desde 1940, é o processo de renovação que envolve a inserção de um tubo novo, geralmente de PEAD ou aço, dentro da tubulação existente, e o preenchimento do espaço entre os tubos (Figura 5.8). Esta técnica é empregada para redes de esgotos, água potável, gás e condutos subaquáticos. Dependendo do estado e traçado da rede, podem ser introduzidos tubos de até 600 metros.

As principais desvantagens deste método são a redução da área transversal que, dependendo do tamanho do novo tubo inserido, pode representar uma redução da vazão de 35% a 60%, e o fato de não ser recomendado para sistemas que operam com elevadas pressões e onde estejam previstas grandes sobrecargas diametrais.



Figura 5.8 – Técnica *Sliplining* - Inserção de tubo de PEAD de 42" em Houston, Texas (EUA)

Fonte: <http://www.lan-inc.com>

Dentro das técnicas não destrutivas de reabilitação estrutural é possível agrupar um conjunto de técnicas chamadas de *Close-Fit Lining* (inserção de tubulação deformada), que apresentam estratégia semelhante ao *Sliplining*. Neste caso, é inserido um novo “tubo” deformado, por alteração da sua forma ou do diâmetro, no qual, posteriormente, é restaurada a forma original, por relaxamento natural ou por aplicação de vapor ou água sob pressão. Pode-se destacar três técnicas *Close-Fit Lining*: o *Pipe Deformed*, o *Die Drawing* e o *Rolldown*. Esta técnica possibilita a sua instalação em trechos com mais de um quilometro de comprimento, cuja aplicação pode ser realizada em tubos com diâmetros superiores a 1.000 mm. Os materiais utilizados para os “forros” de revestimento são o PVC e o PE (polietileno), obviamente, o “forro”, na sua forma original, possui um diâmetro inferior ao do tubo instalado, de modo que encaixe perfeitamente e atinja sua forma arredondada.

Furo Direcional - HDD

Em projetos de reabilitação, este processo visa a implantação de uma tubulação paralela à existente para aumentar a capacidade hidráulica da rede de distribuição de água, sem a necessidade da abertura de valas contínuas. Quando a vazão do projeto de reabilitação é bem superior à capacidade da linha atual, a colocação de uma linha paralela à rede existente é a melhor opção.

A perfuração direcional utiliza um equipamento montado a partir da superfície (dirigíveis ou fixos em caminhões). Inicialmente, a perfuratriz executa um furo piloto com uma broca; ao atingir o ponto final da escavação, a broca é substituída por um escarificador, que alarga o furo piloto para o diâmetro desejado. A tubulação é acoplada ao escarificador e toda a perfuração é monitorada por meio de rastreadores eletrônicos, onde é possível direcioná-la, desviá-la de obstáculos e interferências existentes, ou efetuar curvas e manter declividades especificadas em projeto. O equipamento tem a vantagem de permitir a perfuração e a realização de desvios de trajetórias em solos com presença de rochas superiores a 25%. Este método é indicado para instalação de tubulações de água, gás, telecomunicações etc. Os tubos empregados neste processo são fabricados em PEAD e aço. Atualmente, a perfuratriz já é fabricada no Brasil.

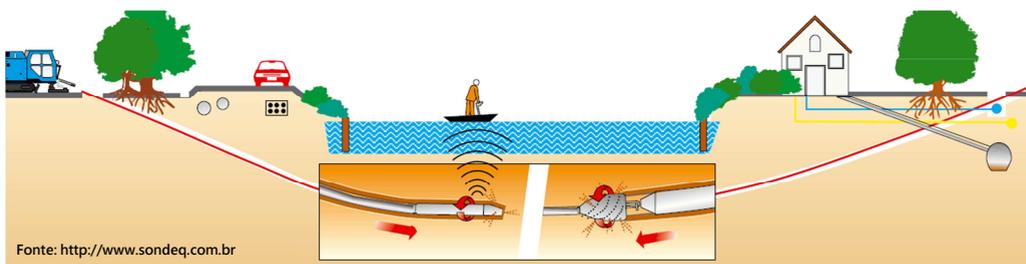


Figura 5.9 – Esquema de perfuração direcional (HDD)

O *Pipe Reaming* é uma variação do método de perfuração direcional, podendo ser utilizado na substituição de tubos de cimento-amianto e PVC. O seu procedimento resulta do atravessamento do tubo existente por um alargador que o reduz em fragmentos, que são expulsos pelo furo com o líquido de perfuração, ao mesmo tempo em que o novo conduto é puxado. Apesar da sua ampla aplicabilidade, o maior obstáculo para a realização desta técnica

são os solos não consolidados, sendo que esta situação pode ser contornada pela adição de argamassa ao solo antes da perfuração. Muitas vezes, este método constitui uma alternativa ao *Pipe Bursting*.

Grande parte das perdas de água pode ser prevenida pela gestão eficiente e proativa da infraestrutura dos sistemas. As atividades de gerenciamento de infraestrutura voltadas para a redução de perdas reais de água podem ser resumidas em:

- Pesquisas de detecção de vazamentos (controle ativo de vazamentos).
- Operação eficiente do sistema de distribuição de água.
- Definir padrões para os materiais empregados e projetos de execução, de forma a garantir a qualidade das futuras instalações.
- Manter estoque adequado para possíveis reparações no sistema.
- Inspeção de novas adutoras e redes de distribuição de água. É importante a padronização e realização de testes de pressão e vazamentos.
- Mapeamento dos componentes do sistema em Sistema de Informação Geográfica - SIG, a fim de localizar rapidamente as válvulas para isolar os trechos com grandes avarias.
- Elaboração de relatórios e banco de dados de vazamentos, reparos, reclamações, roubos, vandalismos etc., relacionando as ocorrências com SIG para auxiliar na definição de futuras ações de combate a vazamentos.
- Aumento da vigilância em áreas com infraestrutura antiga ou com elevado índice de rupturas.

Existem diversas tecnologias, no Brasil e no mundo, que auxiliam na tomada de decisão de qual técnica de reabilitação adotar. Dentre estas, cita-se o vídeo inspeção, que consiste na análise de tubulações a partir da introdução de uma câmera de vídeo específica. O equipamento é dotado de iluminação, movimentações angulares, propagação robotizada por arraste mecânico ou manual e, em casos excepcionais, blindagem antiexplosiva. Alguns equipamentos possibilitam a gravação do vídeo em alta definição, com o qual é possível inspecionar as condições das tubulações, verificando a existência de deformações, obstruções, desalinhamentos, desvios, trincas, rachaduras, juntas, rompimentos, infiltrações ou mesmo a existência de ligações e ramais clandestinos ou não cadastrados. Dependendo do equipamento, a câmera pode vim instalada em um carrinho (robô) dirigido por controle remoto que pode desviar de obstáculos.

A inspeção por vídeo também é usada para inspeção dos tubos após a limpeza, antes da aplicação de revestimentos e imediatamente após a aplicação. A inspeção procura melhorar a fiscalização, os resultados e a qualidade dos serviços prestados pela empresa contratada. **Após a realização da reabilitação da rede de abastecimento, é altamente aconselhável a realização de uma inspeção visual, de modo que possa ser garantida a qualidade do serviço prestado.**

5.2 Controle de Perdas Aparentes

As perdas aparentes, também chamadas de perdas não físicas e perdas comerciais, são causadas por ligações clandestinas, roubo ou uso ilegal (por exemplo, retirada de água em válvulas de descargas de adutoras), fraudes nos hidrômetros (violado ou invertido), violação do

corde, erros de leituras dos hidrômetros e falhas no cadastro comercial (cadastro desatualizado, ligação não cadastrada por descuido, registro de inatividade em ligação ativa).

Em comparação com as perdas reais, as perdas aparentes tem um efeito negativo muito maior sobre o caixa da empresa, porque estas são avaliadas pelo valor de varejo da água vendida, que, em alguns casos, corresponde a quatro vezes o custo de produção. Um benefício adicional de reduzir as perdas aparentes, é que as ações podem ser aplicadas rapidamente e de forma eficaz.

Os erros de medição e do processo de faturação devem-se, principalmente, à idade e ao estado de conservação dos contadores, ao erro de dimensionamento dos contadores, aos erros de leitura, à ausência de leituras por falta de acesso aos contadores, ou aos erros nos processos de faturação (registro e tratamento dos dados) e nas estimativas de consumos. As principais ações de controle de perdas aparentes são:

- Melhoria dos sistemas de macromedição.
- Melhoria da micromedição - adequar os hidrômetros aos perfis de consumo dos usuários, em especial aos dos grandes consumidores (acima de 50 m³/s).
- Avaliação e correção da instalação dos hidrômetros.
- Setorizar a leitura dos hidrômetros com a participação dos projetistas e operadores.
- Troca periódica e otimizada de hidrômetros.
- Combate a fraudes em ligações ativas e inativas.
- Regularização de ligações em áreas não hidrometradas, ou seja, a busca por 100% de hidrometração.
- Gestão eficiente do sistema comercial.

Assim, como para as perdas reais, o Grupo de Trabalho sobre Perdas de Água da IWA indica um conjunto de ações para minimizar o volume de perdas aparentes para um nível econômico. A Figura 5.10 sistematiza as principais ações de combate às perdas aparentes. Dependendo das condições do sistema, o programa de combate às perdas pode adotar uma ou mais ações.

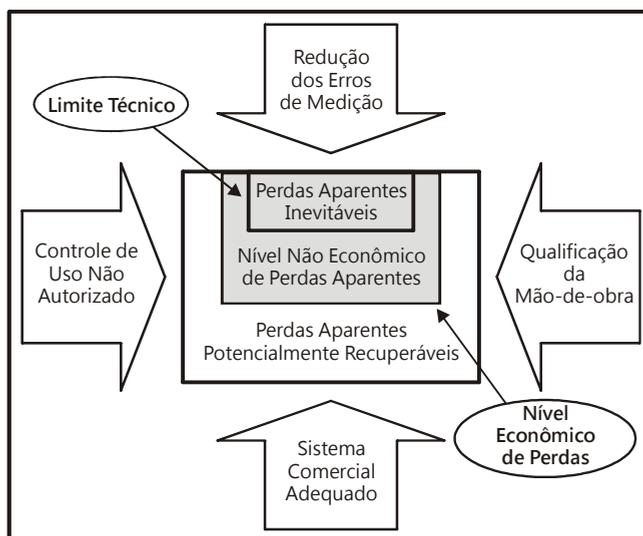


Figura 5.10 – Principais ações para controle de perdas aparentes

5.2.1 Redução dos Erros de Medição

A redução dos erros de medição é alcançada através da gestão eficiente do parque de hidrômetros. E, desta forma, as perdas provocadas pelos erros de medição podem ser controladas por meio da promoção de campanhas de substituição periódica, programas eficientes de manutenção, dimensionamento adequado e compra de contadores certificados pelo Inmetro. A má gestão do parque resulta diretamente em queda da receita da companhia, além de impossibilitar o cálculo das perdas reais. Sistemas sem hidrometração ou com medições imprecisas (nível de incerteza elevado) não permitem um bom levantamento do Balanço Hídrico.

Os erros de submedição provocados pela imprecisão dos hidrômetros são reconhecidos como um componente significativo das perdas aparentes, sendo muito importante para a companhia quantificá-los e identificar as principais causas. O ideal é que as concessionárias de água acompanhem de perto as tendências de consumo dos clientes, de modo a adotar o equipamento mais apropriado. Estima-se que o nível ótimo de perdas na maioria dos sistemas de distribuição de água esteja em torno de 5%. Ao analisar um parque de medidores, deve-se ter atenção com os seguintes aspectos:

- Tipo de medição do hidrômetro.
- Idade do medidor.
- Permanência da exatidão ao longo do tempo.
- Instalação do medidor (com atenção especial a posição de montagem).
- Registro de ocorrências (paralisação, bloqueio, embaçamento e fraudes).

O hidrômetro é um aparelho que se desgasta com o tempo. Estudos realizados na rede de distribuição de Maceió apresentaram resultados alarmantes, com índices de submedição próximos a 50% nos hidrômetros com mais de 10 anos de uso (Figura 3.23). Estas perdas por submedição impactam diretamente na receita da companhia de saneamento.

As companhias devem substituir os medidores sistematicamente, começando com os mais velhos e aquelas em pior condição, os equipamentos possuem uma vida útil que deve ser respeitada. A substituição deve ser realizada quando a estimativa do custo perdido pelo volume não faturado supera o custo de aquisição e/ou substituição dos equipamentos. A avaliação da submedição do parque de hidrômetros pode ser realizada por amostragem, através da instalação, em pequena escala (dezenas), de hidrômetros novos em série com os existentes. Esta metodologia não é a ideal, mas fornece subsídios à decisão dos gestores. Ressalta-se que no caso dos grandes consumidores (consumo maior que 50 m³/mês), é preferível uma análise individualizada, em virtude do número pequeno de ligações e grande peso no faturamento da companhia.

Tomando como base a norma NTS 281 (2011) da SABESP, esta estabelece que o hidrômetro instalado se enquadra na demanda de troca quando:

- Estiver fora da faixa ideal de trabalho.
- Indicar uma submedição significativa.
- Estiver dentro dos limites do Fator de Troca.

Para cada critério acima, a norma NTS 281 (2011) da SABESP descreve detalhadamente os procedimentos para a definição de quais contadores devem ser trocados. No caso do Fator

de Troca (FT), a norma o define como o produto entre o coeficiente de totalização (CT) e o coeficiente de idade (CI). Para determinar se o medidor deve ser substituído, o FT calculado é comparado com os limites mínimos e máximos (Quadro 5.3). Caso o FT calculado estiver:

- Entre os Limites mínimo e máximo, indica demanda de troca do hidrômetro.
- Acima do Limite máximo, indica obrigatoriedade de troca do hidrômetro.

Quadro 5.3 – Critério para definição de demanda na troca de hidrômetro - Fator de Troca

Fonte: Anexo C da Norma NTS 281 (2011) da SABESP

| Cod. | CPH | Qnom (m ³ /h) | Qmáx (m ³ /h) | Totalização Referencial (m ³) | Idade referencial (anos) | Fator de Troca (mínimo/máximo) |
|------|-----|-----------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------------|
| Y | 0 | 0,75 | 1,50 | 4.320 | 8 | 0,5 a 1,5 |
| A | 1 | 1,50 | 3,00 | 8.640 | 8 | 0,5 a 1,5 |
| B | 2 | 2,50 | 5,00 | 14.400 | 5 | 0,5 a 1,5 |
| C | 3 | 3,50 | 7,00 | 20.160 | 5 | 0,5 a 1,5 |
| D | 4 | 5,00 | 10,0 | 28.800 | 5 | 0,5 a 1,5 |
| E | 5 | 10,0 | 20,0 | 57.600 | 5 | 0,5 a 1,5 |
| F | 6 | 15,0 | 30,0 | 86.400 | 5 | 0,5 a 1,5 |
| G | 7 | 15,0 | 300,0 | 129.600 | 3 | 0,6 a 1,5 |
| J | 8 | 30,0 | 1.100 | 259.200 | 3 | 0,6 a 1,4 |
| K | 9 | 50,0 | 1.800 | 432.000 | 3 | 0,6 a 1,4 |
| L | 10 | 150 | 4.000 | 1.296.000 | 2 | 0,8 a 1,2 |
| M | 11 | 250 | 6.500 | 3.240.000 | 2 | 0,8 a 1,2 |

Exemplo 5.1

Verificar, com base no critério do Fator de Troca adotado na Norma NTS 281 (2011) da SABESP, se o hidrômetro com as características abaixo é indicado à troca. As características são:

Totalização: 30.000 m³.

Idade do hidrômetro: 4 anos.

Vazão máxima = 7 m³/h.

Com base na vazão máxima, determina-se através do Quadro 5.3:

Totalização referencial = 14.400 m³

Idade referencial = 5 anos

Com os valores de referência, tem-se o FT:

$$FT = CT \times CI$$

$$FT = (Totalização \text{ do Hidrômetro} / Totalização \text{ Referencial}) \times (Idade / Idade \text{ Referencial}).$$

$$FT = (30.000/14.400) \times (4/5) = 1,19$$

Comparando o Fator de Troca (FT) com os limites mínimo e máximo apresentados no Quadro 5.3, verifica-se que hidrômetro se encontra na faixa de demanda (0,5 a 1,5) como potencial à troca.

A hidrometração é imprescindível no levantamento das perdas de água, pois a exatidão da sua medição define o nível de perdas aparentes e de faturamento do sistema, além de possibilitar o cálculo das perdas reais. Existe no mercado uma grande variedade de tipos de hidrômetros. Deve-se levar em consideração que a escolha de um hidrômetro não pode ser feita apenas no escritório, distante das condições reais de operação, pois o ideal é que a seleção seja realizada com base em dados de ensaios laboratoriais e nas características reais de sua utilização no campo. Um hidrômetro considerado bom é aquele que permanece com a exatidão por longo tempo, sendo este período selecionado na prática por estudo da relação custo/benefício, onde se determinam os custos da substituição do aparelho velho por um novo, comparando-se este com as perdas de receita ocasionadas pela submedição. O ponto de equilíbrio econômico da substituição será aquele a partir do qual as perdas sejam maiores que os custos de substituição (COELHO, 2009). O INMETRO recomenda que verificações periódicas sejam efetuadas nos hidrômetros em uso, em intervalos não superiores a cinco anos. Os principais objetivos da substituição dos hidrômetros são:

- 100% dos clientes com micromedição.
- 100% de leitura.
- Os medidores mantenham a exatidão recomendada.
- A leitura periódica.
- Eliminar os vazamentos.

Segundo Coelho (2009), não se deve acreditar que os fabricantes de hidrômetros ofereçam o melhor para as empresas de água. Os hidrômetros de médio e alto porte, existentes hoje no Brasil, muito pouco evoluíram nos últimos 20 anos. Basta dizer que um hidrômetro de 20 m³/h de vazão máxima, de acordo com a antiga PEB-147 da ABNT do ano de 1967, tinha uma vazão mínima de 220 L/h. Hoje, um medidor de mesma característica classe metroológica B, tem uma vazão mínima de 300 L/h. Observa-se que, passados mais de quarenta anos, houve um retrocesso com relação à exigência da vazão mínima deste hidrômetro. No Brasil, os hidrômetros são classificados metrologicamente de acordo com a vazão mínima (Q_{min}) e a vazão de transição (Q_t)⁹. O Quadro 5.4 apresenta as classes de hidrômetros e correspondentes valores de Q_{min} e Q_t .

Quadro 5.4 – Classes de hidrômetros e correspondentes valores de Q_{min} e Q_t

| Classe Metroológica | | Vazão Nominal (m ³ /h) | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|-----------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0,60 | 0,75 | 1,00 | 1,50 | 2,50 | 3,50 | 5,00 | 6,00 | 10,0 | 15,0 |
| A | Q_{min}^* | 0,024 | 0,030 | 0,040 | 0,040 | 0,100 | 0,140 | 0,200 | 0,240 | 0,400 | 0,600 |
| | Q_t^* | 0,060 | 0,075 | 0,100 | 0,150 | 0,250 | 0,350 | 0,500 | 0,600 | 1,000 | 1,500 |
| B | Q_{min} | 0,012 | 0,015 | 0,020 | 0,030 | 0,050 | 0,070 | 0,100 | 0,120 | 0,200 | 0,300 |
| | Q_t | 0,048 | 0,060 | 0,080 | 0,120 | 0,200 | 0,280 | 0,400 | 0,480 | 0,800 | 1,200 |
| C | Q_{min} | 0,006 | 0,0075 | 0,010 | 0,015 | 0,025 | 0,035 | 0,050 | 0,060 | 0,100 | 0,150 |
| | Q_t | 0,009 | 0,011 | 0,015 | 0,0225 | 0,0375 | 0,0525 | 0,075 | 0,090 | 0,150 | 0,225 |

*As vazões são em m³/h.

⁹ Vazão, em escoamento uniforme, que define a separação dos campos de medição inferior e superior.

Dentre os problemas provocados pela instalação incorreta dos hidrômetros, destaca-se negativamente a instalação inclinada. Segundo estudos realizados pelo engenheiro Elton Mello, a inclinação indevida de um hidrômetro velocimétrico comum pode levar a perdas, por submedição, superiores a 20% do volume registrado. Assim sendo, um hidrômetro velocimétrico comum se inclinado por um usuário fraudador, levará a elevadas perdas (MELLO, 1997). Em muitos casos, a inclinação dos contadores é realizada pelos próprios leituristas, que inclinam o hidrômetro para facilitar a leitura. Logo, é necessário o treinamento das empresas terceirizadas responsáveis pela leitura para abolir totalmente esta prática da rotina dos leituristas, conscientizando-os das perdas envolvidas. Outra função que deve ser apresentada ao leiturista é o registro de anormalidades nas ligações ou hidrômetros (ocorrência de vazamentos, se o equipamento está danificado ou fraudado etc.), o que resultaria em ganhos no faturamento e redução nos custos com equipes exclusivas para campanhas de combate a fraudes.

Ressalte-se que, com os hidrômetros volumétricos, é impossível provocar intencionalmente a submedição através da inclinação dos medidores (fraude mais comum hoje), porque estes são Classe Metrológica C em qualquer posição. Então surge a questão: por que não adotar? Os técnicos sabem que os hidrômetros volumétricos apresentam resultados bem melhores que os hidrômetros velocimétricos, o fato é que o volumétrico custa o dobro do velocimétrico (COELHO, 2009). Porém, alguns estudos demonstraram que para algumas faixas de consumo a substituição dos antigos hidrômetros classe metrológica B por outros de classe metrológica C se paga em alguns meses.

É fundamental que as empresas modernizem seus parques de hidrômetros, com atenção especial aos grandes consumidores (consumo acima de 50 m³/mês), evitando elevadas perdas de água e principalmente de faturamento, devido à submedição. As vantagens do monitoramento são inúmeras, mas dentre elas destacamos o total controle das informações de consumo e do funcionamento dos hidrômetros, o que pode evitar perdas de faturamento de grande significância em casos de travamento ou intervenção não autorizada no medidor. Estes clientes apresentam um potencial elevado de ganho financeiro, porque são responsáveis por uma parcela significativa do faturamento total das companhias. Assim, com um investimento relativamente pequeno, pode-se incrementar o faturamento com a substituição dos tradicionais hidrômetros velocimétricos por modernos nos grandes consumidores. Exemplificando o peso dos grandes consumidores, em 2007, os clientes com consumo superior a 100 m³/mês representavam menos de 0,5% das ligações da cidade de Limeira (São Paulo), porém foram responsáveis por mais de 20% do faturamento da Companhia Águas de Limeira.

Como referência para a execução de um programa de gestão do parque de hidrômetros, Gonçalves e Itonaga (2007) propõem as seguintes etapas:

Etapas 1 - Análise preliminar dos dados dos hidrômetros:

- Estratificação do parque de hidrômetros por tipo.
- Estratificação do parque de hidrômetros por modelo.
- Estratificação do parque de hidrômetros por tipo e por regional.
- Estratificação do parque de hidrômetros por modelo e por regional.
- Estratificação do parque de hidrômetros por atividade comercial.
- Estratificação do parque de hidrômetros por atividade comercial e por modelo.

- Estratificação do parque de hidrômetros por atividade comercial e por regional.
- Estratificação do parque de hidrômetros por consumo e por atividade comercial.
- Estratificação do parque de hidrômetros por consumo e por regional.
- Outras estratificações poderão ser realizadas dependendo da necessidade levantada durante o estudo e da quantidade de dados.
- Apresentação das oportunidades encontradas de redução de perdas pela análise do cadastro.
- Apresentação das subpopulações sugeridas para a pesquisa de campo.
- Apresentação da amostragem proposta para cada subpopulação.
- Relatório final da análise.

Etapa 2 - Pesquisa de campo - Na execução desta etapa são realizadas as seguintes ações nas subpopulações definidas na análise preliminar:

- Criação de *check list* das grandezas que serão avaliadas em campo.
- Criação de *check list* das grandezas que serão avaliadas em laboratório.
- Preparação de banco de dados com as variáveis de cadastro, de campo e de laboratório para todos os hidrômetros da amostra retirada de campo.

Etapa 3 - Análise técnica e financeira dos dados - Na execução desta etapa, são obtidos os seguintes resultados:

- Caracterização dos erros de medição por modelo estudado.
- Caracterização dos erros de medição por modelo e por ano de fabricação.
- Recuperação de água por modelo e por regional.
- Recuperação de água por faixa de consumo e por modelo.
- Estudo de viabilidade econômica de retirada por modelo, por regional, por faixa de consumo.
- Mapeamento das fraudes internas e externas por regional, atividade comercial, modelo, consumo médio.
- Relatório com os resultados desta etapa.

Etapa 4 - Elaboração do plano de ação - Na execução desta etapa são realizadas as seguintes ações:

- Identificação das ações de recuperação de água, técnica e financeiramente viáveis.
- Elaboração de plano de execução priorizando as ações.
- Elaboração de programa de acompanhamento da execução do plano.

Etapa 5 - Perpetuação de resultados - As ações que visam perenizar os resultados obtidos podem ser desdobradas da seguinte maneira:

- Sistematização do processo de pesquisa de campo.
- Auditoria do sistema de gestão da medição.
- Verificação da eficiência das ações implantadas.

Dentre os resultados dos programas adotados pelas companhias, citam-se os resultados obtidos pelo Programa de Combate às Perdas de Água da SANASA Campinas, que conseguiu reduzir seu índice de perdas de faturamento (que incluem as perdas aparentes e reais) de 37,7%

(1994) para 19,9% (2011). A gerente do setor de Controle de Perdas e Sistemas, Lina Cabral Adani, destacou na Revista Saneas (Ano IX, N° 27, 2007) as principais ações implementadas no parque de hidrômetros da Sanasa que deram resultados expressivos na redução de perdas aparentes: “Foram muitas as ações para agilizar o controle de perdas, mas eu destaco a implantação de novos critérios para dimensionamento de hidrômetros, a realização de manutenção Preditiva e Preventiva de hidrômetros, a utilização de hidrômetros velocimétricos $\varnothing \frac{3}{4}$ ”, $Q_n 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$, a utilização de hidrômetros velocimétricos classe C nas ligações com $\varnothing \geq 1$ ” e as ligações de água no padrão com caixa de proteção lacrada, instaladas nos muros dos imóveis”, afirmou.

No Brasil, é muito comum que os consumidores possuam reservatórios domiciliares. A grande maioria de medidores velocimétricos instalados a montante de reservatórios domiciliares opera com uma submedição por causa do efeito “caixa d’água”. Este fator agrava-se sobremaneira em sistemas de abastecimento intermitentes ou com pouca disponibilidade de água. Alguns estudos têm demonstrado que a adoção de hidrômetros de início de funcionamento baixo ou o uso de válvulas magnéticas evita que pequenas vazões no processo de enchimento do reservatório provoquem submedição. As chamadas “boias de alta vazão” não liberam a passagem para fluxos pequenos, reduzindo a submedição. Os hidrômetros volumétricos também se apresentam como alternativa para minimizar este tipo de erro de submedição, já que os mais modernos iniciam o funcionamento com vazões de até $0,5 \text{ L/h}$ (para medidores com vazão máxima de $3 \text{ m}^3/\text{h}$).

Pereira e Ilha (2006) avaliaram o índice de submedição de água em 24 consumidores da cidade de Campinas abastecidos pela SANASA. Os autores consideraram que a principal causa das perdas por submedição foi o superdimensionamento dos medidores, aliados ao uso de caixas d’água controladas por boias que mantêm as vazões de entrada abaixo da vazão mínima recomendada para o medidor. A partir da seleção aleatória de residências, foram utilizados medidores padrão do tipo volumétricos, capazes de medir vazões a partir de 2 L/h e grau de precisão maior do que os instalados, em série com os hidrômetros existentes nas residências. A seguir, houve a substituição dos medidores com vazão máxima de $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ para outros com vazão máxima de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Observou-se, com a substituição, que os índices de submedição caíram de 15,5% para 8%.

5.2.2 Controle de Integridade de Dados e da Contabilização dos Consumos

Há uma tendência entre os técnicos dos prestadores de serviço de água no Brasil e no mundo de assumir que as perdas aparentes ocorrem exclusivamente em virtude dos erros de medição, concluindo, por consequência, que a troca do parque de hidrômetros resolverá todos os problemas. Esta visão é equivocada. Obviamente, que a busca pela leitura correta nos hidrômetros é o primeiro passo no gerenciamento dos dados de consumo dos clientes. Mas, os profissionais não podem abandonar os erros no tratamento dos dados, que ocorrem na obtenção das leituras e na transferência dos dados para o sistema comercial da empresa.

O sistema comercial da companhia de saneamento, além de sua importância óbvia no controle do faturamento e de relações comerciais com o cliente, tem papel chave no controle de perdas, pois é nele que são armazenados os históricos de consumo das ligações e as

características dos hidrômetros instalados. Este sistema vai muito além de um simples banco de dados, representa um processo complexo que envolve diversas atividades que vão desde a análise do perfil de consumo da área abastecida pelo sistema de água, a instalação de hidrômetros adequados a esse perfil, a delimitação dos setores e grupos de leitura de hidrômetros, o próprio trabalho do leiturista, a sistemática de inserção das leituras no banco de dados, os procedimentos de análise de erros no sistema e validação das leituras, a aferição do parque de hidrômetros e o programa de controle de fraudes (GONÇALVES e ITONAGA, 2007).

A abrangência do uso de hidrômetros nos prestadores de serviços de água no Brasil ainda está longe de 100%. Para uma grande parcela dos usuários brasileiros, o serviço é fornecido sem qualquer medição do consumo real e o faturamento é baseado em encargos fixos atribuídos por tipo de usuário do cliente. Dentro das perdas aparentes, podemos incluir as perdas provocadas pelos erros na estimativa de consumo em ligações sem hidrômetros, que representam a diferença entre o “volume de água efetivamente consumido” e o “volume faturado não medido” dos clientes sem hidrômetros ou com hidrômetros quebrados. Nesta situação, com exceção de áreas carentes, dificilmente o usuário consome menos do que é cobrado como volume mínimo. É importante citar que algumas publicações consideram que o volume consumido por clientes que pagam uma tarifa fixa não pode ser contabilizado como perdas e sim como volume faturado (medido ou não). Esta situação se enquadra nos países cuja cobrança é “fixa” e não tem como base diretamente o consumo efetivo.

A leitura dos medidores é realizada, basicamente, de duas maneiras: manual ou automática. Os hidrômetros cuja leitura é denominada manual são aqueles em que um leiturista visita as instalações do cliente para coletar visualmente os dados. Na maioria dos países do mundo esta é a forma predominante de leitura. Segundo Thornton *et al.* (2008), em 2007, este sistema ainda era usado por mais de 70% dos serviços públicos de água da América do Norte. No entanto, a leitura automática vem crescendo rapidamente, principalmente nos grandes consumidores.

A leitura manual (visual) é eficaz e muito comum em serviços públicos de água brasileiros. A princípio, pode-se achar que o principal erro está na transcrição da leitura do contador, porém este tipo de erro diminuiu bastante nos últimos anos, principalmente porque as empresas estão adotando equipamentos eletrônicos para o registro das leituras. Os principais problemas relacionados com a leitura visual são ocasionados pelo difícil acesso aos medidores, o que resulta na cobrança pela média ou por estimativas. O acesso é dificultado, principalmente, pela localização física do equipamento (dentro da residência ou prédio) e por causa de animais. Fato que impulsionou as empresas a adotarem padrões para a instalação de seus hidrômetros.

A SABESP adota a Unidade de Medição de Água - UMA em substituição aos cavaletes “convencionais”. De acordo com os resultados obtidos, justamente pelo medidor ser instalado em um local de fácil acesso e visualização, as UMAs proporcionam excelentes resultados, tais como:

- Melhoria na relação com os clientes.
- Aumento na produtividade dos leituristas.
- Redução de vazamentos nos medidores.
- Redução dos gastos com manutenção e troca de hidrômetros.

- Diminuição das fraudes e irregularidades.
- Eliminação dos impedimentos de leitura e manutenções.
- Redução das contas faturadas por média.
- Eliminação de hidrômetros inclinados.
- Diminuição do vandalismo.
- Redução das dificuldades na execução dos serviços de corte.

A metodologia tradicional de manipulação de dados e faturamento dos consumos dos clientes requer um leiturista para visitar cada propriedade e ler o contador. As medições são registradas em formulários específicos, levados de volta para o escritório e entregues ao departamento de cobrança, que digitam os dados no sistema de faturamento. Para concluir, uma fatura é impressa e enviada para o cliente. Neste cenário, uma variedade de erros pode ocorrer nas diferentes etapas, como o leiturista escrever os dados incorretos, o departamento de cobrança transcrever os dados erroneamente no sistema de faturamento, ou a fatura ser enviada para o endereço errado. Visando minimizar as possíveis falhas na faturação do consumo, diversos sistemas podem ser implantados para substituir uma ou mais etapas do processo tradicional.

Um exemplo de sistema eficiente é o utilizado pela Compesa, onde o leiturista utiliza um microcoletor de dados portátil de alta tecnologia (*smartphone*) para realizar a leitura dos hidrômetros, transmitindo via operadora de celular para o sistema comercial da empresa, emitindo simultaneamente a fatura. O consumidor pode acompanhar a leitura, o que resultará em uma maior confiabilidade da população. No caso de Caruaru (PE), antes o leiturista marcava o valor, enviava para Recife e então a nota era gerada. Eram necessárias duas visitas ao cliente. Atualmente, a fatura é impressa logo após a leitura e entregue diretamente ao consumidor. Comentando o sistema, o diretor comercial da Compesa na ocasião, Décio Padilha, afirmou em uma reportagem que a implantação do sistema também melhora a relação da empresa com o cliente, “é uma tecnologia que vem facilitar a vida dos usuários e também a correção de erros. O cliente só receberá a visita do leiturista uma vez ao mês, onde poderá, inclusive, conferir se o cálculo de sua conta foi feito corretamente”. Ele ainda citou que o sistema proporcionará uma redução em até 30% das reclamações nas lojas de atendimento.

A leitura automática é menos propensa a erros de manipulação de dados do que a visual, porém pode falhar devido ao mau funcionamento do dispositivo automático de leitura, calibração imprópria, falha da bateria ou transmissão.

Os sistemas de telemetria para a leitura dos consumos dos clientes são promissores, porque permitem um conhecimento mais detalhado e mais confiável dos consumos, o que dificilmente se obtém utilizando os métodos tradicionais de leitura.

Embora tenham ocorrido recentes avanços tecnológicos, a adoção de hidrômetros com telemetria ainda é, relativamente, cara. Adicionalmente, a exploração das potencialidades desta tecnologia levanta uma nova questão sobre a necessidade de uma gestão adequada ao grande volume de dados que é gerado periodicamente.

O sistema de monitoramento de hidrômetros por telemedição possibilita a realização da gestão do consumo de água, avaliação das vazões noturnas, identificação dos vazamentos e dos picos de consumo, permitem à empresa de saneamento a readequação do hidrômetro ao cliente e a identificação de vazamentos em suas instalações, além de possibilitar a rápida tomada de ações corretivas em um curto espaço de tempo. Ademais, os modelos eletrônicos

não possuem partes móveis e tem boa precisão para pequenos fluxos (alguns litros por hora), ou seja, mesmo vazões reduzidas podem ser detectadas pelos medidores. De modo geral, os modelos mecânicos não são indicados para vazões menores de 15 L/h.

O sistema comercial da empresa deve permitir o conhecimento dos clientes que constitui seu mercado, assim como dispor de elementos para avaliar seu comportamento. Dentre os elementos que constitui o sistema de comercialização, destacamos aqui o subsistema de cadastro de clientes e o subsistema de medição de consumidores.

O subsistema de cadastro de clientes é responsável pelo registro e manutenção atualizada das informações básicas para cobrar dos clientes os serviços prestados, assim como outras informações necessárias para o bom funcionamento da área comercial da empresa e o planejamento de ampliação e expansão dos serviços. O ideal é a integração deste sistema em um Sistema de Informação Geográfica - SIG. De acordo com Coelho (2009), os objetivos principais do subsistema de cadastro de clientes são:

- Estabelecer e manter atualizado o registro dos clientes para servir de base ao faturamento e cobrança do serviço prestado.
- Registrar os clientes factíveis e potenciais, e demais informações necessárias à função de comercialização.
- Registrar os clientes por tipo, classes e categorias, de forma que esta classificação permita cumprir com os outros objetivos do sistema comercial e da empresa.
- Estabelecer adequada identificação dos clientes para sua localização física e demais ações administrativas.

O controle de integridade de dados de faturamento e o controle e análise de dados é obtido através de um cadastro comercial adequado. Como resultado de aplicações desta metodologia em sistemas de diversos países, verificou-se que a melhoria da qualidade dos dados para as auditorias do uso de água e o estabelecimento de metas é fundamental para uma estratégia bem sucedida de gestão de perdas aparentes. Em um passado recente, os sistemas de faturamento dos clientes eram desenvolvidos com o objetivo exclusivo de gerar contas que resultassem em cobrança de receitas. Porém, tornou-se evidente nos últimos anos que a importância dos dados de consumo dos clientes vai além de servir como base para o faturamento. Estes são utilizados para analisar o comportamento dos consumos, e fornecer informações para as auditorias do uso da água e modelagens hidráulicas dos sistemas. Dependendo do nível de perdas aparentes, recomenda-se que a companhia tenha uma equipe dedicada em tempo integral para a função investigativa. Estes devem ser auxiliados por ferramentas computacionais que alertam para dados incoerentes, como, por exemplo, uma residência com baixo consumo localizado em uma região cuja população possui alto poder aquisitivo. Estas ações são bastante rentáveis, sobretudo nas fases iniciais dos programas de controle de perdas de água.

O subsistema de medição dos consumidores abrange os setores da companhia responsáveis pela micro e macromedição, e tem como principais objetivos (COELHO, 2009):

- Manter os hidrômetros de forma que funcionem com exatidão e em forma permanente.
- Determinar e registrar os consumos dos clientes, a fim de cobrar os serviços de acordo com o que realmente foi consumido.

- Garantir um registro eficiente e confiável dos consumos através de um processo racional de leitura e crítica, com finalidade de fornecer os dados confiáveis.
- Obter dados sobre o comportamento da demanda para que, em conjunto com as projeções de cobertura de serviços, possam estabelecer projeções de demanda e valores de per capita para novos projetos.
- Otimizar os sistemas de produção e distribuição mediante o conhecimento do volume fornecido.
- Conhecimento dos volumes de água fornecidos a rede distribuidora e assim propiciar a determinação do nível de perdas reais e aparentes.
- Atualizar periodicamente o cadastro de clientes através de contato direto no momento da leitura.

As empresas devem se esforçar em criar mecanismos para que o setor comercial tenha sintonia com os setores de projeto e operacionais. Um exemplo de ação que deve ser implementada é a conciliação dos “setores comerciais” com a setorização da rede. E isso representa um desafio para os técnicos que trabalham com o controle de perdas.

Com o uso crescente dos Sistemas de Informação Geográfica - SIG, a atualização cadastral está, cada vez mais, associada ao georreferenciamento e a digitalização das informações, facilitando e promovendo a confecção de mapas temáticos (por exemplo, áreas identificadas por níveis de perdas aparentes e reais). Os SIGs são ferramentas bastante interessantes para o arquivamento e leitura de dados distribuídos espacialmente. Estes pacotes computacionais permitem a análise facilitada de sistemas com elevado volume de informações. Detalhes sobre o uso de SIGs são apresentados na Seção 7.2.

Para o aprofundamento dos temas abordados nas Seções 5.2.1 e 5.2.2, recomenda-se a leitura do livro “Micromedição” de Adalberto Cavalcanti Coelho (COELHO, 2009), cuja edição também foi elaborada com o apoio da Eletrobras (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.), no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica para o Setor de Saneamento (PROCEL SANEAR - Eficiência Energética no Saneamento Ambiental). O livro apresenta a forma de avaliar o parque de hidrômetros e os fundamentos técnicos e econômicos que devem nortear a política de micromedição (seleção, dimensionamento e a substituição preventiva e corretiva dos hidrômetros).

5.2.3 Combate a Fraudes e Uso Não Autorizado

Há diversos tipos de fraudes aplicadas nos sistemas de distribuição de água, as mais comuns são: ligação clandestina, inclinação do medidor, furo no visor do hidrômetro, inversão do hidrômetro, inserção de objeto na engrenagem do hidrômetro, emprego de bombas ligadas ao ramal predial etc. A Figura 5.11 apresenta a distribuição dos tipos de fraudes no Distrito Federal (CAESB) no período de 2000 a 2002. Após a implantação do programa de controle de fraudes, em 2000, observou-se uma redução de 46% no número de ocorrências na empresa.

A política de controle de uso não autorizado é basicamente a realização periódica de campanhas educacionais e campanhas de combate às fraudes, ligações clandestinas e usos não autorizados, com base em pesquisas de campo e cadastrais. Em 2011, a SABESP realizou 218 mil vistorias na Região Metropolitana de São Paulo. Foram detectadas 23.572 fraudes, com um

desvio total de 4,4 milhões de m³ de água consumida e esgoto coletado. Esse volume é o equivalente ao consumo de 34 mil pessoas. As campanhas devem ser de caráter contínuo e em uma linguagem acessível às comunidades alvo. A conscientização da população deve ser prioridade na companhia. Este tipo de ação pode ser eficaz e proporciona um aumento das receitas e melhora na imagem da empresa.

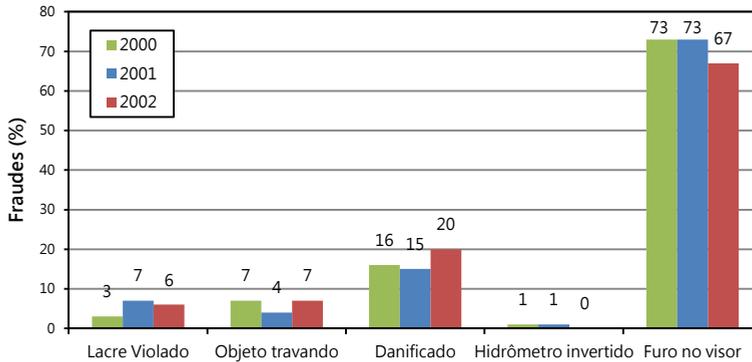


Figura 5.11 – Distribuição dos tipos de fraudes no Distrito Federal (2000-2002)
(GOULART, 2001 *apud* GONÇALVES e ITONAGA, 2007)

A maioria das empresas possuem canais de comunicação para denúncias de fraudes. Na prática, a população deve ser informada que todos os clientes regulares pagam a água consumida pelos fraudadores e a companhia deve incentivar as denúncias por meio de números telefônicos específicos. Também é importante que as empresas requisitem uma ocorrência policial e perícia técnica no ato da localização da fraude, de modo a desestimular a população mal intencionada. Conforme Tsutiya (2005), o combate às fraudes deve ser uma atividade perene na companhia de saneamento, pois se há percepção de fragilidade nesse sentido, os potenciais fraudadores sentir-se-ão encorajados ao delito. É importante realçar que fraude é crime e, portanto, passível de todos os procedimentos jurídicos e processuais usuais para enquadramento nas penalidades previstas em lei.

Grande parte das ligações clandestinas se localiza em áreas com poder aquisitivo mais baixo e em áreas de baixa segurança. Em muitos casos, estas ligações podem ser controladas através de campanhas de detecção periódicas de fraudes, da aplicação de sanções severas aos clientes fraudulentos e da realização de campanhas de sensibilização da população. Outra ação adotada por companhias brasileiras é a tarifa social, por meio da qual as populações de baixa renda podem pagar valores menores pelo serviço prestado. Por exemplo, a tarifa social da SABESP chega a ser 64% menor do que a tarifa residencial normal - considerando residências com consumo médio inferior a 15 m³ mensais de água. Esta ação estimula as comunidades carentes e os conjuntos habitacionais destinados aos moradores de baixa renda a se manterem dentro da legalidade, resultando na diminuição do número de clientes com irregularidades.

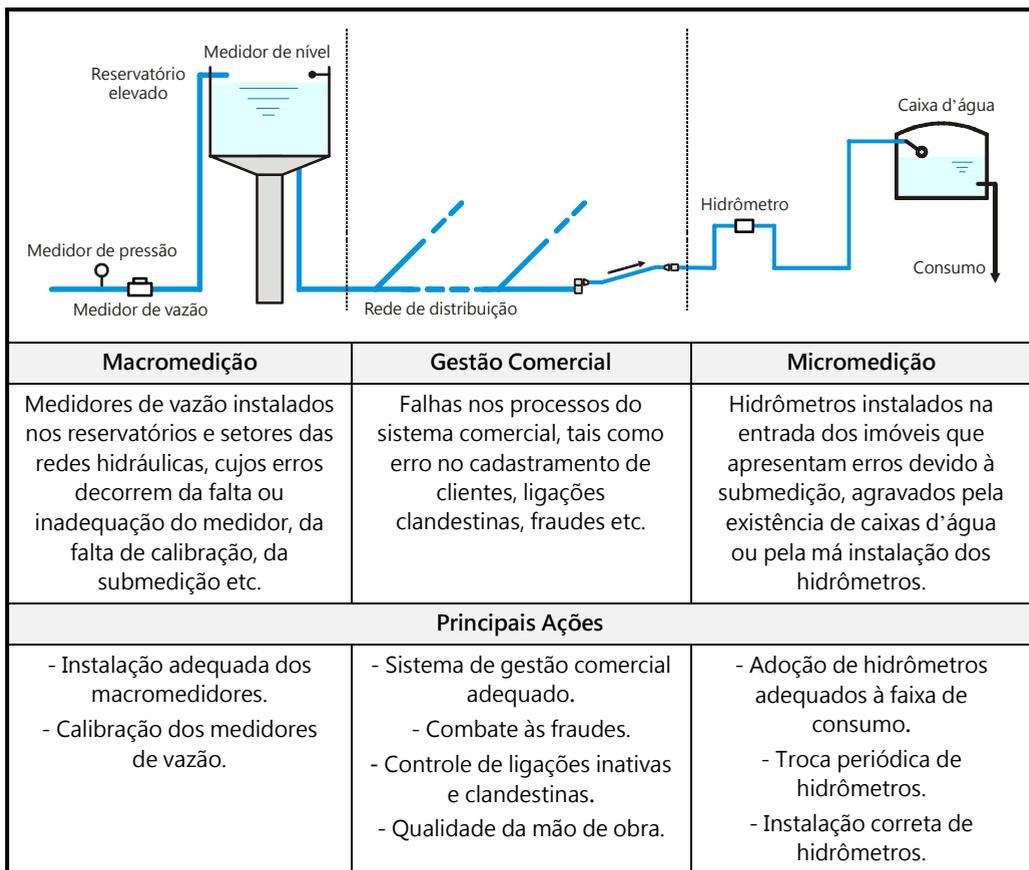
No caso das pesquisas em campo, a detecção de ligações clandestinas é realizada com técnicas acústicas. Uma técnica sofisticada que pode ser utilizada em locais com suspeita de fraudes ou ligações diretas é a instalação de microcâmeras por meio dos cavaletes ou mesmo pelo ramal de entrada através de uma pequena escavação no passeio. As imagens revelam não somente derivações irregulares como podem filmar travamentos pelos mais diversos dispositivos.

O uso não autorizado (fraudulento, roubo) da água proveniente de hidrantes, registros e descargas também estão incluídos neste tópico. Na Região Nordeste, é comum o enchimento irregular de caminhões pipa nas instalações das companhias de saneamento. O combate a estas fraudes pode ser realizado adotando registros que só abrem com a inserção de um código (senha). A Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA foi pioneira no controle eletrônico de registros para caminhões pipa. O sistema da empresa é todo digital e o motorista só pode abastecer o caminhão se estiver devidamente cadastrado. Com adoção do sistema, não é necessário um funcionário da companhia esta presente no abastecimento, basta que o celular do motorista esteja cadastrado e este envie uma senha para o sistema, que reconhece o usuário e o total de água que será liberado para o veículo. Este sistema é importantíssimo nos períodos de seca, de modo que permite o controle de caminhões pipa somente para comunidades carentes residentes em zonas rurais, geralmente não atendidas por sistemas de abastecimento.

Com o objetivo de sintetizar as ações voltadas para o controle e redução de perdas aparentes, Tardelli Filho (2005) elaborou um esquema ilustrativo, que é apresentado (versão modificada) no Quadro 5.5.

Quadro 5.5 – Síntese das ações para o controle de perdas aparentes

Fonte: modificado de Tardelli Filho (2005)



A gestão de pressão também reduz as perdas aparentes, porque com a diminuição da pressão de serviço, o volume de consumo não autorizado também diminui.

Como no acompanhamento das perdas reais, as ações de perdas aparentes devem ser aplicadas em setores, de maneira a facilitar o estudo dos consumos e perdas, além de possibilitar o melhor acompanhamento dos consumidores, como, por exemplo, a saída de um grande consumidor ou o excesso de faturamento de contas pela média.

5.3 Macromedição

As medições das grandezas hidráulicas são indispensáveis para os estudos de eficiência hidráulica nos sistemas de abastecimento de água, pois além de proporcionar o conhecimento das variáveis envolvidas nos processos, subsidia a definição da melhor forma de operação dos sistemas. O sistema de medição deve considerar as finalidades e objetivos da operação e/ou dos diagnósticos, bem como levar em consideração as realidades técnicas, operacionais e culturais de cada serviço de saneamento.

No Balanço Hídrico da IWA, os valores dos diversos componentes são representados em volumes. A confiabilidade da auditoria do uso da água é diretamente influenciada pela precisão do valor de volume de água fornecido (coluna 1 do Quadro 3.1). Este componente tem um forte peso nos resultados porque é o primeiro valor inserido no balanço. Qualquer erro neste valor é refletido em todos os elementos do balanço e aumenta a incerteza nos valores das perdas aparentes e reais. Erros na definição do volume de entrada do sistema são comuns e deve-se a valores estimados (inexistência de medição), ausência de programa de calibração (ocasionam erros de medição), erros devido ao desconhecimento da configuração da rede. Portanto, é imperativo uma macromedição eficaz e eficiente, de modo que o cálculo do balanço não seja afetado por medições erradas.

Ressalta-se que a medição não pode ser vista como uma operação isolada, independente do contexto e das finalidades. Quantificar um determinado parâmetro de interesse não depende somente do ato de medir propriamente dito. Não basta dispor de um instrumento e realizar a leitura, há que se estabelecer um contexto onde se dá a medição. Deve-se pensar o sistema como um todo.

5.3.1 Tubo Pitot Tipo Cole

Os medidores de inserção têm partes introduzidas em orifícios executados na tubulação para a medição. Esses medidores permitem medir a velocidade em pontos específicos da seção transversal de escoamento. A principal vantagem dos medidores de inserção é a instalação e a remoção sem necessidade de interrupção no abastecimento. O medidor de inserção clássico é o Tubo de Pitot. O Tubo de Pitot também se enquadra nos medidores de pressão diferencial. Este é um instrumento que permite medir a pressão de estagnação no ponto onde é introduzido. A velocidade do fluido no ponto de medição é encontrada a partir da diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática.

A priori, pode-se medir na velocidade no ponto médio do tubo ou em vários pontos e, aplicando técnicas de integração, determina-se a vazão. À medição de velocidade em diversos

pontos de uma mesma seção dá-se o nome de mapeamento, sendo muito utilizado pelos técnicos de pitometria de prestadoras do serviço de abastecimento. Há vários métodos para se mapear as velocidades em seções de condutos forçados, mas os mais conhecidos são aqueles apresentados na norma ISO 3966/2008 - *Measurement of fluid flow in closed conduits - Velocity area method using Pitot static tubes* e no 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 frequente em manuais de pitometria no Brasil. O procedimento matemático para o cálculo da velocidade média na seção é descrito detalhadamente no Guia Prático - Ensaios Pitométricos (FRANGIPANI, 2005), que está disponível para *download* gratuito na internet.

No Brasil, o Tubo Pitot mais utilizado em saneamento é o tipo Cole. Este instrumento tem um desenho especial para poder ser introduzido em tubulações condutoras de água por meio de um TAP com válvula. Desta forma, é possível fazer as medições em seções de tubulações pressurizadas (linhas em carga). A pitometria tem sido usada há muitas décadas pelos técnicos brasileiros nos sistemas e é sinônimo de medição de vazão.

Para que a medição de vazão em condutos forçados através das práticas pitométricas apresente resultados confiáveis, é imprescindível observar as três condições abaixo:

- O diâmetro do conduto a ser medido deve ser igual ou superior a 100 mm.
- A velocidade no conduto deve ser superior a 0,30 m/s.
- A pressão dinâmica no ponto de medição deve ser superior à pressão mínima dos sensores utilizados para medir a pressão.

Apesar de comum, vale ressaltar que o tradicional uso de líquidos manométricos para medir a pressão diferencial em Pitot é uma prática que deve ser abandonada, devido aos riscos envolvidos, pois o líquido pode vaziar e atingir a água transportada. Recomenda-se que em campo, as medições de vazão sejam realizadas com o Tubo Pitot associado a um *datalogger* de diferencial de pressão ou uma maleta “eletrônica”. De forma geral, a maleta é fornecida com os seguintes componentes: um *software* capaz de converter o diferencial de pressão em vazão, interface homem-máquina, bateria recarregável e *datalogger*.

A pitometria é uma técnica simples e confiável de medição de vazão, embora apresente incerteza de medição superior a dos medidores eletrônicos. É comum o uso do Pitot para a verificação de medidores permanentes, dado que a aferição de medidores de grande diâmetro é custosa e, geralmente, exige a retirada do aparelho.

O conjunto de fatores envolvidos nas medições indica que a medição de vazão com mapeamento por Tubos Pitot deve ser considerada com uma incerteza da ordem de $\pm 2\%$ a $\pm 5\%$. Em situações de perfil mais irregular de vazão, a incerteza pode chegar a 10%. Portanto, a medição de vazão com Pitot Cole é um método que deve ser usado com consciência sobre suas limitações e os fatores que as ocasionam.

5.3.2 Medidores Eletromagnéticos

Os medidores eletrônicos de vazão são constituídos por dois componentes: o elemento primário e o elemento secundário (condicionador de sinais). O elemento primário é responsável pela conversão do parâmetro físico (velocidade) em um sinal, geralmente, elétrico.

Os medidores eletrônicos possuem opções de saída para leitura remota, registro de volumes e vazões, meios de parametrização, autodiagnóstico, além de possibilitarem alarmes diversos para picos de vazão, tubo vazio e fluxo inverso, entre outros. A fim de ser compatível com outros equipamentos (por exemplo, CLPs, controladores diversos, *datalogger* etc.) o secundário possui, em geral, uma ou várias saídas de sinal.

Os medidores eletromagnéticos baseiam-se no aspecto físico-químico de que a água potável é um fluido condutor de eletricidade. O princípio de transdução de um medidor eletromagnético baseia-se na lei da indução de Faraday. O valor da força eletromotriz é proporcional à velocidade do condutor e à densidade do fluxo magnético.

Existem dois tipos de medidores eletromagnéticos, o carretel (ou tubular) e o de inserção. O dimensionamento hidráulico do primário de um medidor eletromagnético tubular resume-se à determinação do valor mais adequado do seu diâmetro nominal. Os diâmetros internos variam com a marca e o modelo do primário, com a classificação de pressão e com o tipo de revestimento do tubo de medição. Contudo, o diâmetro interno, geralmente, não difere muito do valor numérico do diâmetro nominal. Os dados necessários para o dimensionamento deste medidor são as vazões mínima, média e máxima. Em síntese, o dimensionamento do primário de um medidor eletromagnético tubular deve possuir diâmetro interno que, tanto quanto possível, satisfaça as seguintes condições: velocidade média próxima a 4 m/s, velocidade máxima menor que 6 m/s e velocidade mínima maior que 0,5 m/s.

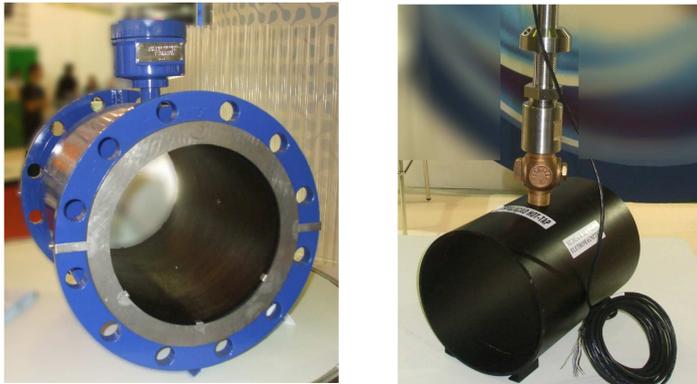


Figura 5.12 – Medidor de vazão eletromagnético tipo carretel e inserção

O medidor eletromagnético de inserção, também chamado de sonda eletromagnética, tem um desenho especial para poder ser introduzido em tubulações condutoras de água por meio de um registro de derivação TAP. Estes medidores são, normalmente, uma boa alternativa para medições temporárias, já que podem ser instalados no mesmo registro de derivação utilizado em pitometria. Na sonda eletromagnética, a tensão induzida nos eletrodos, diferentemente dos medidores tubulares, é proporcional à velocidade média ao redor dos eletrodos. A medição é pontual e sua precisão depende não apenas do rigor com que a sonda é posicionada, mas também do valor da relação entre a velocidade medida e a velocidade tomada como média da seção.

A profundidade de inserção recomendada do medidor eletromagnético é normalmente a 1/8 do diâmetro interno ($D/8$), sendo comum também a instalação no centro do tubo. Porém, quando houver necessidade de obter maior precisão na sua medição, o ideal é que, antes da

instalação do medidor, seja realizado um rigoroso levantamento do perfil da curva de velocidades do local de instalação. Analisando o perfil de velocidade, determina-se o ponto de instalação/inserção do equipamento que corresponde à velocidade média (ver Seção 5.3.5).

O dimensionamento dos medidores eletromagnéticos de inserção está relacionado com o diâmetro do tubo. O seu diâmetro interior deve ser tal que a velocidade esteja dentro da faixa admissível recomendada pelo fabricante do equipamento. Alguns fabricantes recomendam que a velocidade do fluxo seja a mais próxima possível da velocidade máxima admissível. Como na prática, dificilmente às velocidades são superiores às estabelecidas pelos fabricantes, o medidor de inserção torna-se uma ótima opção para ser usado como portátil. Este se adéqua aos diversos tamanhos de tubulação.

Os medidores eletromagnéticos apresentam as seguintes vantagens:

- Tecnologia bem desenvolvida e confiável.
- Boa amplitude de medição.
- Possuem modelos para diâmetros superiores a 2000 mm.
- Repetitividade $\pm 0,1\%$ da leitura até $\pm 2,0\%$ do fundo de escala (modelos tipo carretel).
- Bom tempo de resposta.
- Perda de carga desprezível.
- Opera com escoamento bidirecional (disponível em alguns modelos).
- Quando equipado com válvula de bloqueio, pode ser removido e instalado com a linha pressurizada (para modelos de inserção).
- Não possuem partes móveis.
- Em alguns modelos, a medida independe da viscosidade, densidade e temperatura.

Os valores típicos das incertezas de medição padrão (relativos ao valor medido) informados pelos fabricantes variam de $\pm 0,2\%$ a $\pm 1,0\%$ (modelos tipo carretel) e $\pm 2,0\%$ a $\pm 4,0\%$ (modelos de inserção). A medição de vazão deve ser realizada em sistemas operando com velocidade superior a 0,5 m/s. Ressalta-se que o erro de medição cresce consideravelmente para valores de velocidade inferiores a 0,5 m/s.

Os procedimentos de manutenção são os habituais: manutenção preventiva com limpeza interna, verificação dos secundários e conexões, limpeza do local de instalação; manutenção preditiva avaliando o comportamento das medições com o tempo; e manutenção corretiva, eventualmente com sua troca. Um plano de calibração periódica é imprescindível.

5.3.3 Medidores Ultrassônicos

Um medidor de vazão ultrassônico, utilizado em escoamentos pressurizados, possui sensores que emitem ondas ultrassônicas que se propagam através do líquido, recebe-as depois de terem sofrido a influência do escoamento e usa o resultado desta influência para determinar a velocidade do escoamento. Os medidores ultrassônicos podem ser classificados, de acordo como seus transdutores são instalados (posicionados), em:

- Medidor tipo carretel ou tubular (em inglês, *inline version*).
- Medidor de inserção (em inglês, *insertion version*).
- Medidor de fixação externa (em inglês, *clamp-on version*).

O medidor ultrassônico tubular possui esta denominação em virtude do tipo de primário, que é composto por transdutores ultrassônicos (com um elemento piezoelétrico que funciona alternadamente como emissor e receptor de ondas ultrassônicas) instalados em um tubo. Tem-se também um condicionador de sinal (elemento secundário) que, além de excitar o elemento piezoelétrico do transdutor emissor, realiza o processamento digital dos sinais ultrassônicos, convertendo-os em sinais de saída normalizados proporcionais à velocidade média do escoamento. Os medidores ultrassônicos tubulares possuem precisão próxima aos medidores eletromagnéticos tubulares, justamente porque não é necessário o técnico levantar as características da tubulação. Os valores típicos das incertezas de medição padrão (relativos ao valor medido) informados pelos fabricantes variam de $\pm 0,5\%$ a $\pm 2,0\%$.

Os medidores ultrassônicos tipo *clamp-on* possuem transdutores que são montados na superfície exterior da tubulação, ou seja, não são intrusivos, o que possibilita a realização de medições sem que haja intervenção na tubulação. Eles se apresentam como opção em relação aos Tubos Pitot em avaliações pitométricas, reduzindo os custos de instalação de macromedidores e o tempo de medição. A instalação é realizada após o usuário inserir diversos dados no *software* do equipamento (espessura e material do tubo, tipo de revestimento etc.). Logo, o erro na leitura é fortemente influenciado pela exatidão destes dados. Os valores típicos das incertezas de medição padrão (relativo ao valor medido) dos medidores ultrassônicos portáteis variam de $\pm 1,0\%$ a $\pm 5,0\%$.

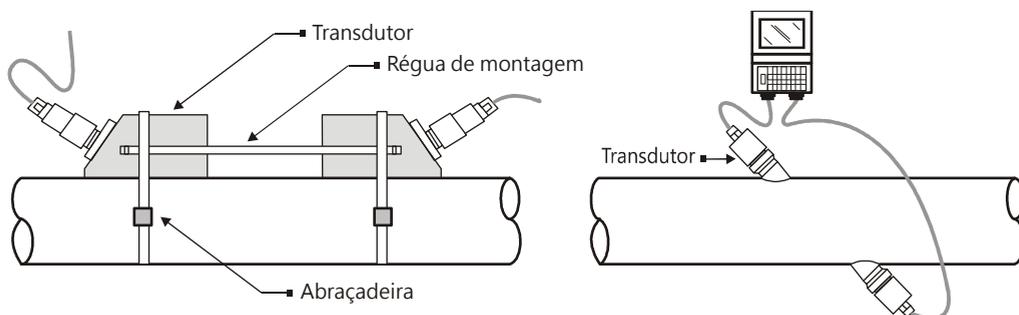


Figura 5.13 – Medidor de vazão ultrassônico de fixação externa (*clamp-on*) e de inserção

Podem-se classificar os medidores ultrassônicos, de acordo com o princípio de medição, em **tempo de trânsito** e **efeito doppler**. O medidor ultrassônico 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 ultrassom.

Atualmente, já podem ser encontrados no mercado medidores ultrassônicos capazes de medir em diâmetros que vão de 1” até 360”, que operam vazões superiores a 100.000 m³/h. Alguns modelos são capazes de medir velocidades superiores a 10 m/s.

Os medidores que utilizam o princípio de **tempo de trânsito** (também chamado de tempo de propagação) possuem transdutores que são fixados na tubulação, deslocados em uma distância predeterminada, de maneira que seja medido o tempo de duração do percurso entre os transdutores. Com base no tempo de propagação do sinal, determina-se a velocidade média do escoamento na seção. Os medidores ultrassônicos portáteis de tempo de trânsito geralmente utilizam dois transdutores que funcionam como transmissores e receptores dos

sinais ultrassônicos. Os transdutores são fixados na parte externa de um tubo fechado a uma determinada distância um do outro. Estes transdutores podem ser montados de três modos: em V, W e Z. A seleção do modo de montagem e a distância entre os transdutores são baseadas nas características físicas do tubo de instalação (material, revestimento, diâmetro etc.) e nas características do líquido, justamente porque ambos influenciam no sinal gerado pelos transdutores.

O **medidor por efeito doppler** determina a velocidade média do escoamento pela variação da frequência do sinal ultrassônico refletido nas partículas em suspensão presentes no fluido em movimento. Repetindo a medição diversas vezes por segundo sobre partículas diferentes no escoamento, obtém-se a velocidade média do escoamento.

A estimativa da incerteza de medição e a calibração dos medidores de efeito *doppler* é 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. Os medidores ultrassônicos de efeito *doppler* não são recomendados para aplicação em tubulações verticais, pois nesse tipo de instalação as partículas se deslocam com velocidade diferente da velocidade do escoamento, quer sejam pesadas ou leves.

Há medidores ultrassônicos que possuem os dois modos de operação: tempo de trânsito e efeito *doppler*. O medidor pode ser configurado para mudar automaticamente de um modo de operação para o outro de acordo com as condições do líquido.

As principais vantagens dos medidores ultrassônicos são:

- Tecnologia bem desenvolvida e confiável.
- Sem partes móveis.
- Boa faixa de medição (10 até 100:1).
- Alguns modelos operam com diâmetros entre 10 e 9.000 mm.
- Bom tempo de resposta.
- Perda de carga desprezível.
- Opera com escoamento bidirecional.
- Fácil montagem e mobilidade (modelos portáteis).

A manutenção de medidores ultrassônicos deve seguir, em linhas gerais, os mesmos procedimentos aplicáveis a outros medidores, com planos de manutenção preventiva e preditiva, quando possível. Recomenda-se seguir as orientações do fabricante quanto aos procedimentos de manutenção e calibração periódica.

Os medidores ultrassônicos portáteis, 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 são cada vez mais utilizados nas campanhas de pitometria.

5.3.4 Medidores Tipo Turbina de Inserção

Os medidores tipo turbina medem a vazão a partir do movimento da água, cuja velocidade de rotação é função da vazão de escoamento. Existem vários tipos de medidores tipo turbina, sendo que os mais conhecidos são: de inserção, Woltmann e seus derivados, compostos e proporcionais.

O medidor de vazão tipo turbina de inserção é um instrumento de medição de vazão velocimétrico. O elemento sensível à vazão é um rotor com um sistema de palhetas fixas, suspenso livremente sobre um eixo horizontal posicionado no sentido do fluxo do líquido. A velocidade rotacional da turbina é proporcional à velocidade do escoamento. A rotação do rotor gera pulsos elétricos que representam um determinado volume discreto. A frequência ou a repetição dos pulsos representa o valor da vazão instantânea e a totalização dos pulsos acumulados representa o volume total medido.

Semelhante ao medidor eletromagnético de inserção, a profundidade de inserção é normalmente a 1/8 do diâmetro interno. Porém, quando houver necessidade de obter maior precisão na sua medição, a instalação deste tipo de medidor deve ser precedida de rigoroso levantamento do perfil da curva de velocidades do local de instalação e, somente após criteriosa análise do perfil, deve-se escolher o ponto de instalação/inserção do equipamento. As principais vantagens do medidor tipo turbina de inserção são:

- Versátil e de larga faixa de operação.
- Portátil.
- Normalmente utilizado em medições de grandes vazões.
- Faixa de velocidade de 0,5 a 15 m/s.
- Baixo custo.

As principais desvantagens são:

- É necessário que o fluido seja limpo.
- Incorpora partes móveis (desgaste).
- Sofre influência da temperatura devido à variação da viscosidade.
- Exige calibrações sistemáticas.
- Não é padronizado.

No ato da instalação, recomenda-se o aumento gradual da vazão na linha que o medidor será instalado até que alcançar a operação normal, porque o rotor pode ser danificado na partida do sistema devido ao excesso de velocidade. O medidor de inserção tipo turbina não pode operar acima da velocidade máxima estabelecida pelo fabricante, porque o excesso de velocidade nos mancais causa danos permanentes. A maior probabilidade de ocorrência deste tipo de evento é durante a partida do sistema, quando existe a presença de ar nos tubos. Recomenda-se que o ar seja eliminado das tubulações antes do estabelecimento da vazão mais elevada e o cuidado com golpes de aríete.

A manutenção dos medidores tipo turbina consiste na realização de inspeções periódicas para observar e assegurar que as partes do medidor não sofreram qualquer tipo de dano ou corrosão. Os suportes, cones e o rotor devem ser limpos com solventes ou álcool. Caso o medidor fique armazenado ou fora de uso por um período longo, recomenda-se proteger as peças com uma camada de preservativo contra oxidação. Um dos maiores causadores do mau desempenho do medidor de turbina é a incrustação de resíduos nos mancais ou nos rolamentos. A maioria dos sistemas contém impurezas que se alojam ou incrustam no medidor, formando uma crosta ou resíduo gelatinoso. Portanto, sempre quando possível, é recomendado uma lavagem geral com um solvente apropriado imediatamente após o uso. O solvente deve ser quimicamente neutro e volátil, como o álcool etílico e o freon (BEZERRA *et al.*, 2009).

5.3.5 Instalação de Medidores de Vazão

A correta instalação dos medidores é imprescindível para uma medição eficaz. Erros na instalação prejudicam sua exatidão e até mesmo inviabilizam seu funcionamento. Não é raro encontrar medidores que não desempenham a função básica para a qual são destinados, medir, e acabam por prejudicar os diagnósticos hidroenergéticos dos sistemas de abastecimento de água.

O funcionamento da maioria dos medidores é baseado na suposição de que a forma do perfil de velocidade na seção de medição é muito similar a um perfil de velocidade completamente desenvolvido. A priori, a tubulação onde será instalado o medidor deve estar completamente cheia, com perfil de velocidades semelhante ao apresentado na Figura 5.14. Como resultado, a precisão do medidor de vazão depende de quão bem o perfil de velocidade real se compara com o perfil assumido. Praticamente, todos os medidores de vazão são influenciados pelo perfil de velocidade do escoamento.

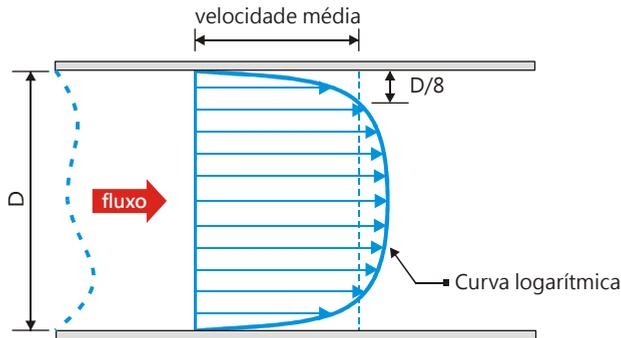


Figura 5.14 – Perfil de velocidade de um escoamento uniforme turbulento completamente desenvolvido

Justamente pelo fato das medições serem afetadas pelo perfil de velocidade, o elemento primário deve ser instalado de modo a ficar com comprimentos retos de tubulações (comumente chamado de trecho reto), a montante e a jusante, não inferiores a determinados valores mínimos. De modo geral, o Quadro 5.6 apresenta os trechos retos mínimos a montante e a jusante de diversos tipos de medidores. É importante ressaltar que deve prevalecer às indicações dos fabricantes.

Os valores dos trechos retos são influenciados pelas singularidades a jusante e a montante. As singularidades que provocam maiores alterações no escoamento requerem trechos retos maiores. É importante que válvulas localizadas a montante e a jusante dos trechos retos tenham passagem plena quando totalmente abertas. Recomenda-se que as juntas de desmontagem não sejam ligadas diretamente ao medidor, devendo ser localizadas respeitando os limites mínimos de trechos retos.

Recomenda-se, também, que a fixação dos transdutores seja na lateral das tubulações, evitando assim as bolhas de ar e os sedimentos. Vale ressaltar que a sedimentação e/ou incrustação ocasionam a diminuição do diâmetro interno do tubo e precisam ser considerados na determinação da vazão.

Quadro 5.6 – Trechos retos mínimos recomendados

| Tipo de medidor | | Trecho reto mínimo | |
|--|--|--------------------|---------------|
| | | Montante | Jusante |
| Tubos Pitot | Caso geral | $20 \times D$ | $10 \times D$ |
| | Velocidade muito alta ou depois de curva de 90° | $50 \times D$ | $20 \times D$ |
| Medidores eletromagnéticos (tubular) | | $5 \times D$ | $5 \times D$ |
| Medidores eletromagnéticos de inserção com sensor no centro da tubulação ($D/2$) | | $30 \times D$ | $5 \times D$ |
| Medidores eletromagnéticos de inserção com sensor na posição $D/8$ | | $10 \times D$ | $5 \times D$ |
| Medidores ultrassônicos | | $10 \times D$ | $5 \times D$ |

Nota: No caso de escoamentos bidirecionais considera-se que ambos os trechos retos são montantes.

Outra condição hidráulica que compromete o uso de medidores de vazão é a aplicação em velocidades menores que aquelas previstas pelo fabricante. As indicações do medidor são afetadas por erros maiores que os previstos, o que inviabiliza o uso das informações.

Como foi dito anteriormente, a seção destinada à medição deve estar completamente cheia. A Figura 5.15 apresenta exemplos de instalações adequadas e inadequadas do elemento primário de medidores para escoamentos pressurizados. A instalação em trechos horizontais deve ser em cotas inferiores às das tubulações principais (exemplo B). As localizações correspondentes aos exemplos A (trechos altos) e F (próximos a descargas) são inadequadas. A primeira por propiciar acumulação de ar no trecho onde está localizado o medidor e a segunda porque o primário pode não ficar completamente cheio de água. O primário não pode ser instalado na tubulação de sucção de bombas (exemplo E). A melhor posição para instalação dos medidores é a vertical com o escoamento na ascendente (exemplo D). Caso o trecho de instalação seja inclinado, o fluxo do escoamento deve ser sempre de baixo para cima (ascendente) e alguns fabricantes recomendam que o ângulo de inclinação seja superior a 3° (exemplo C).

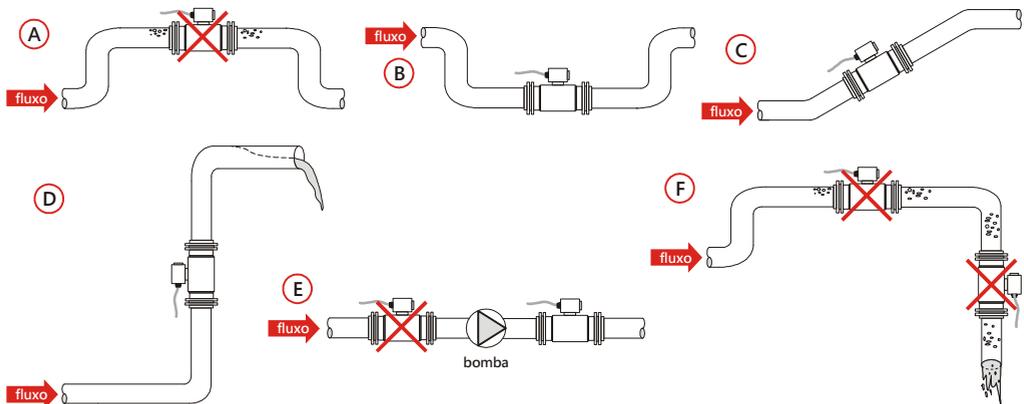


Figura 5.15 – Exemplos de instalações adequadas e inadequadas de medidores de vazão

5.3.6 Calibração de Medidores Portáteis

A frequência de calibração esta relacionada com o tipo de instrumento e os equipamentos associados. De forma geral, recomenda-se que as calibrações sejam realizadas com periodicidade mínima anual. Dado o caráter periódico, as calibrações devem compor o quadro de trabalhos contínuos e presentes em agendas rotativas. Basicamente, há três formas de calibrar ou aferir um medidor de vazão, são elas:

- Comparar a leitura do medidor com a leitura de um medidor calibrado instalado em série.
- Após o registro da vazão ao longo de um determinado período de tempo, remover o medidor e substituí-lo por um medidor calibrado. Comparar as medições. Obviamente, esta metodologia somente é recomendada para adutoras com vazão constante.
- Testar o medidor em uma bancada. Normalmente, isso não é viável em grandes medidores.

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

No Brasil, a maioria das companhias de porte médio ou grande possui bancadas de calibração adequadas a medidores de diâmetros inferiores a 300 mm. Na ausência de bancada própria, laboratórios plenamente capacitados e dotados de bancada com atributos de rastreabilidade devem ser contratados para a calibração. Recomenda-se que o laboratório opere de acordo com o sistema da qualidade que atenda aos requisitos da NBR ISO/IEC 17025/2005, seja acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE do Inmetro, e faça parte da Rede Brasileira de Calibração - RBC. A lista de laboratórios acreditados pela RBC está disponível no site do Inmetro. O Brasil dispõe de laboratório com capacidade de calibrar medidores com incerteza inferior a 0,1% e vazão máxima de 3.000 m³/h.

Ressalta-se que nenhum tipo de medidor de vazão pode ser considerado indefinidamente inalterado quanto à sua exatidão, ou seja, a calibração sistemática e periódica deve ser praticada quaisquer que sejam os medidores instalados.

Caso as condições operacionais ou a situação da instalação do macromedidor não permita sua retirada para calibração em bancada, deve-se realizá-la em campo por meio de medidores portáteis calibrados.

Em função da necessidade periódica de aferição dos medidores, juntamente com a facilidade de medição dos Tubos Pitot, estes estão sendo utilizados pelas empresas, inclusive as mais eficientes, para aferir seus medidores. O problema desta metodologia é que, em princípio, a incerteza de medição do padrão é maior que a dos medidores a calibrar. Porém, é comum o relato de problemas referentes às medições com instrumentos de alta exatidão nominal, tais como medidores eletromagnéticos e ultrassônicos. Vale lembrar que não se trata de uma afirmação genérica relativa à qualidade de tais instrumentos e ao princípio físico que exploram na medição de parâmetros do escoamento; trata-se de uma afirmação decorrente de casos reais que são relatados em encontros técnicos com a participação de experientes profissionais, consultores e operadores de sistemas de abastecimento.

5.3.7 Aferição em Campo de Medidores

A execução de procedimentos de calibração ou aferição em campo de medidores ainda é rara nas empresas de sistemas de abastecimento, mesmo quando dispõem de pessoal potencialmente capaz de realizar tais funções. A aferição em campo não é considerada um procedimento de calibração para o alcance de altos níveis de qualidade metrológica, pois não se analisa devidamente todas as fontes de incerteza. Os cálculos metrológicos de incerteza em medidores de vazão exigem procedimentos cuja complexidade escapa do escopo deste livro.

Idealmente as aferições em campo devem ser feitas com registro de volume por 24 horas, ou seja, o volume registrado pelo macromedidor “aferidor” durante 24 horas é comparado com o volume registrado pelo macromedidor “aferido” no mesmo período.

O procedimento encontra-se descrito a seguir.

- Instala-se adequadamente o equipamento aferidor, que pode ser um medidor temporário (por exemplo, Tubo Pitot e medidor ultrassônico portátil) devidamente calibrado. Programa-se o *datalogger* para registro das vazões com intervalos de 15 minutos (ou intervalo menor, se houver disponibilidade de memória).
- No equipamento aferido, instala-se um *datalogger* para registro dos dados em sincronia com o equipamento aferidor, ou seja, com os horários dos relógios internos igualados. Programa-se o registro dos dados no mesmo intervalo utilizado pelo aferidor.
- Depois de decorrido o período de 24 horas, retirar o equipamento aferidor e os registradores, comparando-se os resultados de ambos.

A aferição de grandes medidores com tubos de Pitot tipo Cole pode ser realizada conforme demonstrado na Figura 5.16.

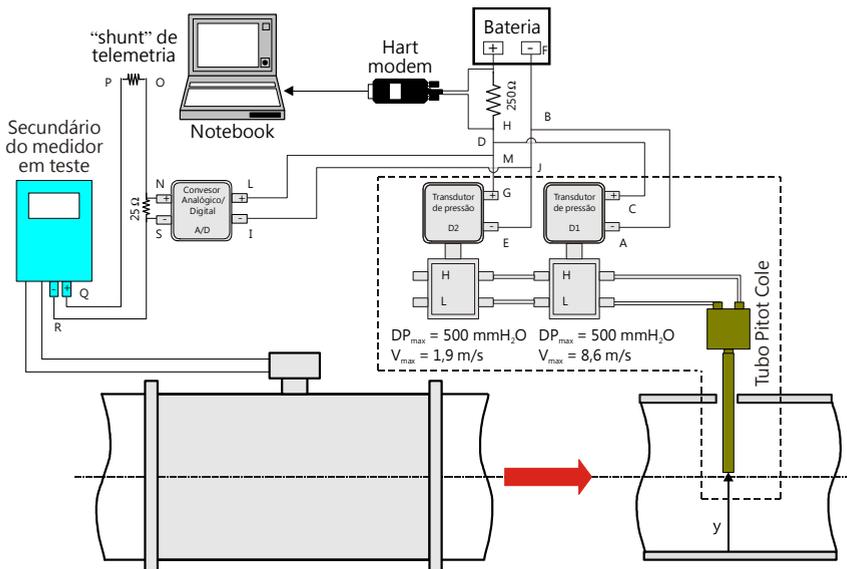


Figura 5.16 - Esquema de um sistema digital de calibração em campo de grandes medidores de vazão

Fonte: Modificada de original da apresentação “Novas tecnologias de equipamentos de monitoramento e controle de redes de abastecimento”, de Nilson Massami Taira (Seminário VI SEREA)

A principal vantagem dos testes serem realizadas por um período de 24 horas nas redes hidráulicas é a captura das medições em um regime de operação com a demanda variando. Desta forma, tem-se uma ideia mais precisa das incertezas para a faixa de medição que o equipamento estará sujeito.

Em síntese, a eficácia dos medidores de vazão depende de uma extensa lista de fatores, os quais afetam a incerteza da medição e devem ser devidamente considerados. Os principais fatores são apresentados no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Fatores que afetam as medições de vazão

| Fatores | Tipo de medidor |
|--|-------------------------------|
| Área da seção transversal (ver diâmetro exato do tubo) | Todos |
| Regime de escoamento: laminar ou turbulento | Todos |
| Temperatura da água | Todos |
| Tipo de água: água bruta ou tratada | Todos |
| Condições da instalação: trechos retos, trecho sujeito ao acúmulo de ar na parte superior do tubo, seção plena ou não etc. | Todos |
| Posição do medidor em relação ao fluxo | Todos |
| Calibração | Todos |
| Presença ou não de ar dissolvido | Todos |
| Aterramento do medidor | Medidores eletrônicos |
| Parametrização | Medidores eletrônicos |
| Material da tubulação | Medidor ultrassônico portátil |
| Espessura da tubulação | Medidor ultrassônico portátil |
| Sedimentação e incrustações locais | Medidor ultrassônico portátil |

Maiores detalhes sobre macromedição podem ser encontrados no manual DTA D2 - Macromedição (BEZERRA *et al.*, 2009).

CAPÍTULO 6

Controle de Pressão

Não existe uma solução padrão quando se trata de gestão de pressão. Cada sistema de distribuição de água tem suas próprias características e deve ser analisado individualmente, de maneira que a solução ótima considere aspectos técnicos, financeiros, ambientais e sociais. No entanto, a gestão de pressão é quase sempre recomendada. Dentre as ações voltadas para a gestão eficiente de perdas, o controle da pressão apresenta-se como uma das alternativas mais eficientes para a diminuição do volume de água perdido em vazamentos nos sistemas de distribuição de água. Intuitivamente, é facilmente perceptível que a taxa do fluxo da água em um vazamento é maior quanto maior for a pressão. A influência da pressão nas perdas reais é conhecida há muito tempo pelos pesquisadores e técnicos das companhias de saneamento. No início dos anos 90, foram publicados no Reino Unido vários relatórios como resultado da *National Leakage Initiative*, destacando o *Report G - Managing Water Pressure*, que se tornou uma referência tradicional da relação entre pressão e volume de vazamento. De modo geral, uma diminuição de 10% na pressão em grandes sistemas implica em uma redução aproximada de 12% no volume perdido por vazamentos.



Figura 6.1 – Exemplo de influência da pressão em um vazamento (BROTHERS e LAMBERT, 2010)

O controle de pressão, também denominado na literatura por gestão da pressão, busca minimizar as pressões e, ao mesmo tempo, garantir o fornecimento aos consumidores. O controle da pressão refere-se aos valores mínimo, médio e máximo, e a sua variação temporal e espacial. Os sistemas devem operar acima dos níveis mínimos de pressão, porém os níveis máximos de pressão também precisam ser estabelecidos e não excedidos. A pressão excessiva de água não só aumenta o volume perdido pelos vazamentos, mas também influencia no

aumento do número de quebras. No Brasil, a norma ABNT NBR 12218/1994 recomenda que a rede de distribuição de água seja dividida em zonas de pressão. Nestes setores, a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 50 mca, com exceção dos condutos principais que não abastecem consumidores ou condutos secundários. Sempre que possível, recomenda-se adotar as zonas de pressão coincidentes com os Distritos de Medição e Controle. Há um limite inferior para as pressões de serviço, de modo a garantir que a água chegue aos pontos de consumo com uma carga hidráulica suficiente para vencer as perdas nas instalações residenciais. A norma citada estabelece uma pressão dinâmica mínima de 10 mca.

Durante anos, utilizou-se no cálculo de estimativas de perdas de água o princípio baseado na raiz quadrada, onde a vazão perdida é proporcional à raiz quadrada da pressão na rede hidráulica. Em meados da década de 90, as relações fundamentais entre a pressão e as taxas de vazamento foram estabelecidas e mostram que certos tipos de vazamentos são altamente sensíveis a mudanças na pressão. A explicação física para esse aparente paradoxo foi proposto por May (1994) e foi denominada de *FAVAD concept*. A Teoria FAVAD (*Fixed and Variable Area Discharge Paths*) relaciona a vazão perdida com pressão de serviço conforme a Equação 6.1. A teoria apontou que furos em tubulações flexíveis aumentam de diâmetro conforme a pressão aumenta, influenciando o valor de N1. Quanto mais rígido o material das tubulações, menor a influência da pressão no volume perdido nos vazamentos. Algo que parece óbvio, porém ainda não havia sido atestado pela comunidade científica. O Quadro 6.1 (LAMBERT *et al.*, 1999) mostra claramente que as taxas de fluxo de vazamentos em redes de distribuição de água são geralmente muito mais sensíveis à pressão do que o valor de 0,5 adotado tradicional.

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N1} \quad (6.1)$$

onde Q_0 é o volume de vazamento inicial associado a pressão P_0 ; Q_1 é o volume de vazamento final associado a pressão P_1 ; e N1 é o expoente que depende do tipo de material. Segundo análises realizadas em países como Inglaterra, Malásia, Canadá, Chipre, Brasil, EUA, Austrália e Nova Zelândia, os valores obtidos para o coeficiente N1 oscilam entre 0,5 e 1,5, mas ocasionalmente alguns valores são acima de 1,5. Um modo prático de avaliar o volume de vazamentos em setores de abastecimento é assumir uma linearidade entre a pressão e a vazão, ou seja, $N1 = 1$, onde geralmente se obtém valores próximos aos reais. Todavia, sempre que possível, o coeficiente deve ser determinado *in loco*.

Quadro 6.1 – Valores de N1 (LAMBERT *et al.*, 1999)

| País | Número de DMCs testadas | Faixa de valores de N1 | Valor médio N1 |
|--------------------|-------------------------|------------------------|----------------|
| Japão (1979) | 20 | 0,63 - 2,12 | 1,15 |
| Brasil (1998) | 13 | 0,52 - 2,79 | 1,15 |
| Reino Unido (2003) | 75 | 0,36 - 2,95 | 1,01 |
| Chipre (2005) | 15 | 0,64 - 2,83 | 1,47 |
| Brasil (2006) | 17 | 0,73 - 2,42 | 1,40 |
| Total | 140 | 0,36 - 2,95 | 1,14 |

Exemplo 6.1

Uma subadutora de PVC opera com uma pressão de 50 mca e estima-se que o volume perdido diariamente pelos vazamentos é de 50 m³. O coeficiente N1 foi determinado através de testes em campo e é igual a 1,5. Qual a redução no volume perdido caso a pressão baixe para 30 mca.

Resolução:

Utilizando a Equação 6.1, que relaciona o volume perdido por vazamentos e a pressão de operação, tem-se:

$$Q_1 = 50 \times \left(\frac{30}{50} \right)^{1,5} = 23,24 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Logo, estima-se que se a pressão for reduzida de 50 mca para 30 mca, a vazão perdida diminuirá de 50 m³/dia para 23,24 m³/dia, proporcionando uma redução de 53,52%.

O controle de pressão assume cada vez mais um papel determinante no bom desempenho técnico e econômico do sistema, e na satisfação dos consumidores. Se por um lado, o controle da pressão garante um nível de serviço mais uniforme, por outro lado, reduz a frequência de ocorrência de rupturas e o volume de água perdido e consumido. Um sistema com pressões elevadas, especialmente no período noturno, não é sustentável ambientalmente, pois desperdiça água, energia elétrica, substâncias químicas etc. De forma geral, um nível de pressão adequado possibilita:

- Redução do volume perdido em vazamentos.
- Aumento da vida útil da infraestrutura do sistema.
- Redução da frequência de novos rompimentos na rede de distribuição.
- Redução do consumo relacionado com a pressão da rede (por exemplo, rega de jardins).

As principais ações para o controle de pressão em sistemas de distribuição de água são:

- Setorização do sistema de distribuição de água.
- Instalação de válvulas redutoras de pressão.
- Otimização operacional dos sistemas de bombeamento.

6.1 Setorização do Sistema de Distribuição de Água

Para o gerenciamento eficaz de sistemas de distribuição de água, primeiramente é necessário a setorização do sistema (Figura 6.2). A setorização consiste na divisão da rede em setores de menor dimensão com fronteiras conhecidas e bem delimitadas. Estes setores são chamados de Setores de Medição (Norma NBR 12218), Distritos de Monitoramento e Controle, Distritos de Medição e Controle (DMC), DMA (*District Metered Area*) ou Zonas de Medição e Controle (ZMC). É importante ressaltar que é comum a divisão da rede em grandes setores, que não necessariamente são DMCs.

A metodologia de gestão de perdas através da setorização foi primeiramente introduzida na indústria da água do Reino Unido, no início dos anos 80, e tem vindo progressivamente sendo adotada. O relatório *Report 26 Leakage Control Policy & Practice* (1980) apresentou os Distritos de Medição e Controle - DMC. Neste relatório, um DMC foi definido como um setor de um sistema de distribuição de água criado pelo fechamento de válvulas ou desconexão de trechos, de modo que a vazão que entra na rede é medida e controlada. A macromedição é comparada com o volume micromedido, dando condições para quantificar o volume perdido por vazamentos. Deste modo, o gestor pode determinar mais precisamente onde e quando é mais benéfico empreender atividades de combate às perdas reais e aparentes.

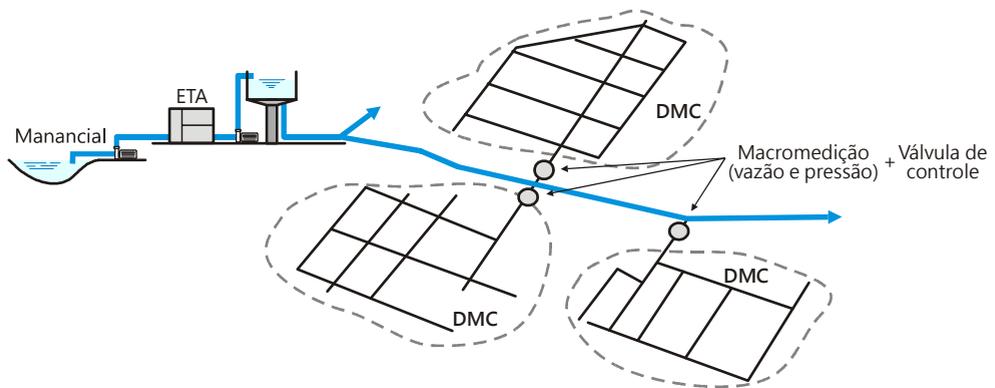


Figura 6.2 – Exemplo de um sistema de distribuição de água setorizado

A norma ABNT NBR 12218/1994 apresenta dois tipos de setores: os setores de manobra e os setores de medição. O primeiro é definido como a menor subdivisão da rede de distribuição, cujo abastecimento pode ser isolado sem afetar o abastecimento do restante da rede. Os setores de medição são parte da rede de distribuição perfeitamente delimitada e isolável, com a finalidade de acompanhar a evolução do consumo e avaliar as perdas de água na rede. Logo, conforme a definição apresentada pela norma, estes podem ser enquadrados como DMCs.

Os DMCs podem ter dimensões muito variadas dependendo da topologia da rede, da densidade populacional e da densidade de ramais, e, geralmente, contêm entre 500 a 5.000 ligações. Na prática, sempre haverá uma variação significativa no tamanho dos DMCs, devido ao leiaute da infraestrutura existente e da necessidade de otimizar a gestão de pressão. No Reino Unido, os DMCs são frequentemente dimensionados pelo número de propriedades e são dimensionados com 500 a 3.000 propriedades. A literatura especializada cita, baseada em aplicações práticas, que DMCs com mais de 5.000 propriedades possuem características que dificultam a detecção de pequenos vazamentos através de campanhas de vazão mínima noturna. No entanto, grandes DMCs podem ser concebidos para serem divididos, temporariamente, em pequenos setores, sendo necessário considerar na fase de concepção a instalação de válvulas adicionais para fechamento dos DMCs temporários. Em geral, os fatores hidráulicos, práticos e econômicos determinam o tamanho dos DMCs.

Diversos fatores influenciam no número de pontos de entrada de alimentação dos DMCs, que por razões econômicas e operacionais, devem possuir uma configuração com um menor número possível de interligações com outros setores. No Brasil, quando os sistemas são setorizados, é comum a adoção de setores com apenas uma entrada de alimentação. A setorização possibilita a gestão de pressão em cada distrito de forma que a rede é operada em um nível recomendado de pressão, além de facilitar o monitoramento das perdas de água. O tamanho do DMC influenciará o nível de vazamento que pode ser identificado. Quanto maior o DMC, menor será a proporção do volume perdido em relação ao fluxo de entrada (macromedicação), o que dificulta a sua detecção.

A Figura 6.3 mostra a variação típica da vazão mínima noturna em um DMC, na qual se percebe a pequena variação sazonal em consumo noturno e as grandes variações provocadas por rompimentos reportados e não reportados à companhia.

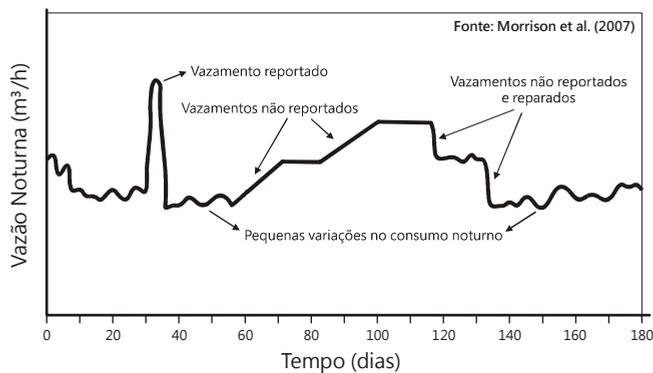


Figura 6.3 – Variação da vazão mínima noturna

Os critérios e fatores que devem ser levados em consideração no projeto de DMCs, com vistas à gestão de pressão, são:

- Densidade demográfica.
- Número máximo de ligações.
- Topografia – na setorização clássica, o desnível geométrico máximo recomendado é 50 metros. Em regiões de topografia mais acidentada, torna-se necessária a utilização de reservatórios e válvulas.
- Condições da infraestrutura – definição de zonas homogêneas, do ponto de vista hidráulico, ou seja, estado de conservação da rede (incluindo os ramais) e tipologia dos padrões de consumo.
- Condições da infraestrutura – definição de zonas vulneráveis definidas a partir de dados de arrebatamento de tubos.
- Garantia de níveis de serviço satisfatórios em cenários normais e de emergência.
- Plano piezométrico, pressões mínimas e máximas adotadas.
- Número de válvulas necessário para fechamento do setor.
- Qualidade da água após a setorização.

Em muitos casos, a setorização envolve a adoção de válvulas que ficam permanentemente fechadas. Isto cria extremidades mortas, que ocasionam problemas com a qualidade de água. Quanto maior o número de válvulas fechadas em um setor, mais alta é a probabilidade de surgir problemas. Ressalta-se que a criação de setores só agrava problemas de qualidade de água já existentes, que ficam evidenciados quando a configuração de rede é modificada. No Brasil, a ligação entre setores e redes hidráulicas é realizada indiscriminadamente, o que agrava a falta de setorização. É comum o fato destas ligações não estarem registradas nos mapas e arquivos das empresas.

A adoção da setorização para o controle de vazamentos provou ter êxito. Nas últimas décadas, esta metodologia foi aplicada com sucesso em redes do mundo inteiro. Porém, ressalta-se que a aplicação desta técnica requer compreensão cuidadosa e não deve ser adotada sem critério.

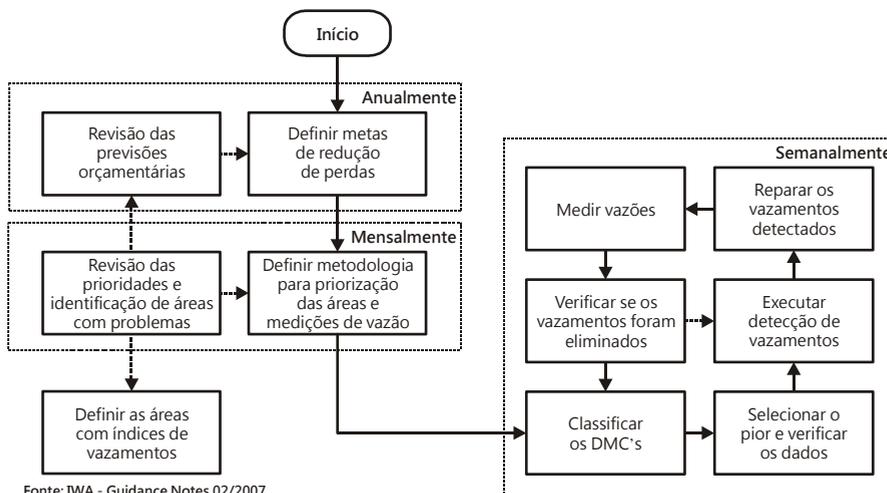


Figura 6.4 – Rotina de gerenciamento de vazamentos através de DMCs

A implantação da setorização (implantação de DMCs), entre outros aspectos, é fundamental para a avaliação dos resultados dos programas de controle de perdas, já que facilita a medição dos parâmetros hidráulicos antes e depois das intervenções. De forma geral, um novo balanço hídrico, complementado por uma análise de componentes, é realizado e os resultados são comparados com a situação antes do início do programa de controle de perda de água. Caso o programa se estenda por vários anos, é aconselhável medir os resultados numa base anual, para ver se os esforços de redução de perda de água estão se movendo na direção correta. É importante ter em mente que, mesmo que os objetivos preestabelecidos sejam alcançados, é necessário continuar com os esforços de controle de perdas de água, a fim de manter o sistema em um nível ótimo. Isto é necessário porque as perdas de água aumentam ao longo do tempo se não forem tomadas medidas de controle. No entanto, os esforços necessários para manter o ponto ideal serão menores do que os esforços que foram necessários para chegar ao ponto ideal (THORNTON *et al.*, 2008). De modo geral, a adoção de DMCs permite:

- Conhecer o comportamento dos consumos da área.
- Determinar a vazão mínima noturna.
- Agilizar a identificação da ocorrência de vazamentos na rede.
- Otimizar a gestão das perdas reais e aparentes no setor.
- Analisar os resultados (causa/efeito) com maior precisão.
- A elaboração de um planejamento eficaz no direcionamento das ações.

6.2 Válvulas Redutoras de Pressão

As válvulas são dispositivos imprescindíveis às instalações de transporte e distribuição de fluidos por meios mecânicos ou por gravidade. São usadas com o objetivo de proteger ou isolar bombas ou trechos de tubulações, aliviar e controlar pressões, controlar vazões e níveis de reservatórios, direcionar o escoamento, drenar, ventilar etc. Por ser um acessório que introduz perdas de carga na instalação e também possíveis vazamentos, sua utilização deve ser restrita a um número mínimo necessário que atenda ao bom funcionamento da instalação.

As válvulas de controle automático mais comumente empregadas nos sistemas de distribuição de água são: válvulas redutoras de pressão (VRP), válvulas de alívio ou sustentadora de pressão, válvula redutora de pressão e retenção, válvula redutora e sustentadora de pressão, válvulas sustentadoras de onda, válvulas controladoras de bombas, válvulas controladoras de vazão, válvula controladora de nível e as ventosas.

As válvulas auto-operadas são aquelas em que o próprio fluido de trabalho é usado para acionar o atuador, que, geralmente, é do tipo mola diafragma. A válvula globo tipo Y é a mais utilizada para este propósito. Algumas indústrias a usam como válvula básica e, a partir desta, adicionam um ou mais dispositivos de controle ou acessórios para obterem diversos tipos. Em função desta flexibilidade, podem ter características de controle linear, igual porcentagem ou abertura rápida.

A válvula utilizada para o controle de pressão em sistemas de distribuição de água é chamada, nos países de língua portuguesa, de válvula redutora de pressão, ou, simplesmente, VRP. As VRPs, como estruturas dissipadoras, são utilizadas nos sistemas hidráulicos como forma de uniformização e controle das pressões, dando origem a uma perda de carga localizada, mediante a dissipação de energia hidráulica. As VRPs têm como principal função controlar a pressão a sua jusante, surgindo como uma das alternativas mais eficientes e econômicas para a uniformização e o controle das pressões em redes hidráulicas. É comum o benefício obtido na redução dos custos de produção decorrente da diminuição das perdas reais durante o primeiro ano compensar o investimento.

A VRP é um dispositivo mecânico que permite reduzir, automaticamente, uma pressão variável de montante a uma determinada pressão a jusante. O mecanismo de controle de uma VRP pode ser mecânico ou eletrônico. No caso de controle mecânico da válvula, a regulação previamente determinada é fixa, ou seja, garante uma pressão de jusante pré-estabelecida independentemente das condições de vazão e pressão de montante. Em se tratando de controle eletrônico, a atuação da VRP é feita através de programas pré-estabelecidos, que permitem monitorar e controlar as vazões e as pressões, garantindo condições adequadas de abastecimento ao longo das 24 horas do dia.

Atualmente, as VRPs podem ser controladas não apenas para um único valor de pressão, mas para diversos patamares de pressão, permitindo, assim, uma gestão mais eficiente dos níveis de serviço e um melhor desempenho hidráulico do sistema. Os principais tipos de VRPs utilizadas no setor de saneamento são:

- VRP com pressão de saída fixa (sem controlador eletrônico): é usada quando o sistema a ser controlado não tem mudanças significativas de demanda, bem como perdas de carga relativamente pequenas; os parâmetros de regulação são fixados por um circuito de pilotagem¹⁰ (Figura 6.5).
- VRP com pressão proporcional (sem controlador eletrônico): a pressão de saída (a jusante da VRP) é proporcional à pressão de montante (Figura 6.5).
- VRP com modulação por tempo: é usada para controlar um sistema que apresenta grande perda de carga, porém de perfil regular de consumo. Assim, a VRP irá trabalhar com patamares de pressão de saída ajustadas para um ciclo de 24 horas (Figura 6.6).
- VRP com modulação por vazão: é usada para controle em sistemas que apresentam grande perda de carga e mudanças no perfil de consumo, que podem ser no tipo de uso, na sazonalidade ou na população (Figura 6.6).

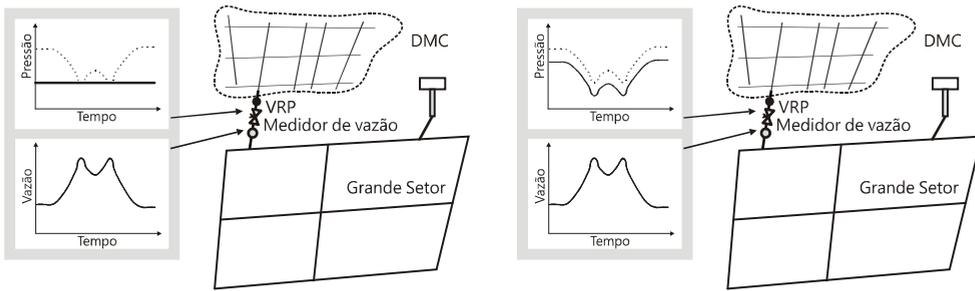


Figura 6.5 – Representação de operação de uma VRP com pressão de saída fixa e com pressão de saída proporcional

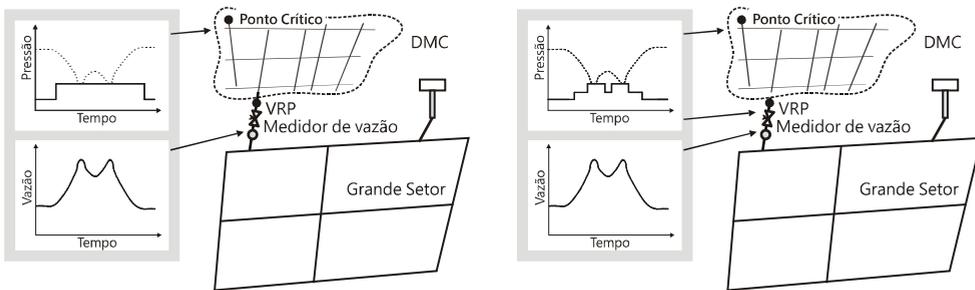


Figura 6.6 – Representação de operação de uma VRP com pressão de saída modulada por tempo com duas atribuições (4 horas e 22 horas), ciclo diário, e com pressão de saída modulada pela vazão com três atribuições (vazão menor que 50% da máxima, vazão entre 50% e 80% da máxima, vazão acima de 80% da máxima), ciclo diário

¹⁰ O controle piloto é um acionamento direto, ajustável, projetado para permitir a variação do valor de referência da pressão à jusante da VRP.

Alguns tipos de válvulas podem ser controlados remotamente ou localmente por CLPs. De modo geral, o primeiro sistema opera com base em comandos enviados do centro de controle operacional a válvula, através de uma rede de comunicação (telemetria, cabos, SMS etc.). No segundo caso, o CLP, localizado próximo à válvula, possui uma programação pré-definida para realizar o controle do dispositivo com base em medições de pressão, vazão e/ou tempo. Nestes casos, o controle eletrônico pode ter como referência um transdutor de pressão localizado logo após a VRP ou em um ponto determinado conforme as características hidráulicas da rede (ponto mais crítico). O desenvolvimento do controlador com base em um ou mais pontos críticos deve considerar o intervalo de tempo entre o envio da informação (alteração na posição da válvula) e a mudança da pressão nos pontos monitorados, com risco de surgir efeitos transitórios. O esquema de funcionamento de uma VRP com modulação, em tempo real, baseada em um ponto crítico é apresentado na Figura 6.7.

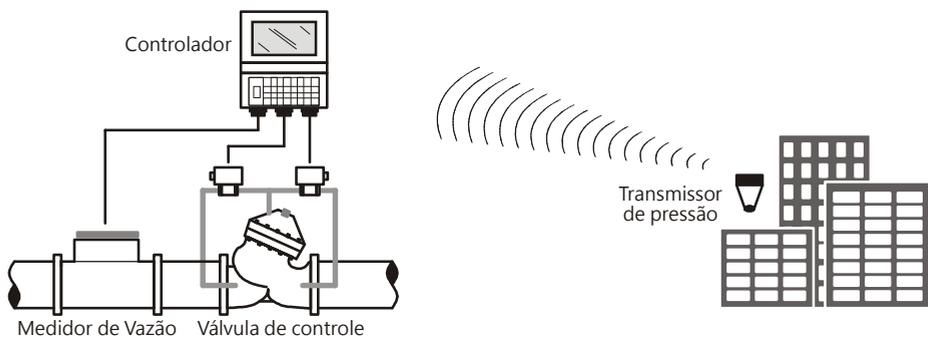


Figura 6.7 – Esquema de controle/funcionamento de uma VRP com modulação, em tempo real, baseada em um ponto crítico

Há outras formas de operação de VRP, na gestão de pressão, são os chamados sistemas de gerenciamento inteligente de pressão. Estes sistemas não requerem intervenção manual, seja local ou remota, para operações normais. São capazes de ajustar suas configurações para atingir os objetivos pré-definidos, ao mesmo tempo em que são capazes de manter um padrão de serviço satisfatório, em decorrência de utilizarem algoritmos com técnicas sofisticadas. Esta tecnologia ainda é pouca adotada, em virtudes de fatores como custos, falta de compreensão e confiabilidade nos benefícios sugeridos (TROW, 2011). Segundo Trow (2011), os benefícios dos sistemas de gerenciamento inteligente em relação aos sistemas chamados avançados são:

- Melhores dados para gerenciamento e regulagem.
- Podem fornecer controle uniforme de pressão, para evitar efeitos transitórios que possam danificar a infraestrutura da rede.
- Dispensam margens de segurança para compensar mudanças de pressão, perfis de demanda entre os dias da semana e também entre as estações do ano.
- Alguns sistemas superam a necessidade de investir em custosos equipamentos de monitoramento, coleta de dados, análise, *design* e configuração antes da instalação.

As válvulas redutoras de pressão, se não forem selecionadas, instaladas e mantidas corretamente, não operarão satisfatoriamente. Em casos extremos, o mau funcionamento das válvulas pode resultar em instabilidades, ocasionando rupturas na rede hidráulica ou

ineficiência no abastecimento dos consumidores. É importante que as válvulas sejam instaladas com *bypass* e estejam entre válvulas de bloqueio, de maneira que a manutenção possa ser realizada sem a necessidade de parar a operação do sistema. De modo geral, a válvula, para realizar sua função de serviço com boa eficiência, deve atender aos seguintes requisitos técnicos da boa prática:

- Correta seleção para a aplicação desejada.
- Manutenção preditiva efetiva.
- Técnica adequada de instalação.

Uma correta instalação deve seguir atentamente as instruções do fabricante, as quais estão disponíveis nos seus catálogos. Portanto, a leitura do manual do fabricante precisa ser uma prática constante dos usuários. De qualquer modo, as seguintes orientações devem ser seguidas:

- Assegurar que a tubulação onde a válvula vai ser instalada esteja isenta de materiais estranhos que possam danificar os elementos internos da válvula, impedindo seu deslocamento e prejudicando a ação de fechamento. A limpeza da tubulação antes da instalação da válvula é fundamental para a retirada de qualquer material estranho, tais como: escória de solda, rebarbas de metais, lamas, trapos etc.
- Assegurar que as superfícies de vedação dos flanges estejam polidas e sem ranhuras que impeçam o bom assentamento das juntas de vedação.
- Inspeccionar a válvula antes de instalá-la, de modo a assegurar que não foi danificada no transporte. Caso isto aconteça, não instale a válvula e comunique o fato ao fornecedor. Remova todo material da embalagem, como calços, tampões de proteção e peças de proteção das superfícies da sede. Verifique se há algum material estranho no interior da válvula.
- A maioria das válvulas de controle pode ser instalada em qualquer posição. No entanto, a melhor posição é a do atuador na vertical e situado acima do corpo da válvula. Quando a montagem do atuador é na horizontal, deve-se considerar um suporte adicional para o atuador. A indicação correta da direção do escoamento geralmente é indicada por uma seta no corpo da válvula.
- Deixar espaço suficiente acima, abaixo e de lado da válvula, de modo que permita fácil montagem, desmontagem e remoção para inspeção e manutenção.
- Para válvulas flangeadas, verificar o alinhamento correto dos flanges, a fim de que o contato entre as faces seja uniforme. Inicialmente, aperte os parafusos com cuidado até que os flanges se encostem. A seguir termine o aperto seguindo uma ordem de aperto cruzada. O aperto correto evitará sobrecarga e o surgimento de vazamento nas juntas, além de evitar a quebra do flange.
- Instalar tomadas de pressão antes e depois da válvula, as quais são úteis para verificação da queda de pressão provocada pela válvula. Estas tomadas devem se situar em trechos retos de tubulação e distantes de curvas, expansões e contrações, a fim de evitar a influência de oscilações nos resultados das medições.

Existem inúmeras aplicações bem sucedidas de válvulas redutoras de pressão na redução de perdas e volume distribuídos. A seguir, são apresentados exemplos de projetos que implementaram o uso de válvulas redutoras de pressão. Ressalta-se que os resultados obtidos

não foram decorrentes, exclusivamente, do uso de VRPs. Dificilmente encontram-se aplicações de programas de controle de perdas que adotem somente o uso de válvulas. É importante observar que os métodos utilizados nestes casos não, necessariamente, seguiram recomendações da IWA.

Madureira *et al.* (2010) apresentou os resultados da aplicação de VRPs na Unidade de Negócio Norte da SABESP. O trabalho de redução de perdas foi desenvolvido em duas linhas de ações. A primeira destinou-se a mensurar os volumes captados nos mananciais, nas saídas de água tratada e em micro zonas de controle de perdas, com a finalidade de conhecer, analisar e direcionar ações para redução das perdas reais e aparentes. A segunda linha de trabalho foi desenvolvida para reduzir as pressões nas redes de distribuição, conseqüentemente o volume perdido em vazamentos. Primeiramente foi feita uma avaliação geral das pressões por cidade e foram sugeridas áreas de instalação de VRPs com potencial de redução de pressão. Com a implementação da gestão de pressão, os equipamentos foram instalados e foi realizado o geofonamento nos setores, detectando e reparando os vazamentos. Como resultado, verificou-se que a pressão reduziu significativamente, saindo do patamar de 65 mca para 40 mca, e a vazão mínima noturna diminuiu pela metade. As ações resultaram em uma economia de R\$ 221.610,00 após um mês de instalação.

Giugni *et al.* (2011) analisaram a implantação de VRPs na rede hidráulica de Nápoles Leste, pertencente ao sistema da Agência de Água Arin (*Neapolitan Water Resources Agency*), Itália. A rede abastece cerca de 70 mil pessoas e as tubulações são de concreto reforçado, ferro fundido e aço, com diâmetros que variam de DN 40 a DN 1000. O sistema é constituído de 200 malhas, 259 nós e 358 trechos. Para determinar a carga de pressão na rede, 6 transdutores de pressão foram instalados nas zonas vulneráveis e o nível do reservatório foi medido. O estudo foi realizado com base em simulações no EPANET 2.0 e estimou uma redução de 28,5% no volume perdido por vazamentos.

A instalação de turbinas ou bombas que funcionam como turbinas (BFTs) é uma alternativa ao uso de válvulas, que além de reduzir a pressão, também proporcionam a produção de energia elétrica para a companhia. Na literatura há vários estudos práticos que apontam para uma perspectiva positiva da adoção de BFT. A revista Hydro (Edição n. 57, 07/2011, p. 61) cita a aplicação de uma turbina tipo Francis na rede de abastecimento de água da cidade de Logan, em Utah (EUA), que produz eletricidade suficiente para alimentar aproximadamente 200 residências.

6.3 Otimização Operacional dos Sistemas de Bombeamento

A otimização operacional dos sistemas de bombeamento resulta diretamente na diminuição do consumo de água e energia. Como o foco deste livro é o controle de perdas de água, não serão apresentados detalhes sobre a otimização operacional para a diminuição do consumo de energia elétrica. Maiores detalhes sobre o aumento da eficiência energética em

sistemas de bombeamento podem ser encontrados no livro “Sistemas de Bombeamento - Eficiência Energética” (GOMES, 2013)¹¹.

Determinados sistemas de bombeamento requerem algum tipo de controle de vazão e pressão, principalmente em sistemas de abastecimento que o bombeamento de água é dirigido diretamente ao consumidor, isto é, quando não existe reservatório de regularização. Neste caso, a carga requerida ao sistema de bombeamento varia ao longo do dia. Tradicionalmente, no Brasil, os projetistas adotam o reservatório elevado com a função principal de regular a pressão na rede, sendo o seu volume, em muitos casos, insuficiente para que lhe seja atribuída a finalidade de reservação.

Algumas companhias já consideram a exclusão dos reservatórios elevados em seus novos projetos. Souza *et al.* (1978) enfatizaram que, objetivando a redução do alto custo envolvido na construção e manutenção dos reservatórios elevados, bem como a adutora que os interliga com a estação elevatória, os projetistas da SABESP já pesquisavam, no final da década de 80 do século passado, a adoção do bombeamento direto na rede de distribuição de água no estado de São Paulo, por meio de bombas operando com rotação variável. Fato que foi citado posteriormente no Guia “Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento” (TSUTIYA, 2008). Em alguns casos, a adoção pelos projetistas de bombeamentos direto na rede é realizada para atender regiões onde o custo total (implantação mais operação) mostra-se como uma opção mais barata que os sistemas tradicionais de abastecimento com utilização de reservatórios.

De modo geral, o objetivo do controle do bombeamento é manter a pressão constante ou em um valor pré-estabelecido. Caso esse controle não seja efetuado, à medida que a demanda diminui, a pressão de descarga da bomba aumenta, provocando pressões elevadas nas áreas com cotas mais baixas. Entretanto, se a demanda for aumentada, a pressão da bomba irá diminuir, prejudicando os consumidores localizados em pontos altos e/ou distantes. De acordo com a variação da curva de consumo ao longo do tempo, em redes hidráulicas, geralmente, a vazão atinge valores máximos por volta das 12 e 19 horas e um valor mínimo durante a madrugada (pressões máximas).

Os sistemas de bombeamento convencionais são operados usualmente através do controle de vazão obtido por válvulas tipo globo, gaveta ou borboleta, sendo manobradas de acordo com as necessidades operacionais de demanda. As alternativas mais usuais para a variação da vazão/pressão são:

- *Bypass*.
- Válvulas de manobras instaladas à jusante da bomba.
- Controle de vazão através do número de bombas em operação.
- Variadores de velocidade de rotação de bombas.

¹¹ O livro proporciona aos profissionais da área de saneamento e afins, as diversas matérias concernentes à engenharia de sistemas de bombeamento. Aborda, de forma integrada, os diversos assuntos da mecânica dos fluidos, da hidráulica pressurizada, das bombas e elementos de controle, dos motores elétricos e seus acionamentos, dos processos de automação, da otimização de projetos de redes e estações elevatórias, dos processos de manutenção de sistemas etc.

O controle de vazão/pressão através de válvulas de manobras é feito por meio do acréscimo de perda de carga, deslocando o ponto de operação do sistema (interseção da curva vazão *versus* AMT com a curva do sistema) progressivamente sobre a curva da bomba. A Figura 6.8 apresenta as curvas típicas da operação com válvulas de manobras, onde se destaca a perda de energia. Além das perdas, destaca-se que a vida útil dos equipamentos é reduzida e a energia excedente pode gerar vibrações no conjunto motobomba, provocando danos aos elementos do sistema. O controle de vazão/pressão através de válvulas é o mesmo que “conduzir um carro com o freio de mão acionado”.

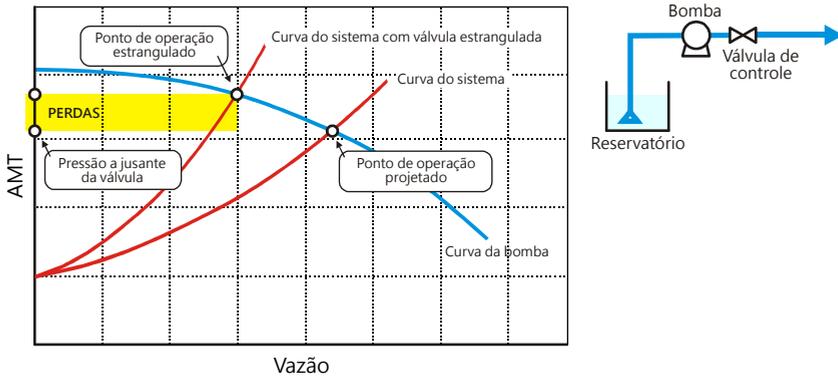


Figura 6.8 – Curvas características com controle de vazão e pressão através de válvulas

Outro método “convencional” em sistemas de bombeamento é o uso do *bypass*. O *bypass* é a instalação de uma tubulação que tem a função de transportar parte da água bombeada (recalcada) ao reservatório de sucção. A Figura 6.9 apresenta as curvas características típicas do controle de vazão através de *bypass*.

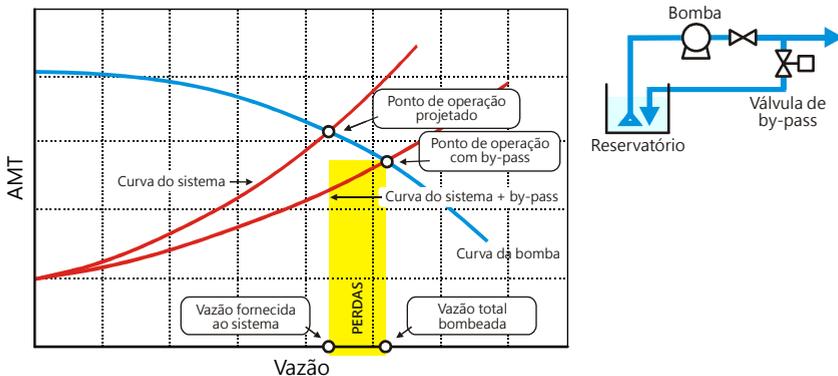


Figura 6.9 – Curvas características com controle de vazão e pressão através de *bypass*

Um sistema de bombeamento que tem como meta operar com o máximo de eficiência energética é aquele que garante um consumo mínimo de energia segundo a real necessidade de vazão/pressão de água. É fato que a alternativa mais eficiente para a variação da vazão e pressão é o controle de velocidade de rotação de bomba. À medida que a velocidade de

rotação decresce, a energia consumida diminui gradativamente. Estudos sobre o consumo de energia apresentados, por diversos fabricantes, demonstram que os consumos de bombas centrífugas “típicas” são conforme a Figura 6.10. Pode-se verificar nitidamente a economia do uso de inversores de frequência sobre os outros métodos.

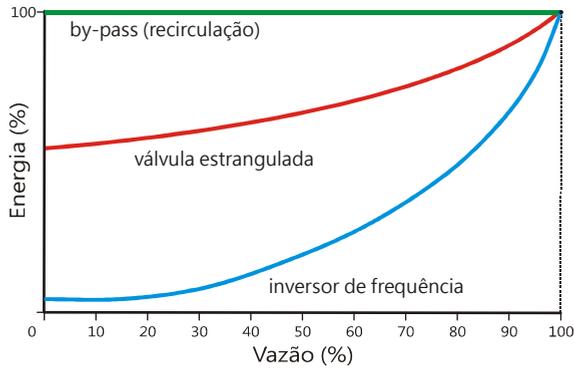


Figura 6.10 – Comparativo do consumo de energia para os métodos de controle de pressão/vazão: *bypass*, válvula de manobra e inversor de frequência

Variar a velocidade de rotação tem efeito direto sobre o desempenho das bombas. Recomenda-se, para o melhor aproveitamento do rendimento da bomba, que o ponto referente à demanda máxima esteja situado a direita da curva de melhor rendimento, com isso, na maior parte do tempo o ponto de operação do sistema se mantém próximo ao ponto ótimo (ver Figura 6.11). As equações que relacionam a vazão, altura manométrica total (AMT) e a potência com a velocidade de rotação são conhecidas como Leis de Similaridade. Deve-se ter cautela na aplicação das Leis de Similaridade nos sistemas onde o desnível geométrico é predominante na variação da altura manométrica, a curva do sistema começa a partir do valor da perda estática e, conseqüentemente, uma pequena redução na velocidade de rotação da bomba proporciona uma grande variação da vazão e na eficiência da bomba (ver Figura 6.12).

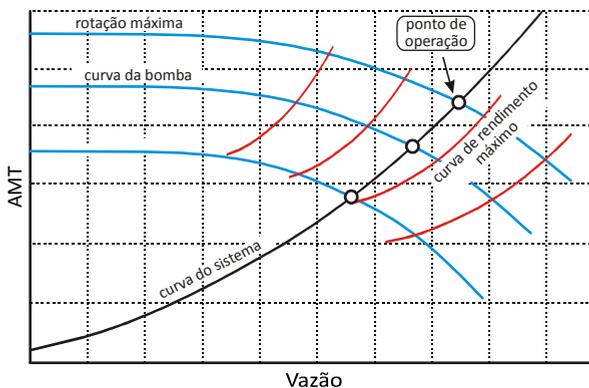


Figura 6.11 – Exemplo do comportamento das curvas características para um sistema com predominância de perda de carga na altura manométrica

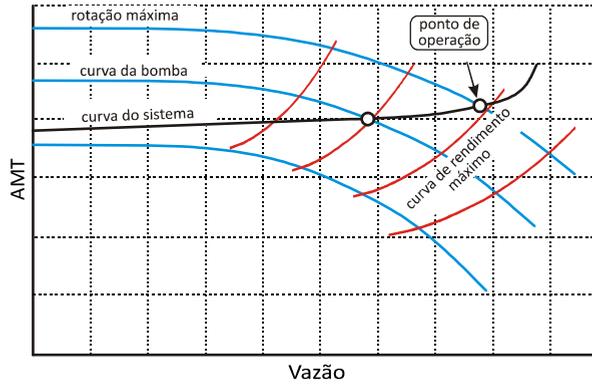


Figura 6.12 – Exemplo do comportamento das curvas características para um sistema com predominância do desnível geométrico na altura manométrica

As aplicações típicas de inversores de frequência em sistemas de distribuição de água são em *boosters* (Figura 6.13) e quando o conjunto motobomba fornece água diretamente para a rede de distribuição de água (Figura 6.14). Uma das primeiras elevatórias de água, tipo *booster*, a utilizar um variador de rotação no Brasil, foi uma estação elevatória localizada na Região Metropolitana de São Paulo, operada pela SABESP, em 1981. Nos anos seguintes, a SABESP implantou variadores de rotação eletromagnéticos, inversores estáticos de corrente e hidrocínéticos em elevatórias do tipo *booster* na Região Metropolitana de São Paulo. O variador eletromagnético apresentou vários problemas eletromecânicos, não oferecendo confiabilidade adequada. O inversor estático de corrente apresentou bom desempenho quanto ao controle operacional, sendo a sua principal desvantagem o custo elevado e grande dimensão. Já o variador hidrocínético apresentou bom desempenho, custo relativamente baixo e pela sua simplicidade e robustez, foi utilizado em zonas de periferias da Região Metropolitana de São Paulo até o início da década de 90, quando foi substituído pelos inversores de frequência (TSUTIYA, 1989).

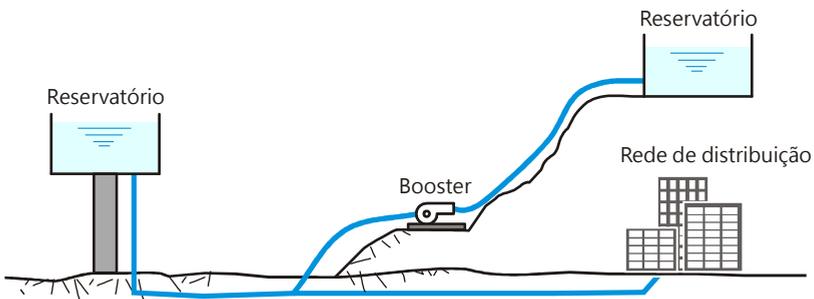


Figura 6.13 – Controle de velocidade de rotação em *boosters*



Figura 6.14 – Bombeamento direto na rede de distribuição de água

Com o avanço da tecnologia e diminuição dos custos, os inversores de frequência têm sido cada vez mais utilizados em estações elevatórias para manter as redes hidráulicas dentro de níveis de pressão e vazão compatíveis às necessidades do sistema, podendo até suprimir o tradicional reservatório elevado. A Figura 6.15 apresenta o esquema básico da configuração de um sistema de bombeamento com inversor de frequência. A figura mostra um sensor de pressão na linha de recalque, que também pode ser um sensor de vazão ou de nível. O sinal elétrico enviado pelo sensor (4 a 20 mA) para o inversor representa a retroalimentação (*feedback*) para o controlador do tipo PID do equipamento. Este tipo de controle dispensa o uso de hardwares extras (por exemplo, CLP). O *setpoint* é, neste exemplo, uma determinada pressão especificada pelo usuário. O controlador altera a velocidade de rotação do conjunto motobomba, de modo que a pressão no ponto de medição permaneça próximo ao valor preestabelecido. Caso haja um aumento de pressão na rede, o sistema reduz automaticamente a velocidade de rotação do motor para manter o valor desejado de pressão, conseqüentemente, se a pressão é menor que a estabelecida pelo usuário, o inversor aumenta a velocidade de rotação do motor.

A parametrização dos inversores de frequência é realizada com base no ponto crítico da rede. Os pontos críticos são aqueles mais desfavoráveis ao abastecimento, que, geralmente, estão localizados nas cotas mais elevadas ou nos pontos mais distantes. Definido estes pontos, é necessária a realização de medições de pressão nestes locais, de modo que estes dados possam dar subsídios para a definição das pressões na saída da bomba.

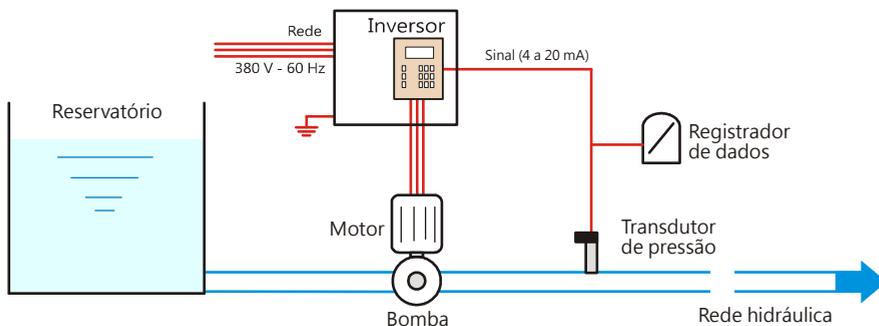


Figura 6.15 – Representação esquemática de um sistema de bombeamento acionado por um inversor de frequência

De modo semelhante à aplicação de VRPs, o controle de pressão através de inversores de frequência também pode ser realizado, em tempo real, com base na medição de pressão dos pontos mais desfavoráveis do sistema. Cada ponto de medição, por sua vez, pode ter um diferente valor de referência de pressão (*setpoint*). Neste caso específico, é necessário que os valores medidos passem por uma lógica de seleção, sendo escolhido o ponto com o maior déficit de pressão como determinante na ação do controlador. Desta forma, garante-se o abastecimento nas regiões menos privilegiadas. É indispensável à implantação de um controlador e recomenda-se a adoção de transdutores de pressão com transmissão de dados GSM, para que não haja necessidade da implantação de unidades terminais remotas (UTR). Caso a pressão no ponto crítico esteja acima do valor pré-estabelecido, o inversor diminui a velocidade de rotação da bomba, caso contrário, se a pressão no ponto está abaixo do valor mínimo adotado, o equipamento aumenta a velocidade de rotação.

Inversores de Frequência

Os inversores de frequência (também chamados de conversores de frequência) são dispositivos eletrônicos que alimentam motores de indução trifásicos com frequência e tensão elétrica variáveis. Em geral, o inversor de frequência consome de 4% a 10% da energia elétrica absorvida para acionar o conjunto motobomba. O rendimento do equipamento diminui com a redução da frequência de saída e com a redução da carga. Quando aplicado corretamente, essas perdas tornam-se pequenas se comparadas com a redução do consumo de energia proveniente da operação da bomba operando com velocidade de rotação variável.

Estudo realizado no laboratório de eletrônica de potência da Lappeenranta University of Technology examinou como quatro inversores de frequência, de fabricantes diferentes, funcionaram como dispositivo de controle de sistemas de bombeamento. A ideia foi avaliar os equipamentos do ponto de vista de um usuário de conjuntos motobomba, observando principalmente o rendimento do inversor + motor. Os testes corroboraram com a avaliação de técnicos que trabalham com este tipo de equipamento no dia a dia. A pesquisa demonstrou que, para a frequência variando de 35 a 60 Hz, o rendimento do sistema variou aproximadamente de 76% a 82%, que é um resultado satisfatório para todos os fabricantes. Em frequências abaixo de 35 Hz, o rendimento foi de aproximadamente 55% em dois fabricantes e 40% nos outros dois, demonstrando que o uso de motores em frequências abaixo de 35 Hz deve ser evitado.

Em resumo, é necessária a análise cautelosa do uso de motores com a frequência de alimentação variando de 0 a 60 Hz no setor de saneamento, porque na maioria dos casos é mais viável, tecnicamente e economicamente, a instalação de conjuntos motobomba trabalhando em paralelo, com apenas um ou dois sendo acionados por inversores. O ideal é a avaliação técnica e econômica de cada caso, sendo, de maneira geral, recomendado a faixa de frequência de 30 a 60 Hz. As principais vantagens dos inversores de frequência em sistemas de bombeamento são:

- Aumento da confiabilidade do sistema.
- Aumento da vida útil da bomba, mancais e vedações.
- Controle da corrente do motor elétrico.
- Economia de energia.
- Aumento do fator de potência.
- Elimina a necessidade de válvulas para partir e parar o bombeamento.
- Melhor controle do processo.
- Minimiza a necessidade de paradas do sistema ou elimina os saltos de produção.
- Possibilita a automação do sistema.
- Diminuição do número de rompimentos nos tubos.

A implantação de inversores de frequência em estações de bombeamento nem sempre é viável técnica e economicamente. Para se atestar a viabilidade técnica e econômica deve-se efetuar um estudo detalhado da hidráulica operacional do sistema de distribuição de água, complementado com estudos eletromecânicos, além dos quantitativos de custos e da economia proporcionada de energia elétrica. Em alguns casos, o vendedor do equipamento alega vantagens da implantação do equipamento sem levar em consideração as condições operacionais específicas do sistema de bombeamento em pauta.

6.4 Medidores de Pressão

Pressão é força por unidade de área e, normalmente, é expressa em mca, kgf/cm², psi ou N/m². A pressão pode ser expressa em escala absoluta ou relativa. A primeira atribui o valor nulo ao vácuo perfeito, enquanto a segunda considera zero ao nível de pressão correspondente à atmosfera local. A maioria dos medidores de pressão mede pressão relativa, ou seja, a diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica do local onde se encontram. A pressão relativa pode ser positiva (manométrica) ou negativa (vácuo).

Os medidores de pressão absoluta são conhecidos como barômetros. Estes são mais caros que os manômetros e, geralmente, são utilizados para a determinação da pressão atmosférica do local. Os manômetros são apresentados em vários modelos para diversas aplicações no setor de saneamento e na indústria (alimentícia, petroquímica, farmacêutica, metalúrgica, siderúrgica etc.). Três tipos de manômetros são comumente utilizados no setor do saneamento: de coluna líquida, metálicos (tipo Bourdon) e eletrônicos (transdutores de pressão). Na macromedição, estes medidores possuem duas funções básicas: auxiliar no levantamento da vazão por meio de medidores deprimogêneos (Tubo Pitot, Venturi etc.) ou permitir o acompanhamento e controle de pressões de distribuição, fator importante no controle operacional de sistemas de distribuição de água.

Manômetros de Coluna Líquida

Os manômetros de coluna líquida possuem séculos de existência, porém estão sendo progressivamente substituídos, principalmente devido ao fato de necessitar de um líquido manométrico mais denso que a água, como é o caso do mercúrio metálico. Bastante utilizados anteriormente, nos dias atuais não é recomendado a adoção de líquidos manométricos para medir a pressão em redes hidráulicas, porque podem vazar para o interior da tubulação e provocarem graves contaminações. Há fabricantes que fornecem modelos com dispositivos de segurança, dispostos no topo de ambas as colunas para impedir a perda de fluido em caso de sobrepressão gradual ou repentina.

Outro problema dos manômetros de coluna líquida é a dificuldade de se adaptar a sistemas de leituras remotas, como registradores eletrônicos (*datalogger*). Porém, este tipo de medidor requer uma frequência menor de calibrações, desde que se garanta a densidade do líquido manométrico e a exatidão da escala que mede a altura da coluna.

Os manômetros de coluna líquida são utilizados nos laboratórios como padrões práticos para medidores de baixas pressões, onde a medida de pressão é função do peso específico e da altura da coluna do líquido.

Os manômetros de coluna líquida podem ser em forma de U ou ter uma única coluna. Há versões flexíveis (Figura 6.16) que podem ser enrolados e possuem a mesma precisão dos manômetros de coluna em U utilizados em laboratórios. Estes são indicados para medições de pressão em campo por causa da facilidade de transporte.



Figura 6.16 – Manômetro de coluna líquida flexível

Manômetros Mecânicos

Dentre os manômetros mecânicos, o mais utilizado é o do tipo *Bourdon*. Os elementos sensores são produzidos em liga de cobre, aço inoxidável ou materiais especiais para aplicações específicas. Os sensores de pressão, que utilizam a propriedade de deformação elástica dos materiais, quando submetidos a uma força mecânica como princípio, são os tipos Bourdon e suas variações, em forma de espiral e hélice, para pressões altas, fole e diafragma para pressões baixas. Estes são frequentemente chamados de manômetros.

A faixa de pressão coberta pelos manômetros do tipo Bourdon C vai de 10 mca, de vácuo, até dezenas de milhares de metros de coluna de água. Os tipos espirais e helicoidais chegam até alguns milhares de mca. Para a leitura de baixas pressões ou pressões diferenciais, os sensores mais utilizados são os do tipo diafragma ou fole. A precisão da maioria dos medidores está na faixa de 2% (fundo de escala), sendo que alguns são incrementados com compensadores térmicos para minimizar o erro de medição.

Devido ao baixo custo, os manômetros metálicos com ponteiro sobre mostrador redondo são instrumentos muito comuns em diversos processos industriais e são encontrados com frequência em sistemas de bombeamento e ETAs. No entanto, são instrumentos de baixa precisão, principalmente quando sujeitos a vibrações e pressões pulsantes. De forma a isolar o sensor do fluido do processo, usualmente o tubo Bourdon é preenchido com glicerina ou silicone. É comum as manutenções serem negligenciadas, o que torna corriqueiro a existência de medidores totalmente descalibrados, servindo apenas como indicadores de que há ou não pressão na rede.



Figura 6.17 – Aspecto típico de um manômetro do tipo Bourdon

Transdutores de Pressão

Os transdutores de pressão (medidores de pressão eletrônicos) têm suas aplicações cada vez mais difundidas no saneamento. Estes podem ser classificados quanto ao tipo de sensor que utilizam. Embora existam diversos tipos, três principais podem ser citados:

- Sensor piezoelétrico.
- Sensor piezoresistivos.
- Sensor capacitivo.

De modo geral, os medidores piezoelétricos e piezoresistivos são usados para medições de pressão nas adutoras e redes hidráulicas, enquanto os medidores capacitivos são adotados com mais frequência na medição de pressão diferencial em Venturis, Tubos Pitot e outros instrumentos do tipo.

Os **medidores piezoelétricos** (Figura 6.18a) são caracterizados pela grande estabilidade, não perdendo sua calibração mesmo após estarem 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. Por serem unidirecionais, não são adequados à medição de pressão diferencial. Os transdutores piezoelétricos usam o efeito de mesmo nome para gerar o sinal elétrico. Como o circuito processa apenas a tensão gerada devido ao efeito piezoelétrico, o dispositivo registra apenas variações de pressão, pois a tensão cai rapidamente em condições estáticas. Isto pode ser muito útil em algumas aplicações, mas há circuitos que detectam a frequência de ressonância do cristal e, portanto, podem medir pressões estáticas.

Os **transdutores com sensores piezoresistivos** (Figura 6.18b) funcionam segundo o princípio da variação da resistência elétrica de um condutor elétrico com o aumento do seu comprimento. Esta variação é obtida pelo aumento ou diminuição da pressão no corpo do sensor. Para que isto seja possível, os sensores devem ser muito delgados. A resistência elétrica obtida é introduzida em uma ponte de Wheaststone, onde sua variação é utilizada para a obtenção do sinal proporcional à pressão que se quer medir.

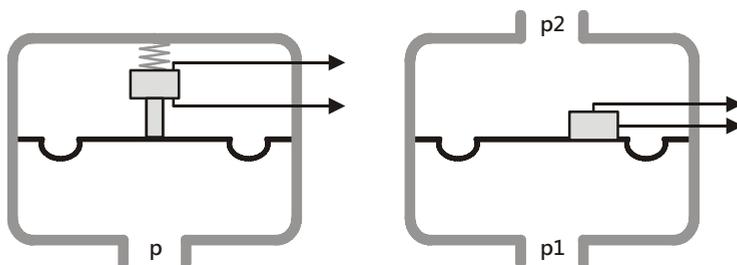


Figura 6.18 – Esquema dos sensores de pressão tipo piezoelétrico e piezoresistivo

Os transdutores capacitivos se destinam à medição de pressão absoluta e atmosférica, e 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 periódicas do transdutor capacitivo. Estes dispositivos medem a diferença de pressões entre o lado da membrana em contato com o líquido e o lado da câmara interior. A pressão imposta na câmara interior do equipamento depende da aplicação, podendo esta pressão ser:

- Atmosférica no ambiente do local – medição da pressão manométrica.
- Atmosférica padrão – medição da pressão relativa padrão.
- Nula – medição da pressão absoluta.
- De outro ponto – medição da pressão diferencial.

CAPÍTULO 7

Sistemas de Gerenciamento de Dados

Os sistemas de gerenciamento de dados oferecem a oportunidade de fácil coleta, armazenamento e atualizações de informações em tempo real. Os Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados - SCADA e os Sistemas de Informação Geográfica - SIG são os principais sistemas para esta finalidade adotados no setor de saneamento.

7.1 Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados – SCADA

A automação permite o compartilhamento das informações geradas nos diversos processos envolvidos no setor de saneamento, contribuindo para uma maior agilidade e confiabilidade no processo decisório. Esta pode ser aplicada em todos os subsistemas pertencentes ao setor: captação, estação de tratamento de água (ETA), reservação, transporte (adutoras), distribuição (redes e reservatórios) e sistemas de esgotamento sanitário. A necessidade de implementação de novas tecnologias é uma realidade que não pode ser ignorada pelas companhias. É crescente a adoção de sistemas automatizados nos novos projetos. Este crescimento é impulsionado, principalmente, pela disponibilidade de acesso aos equipamentos empregados e pela possibilidade de supervisionar e operar os sistemas de forma mais eficiente.

Os principais atrativos que justificam o investimento em automação residem na melhoria da qualidade do tratamento da água, redução de custos operacionais e controle de perdas reais e aparentes nos sistemas. A automação é uma ferramenta fundamental na otimização e gestão dos serviços de saneamento. As principais variáveis controladas e monitoradas nos sistemas de abastecimento de água são:

- Vazões e pressões das redes hidráulicas.
- Consumo em tempo real de clientes especiais.
- Grandezas elétricas dos motores (tensão, corrente, potência etc.).
- Produtos químicos utilizados nas ETAs (cloro, flúor etc.).
- Parâmetros de qualidade da água (turbidez, pH, potencial de coagulação etc.).
- Níveis de mananciais, barragens, reservatórios etc.

- Posição de abertura das válvulas de controle.
- Vibração, rotação e temperatura dos conjuntos motobomba.
- Volumes armazenados e distribuídos.

Ao longo das últimas décadas, os sistemas SCADA - Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (em inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition*) estão sendo amplamente adotados na gestão de grandes sistemas de abastecimento de água. Os sistemas SCADA são formados por quatro subsistemas:

- Instrumentação (sensores e atuadores).
- Estações Remotas (aquisição e controle).
- Rede de comunicação.
- Sistema de supervisão e controle (*software*).

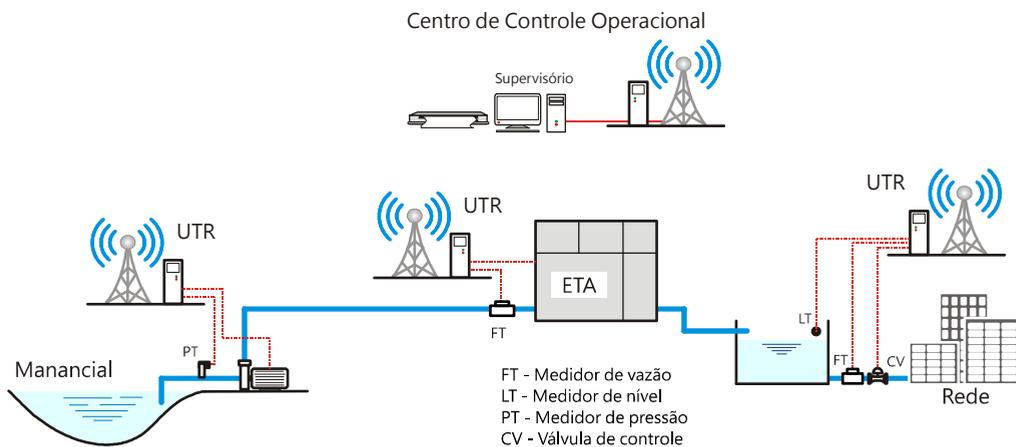


Figura 7.1 – Exemplo de sistema SCADA de um sistema de abastecimento de água

A implantação de sistemas SCADAs proporciona um aumento da confiabilidade dos processos, porque qualquer anormalidade operacional é facilmente detectada e as ações corretivas necessárias são tomadas em tempo hábil. Alguns sistemas mais modernos, como o instalado no serviço de saneamento do departamento de planejamento do Principado de Mônaco, possuem *softwares* que emitem alertas através de chamadas telefônicas. A transmissão da informação é feita para celulares e telefones fixos, utilizando uma voz sintetizada. Enquanto não é feito o reconhecimento do alarme (diretamente através do telefone) pelo operador encarregado de resolver o problema, o *software* continua com o seu procedimento de chamadas telefônicas. De modo geral, a automação pode proporcionar a detecção das seguintes falhas:

- Falhas de equipamentos (motores, conversores, válvulas etc.).
- Falhas de instrumentação.
- Falta de energia.
- Nível baixo ou extravasamento de reservatórios.
- Pressões insuficientes ou elevadas.
- Vazões baixas ou elevadas.
- Problemas estruturais.

- Rupturas de tubulações.
- Segurança das instalações contra roubo e danos.
- Vazamentos. Os grandes vazamentos na rede podem, com a automação, ser identificados rapidamente, na medida em que o monitoramento da vazão mínima noturna se torna sistemática (ver Figura 3.15).

7.1.1 Instrumentação para Medição e Controle

De modo geral, a **instrumentação** refere-se aos dispositivos que estão diretamente nas instalações ou equipamentos (sensores, atuadores, inversores etc.). Os **sensores** são usados para converter parâmetros físicos (por exemplo, pressão, velocidade do fluxo) em sinais monitoráveis (por exemplo, tensão e corrente elétrica). Os **atuadores** são dispositivos que controlam o movimento ou a ação mecânica de um determinado dispositivo e, geralmente, atendem a comandos que podem ser manuais ou automáticos. Exemplos de atuadores usados no setor de saneamento são as bombas e as válvulas (solenoides, controladoras de pressão, de alívio etc.).

Os transdutores e transmissores também estão inseridos no grupo de dispositivos de instrumentação. Pode-se considerar um transdutor um equipamento que faz a interface entre o sensor e o circuito de controle ou, eventualmente, entre o controle e o atuador. O transmissor é um dispositivo que prepara o sinal de saída de um transdutor para o usuário, fazendo certas adequações ao sinal. Estas adequações são os chamados padrões de transmissões de sinais, como, por exemplo, corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA. Geralmente, os termos transdutor e transmissor são usados para representar os mesmos equipamentos, pois estes dispositivos possuem um sensor e transmitem a informação em tensão ou corrente elétrica utilizando o mesmo circuito de alimentação. No caso dos medidores de vazão e de nível, via de regra, o transdutor (elemento primário) e o transmissor ou inversor (elemento secundário) possuem circuitos distintos. Neste caso, a alimentação elétrica do equipamento é independente do sinal elétrico lógico gerado para a medição. A Figura 7.2 apresenta um esquema de ligação de um medidor de vazão e de um transdutor de pressão. Neste caso, adotou-se a instalação de um resistor de 500 Ω para transformar o sinal de saída do equipamento, que é de 4 a 20 mA, para tensão (2 a 10 V).

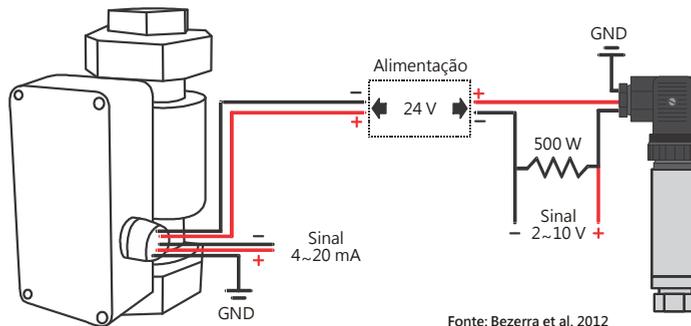


Figura 7.2 – Esquema de ligação de um medidor de vazão e de um transdutor de pressão

Há uma série de características relacionadas aos instrumentos de medição que devem ser consideradas na hora da seleção destes. A seguir, são apresentados os principais termos utilizados pelos técnicos.

Amplitude da faixa ou **alcance** (*span*) - Diferença algébrica, em módulo, entre os valores superior e inferior da faixa de medição nominal.

Erro de medição - Diferença entre o valor lido pelo instrumento e o valor real da variável. No regime permanente, estes são chamados de erro estático, que poderá ser positivo ou negativo, dependendo da indicação do instrumento, o qual poderá estar indicando valores positivos e negativos.

Estabilidade - Está relacionada com a flutuação do sinal de saída do dispositivo. Quando a flutuação é muito alta, o sensor possui uma baixa estabilidade e a atuação do controlador que utiliza esse sinal é prejudicada.

Exatidão e **Precisão** - Estes termos normalmente são confundidos. Exatidão, segundo o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, representa o grau de concordância entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro do mensurando. Precisão denota o grau de refinamento da medida, isto é, pouca dispersão (capacidade de obter o mesmo resultado quando repetições são efetuadas).

Faixa de alcance ou **faixa de medição** (*range*) - Faixa de valores compreendida entre os limites inferior e superior da capacidade de medição do instrumento com um determinado nível de incerteza.

Histerese (*hysteresis*) – diferença máxima que se observa nos valores indicados pelo instrumento para um valor da faixa de medida, quando a variável percorre a escala nos dois sentidos de medição.

Linearidade (*linearity*) – esse conceito se aplica a sinais analógicos e está relacionado com a aproximação que a curva obtida pelos valores medidos se aproxima de uma reta. A saída do sensor pode ser linearizada usando um amplificador específico.

Repetibilidade (*repeatability*) – é a capacidade de reprodução da indicação ao se medir sob as mesmas condições, repetidamente, valores idênticos de uma variável.

Resolução (*resolution*) – é a mínima variação que uma grandeza pode sofrer, provocando alteração na indicação ou sinal de saída de um instrumento, ou seja, é a menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida.

Sensibilidade (*sensitivity*) – variação da resposta de um instrumento de medição dividida pela correspondente variação do estímulo.

Tempo morto (*dead band*) – atraso verificado entre a ocorrência de uma alteração na variável e a sua percepção pelo instrumento.

Velocidade de resposta (*speed of response*) – trata-se da velocidade com que a medida fornecida pelo sensor alcança o valor real do processo. Em sistemas críticos, o ideal é que o sensor utilizado tenha uma resposta instantânea, pois uma resposta lenta pode inviabilizar o uso de controladores automáticos.

Zona morta (*dead zone*) – faixa de valores da variável que não provoca variação no atuador ou sinal de saída do instrumento.

Os instrumentos de medição utilizados na indústria têm os sensores como elemento primário e podem ser classificados, de acordo com o tipo de sinal transmitido, como digitais ou

analógicos. As entradas e saídas digitais apresentam dois níveis lógicos: “0” ou “1”, ligado ou desligado, enquanto que as entradas e saídas analógicas apresentam sinais contínuos que são padronizados para trabalhar numa determinada faixa. Os sinais analógicos são bastante utilizados para representar, por relação linear, grandezas contínuas (por exemplo, pressão e vazão) e de evolução temporal contínua. Para que possam expressar as medidas na unidade desejada, é necessária a conversão do sinal de saída. Os sinais elétricos mais utilizados para representação analógica são estabelecidos em tensão ou em corrente. São eles:

- -10 a +10 V.
- -20 a +20 mA.
- 0 a 10 V.
- 4 a 20 mA.

Dentre os sensores e equipamentos mais comuns em sistemas de abastecimento de água, tem-se instrumentação digital (pressostato, chave de nível, chave de fluxo, termostato, fotocélula, sensor de presença etc.), instrumentação analógica (transmissor de nível, medidor de vazão, transmissor de pressão, transmissor de posição, transmissor de vibração, medidor de pH etc.), acionamentos de motores elétricos (*soft-starter*, inversor de frequência etc.) e atuadores ou elementos finais (bombas, agitadores, válvulas etc.).

7.1.2 Estações Remotas

As Estações Remotas são as interfaces entre o SCADA e o sistema hidráulico. Estas são responsáveis pela coleta e transmissão dos dados a distância e são instaladas próximas das instalações ou dos equipamentos monitorados e controlados. Esta pode ser composta por uma Unidade Terminal Remota (UTR) e/ou um controlador lógico programável (CLP). As Estações Remotas são responsáveis pela interface entre o sistema de supervisão e controle e os equipamentos/sensores de campo e, em alguns casos, podem ser alimentadas com energia solar. As UTRs coletam dados locais (pressões, vazões, nível de reservatórios etc.) e transmitem os comandos aos equipamentos (válvulas, inversores de frequência etc.).

O processo de controle e aquisição de dados se inicia nas Estações Remotas (CLP/UTR) com a leitura dos valores dos dispositivos que estão associados a cada unidade. Os CLPs/UTRs são unidades computacionais específicas para entrada/saída de informações e realizar cálculos ou controles. A diferença entre os CLPs e as UTRs é que os primeiros possuem mais flexibilidade na linguagem de programação e controle de entradas e saídas, enquanto as UTRs possuem uma arquitetura mais distribuída entre sua unidade de processamento central e os cartões de entradas e saídas, com maior precisão e sequenciamento de eventos. Na prática, estes elementos se confundem. Existem CLPs que podem enviar e receber dados através das infraestruturas e tecnologias GSM/GPRS entre os mais distantes pontos que a cobertura das operadoras pode atingir. É comum se chamar de UTR todo o subsistema de automação controlado à distância.

Nos sistemas de abastecimento de água, a aquisição de dados começa, propriamente, na UTR/CLP, e esta é responsável pela maioria das ações automáticas executadas, isso porque há uma grande distribuição geográfica dos elementos envolvidos. Os dados são compilados e, em seguida, formatados de tal forma que um operador da sala de comando, por meio de um

software supervisorio, possa alterar os parâmetros de decisão. Um exemplo de aplicação típico é quando se tem um CLP controlando a pressão de um sistema de bombeamento, mas o operador, através do aplicativo computacional é quem determina o valor de referência (*setpoint*) da pressão, ou seja, o controle de malha fechada (automático) da pressão é feito por um controlador localizado na estação remota, enquanto que o supervisorio é responsável pelo desempenho global do sistema. O uso de CLPs “inteligentes” que são capazes de executar autonomamente os processos sem que haja interferência do homem é crescente.

Quando é utilizado CLP nos subsistemas, geralmente, estes controlam processos locais e enviam informações relevantes para CLPs de outras áreas. O sistema de supervisão monitora os estados de todas as áreas remotas através dos dados recebidos. A Seção 7.1.5 apresenta mais detalhes sobre os CLPs. Hoje em dia, praticamente todos os fabricantes têm oferecido CLPs com interface homem-máquina - IHM (em inglês, *Man-Machine Interface* - MMI ou *Human Machine Interface* - HMI) e integrados a sistemas SCADA, a maioria utilizando protocolos de comunicação não proprietários.

7.1.3 Rede de Comunicação

O conjunto de equipamentos e programas utilizados para propiciar o trânsito de informações entre os diversos níveis hierárquicos e participantes de um sistema é chamado de **Rede de Comunicação**. Os sistemas de abastecimento de água são compostos por diversos subsistemas distribuídos geograficamente e, frequentemente, é necessário adicionar meios para o envio de dados à distância. Nestes casos, a transmissão de dados é uma funcionalidade imprescindível. O gerenciamento remoto ou o acompanhamento de um sistema SCADA é frequentemente chamado de telemetria. Os meios para tráfegos de informações de um local para outro podem ser via satélite, telefone celular, ondas de rádio, cabos, fibras ópticas etc. A rede de comunicação é a plataforma por onde as informações fluem, podendo circular entre Estações Remotas e das Estações Remotas aos centros de controle. A escolha do meio está associada a fatores como distância entre as estações, atenuação do sinal, imunidade a perturbações externas e a velocidade de transferência das informações.

O tipo de ligação física clássico de transmissão de informação digital consiste na utilização de sinais elétricos em cabos com condutores metálicos isolados. Esta modalidade apresenta algumas limitações sérias, especialmente na transmissão a longas distâncias. Os sistemas se estendem de forma a abranger grandes áreas, o que torna inviável a interligação de todos os pontos monitorados por meio de uma rede de cabos, tanto do ponto de vista econômico como prático. As redes telefônicas podem ser utilizadas como meio de transmissão de dados com custos de investimento menores. As redes por telefonia celular se apresentam como uma alternativa viável de transmissão sem fios, porém, o suporte físico apresenta, por vezes, limitações de confiabilidade e nem sempre existe cobertura por parte dos fornecedores deste tipo de serviço.

As redes de comunicação podem ser exclusivas ou compartilhadas. As soluções dedicadas (exclusivas) representam geralmente um custo maior para as companhias, mas apresentam maior confiabilidade. As soluções compartilhadas (por exemplo, rede telefônica pública e redes celulares) podem apresentar um custo de instalação praticamente zero, porém têm despesas de utilização significativas e possuem dependência de eficiência da concessionária.

No projeto de redes devem-se observar os seguintes requisitos:

- Confiabilidade.
- Custo efetivo baixo.
- Facilidade de uso e manutenção.
- Flexibilidade.
- Interoperabilidade.
- Padronização.
- Segurança.

A velocidade de resposta não foi incluída entre os requisitos, por se tratar de um parâmetro relativo. Por exemplo, na indústria automotiva, os sistemas devem ser capazes de responder em milésimos de segundos. Por outro lado, em sistemas de abastecimento de água, é recomendado que o registro de dados de vazão e pressão seja em intervalos de minutos e a resposta do sistema de controle pode ser medida em segundos.

Também se recomenda que a rede de comunicação seja aberta. As principais vantagens de redes abertas são:

- Ampliação do domínio da aplicação.
- Cobertura de distâncias maiores que as conexões tradicionais.
- Disponibilidade de ferramentas para instalação e diagnósticos.
- Flexibilidade para estender a rede e conectar diferentes módulos na mesma linha.
- Possibilidade de conectar produtos de diferentes fabricantes.
- Redução do custo de engenharia (ganho de *know-how* devido à experiência).
- Instalação e operação são, relativamente, simples.

7.1.4 Sistemas de Supervisão e Controle

O Sistema de Supervisão e Controle é responsável pelo monitoramento central, o qual permite que o operador acompanhe e controle todos os processos. É comum que este sistema seja chamado também de **sistema supervisorio**, **supervisorio**, **sistema computacional SCADA**, **estação central de supervisão** e **SCADA**. O local onde se localizam os supervisórios é frequentemente chamado de Centro de Controle Operacional - CCO, Centro de Supervisão, Estação Mestre ou Estação de Monitoração Central. Esta é considerada a unidade principal dos sistemas SCADA, por ser responsável pela centralização das informações geradas pelas Estações Remotas em um computador ou em uma rede de computadores, de modo a permitir o compartilhamento do controle e das informações coletadas.

O sistema supervisorio é um programa computacional, que através de uma interface gráfica, permite visualizar a planta industrial a ser controlada. De forma geral, o seu desenvolvimento é realizado em um programa computacional específico, tais como: SCADA BR (*software* livre), Elipse SCADA, InduSoft Web Studio, Proficy iFIX, Wizcon Supervisor SCADA, Wonderware InTouch etc. Trata-se de um programa totalmente configurável pelo usuário que permite a monitoração das variáveis do sistema em tempo real, através de gráficos e objetos, os quais estão vinculados com as variáveis físicas de campo. Estes possuem uma linguagem de programação exclusiva voltada para a automatização de processos.

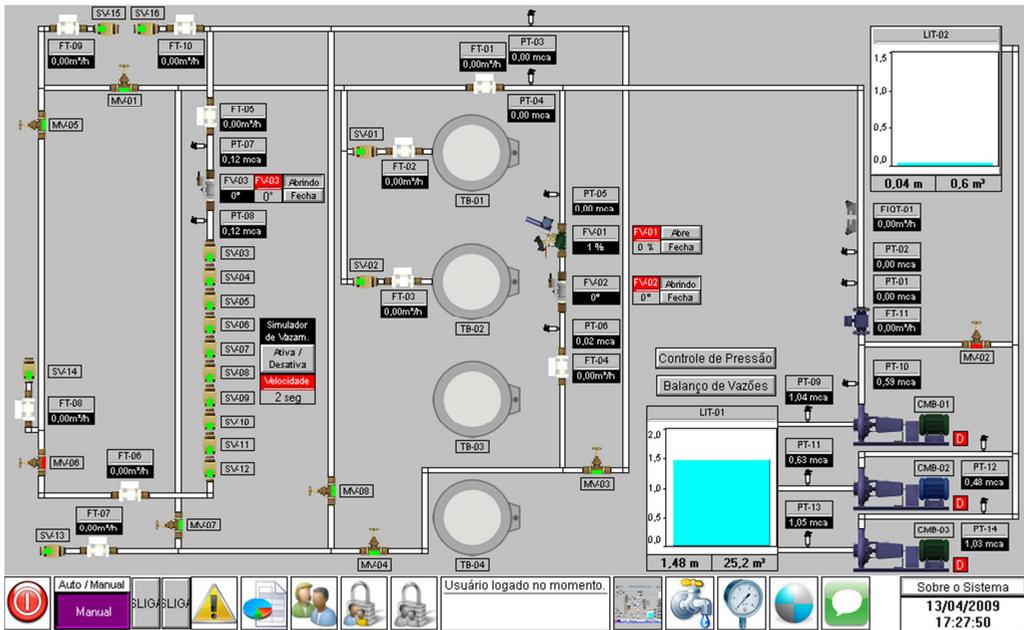


Figura 7.3 – Tela principal do supervisor do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da UFPA - plataforma Elipse SCADA

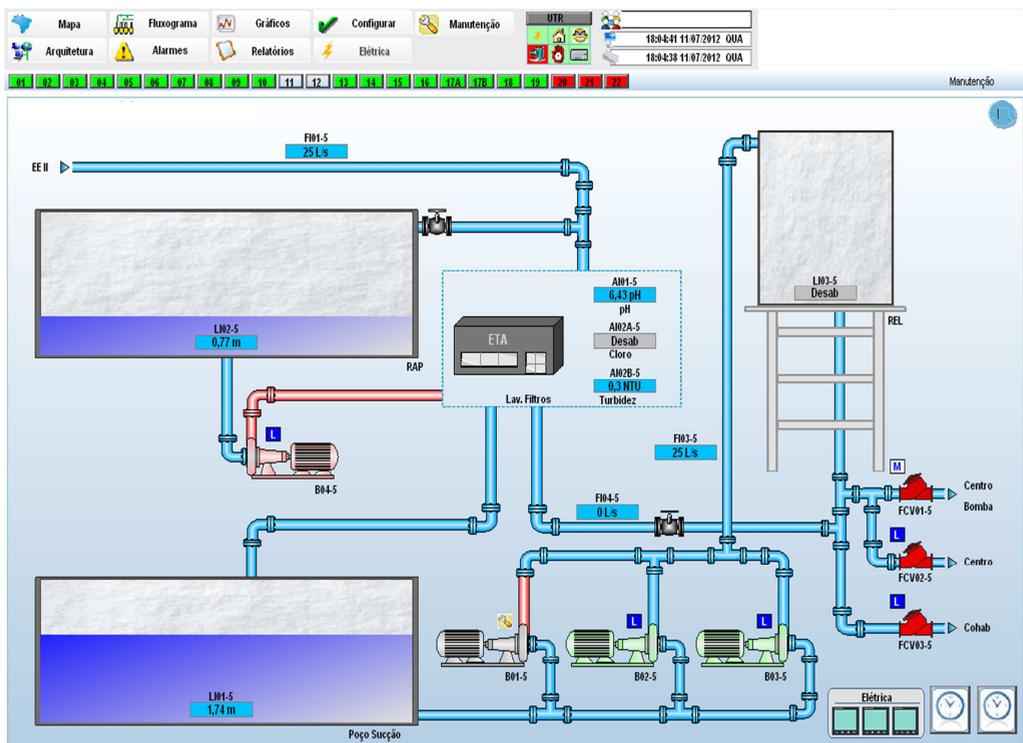


Figura 7.4 – Tela principal do supervisor de uma estação de tratamento de água

Normalmente, as informações podem ser acompanhadas em gráficos, animações, relatórios etc., de modo a exibir a evolução do estado dos dispositivos e do processo controlado, permitindo informar anomalias, sugerir medidas a serem tomadas ou reagir automaticamente. As tecnologias computacionais utilizadas para o desenvolvimento dos sistemas SCADA têm evoluído bastante nos últimos anos, de forma a permitir que, cada vez mais, aumente sua confiabilidade, flexibilidade e conectividade, além de incluir novas ferramentas que permitem diminuir cada vez mais o tempo gasto na configuração e adaptação do sistema às necessidades de cada instalação.

O supervisor deverá atender a todas as necessidades operacionais do sistema, incluindo *softwares* de comunicação, bem como as demais funções que possibilitem ao usuário efetuar a completa supervisão, controle e gerenciamento do sistema. De uma maneira geral, o *software* deverá conter, mas não se limitar, as seguintes funções:

- 1) Controle de Acesso - podem ser atribuídos aos usuários vários níveis de acesso, de maneira a manter um nível hierárquico dos operadores no controle dos processos.
- 2) Apresentar uma Tela Central, informando o estado das principais grandezas elétricas e hidráulicas monitoradas. Esta tela informa os estados de cada bomba, os estados das válvulas de controle, os níveis dos reservatórios, tensão e corrente elétrica dos motores, pressões e vazões. Deverá apresentar o processo, incluindo a sinalização de todos os equipamentos e tubulações, e as variáveis que estão sendo medidas (por exemplo, vazões, níveis, correntes e tensões elétricas) e calculadas (por exemplo, volume de água nos reservatórios, volume de água acumulado).
- 3) Suporte a múltiplas telas - os *softwares* disponíveis no mercado suportam múltiplas telas, que podem incluir combinações de texto, diagramas e gráficos. Devem-se prever telas de detalhes de cada componente pertencente ao sistema de automação. As operações de comando de equipamentos e ajustes de níveis operacionais são feitas a partir dessas telas.
- 4) Apresentar relatórios periódicos da situação de todas as grandezas monitoradas do sistema quando solicitado pelo operador, com a opção de poder imprimi-los. Os relatórios precisam permanecer disponíveis para consulta em tela ou para impressão durante um período não inferior a um ano. Devem prever recursos para salvar estas informações em mídias portáteis (por exemplo, *Flash Drive* e DVD).
- 5) Geração de alarmes - é possível, em situações predeterminadas, a geração de alarme sonoro, visual ou mensagens para e-mails ou telefones, e, o mais importante, a definição de ações preventivas em resposta aos alarmes. A tela de alarmes deverá apresentar as seguintes informações: data e horário, identificação do equipamento e local, valor da variável e o tipo de alarme. Um exemplo de alarme que deve ser incluído é o de vazão máxima: com a inclusão dos medidores de vazão na programação do supervisor, tem-se a possibilidade de programar um algoritmo que compare os valores de vazão medidos em tempo real com os limites permitidos no sistema. Caso a vazão real ultrapasse o valor estabelecido como extremo, um alarme é acionado, o que indica que a rede está danificada ou há retirada de água não autorizada. Este alarme se mostra muito útil, pois alguns vazamentos levam bastante tempo para serem percebidos, desperdiçando água e energia. Outro alarme que é imprescindível é o de *status* das elevatórias: este deve ser acionado quando existir algum conjunto motobomba desligado ou ligado em condições não determinadas, um exemplo deste tipo de alarme é o por falta de energia.

- 6) Permitir alterações *online* de parâmetros de controle e modificação de valores de referência (*setpoint*).
- 7) Registro histórico das variáveis supervisionadas e controladas.
- 8) Geração de relatórios, com a possibilidade de escolher quais variáveis ou parâmetros devem ser incluídos ou não.

7.1.5 Controlador Lógico Programável

De maneira geral, a automação local resulta na adoção de um Controlador Lógico Programável nas Estações Remotas. Conhecido pelas siglas CLP ou PLC (*Programmable Logic Controller*) é um dispositivo físico eletrônico (computador especializado), baseado em um microprocessador que desempenha funções de controle de diversos tipos e níveis de complexidade, dotado de memória programável capaz de armazenar programas implementados com o objetivo de determinar o estado das saídas, de forma a controlar um determinado processo, baseado no estado de suas entradas.

A seguir, são apresentadas as definições dos principais termos relacionados com a seção:

- **Memória** – área reservada do CLP onde os dados e as instruções são armazenados de forma temporária ou permanente. A programação da CPU é armazenada na memória permanente do equipamento.
- **E/S** – abreviação, em português, para entradas e saídas.
- **I/O** – abreviação, em inglês, para entradas e saídas.
- **Entradas (*inputs*)** – correspondem aos sinais elétricos vindos dos sensores e atuadores.
- **Saídas (*outputs*)** – correspondem aos sinais elétricos enviados pelo CLP a qualquer dispositivo.
- **Tempo de Varredura (*scan time*)** – o tempo requerido pelo processador para ler todas as entradas, executar o programa de controle, atualizar as E/S, avaliar e executar a lógica de controle. A varredura do programa é repetida continuamente enquanto o processador estiver em modo de execução (*run*).

Os CLPs são constituídos basicamente por uma fonte de alimentação, uma unidade central de processamento - CPU (*central of processing unit*), além de módulos de entrada e de saída. A CPU é onde são realizados todos os cálculos necessários à obtenção dos valores necessários às saídas, baseados nas entradas lidas e determinados pelo programa armazenado na memória. Este é o elemento principal do controlador, responsável tanto pela execução dos programas do usuário quanto pelas funções associadas ao endereçamento de memória, operações aritméticas, lógicas e relógio.

A memória é o dispositivo responsável pela armazenagem de dados e programas utilizados durante o funcionamento do CLP. Ela possui, eventualmente, um dispositivo programador que, em geral, pode ser substituído por um computador ou ainda podendo ser integrado ao controlador através de uma IHM (Interface Homem-Máquina), que possibilita o envio ou edição de programas, modificação de parâmetros de sintonia ou mesmo consulta aos valores de variáveis do processo.

O módulo de Entrada/Saída corresponde à conexão do controlador aos sensores e atuadores do processo. As entradas podem ser digitais (variáveis discretas - relés, botões etc.)

ou analógicas (variáveis contínuas - nível, vazão, pressão etc.). As saídas, da mesma forma, podem ser digitais (lâmpadas, contactores etc.) ou analógicas (válvulas, inversor de frequência etc.). É importante ao especificar um CLP, que este tenha entradas e saídas, analógicas e digitais, de reserva, além de possibilitar a expansão para mais cartões ou módulos, o que permite a escalabilidade do sistema.

As entradas e saídas discretas apresentam dois níveis lógicos: “0” ou “1”, ligado ou desligado, enquanto que as entradas e saídas analógicas apresentam sinais contínuos que são padronizados para trabalhar numa determinada faixa, normalmente é adotada a faixa de 4 a 20 mA (corrente elétrica) ou 0 a 10 V (tensão elétrica).

Um CLP pode assumir o modo de **espera** quando está sendo programado ou parametrizado, estado de **operação** (*run*) quando está executando um programa ou estado de **erro** se ocorre alguma falha. Quando está no estado de execução, um CLP trabalha em *loop*, executando, a cada ciclo de varredura, cuja duração pode ser da ordem de milissegundos, uma série de instruções referentes aos programas presentes em sua memória.

A grande responsável pela flexibilidade de um CLP é a sua capacidade de ser programado, seja através de um dispositivo IHM ou de um microcomputador. Os *softwares* existentes apresentam uma série de facilidades no processo de programação e testes do programa, possibilitando a realização de simulações, forçamento de entradas, além de uma série de ferramentas avançadas de edição. Os canais de comunicação nos CLPs permitem conectar a interface de operação (IHM), computadores, outros CLPs e unidades de entradas e saídas remotas.

A Interface Homem-Máquina, ou simplesmente IHM, dos CLPs é utilizada para operação dos processos, substituindo os dispositivos de interface convencionais, tais como botoeiras sinaleiros e *displays* digitais localizados no painel elétrico. Esta interface também é comum em equipamentos eletrônicos, como inversores de frequência, soft-starters etc. Estes surgiram da necessidade de uma interface amigável e eficiente entre os equipamentos e os operadores. Em conjunto com o CLP, as IHMs podem ser configuradas para enviarem sinais de atuação ou simplesmente monitorar o sistema. Esta última opção é recomendada quando não há controle de acesso e existe o risco de um técnico despreparado mudar parâmetros do CLP.

7.1.6 Aplicações de Automação em Sistemas de Bombeamento

No setor de saneamento, o segundo item nos custos de operação é a energia elétrica, sendo os sistemas de bombeamento responsáveis por cerca de 95% do consumo de energia. A otimização operacional dos conjuntos motobomba resulta em economias que podem chegar a centenas de milhares de reais mensais. Seguindo esta linha, a implantação de sistemas automatizados está incluída entre as ações impactantes no consumo de energia. O controle automático de sistemas de bombeamento pode envolver:

- Acionamento automático (telecomando) de válvulas de controle automáticas.
- Acionamento automático de motores elétricos.
- Controle do consumo de energia elétrica *online*.
- Envio de dados *online* para outros subsistemas (ETA, ETE etc.) e para o CCO.
- Escorva automática de bombas.
- Integração com o centro de controle operacional - CCO.

- Medição e controle *online* de pressão, vazão e nível de reservatórios.
- Monitoramento da vibração e temperatura de motores elétricos.
- Monitoramento da vibração e temperatura dos mancais dos conjuntos motobomba.
- Monitoramento e controle de grandezas elétricas (tensão, corrente, potência etc.).
- Segurança das instalações prediais.

Um sistema típico de bombeamento automatizado deve ter, pelo menos, válvulas de controle automáticas, medidores eletrônicos de vazão e pressão, e o acionamento automático dos conjuntos motobomba. A Figura 7.5 apresenta um típico sistema de bombeamento com medição de vazão e pressão, que inclusive pode integra-se num sistema SCADA através de telemetria. Neste exemplo, os equipamentos eletrônicos se comunicam com um CLP, que acumula as funções de aquisição de dados e controlador do automatismo local. A Figura 7.6 apresenta imagens de alguns equipamentos eletrônicos citados na Figura 7.5.

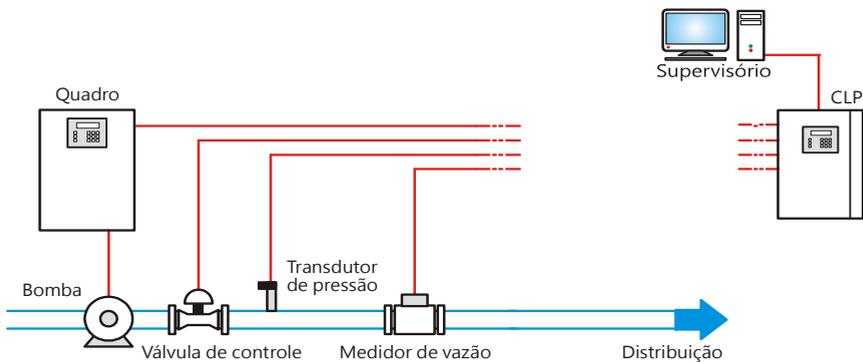


Figura 7.5 – Representação esquemática de um sistema de bombeamento automatizado

Uma possibilidade bastante prática de automação de sistemas com medidores distribuídos em diversos locais é a adoção de conversores (elemento secundário de medidores de vazão responsáveis pela conversão, indicação de valores e transmissão) que, dependendo das condições de operação, possam ter bateria (em alguns modelos de medidores tem autonomia de 2 anos), canal de pressão, comunicação GPRS (que permite a transmissão dos dados) e mostrador digital (*display*). Neste caso, o uso de CLP é dispensável.



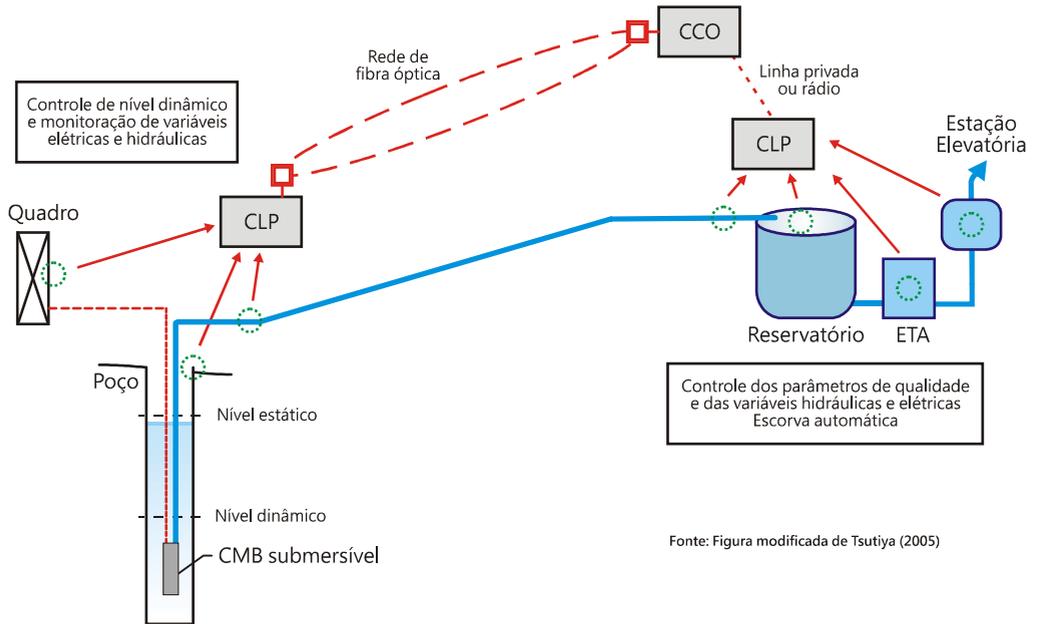
Fonte: <http://www.bermad.com>

Fonte: <http://www.conaut.com.br>

Fonte: <http://www.smar.com.br>

Figura 7.6 – Imagens de equipamentos eletrônicos: a) Válvula de controle de bomba, b) Medidor de vazão ultrassônico e c) Transmissor de pressão

A automação de poços profundos permite o monitoramento e a proteção elétrica dos conjuntos motobomba submersos, trazendo enormes vantagens, como o controle do nível dinâmico, da vazão e da pressão da rede de recalque; a análise de exploração; e o acompanhamento dos indicadores de manutenção. A automação permite aumentar a vida útil do poço, evitando o uso indiscriminado e a perda precoce do aquífero decorrente da má exploração. Um esquema ilustrativo da automação de poços é apresentado na Figura 7.7.



Fonte: Figura modificada de Tsutiya (2005)

Figura 7.7 – Esquema de automação de poços profundos

7.2 Sistemas de Informação Geográfica – SIG

Ao estudar um sistema de distribuição de água, é preciso considerar a enorme quantidade de dados e informações gerados nos processos, a fim de compreender o seu desempenho hidráulico ou para determinar a forma de gerir os dados dos clientes. As empresas coletam e processam grandes quantidades de dados de diferentes departamentos e com propósitos diferentes. Por exemplo, enquanto alguns departamentos trabalham com o banco de dados de sistemas de informações de clientes, outros departamentos são responsáveis pelos dados dos distritos de medição e controle - DMC. É importante ressaltar que todos os dados são valiosos e, em muitos casos, permanecem erroneamente restritos ao seu departamento original. A experiência mostra que a agregação destes dados geram vários benefícios à gestão dos sistemas. Os dados e as informações de sistemas de abastecimento de água podem ser agrupados em três grupos principais, em função da sua natureza e do seu uso posterior. Estes grupos são:

- Elementos do sistema de distribuição de água e suas características físicas.
- Informações dos consumidores.
- Informação espacial sobre a localização dos dados citados acima.

Tradicionalmente, as informações e os dados dos sistemas de abastecimento de água são salvos em diferentes formatos e locais. Os dados sobre os elementos de rede (diâmetro, comprimento, material etc.) geralmente são salvos em bancos de dados que não são atualizados. Os bancos de dados com informações dos consumidores incluem os volumes consumidos e faturados dos clientes, o endereço, o número de registro e os outros dados relevantes para a gestão econômica da companhia. Finalmente, a informação espacial também é, na grande maioria dos casos, desatualizada.

Até alguns anos atrás, mesmo em companhias com excelência de operação, a ligação entre os três sistemas de informação citados era de difícil execução, sendo rara. No entanto, nas últimas décadas, com o crescimento do potencial computacional, aumentou a integração das informações em uma mesma plataforma. Com o surgimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG ou GIS - *Geographic Information System*, do acrônimo inglês) surge uma alternativa para simplificar o mapeamento e manipulação de grandes quantidades de dados em um mesmo ambiente. Este sistema não só nos permite vincular dados geográficos ou espaciais com dados alfanuméricos, mas também possibilita a atualização através de uma interface gráfica adequada. De modo simples, pode-se definir um SIG como uma ferramenta computacional de informação geográfica para a captação, o armazenamento, a extração, a análise e a visualização de dados e informações. Trata-se de uma base de dados georreferenciada, ou seja, um banco de dados no qual os dados são localizados por meio de coordenadas geográficas. Redes hidráulicas, reservatórios, válvulas, medidores diversos e dados de consumidores são elementos que naturalmente são inseridos nos SIGs.

O SIG se apresenta como uma boa ferramenta para a gestão de sistemas de distribuição de água, independente se a gestão é voltada para o controle de perdas de água. Na última década, a aplicação de tecnologias SIG e soluções de *softwares* geoespaciais vêm apresentando bons resultados no controle de perdas de água e na melhora da qualidade do fornecimento. Nos últimos anos, os engenheiros desenvolveram maneiras eficazes para gerenciar serviços públicos de água utilizando SIGs. Quando bem sucedido, estes sistemas melhoram a ideia de gestão integrada dos Recursos Hídricos no desenvolvimento local e regional. Regiões com carência de água (Região Nordeste, por exemplo) necessitam fortemente de ferramentas que indiquem o volume de água necessário, com distribuição espacial e temporal, para abastecimento dos centros urbanos, pois o recurso não está facilmente disponível.

Um bom SIG implantado facilita e auxilia bastante o levantamento de dados para o cálculo do Balanço Hídrico. O uso da água é influenciado por fatores demográficos, econômicos e climáticos. Uma descrição exata das características da população, das atividades econômicas e dos padrões climáticos na área de serviço pode servir como base para a análise das demandas de água. As características dos consumidores (renda familiar, tamanho do lote etc.) são determinantes na análise do consumo de água residencial. O método convencional de estimativa de população abastecida pelo número de ligações não é muito preciso. Embora este método seja aceitável para estimar a população atendida no setor residencial, não é um método preciso para a população total abastecida, por causa das ligações comerciais, institucionais, governamentais e industriais. Conhecimento do número e tipo de unidades habitacionais na área de serviço é muito útil na avaliação da demanda de água (PATIÑO e SOLANO, 2002).

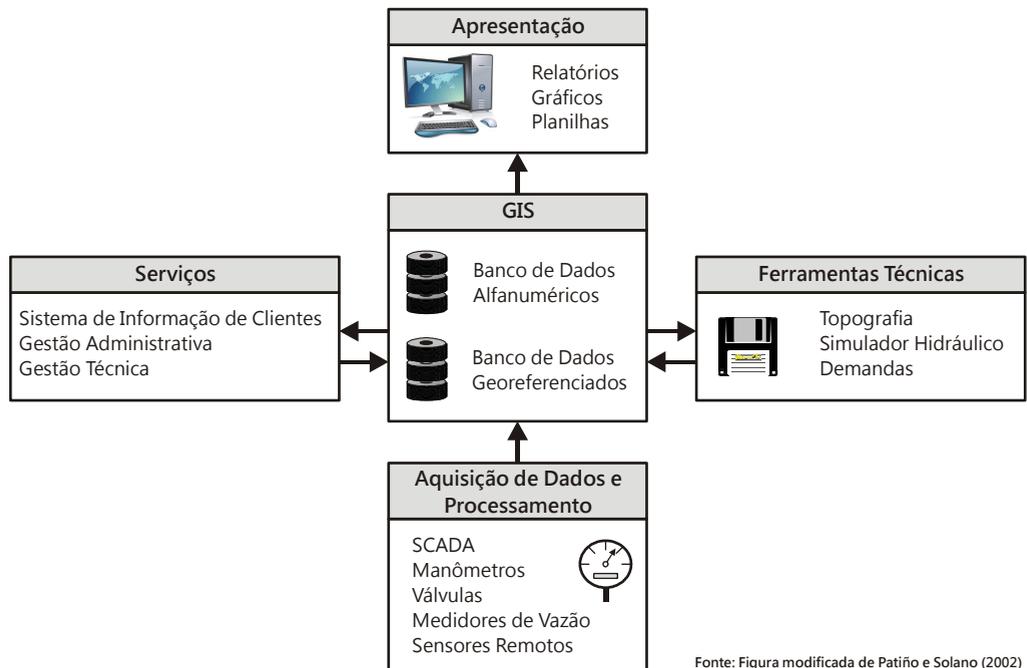
Para estimar o consumo per capita ou do consumo médio por ligação é indispensável considerar na análise os critérios socioeconômicos e técnicos. Entre os critérios socioeconômicos, tem-se, por exemplo, o nível de renda do cliente e o número de habitantes por domicílio.

Os níveis de pressão na área e os valores de macromedição são exemplos de critérios técnicos. Deste modo, o SIG é uma ferramenta eficaz para analisar dados tão distintos.

Informações sobre as atividades comerciais, institucionais e industriais são bastante úteis na análise de demandas de água não residenciais. Os dados sobre área coberta e do terreno, número de funcionários, número de quartos (hotéis, escolas etc.) e desempenho financeiro também pode ser uma informação útil para prever o uso de água comercial e industrial (PATIÑO e SOLANO, 2002). Obviamente, que nem sempre estas informações estão disponíveis. Todavia, todos os dados dos consumidores e usos disponíveis devem ser incluídos no SIG, inclusive as informações de parques, cemitérios, praças etc.

A importância do geoprocessamento no saneamento somente é compreendida quando se busca tratar os diversos componentes como ativos econômicos, que repercutem na sustentabilidade operacional da companhia. Assim, a análise da operação da rede, a avaliação do comportamento hidráulico, a condição de qualidade da água, a forma como se dá o consumo nas localidades, o custo de implantação, a depreciação, o responsável pelo projeto ou pela obra, enfim, são informações que, se devidamente organizadas em um SIG, podem repercutir em um planejamento mais acertado e em uma decisão de melhor benefício, seja social ou financeiro (GONÇALVES e ITONAGA, 2007, p. 128).

Um SIG aplicado à gestão de sistemas de abastecimento de água é desenvolvido conforme a Figura 7.8. A parte central do sistema é um gerenciador de dados que trabalha com dados alfanuméricos (como informações do cliente) e dados georreferenciados (como endereços de clientes).



Fonte: Figura modificada de Patiño e Solano (2002)

Figura 7.8 – Configuração típica de um SIG para sistemas de distribuição de água

A implantação de um SIG ainda apresenta um alto custo, uma vez que incluem no seu orçamento, além da infraestrutura, custos com o diagnóstico do sistema e treinamento para gerar e manter recursos humanos. As aplicações de SIGs no Brasil são, praticamente, exclusivas a grandes sistemas, sendo soluções específicas e individuais, o que torna difícil a transferência tecnológica em diferentes contextos institucionais e técnicos. Tecnologias geoespaciais e o geoprocessamento não fazem parte da grade obrigatória do currículo das universidades. Consequentemente, a implementação destas tecnologias requer capacitação para os usuários, bem como o desenvolvimento de capacidades de diversos órgãos. Porém, com o avanço tecnológico dos *softwares* e equipamentos, há um declínio considerável dos custos e já é possível o desenvolvimento de soluções mais consistentes e abrangentes, que usam a capacidade de processamento dos computadores, a velocidade de conexão da Intranet e da Internet e, acima de tudo, da sofisticação dos novos pacotes computacionais.

Existem no mercado muitas soluções tecnológicas para o SIGs, porém a maioria dos *softwares* tem um alto custo de aquisição e manutenção. Uma alternativa é a aquisição de pacotes computacionais gratuitos desenvolvidos por instituições públicas. A definição de qual programa adotar não é simples, visto que é comum as soluções apresentadas serem de difícil operação por pessoas desqualificadas, além de não terem, na maioria dos casos, suporte que atenda às demandas dos usuários. Dentre as opções gratuitas, destaca-se o programa gvSIG, que foi desenvolvido, inicialmente, em 2004, pela *Conselleria de Infraestructuras y Transporte da prefeitura de Valência* (Espanha). O gvSIG apresenta funcionalidades interessantes para o setor de saneamento e é capaz de ler e visualizar os formatos (extensões) dos arquivos mais comuns, incluindo formatos em *raster*, vetorial e base de dados geoespaciais. O programa apresenta facilmente ao usuário informações e mapas de diferentes tipos, o que auxilia a execução das ações propostas pelos departamentos de controle a perdas das companhias. O gvSIG é aberto e gratuito, além de estar disponível em versão portátil (*pen-drive*), mobile (dispositivos móveis) e mini (celulares). O *download* do programa (em vários idiomas) pode ser realizado no site <http://www.gvsig.org>.

O sucesso da implementação de um SIG depende bastante dos técnicos responsáveis pela construção, manutenção e utilização do sistema. É imperativo que os usuários finais, em todos os departamentos envolvidos, sintam que as suas necessidades foram consideradas durante a implementação do projeto. Provavelmente o SIG não será aceito se os técnicos mais qualificados não forem consultados na criação do sistema. A concessionária deve se esforçar para gerar consciência sobre os benefícios do sistema e constantemente transferir o *know-how* e a experiência para todos os departamentos. É igualmente importante informar os departamentos envolvidos sobre as demandas e as capacidades do sistema, para evitar subutilização e expectativas irrealistas. A introdução de um SIG costuma resultar em algumas mudanças nos processos de trabalho, portanto, os usuários devem mostrar certo grau de flexibilidade para ajustar os processos de trabalho existentes.

As diferenças entre as várias soluções comercialmente apresentados como SIG baseiam-se, por um lado, com o tipo de dados espaciais que geram e, por outro lado, na forma como estes dados são armazenados e relacionados com os atributos. As fases de desenvolvimento de um sistema de informações são:

- Identificação das áreas funcionais com necessidade de monitoramento.
- Identificação dos fluxos de dados e das relações com outros sistemas de informação.

- Desenvolvimento dos modelos de dados.
- Planificação da implantação.
- Seleção da plataforma adequada.
- Desenvolvimento das aplicações.
- Recolha da informação.
- Verificação e validação dos dados de campo.
- Formação.
- Incorporação na rotina operacional da empresa.
- Manutenção e exploração.

A capacidade do SIG de se conectar a outros sistemas, junto com a sua capacidade de armazenamento, permite que o usuário estabeleça um controle rigoroso sobre todas as características da rede. Este controle garante boa qualidade de dados, o que é absolutamente necessário para uma eficiente gestão de perdas. Os técnicos possuem diversos programas computacionais para distintas funções, como sistemas SCADA, simuladores hidráulicos, *softwares* de gestão administrativa etc. Por um longo período de tempo, todos estes sistemas têm sido utilizados separadamente, mas a maioria destes programas computacionais compartilham os mesmos dados e estão relacionados. Atualmente, é comum a implantação de sistemas de suporte à decisão que são, na prática, a integração de um SIG, um simulador hidráulico e um SCADA. O SIG fornece um modelo de banco de dados de água para gerenciar a rede, que é conectado em tempo real ao sistema SCADA e ao *software* hidráulico de simulações. As demandas dos usuários são associadas a um nó de rede. Assim, o sistema proporciona um conjunto de ferramentas para a análise automática do histórico de consumo, possibilitando a identificação de anomalias. A série histórica do consumo, medido pelo sistema SCADA, pode ser analisada através de modelos estatísticos e probabilísticos para avaliar dados sequenciais, de modo a criar um padrão de consumo de todos os nós da rede. Portanto, observando a tendência da vazão mínima noturna, é possível verificar a ocorrência de desvios dos usos típicos, o que pode ser atribuído às perdas reais na rede de distribuição.

Outro sistema que deve ser integrado ao SIG é o Sistema de Informação de Clientes - SIC. O sistema de informações de clientes é uma das bases para o cálculo do balanço hídrico, além de possibilitar, através da comparação entre o volume disponibilizado e consumo total faturado e medido na região, um levantamento inicial do nível de perda de água. O SIC é responsável pela caracterização e tipificação dos clientes, identificação de grandes clientes, registros de consumos e faturação dos clientes.

Dependendo dos objetivos, o SIG é frequentemente estruturado para subsidiar, simultaneamente, as decisões dos departamentos administrativos e operacionais da empresa. A gestão administrativa trabalha com os dados econômicos e financeiros dos sistemas de abastecimento de água e envolvem as informações de faturação e o sistema de informação de clientes. Todos os aspectos relativos aos clientes são controlados nessa área: contratação, registro e abandono, faturamento, falhas etc. Enquanto os setores operacionais utilizam as informações georreferenciadas para planejarem ações que adicionem eficiência ao serviço prestado.

Os setores técnicos das empresas de saneamento também utilizam os SIGs para fornecer informações voltadas para a avaliação de demanda (classificação de abonados, determinação de vazão mínima noturna, previsão de demandas futuras etc.), elaboração de novos projetos

(determinação das demandas, traçado da rede, localização de mananciais etc.), operação e controle de redes (otimização), e gestão do inventário.

A Figura 7.9 ilustra as interações entre vários sistemas de informação e como eles podem ser agrupados, por exemplo, em um único sistema de suporte à decisão.

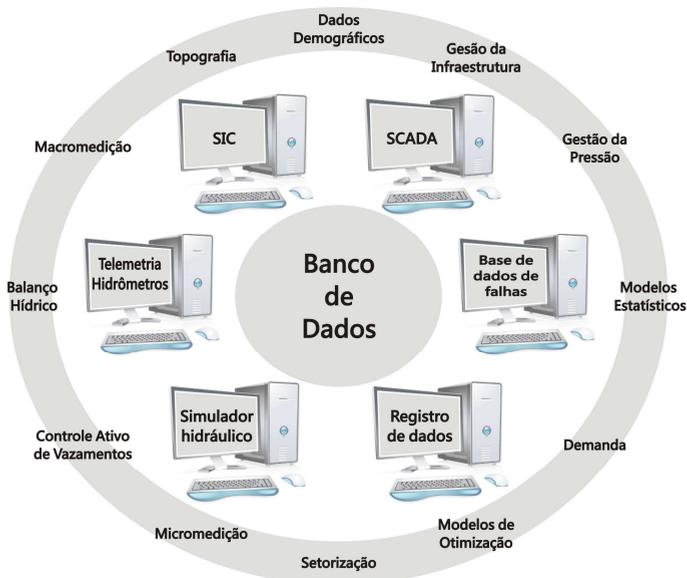


Figura 7.9 – Interações entre vários elementos de um sistema de informação

As principais vantagens do uso de SIGs em sistemas de distribuição de água são:

- Mapeamento preciso da rede de distribuição de água.
- Dar subsídios à gestão de perdas de água.
- Atualizar as informações existentes em todos os bancos de dados gerenciados pelo SIG, especialmente as informações da rede. É fundamental a manutenção de um processo sistemático de atualização e revisão do cadastro.
- Auxiliar no planejamento e na concepção de novos projetos.
- Manter a infraestrutura existente bem definida e atualizada durante a execução do inventário dos sistemas.
- Auxiliar na avaliação das ações e alternativas nas perdas de água.
- Acesso imediato dos dados pelos técnicos e funcionários através de computadores *desktops* e portáteis. Alguns exemplos de dados que podem ser acessados são:
 - Qual o consumo médio de um determinado cliente?
 - Qual o tipo e diâmetros dos tubos localizados em uma determinada rua?
 - Onde estão localizados os tubos mais antigos? Em que profundidade?
 - É possível ligar estes novos edifícios na rede?

O maior potencial do SIG é na fase de operação. O SIG é uma ferramenta poderosa para gerenciar a maioria das aplicações relacionadas com a operação de redes hidráulicas. A operação normal de um sistema de abastecimento de água envolve algumas tarefas para

manter os parâmetros do sistema, tais como pressão, vazão, níveis de reservatórios, qualidade da água etc., de maneira a garantir um serviço de qualidade para os clientes e reduzir os custos de exploração da empresa (PATIÑO e SOLANO, 2002). Segundo Patiño e Solano (2002), a operação de sistemas de distribuição de água com um SIG envolve o controle remoto e telemetria, modelo matemático das redes, gestão técnica dos sistemas e da infraestrutura, manutenção e reabilitação de sistemas, e indicadores de desempenho.

- **Controle remoto e telemetria.** Como foi visto na seção anterior, o SCADA é um sistema que funciona por conta própria e não precisa de um SIG para operar, mas é interessante a interligação destes sistemas. O sistema SCADA pode enviar dados para serem gerenciados pelo SIG. O SIG pode funcionar como interface gráfica do SCADA e armazenar os dados históricos. Em alguns casos, o operador tem uma visão global sobre o comportamento do sistema de abastecimento de água que um sistema SCADA simples não fornece.
- **Modelo matemático das redes.** Apesar da disponibilidade de pacotes computacionais de modelagem hidráulica e ferramentas para a importação de dados tipo CAD, os técnicos encontram dificuldades para manter os modelos atualizados. A atualização permanente da infraestrutura é importante para o acompanhamento das características funcionais do sistema. Logo, as possibilidades de inserção de informações em uma interface gráfica ou de banco de dados de um SIG são bastante úteis para automatizar o modelo desenvolvimento e atualização do processo. É por isso que o SIG é tão importante na criação e manutenção de um modelo matemático de uma rede de distribuição de água. Na criação de um modelo, o SIG fornece dados dos elementos da rede. Por exemplo, pode-se adotar o SIG para trabalhar com modelos digitais de topografia para a inserção automática das cotas topográficas nos nós da rede. As ortofotos digitais ou imagens de satélite de alta resolução também podem ser usadas como referência para o modelo, facilitando a localização dos elementos do sistema. Em um segundo momento, os novos dados oriundos do SIG são adotados para atualização e calibração contínua do modelo.
- **Gestão técnica dos sistemas e da infraestrutura.** Um SIG atualizado permite o acompanhamento da infraestrutura dos sistemas, facilitando a gestão por parte dos técnicos e gestores. Exemplificando, no caso do isolamento de um setor para manutenção da rede, a consulta ao banco de dados do SIG determina quais os tubos precisam ser fechados e fornece uma lista de todos os clientes afetados pelo desligamento. Quando a intervenção é programada, os clientes afetados pelo desligamento podem ser notificados. Em algumas companhias do mundo, é enviado uma mensagem aos telefones cadastrados, e-mail ou um aplicativo de telefone automatizado realiza chamadas aos clientes.
- **Manutenção e reabilitação de sistemas.** No caso dos sistemas de abastecimento de água que operam com um sistema de suporte à decisão completo, se há uma falha na rede, as variáveis hidráulicas registradas pelo SCADA são comparadas com os valores resultados das simulações hidráulicas e um aviso é gerado no SIG quando existe uma

diferença significativa. Uma vez que esta situação está relacionada com um colapso de trechos importantes da rede, o serviço de água sobre a área sofre a consequência e o SIG auxilia na análise de estratégias de regulação para manter o serviço no sistema. Quando o aviso é enviado pelo pessoal de detecção de vazamentos, a fim de trabalho de reparação é simplesmente gerada para prosseguir. Em qualquer caso, a equipe de manutenção consulta o SIG e recebe um mapa atualizado da área, incluindo todos os elementos da rede. Uma vez que o reparo foi executado, a equipe de trabalho relata todas as modificações de rede que devem ser atualizadas no banco de dados do SIG, que, mais tarde, serão verificadas para atualização do banco de dados. No caso da reabilitação dos componentes da rede, o SIG auxilia na programação das campanhas de substituição da infraestrutura, com base, principalmente, na idade do componente, nos serviços de reparos realizados e nos dados dos fabricantes. Os programas devem ser reajustados considerando a experiência dos técnicos e os registros históricos.

- **Indicadores de desempenho.** A disponibilidade de ferramentas de gestão da informação para trabalhar com grandes quantidades de informações, que um SIG integra em suas aplicações, é necessária para facilitar a identificação e o cálculo de indicadores de desempenho. Por exemplo, o número de incidências na rede, as pressões de serviço, os parâmetros de qualidade de água e os níveis de vazamentos são parâmetros armazenados na base de dados do SIG ou facilmente calculados com operações básicas de consulta à base de dados.

CAPÍTULO 8

Planejamento Estratégico

Os prestadores de serviços de água e de esgoto são responsáveis pelas infraestruturas utilizadas para transporte de água aos núcleos populacionais, sejam urbanos ou rurais e, como tais, devem assegurar o abastecimento em quantidade e qualidade satisfatória, além de cumprirem o papel de coletar e tratar os esgotos domésticos. A gestão eficiente destes prestadores é essencial na busca de uma gestão integrada dos recursos hídricos com o meio ambiente. As práticas de boa gestão contribuem, tanto quantitativa como qualitativamente, para o desenvolvimento sustentável, para a proteção da saúde pública, coesão social e para o desenvolvimento econômico das comunidades. Deste modo, o principal objetivo das companhias de saneamento deve ser:

... oferecer serviços a todos em sua área de responsabilidade, e oferecer aos usuários um abastecimento contínuo de água potável, coleta e tratamento de esgoto, em condições econômicas e sociais que sejam aceitáveis para os usuários e para os prestadores de serviços de água e de esgoto (ABNT, 2012).

As perdas de água constituem uma das principais fontes de ineficiência dos prestadores de serviços de saneamento. Para combatê-las, é necessário desenvolver um planejamento que considere os anseios de todas as partes interessadas (governos, agências de regulação, associações de usuários, entre outros).

O que é planejamento?

O planejamento é um instrumento de gestão e, como tal, é empregado com o objetivo de apoiar uma organização a atuar melhor, concentrando suas energias, aglutinando as ações dos seus membros em torno dos mesmos objetivos, avaliando e ajustando a trajetória de forma a responder a um ambiente mutante. Um plano deve ser, acima de tudo, disciplinado (para produzir ações e intervenções segundo uma visão de futuro e prioridades compartilhadas), objetivo e de fácil compreensão por todos os atores envolvidos.

Os níveis hierárquicos do planejamento (Figura 8.1) distinguem-se em três tipos: estratégico, tático e operacional. O planejamento estratégico pauta-se em objetivos de longo prazo e analisa a companhia como um todo. Este é preparado pelos níveis hierárquicos mais altos da organização. No segundo nível, o tático, a atuação está voltada para as áreas funcionais

da companhia, compreendendo os recursos específicos. Seu desenvolvimento se dá pelos níveis organizacionais intermediários, tendo como objetivo a utilização eficiente dos recursos disponíveis com alcance em médio prazo. Já o planejamento em nível operacional corresponde a um conjunto de partes homogêneas do planejamento tático, ou seja, identifica os procedimentos e processos específicos requeridos nos níveis inferiores da companhia, apresentando planos de ação ou planos operacionais. O plano operacional é elaborado com a participação ativa dos níveis organizacionais inferiores, com foco nas atividades rotineiras da companhia, portanto, os planos são desenvolvidos para períodos de tempo, relativamente, curtos.



Figura 8.1 – Níveis do planejamento

No caso do saneamento, a Lei nº 11.445 de 05.01.2007, Lei Nacional de Saneamento Básico, trouxe novidades e um cenário evolutivo ao setor. Esta prevê dispositivos voltados para atender as metas de planejamento e diminuir as assimetrias de informação, por meio da regulação e implementação de indicadores. A lei citada determina ainda que os titulares dos serviços elaborem planos diretores dos sistemas e revisões periódicas (em prazo não superior a 4 anos, anteriormente à elaboração do plano plurianual), além de assegurar que esses planos sejam integrados ao planejamento setorial.

O planejamento estratégico das companhias de saneamento deve ser elaborado sob uma visão integrada, que leve em consideração, segundo a norma da ABNT NBR ISO 24512/2012, a saúde pública, as necessidades e expectativas dos usuários, a prestação de serviços em situações normais e de emergência, a sustentabilidade do prestador de serviços de água, a promoção ao desenvolvimento sustentável da comunidade e a proteção ao meio ambiente. Dentro desta ótica, os aspectos associados ao uso da água deverão ser explicitamente considerados, definindo objetivos a serem implementados a curto, médio e longo prazos, sustentando as opções com uma análise prévia das condições de funcionamento

dos serviços e dos principais problemas e desafios que se colocam. A aplicação de princípios de uso eficiente da água pode ser equacionada, por exemplo, nos seguintes eixos de ação (ALMEIDA *et al.*, 2006):

- Gestão da oferta – estratégias de investimento e expansão dos sistemas; opções técnicas na exploração do sistema.
- Gestão da demanda – ações destinadas a aumentar a eficiência no uso da água pelos diferentes utilizadores.
- Controle integrado das perdas de água – estratégias integradas para atuação proativa na redução das perdas.

O planejamento deverá especificar as ações selecionadas para a concretização das metas estabelecidas. Na sua elaboração, é importante assegurar que este seja dinâmico e suficientemente flexível, de maneira que possa sofrer revisões ao longo do tempo (por exemplo, anualmente) em resposta às alterações oriundas da sua aplicação ou de novas exigências impostas. Finalmente, é necessária atenção aos requisitos legais relativos à aplicação das medidas, incluindo a autorização ou licenciamento pelas entidades competentes. Determinados requisitos podem impossibilitar ou atrasar a viabilidade de algumas medidas ou o cumprimento dos prazos estabelecidos. O processo de planejamento, em qualquer dos três níveis apontados, baseia-se em seis fases principais:

1. Estabelecimento de objetivos, critérios de avaliação, medidas de desempenho e metas.
2. Elaboração de um diagnóstico.
3. Formulação de estratégias e produção do plano.
4. Implementação do plano.
5. Monitoramento do plano.
6. Revisão do plano.

O Quadro 8.1 apresenta uma abordagem mais detalhada, em oito etapas básicas, para a elaboração de um plano. Entretanto, para que um plano torne-se exequível e contínuo, é fundamental que o prestador estabeleça um sistema de gestão, baseado na **abordagem PDCA** (do inglês *plan* - planejar, *do* - executar, *check* - verificar e *act* - agir), compreenda a hierarquia estrutural organizacional, responsabilidades e fluxos de trabalho.

O Ciclo PDCA, também chamado de Ciclo de Shewhart e Ciclo de Deming, é a base da metodologia empregada na Norma ISO 14001, bem como por outras normas de sistemas de gestão, como a ISO 9001. Esta abordagem objetiva internalizar uma metodologia pragmática para a ordenação dos requisitos gerenciais da Norma e estimular a melhoria contínua do sistema de gestão e do desempenho ambiental da organização.

Os objetivos estratégicos são definidos e traduzidos em metas. A viabilidade das metas deve ser analisada constantemente, de modo que o planejamento seja eficaz. Para o sucesso na implementação do planejamento, são essenciais o envolvimento e a colaboração dos diferentes setores da empresa na concepção e execução do plano. O desafio é fazer com que os diferentes atores se tornem participantes de fato e não meros expectadores. As metas devem ser alcançáveis, facilmente mensuráveis e passíveis de serem controladas. O estabelecimento de metas distantes da realidade desmotiva os diversos atores envolvidos.

Quadro 8.1 – Etapas para a concepção de um plano

| Etapa | Ações |
|--|--|
| Definição das metas e objetivos | <ul style="list-style-type: none"> - Definição do âmbito temporal do planejamento. - Definição dos objetivos estratégicos. - Estabelecimento de metas. |
| Levantamento do diagnóstico da situação atual | <ul style="list-style-type: none"> - Execução de auditoria dos diversos usos da água. - Análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões dos consumos e das disponibilidades. - Avaliação de medidas implementadas anteriormente. |
| Definição do Sistema de Indicadores | <ul style="list-style-type: none"> - Escolha dos indicadores de desempenho para acompanhar a implementação do plano e a consecução de suas metas. |
| Identificação das medidas a serem adotadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados | <ul style="list-style-type: none"> - Identificação de medidas aplicáveis. - Definição do âmbito espacial. - Avaliação da viabilidade das medidas, incluindo principalmente os impactos na produção, na saúde pública e no meio ambiente. - Identificação de dificuldades na implementação destas medidas, mecanismos adequados e expectativa de generalização. |
| Elaboração de um prognóstico | <ul style="list-style-type: none"> - Prospecção de cenários futuros. - Estudo de cenários de evolução dos consumos e disponibilidades. - Identificação de ineficiências internas e externas e de oportunidades para aplicação das medidas nos diversos cenários. |
| Elaboração de planos de ação | <ul style="list-style-type: none"> - Elaboração de planos de ação. |

Para exemplificar o processo de construção de um plano, apresenta-se o Planejamento Estratégico 2012-2015 da EMBASA, que partiu de uma visão positiva, que teve como premissa adotar uma metodologia de trabalho que envolveu o maior número possível de profissionais do corpo gerencial e funcional com experiência e conhecimento sobre os processos corporativos. Foram mobilizados, aproximadamente, 200 profissionais (diretores, assessores, superintendentes, gerentes de departamento, gerentes de unidades regionais, gerentes de divisão e técnicos), através de cinco oficinas na primeira etapa, duas no interior (Feira de Santana e Jequié) e três em Salvador, uma oficina devolutiva com representantes das cinco primeiras, reuniões com grupos focais e reuniões deliberativas com a alta direção da companhia.

Planejamento Estratégico 2012-2015 da EMBASA¹² (EMBASA, 2011).

Cada oficina realizada foi iniciada com um alinhamento conceitual, de modo que os participantes ficassem aptos a distinguir problemas e necessidades da rotina de questões efetivamente estratégicas. Na sequência, os cenários de médio e longo prazos do setor de

¹² Texto retirado do documento “Planejamento Estratégico 2012 - 2015: Rumo à Universalização”. Agradecemos a EMBASA por autorizar a reprodução do material. O documento original está disponível para *download* no site da companhia (www.embasa.ba.gov.br).

saneamento eram apresentados para que os grupos pudessem identificar os pontos fortes e fracos da empresa, suas oportunidades e ameaças para o alcance da Visão.

O modelo de gestão estratégica *Balanced Scorecard* (BSC) foi devidamente adaptado às especificidades e ao contexto de atuação da EMBASA pela equipe do Departamento de Gestão Estratégica, que pertence a Superintendência de Planejamento e Empreendimentos da companhia, com o apoio da consultora Teresinha M. Cesena.

As informações geradas a partir da realização das cinco oficinas iniciais foram organizadas e analisadas, fornecendo elementos para a elaboração das propostas e definindo **três temas estratégicos** para a atuação da empresa rumo à Visão 2015: **satisfação dos usuários e titulares, ampliação do atendimento e equilíbrio econômico-financeiro**. Os referidos temas serviram de base, também, para a definição dos objetivos estratégicos, e suas relações de causa e efeito, dispostos nas cinco perspectivas - **sociedade, usuários e titulares, responsabilidade financeira, processos internos, e pessoas e tecnologia** - que configuram o mapa estratégico do modelo (Figura 8.2). Para cada objetivo, foram concebidos indicadores de desempenho com suas respectivas metas para o próximo quadriênio. Esta etapa contou com a participação de representantes das áreas afins aos objetivos propostos.

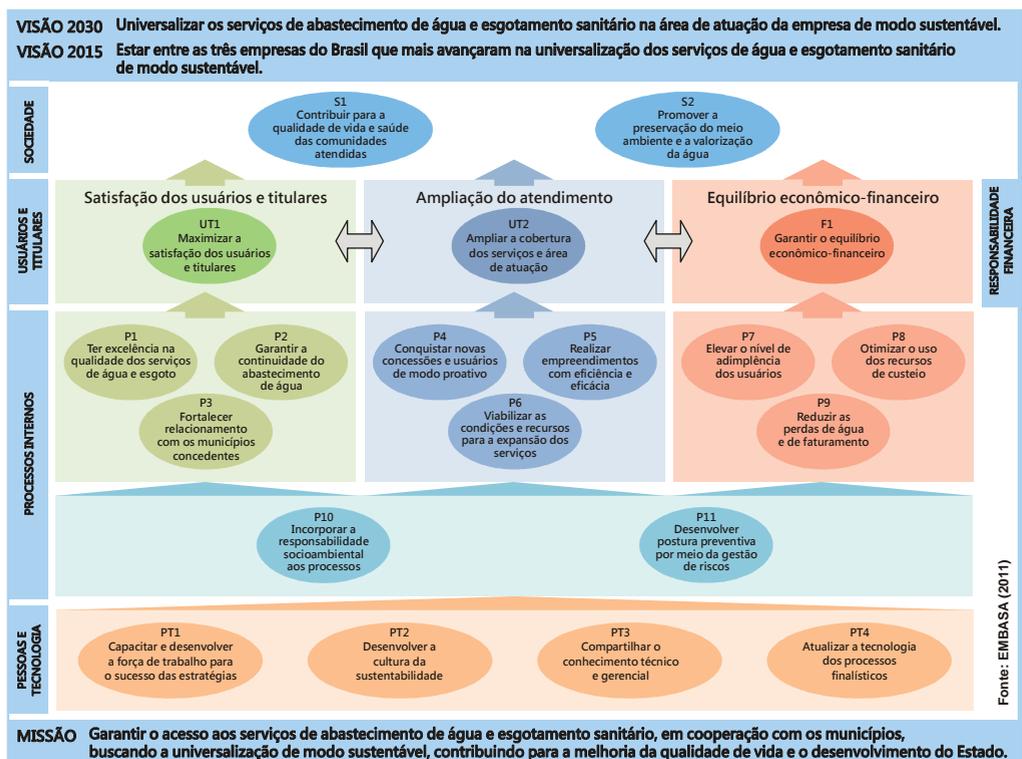


Figura 8.2 – Exemplo de mapa estratégico - Planejamento Estratégico 2015 da EMBASA

Todos os componentes estratégicos produzidos foram apresentados e aprovados pela alta direção. Em seguida, foi realizada a última oficina, chamada devolutiva, envolvendo representantes dos diversos grupos formados nas primeiras oficinas. Na oportunidade, o mapa

estratégico, previamente validado pela alta direção, foi apresentado e sugestões relativas ao seu conteúdo foram colhidas. Os trabalhos seguiram na oficina devolutiva com o levantamento das demandas estratégicas a serem atendidas para que cada objetivo estratégico seja alcançado. Estas demandas foram o ponto de partida para a definição dos projetos e ações. Todo o material gerado na oficina devolutiva foi consolidado de forma a garantir o foco estratégico e a coerência com o método.

Finalizando a construção do Planejamento Estratégico 2012-2015, as propostas consolidadas que emergiram da oficina devolutiva foram levadas à Diretoria Executiva e ao Conselho de Administração da EMBASA, quando também foram apresentados os indicadores de desempenho e suas respectivas metas estratégicas. Todos os elementos foram aprovados sem ressalvas.

O processo de construção, ora descrito, garantiu que as estratégias fossem concebidas a partir da mobilização de todas as áreas da empresa, proporcionando uma visão sistêmica das lacunas estratégicas existentes e contribuindo para que a implementação das estratégias seja uma tarefa de todos. A Figura 8.3 mostra a arquitetura estratégica do Planejamento Estratégico 2012-2015 da EMBASA.



Figura 8.3 – Exemplo de arquitetura estratégica - Planejamento Estratégico 2015 da EMBASA

Os temas estratégicos correspondem a conjuntos de objetivos do mapa estratégico, pertencentes a mais de uma perspectiva, que guardam estreita relação entre si e configuram eixos de atuação na gestão estratégica para o alcance da Visão. O alcance da Visão 2015 requer a ampliação do atendimento dos serviços que, por sua vez, depende do equilíbrio econômico-financeiro para garantir a obtenção de recursos próprios e onerosos. A satisfação dos usuários e titulares favorece a ampliação do atendimento, uma vez que contribui para a melhoria da imagem da empresa e abre caminho para a conquista de novos usuários e concessões. As recíprocas são verdadeiras, considerando-se que ao aumentar a cobertura dos serviços a EMBASA deixa os municípios concedentes mais satisfeitos com a sua atuação e aumenta suas receitas operacionais que são fundamentais para o seu equilíbrio econômico-financeiro.

A seguir são apresentados os objetivos e indicadores estratégicos do Planejamento Estratégico 2015 da EMBASA (EMBASA, 2011).

1. Perspectiva Sociedade

- Objetivo Estratégico S1: Contribuir para a qualidade de vida e saúde das comunidades atendidas

Partindo-se da premissa de que os investimentos em saneamento diminuem a incidência de doenças de veiculação hídrica, deve-se perseguir, como entrega à sociedade, a melhoria da qualidade de vida e saúde das comunidades atendidas através da ampliação da cobertura e melhoria da qualidade dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|---|--------------------|---|---|
| Incidência de doenças de veiculação hídrica | Anual | Nº de ocorrências de doenças de veiculação hídrica prioritizadas na área de atuação | Medir o grau de contribuição dos investimentos em água e esgoto para a redução de doenças de veiculação hídrica |

- Objetivo Estratégico S2: Promover a preservação do meio ambiente e a valorização da água

A incorporação dos requisitos de responsabilidade socioambiental aos processos corporativos e o desenvolvimento da cultura da sustentabilidade permitirão a redução e mitigação dos impactos gerados pelas operações no meio ambiente, bem como farão da EMBASA um agente crucial na educação para o uso racional da água dentro e fora da empresa.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|---|------------------------|--|--|
| Número de sistemas no programa Com + Água | Quadrienal (acumulado) | Nº total de sistemas inseridos no Programa Com + Água | Medir a abrangência do Programa Com + Água |
| Mitigação dos impactos ambientais | Anual (acumulado) | $\frac{\text{Nº de impactos significativos resolvidos}}{\text{Nº de impactos significativos identificados}}$ | Mensurar a mitigação dos impactos no meio ambiente causados pela atuação da EMBASA |

2. Perspectiva Usuários e Titulares

- Objetivo Estratégico UT1: Maximizar a satisfação dos usuários e titulares

Para ampliar a cobertura dos serviços e benefícios gerados à sociedade, é necessário que a EMBASA se apresente como a melhor escolha para tal missão, o que requer uma prestação de

serviços ao usuário com altos níveis de qualidade e uma maior proximidade dos titulares dos serviços para atender às suas demandas de modo efetivo.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|--------------------------|--------------------|---|--|
| Satisfação dos usuários | Anual | Conceito obtido a partir da pesquisa com os usuários | Medir o grau de satisfação dos usuários com os serviços da EMBASA |
| Satisfação dos titulares | Anual | Conceito obtido a partir de pesquisa com os titulares | Medir o grau de satisfação dos titulares com os serviços da EMBASA |

- Objetivo Estratégico UT2: Ampliar a cobertura dos serviços e área de atuação

No caminho para a universalização, faz-se necessária a consolidação da EMBASA nas suas áreas de concessão e a ampliação de sua presença no Estado, que possibilitarão uma ação direta da empresa na redução do déficit de atendimento no Estado como um todo.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|--|--------------------|---|--|
| Atendimento de água na área de atuação | Anual (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de economias atendidas com água na área de atuação}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de domicílios na área de atuação}}$ | Medir o avanço da cobertura dos serviços de abastecimento de água na área de atuação da EMBASA |
| Atendimento de esgoto na área de atuação | Anual (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de economias residências atendidas com esgoto na área de atuação}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de domicílios na área de atuação}}$ | Medir o avanço da cobertura dos serviços de esgotamento sanitário na área de atuação da EMBASA |
| Atendimento de água no estado | Anual (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de economias residências atendidas com água no Estado}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de domicílios existentes no Estado}}$ | Medir o avanço da cobertura dos serviços de abastecimento de água no Estado |
| Atendimento de esgoto no estado | Anual (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de economias residências atendidas com esgoto no Estado}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de domicílios existentes no Estado}}$ | Medir o avanço da cobertura dos serviços de esgotamento sanitário no Estado |

3. Perspectiva Responsabilidade Financeira

- Objetivo Estratégico F1: Garantir o equilíbrio econômico-financeiro

Uma relação favorável entre as despesas e receitas é fundamental para a realização de investimentos com recursos próprios e manter uma capacidade de endividamento que permita a captação regular dos recursos onerosos necessários à expansão dos serviços.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|-----------------------------------|--------------------|---|---|
| Índice de eficiências operacional | Anual (acumulado) | $\frac{\text{Arrecadação total}}{\text{Gastos desembolsáveis com recursos próprios}}$ | Aferir a relação entre a arrecadação e as despesas (saldo de caixa) |
| Receita operacional bruta | Anual (acumulado) | Valor em reais da receita operacional bruta gerada | Medir a evolução da receita operacional bruta (contábil) |

4. Perspectiva Processos Internos

- Objetivo Estratégico P1: Ter excelência na qualidade dos serviços de água e esgoto

Na busca pela maximização da satisfação dos usuários é imprescindível a atenção nos serviços por eles solicitados, perseguindo-se a melhoria significativa da agilidade, confiabilidade e eficácia no atendimento de solicitações.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|----------------------------------|--------------------|--|---|
| Índice de qualidade dos serviços | Anual (acumulado) | Conceito obtido a partir de pesquisa de campo aplicada após a realização dos serviços | Mensurar a qualidade dos serviços prestados pela EMBASA ao usuário |
| Serviços realizados no prazo | Anual (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de serviços realizados no prazo}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de serviços realizados}}$ | Mensurar a agilidade dos serviços solicitados à EMBASA pelo usuário |

- Objetivo Estratégico P2: Garantir a continuidade do abastecimento de água

O fornecimento ininterrupto de água contribui não só para a elevação da satisfação dos usuários como, também, para a melhoria da qualidade da água fornecida, uma vez que a pressurização contínua da rede lhe confere maior estanqueidade.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|--|--------------------|--|--|
| Intermitência no abastecimento de água | Anual (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de economias ativas com abastecimento intermitente}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de economias ativas}}$ | Aferir a abrangência da intermitência no abastecimento de água |

- Objetivo Estratégico P3: Fortalecer relacionamento com os municípios concedentes

O aumento da satisfação dos municípios concedentes com os serviços prestados pela EMBASA passa pelo atendimento e superação dos requisitos regulatórios e implica num processo de estreitamento de vínculos institucionais que culmina com a assinatura de Contratos de Programa, instrumentos que selam os compromissos da empresa com a expansão e melhoria da qualidade dos serviços em sua área de atuação.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|---|------------------------|---|---|
| Número de municípios com contrato de programa | Quadrienal (acumulado) | Nº de municípios com Contratos de Programa assinados | Mensurar a eficácia das ações de negociação junto aos titulares dos serviços que visam à assinatura dos Contratos de Programa |
| Atendimento dos requisitos regulatórios | Trienal (acumulado) | $\frac{\text{Nº de requisitos regulatórios atendidos}}{\text{Nº total de requisitos regulatórios}}$ | Aferir o atendimento aos requisitos regulatórios |

- Objetivo Estratégico P4: Conquistar novas concessões e usuários de modo proativo

A ampliação da cobertura dos serviços e da área de atuação da EMBASA demandam mais do que o atendimento passivo das solicitações de ligações novas e de abastecimento de empreendimentos privados e localidades, requerendo, para tanto, uma postura mais proativa do processo de expansão dos serviços e a prospecção de novas concessões, o que implica em antecipar-se às necessidades de potenciais usuários e titulares.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|---------------------------------|--------------------|---|---|
| Acréscimo de ligações de água | Anual (acumulado) | Nº de ligações de água implantadas – Nº de ligações de água excluídas | Medir o acréscimo de ligações de água no período |
| Acréscimo de ligações de esgoto | Anual (acumulado) | Nº de ligações de esgoto implantadas no período | Medir o acréscimo de ligações de esgoto no período |
| Número de municípios atendidos | Anual (acumulado) | Nº de municípios concedentes | Aferir a eficácia da busca pela ampliação da área de atuação da empresa |

- Objetivo Estratégico P5: Realizar empreendimentos com eficiência e eficácia

A eficiência e a eficácia na realização dos empreendimentos estão associadas à construção e melhoria de sistemas com produtividade e qualidade, em conformidade com os projetos e dentro dos prazos estabelecidos, fatores essenciais para que os investimentos na ampliação da cobertura sejam otimizados e beneficiem o máximo de pessoas de modo efetivo.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|-------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Índice de qualidade das obras | Anual (acumulado) | $\frac{\text{Nº de requisitos de qualidade das obras atendidos}}{\text{Nº total de requisitos de qualidade das obras}}$ | Medir a qualidade das executadas |

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|--|------------------------|--|--|
| Realização de empreendimentos no prazo | Anual (acumulado) | $\frac{\text{Prazos executados}}{\text{Prazos estipulados}}$ | Medir a agilidade na realização dos empreendimentos |
| Realização de empreendimentos no prazo | Quadrienal (acumulado) | $\frac{\text{Investimentos realizados}}{\text{Investimentos previstos}}$ | Avaliar a eficiência na aplicação dos recursos de investimento |

- Objetivo Estratégico P6: Viabilizar as condições e recursos para a expansão dos serviços

A busca pela universalização em ritmo acelerado requer aportes regulares e significativos de recursos para investimentos, o que vai demandar esforços para a captação e disponibilização de recursos de fontes tradicionais e alternativas.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|--------------------------------------|------------------------|--|---|
| Recursos captados para investimentos | Quadrienal (acumulado) | $\frac{\text{Recursos financeiros captados}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de requisitos de qualidade das obras}}$ | Aferir a capacidade da EMBASA de captar os recursos necessários para garantir a expansão dos serviços |

- Objetivo Estratégico P7: Elevar o nível de adimplência dos usuários

O equilíbrio econômico-financeiro depende de um fluxo de caixa favorável, sendo que um fator essencial para o equilíbrio, ao lado do controle dos gastos, é a elevação dos níveis de adimplência dos usuários, que é obtida por meio de uma maior eficácia na cobrança de débitos gerados no exercício vigente, combinada à redução do saldo de contas a receber de anos anteriores.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|-------------------------------------|--------------------|--|--|
| Índice de saldo de contas a receber | Anual | $\frac{\text{Valor do saldo de contas a receber de anos anteriores}}{\text{Faturamento médio dos últimos 12 meses}}$ | Medir o saldo de contas a receber de anos anteriores ao exercício em avaliação |
| Índice de arrecadação | Anual (acumulado) | $\frac{\text{Arrecadação total do ano com água e esgoto}}{\text{Faturamento total do ano com água e esgoto}}$ | Medir a eficiência do processo de arrecadação/cobrança |

- Objetivo Estratégico P8: Otimizar o uso dos recursos de custeio

O conhecimento e o controle dos níveis de eficiência e a otimização do custeio das atividades da empresa são decisivos na geração de excedentes financeiros para o equilíbrio do fluxo de caixa e a realização de investimentos com recursos próprios.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|-------------------------|--------------------|---|---|
| DEX por faturamento | Anual (acumulado) | $\frac{\text{Despesas de exploração}}{\text{Valor total do faturamento}}$ | Medir os níveis segundo os quais as despesas operacionais absorvem as receitas operacionais |

- Objetivo Estratégico P9: Reduzir as perdas de água e de faturamento

A redução das perdas reais de água repercute diretamente no custeio de sua produção e distribuição, e no processo de ampliação do atendimento, uma vez que diminui os gastos com energia elétrica e produtos químicos, e resulta em maior disponibilidade de água para a expansão dos sistemas existentes. O combate às perdas comerciais contribui para a apropriação do faturamento real dos serviços prestados e, por esta razão, é fundamental para o equilíbrio econômico-financeiro da empresa.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|------------------------------|--------------------|--|--|
| Águas não faturadas | Anual (acumulado) | $\frac{\text{Vol. de água disponibilizado} - \text{Volume de água faturado}}{\text{Volume de água disponibilizado}}$ | Aferir as perdas do faturamento |
| Índice de perdas por ligação | Anual (acumulado) | $\frac{\text{Volume de água disponibilizado por dia} - \text{Volume de água consumido}}{\text{Quantidade de ligações de água ativas}}$ | Medir as perdas totais de água por ligação |

... a redução e o controle das perdas de água e de faturamento e a eficiência da cobrança (diminuição da perda de arrecadação) nos sistemas de abastecimento de água deve ser um objetivo e meta permanente, estratégica. No decorrer das ações da rotina operacional e nos investimentos projetados, as perdas, nas suas várias formas e causas, devem ser identificadas e combatidas da maneira mais eficaz e efetiva possível (EMBASA, 2010, p. 12).

- Objetivo Estratégico P10: Incorporar a responsabilidade socioambiental aos processos

As Visões da EMBASA declaram que a busca pela universalização deverá ocorrer de modo sustentável, o que requer que os processos críticos incorporem, efetiva e gradativamente, requisitos abrangentes de responsabilidade socioambiental em todas as suas etapas.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|---|------------------------|---|---|
| Atendimento aos requisitos de responsabilidade socioambiental | Quadrienal (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de requisitos de responsabilidade socioambiental atendidos}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de requisitos de responsabilidade socioambiental}}$ | Avaliar o nível de atendimento aos requisitos da responsabilidade socioambiental pelos processos corporativos |

- Objetivo Estratégico P11: Desenvolver postura preventiva por meio da gestão de riscos

As atividades essenciais para que a EMBASA cumpra o seu papel institucional estão sujeitas a riscos que podem comprometer sua eficácia. São riscos à continuidade e qualidade do abastecimento de água e esgotamento sanitário, riscos relacionados às operações financeiras, aos fornecedores e outros. A gestão estruturada de riscos permitirá a adoção de ações preventivas e a elaboração de planos de contingências para que nos antecipemos a eventos indesejáveis, em lugar de se adotar posturas reativas baseadas em medidas corretivas.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|--|------------------------|---|--|
| Atendimento aos requisitos de gestão de riscos | Quadrienal (acumulado) | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de requisitos de gestão de riscos atendidos}}{\text{N}^\circ \text{ total de requisitos de gestão de riscos}}$ | Avaliar o nível de atendimento aos requisitos de gestão de riscos dos processos corporativos |

5. Perspectiva Pessoas e Tecnologia

- Objetivo Estratégico PT1: Capacitar e desenvolver a força de trabalho para o sucesso das estratégias

O caminho delineado pelas estratégias da EMBASA é fortemente estruturante, ou seja, envolve muitas questões não contempladas pela rotina da empresa. Com isso, para o alcance dos objetivos definidos, tem-se que potencializar competências existentes e aderentes às estratégias e desenvolver novas competências em nossa força de trabalho.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|---|--------------------|--|---|
| Atendimento às demandas estratégicas de capacitação | Bienal (acumulado) | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de demandas estratégicas de captação atendidas}}{\text{N}^\circ \text{ de demandas estratégicas de capacitação identificadas}}$ | Mensurar o cumprimento do programa de capacitação elaborado a partir das competências estratégicas requeridas |
| Desenvolvimento de competências | Anual (acumulado) | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de competências estratégicas desenvolvidas}}{\text{N}^\circ \text{ de competências estratégicas mapeadas}}$ | Medir a eficácia no desenvolvimento das competências requeridas pelas estratégias estabelecidas |

- Objetivo Estratégico PT2: Desenvolver a cultura da sustentabilidade

A incorporação dos requisitos de responsabilidade socioambiental aos processos e a consolidação da EMBASA como agente para que a sociedade valorize cada vez mais a água passam pelo desenvolvimento de uma cultura organizacional fortemente voltada para a sustentabilidade, através da disseminação e aplicação dos princípios essenciais pelas pessoas de todas as áreas da empresa, em todos os níveis.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|---|---------------------|---|---|
| Índice de mobilização para a mudança cultural | Trienal (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de ações de mobilização realizadas}}{\text{N}^{\circ} \text{ de ações de mobilização planejadas}}$ | Medir o nível de mobilização interna no que se refere à disseminação da cultura da sustentabilidade |

- Objetivo Estratégico PT3: Compartilhar o conhecimento técnico e gerencial

De forma complementar ao desenvolvimento de novas competências, é necessário que o conhecimento construído na EMBASA ao longo de sua história seja compartilhado entre os profissionais mais experientes e os mais novos, garantindo a preservação do capital intelectual e o processo de sucessão técnica e gerencial.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|----------------------------|------------------------|---|--|
| Sistematização de práticas | Quadrienal (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de práticas sistematizadas}}{\text{N}^{\circ} \text{ de práticas planejadas}}$ | Aferir o grau de compartilhamento de conhecimentos técnicos e gerenciais entre os profissionais da empresa |

- Objetivo Estratégico PT4: Atualizar a tecnologia dos processos finalísticos

Repensar a matriz tecnológica dos processos finalísticos, buscando a sua compatibilização com tecnologias disponíveis mais vantajosas em termos de custo, impacto ambiental e eficácia do processo, pode ser determinante para o sucesso das estratégias ora estabelecidas.

| Indicador de Desempenho | Período de medição | Fórmula | Finalidade |
|---|------------------------|--|--|
| Atendimento das demandas de atualização tecnológica | Quadrienal (acumulado) | $\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de demandas atendidas}}{\text{N}^{\circ} \text{ de demandas levantadas}}$ | Medir a evolução no atendimento das demandas de atualização tecnológica dos processos finalísticos |

8.1 Programas de Redução de Perdas de Água

A adoção de um programa de controle de perdas de água é imprescindível para uma boa gestão em qualquer organização. Os programas são excelentes ferramentas para melhorar a eficiência do serviço prestado e incrementar a receita da empresa. A primeira fase na implementação de um programa é o levantamento da situação atual, ou seja, a elaboração de um diagnóstico. O diagnóstico servirá de base para a definição das ações voltadas para aumentar a eficiência dos sistemas. Esta seção apresentará uma visão geral sobre as várias

etapas e componentes de um programa de controle de perdas de água (as ações foram explanadas nos capítulos anteriores).

Algumas companhias estão adotando um único programa para atuação na redução de perdas de água e na diminuição com os custos de energia elétrica. É o caso da COPASA, que em 2010 integrou os Programas de “Redução de Perdas de Água” e “Conservação de Energia Elétrica”, resultando no Programa Integrado de Redução de Perdas de Água e de Custos de Energia Elétrica ou simplesmente Programa de Eficiência Energética - PEE. Entende-se que o planejamento integrado de ações de combate ao desperdício de água com intervenções para diminuir os custos com energia elétrica resulta em um ganho maior que a aplicação das ações isoladamente.

Os programas de Combate a Perdas de Água são imprescindíveis à gestão das companhias de água. Praticamente todas as companhias de médio e grande porte possuem planos estabelecidos, porém são exceções àquelas que realmente colocam em prática as ações previstas nos seus documentos. Ressalta-se que nos primeiros anos de aplicação dos programas, quando os índices são maiores, os resultados são extraordinários. Nos anos seguintes, há uma tendência na diminuição do ritmo de queda do índice de perdas, neste caso, os programas são importantes para manter os índices em intervalos considerados bons.

Dentre os inúmeros exemplos bem sucedidos no Brasil, destacamos a Sanasa Campinas, que é responsável pelo abastecimento de mais de 1 milhão de habitantes. A empresa reduziu o índice de perdas de faturamento de 34,6% para 15,4% (Figura 8.4) em 16 anos. O índice de perda alcançado no município de Campinas pode ser comparado aos de bons sistemas internacionais, pois é próximo ao índice de Genebra, na Suíça, e menor que o de Barcelona (Espanha) e o de Chicago (EUA), conforme informações do fórum **Smart Water Network - SWAN**, de agosto de 2011. A diminuição das perdas possibilitou a manutenção da mesma vazão outorgada desde 1998.

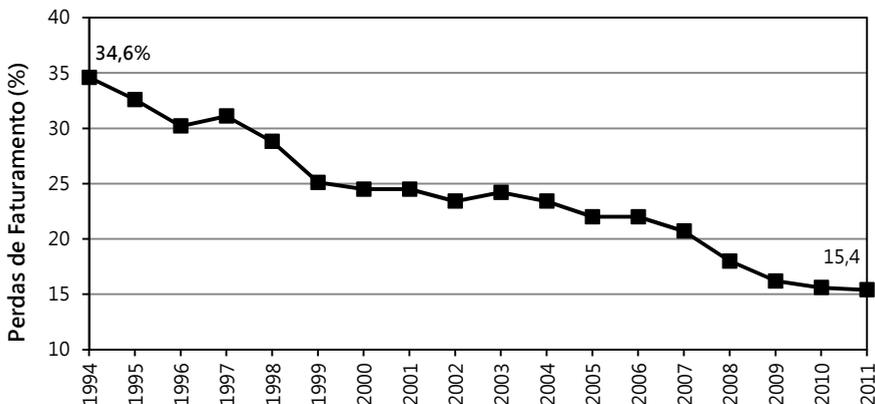


Figura 8.4 – Índice de Perdas de Faturamento da Sanasa Campinas (ADANI, 2012)

Um plano de controle e combate as perdas corresponde normalmente a um plano tático. Contém subplanos, nomeadamente o plano de intervenções infraestruturais, que se refere às intervenções físicas (obras) de controle de perdas, e o plano de operação e manutenção. Deverá

também contemplar os aspectos de gestão e de informação considerados relevantes. A seguir, seguem as etapas para implementação de um plano de perdas.

ETAPA 1: Estabelecer um Comitê de Perdas ou Grupo Coordenador

O comitê, comissão ou grupo coordenador definirá as tarefas, competências e as responsabilidades de cada membro da equipe. Esse grupo também definirá a sequência de todas as operações essenciais, incluindo tipo, escopo e nível de detalhamento do fluxo de trabalho, para o desempenho adequado de suas tarefas, processos e atividades com base na organização hierárquica. Assegurando que tanto a cooperação interna quanto as interfaces resultantes da integração, incluindo serviços de terceiros, sejam organizadas de maneira coordenada. Incluem-se no trabalho do grupo, também, a definição dos procedimentos operacionais padronizados e manuais de operação e manutenção. Preferencialmente, deve ser composta por uma equipe multidisciplinar, responsável não só pela elaboração do plano como também pelo envolvimento efetivo de toda a organização. O grupo deverá determinar as áreas geográficas críticas de intervenção e suas delimitações, além do horizonte temporal de planejamento, que deverá ser de 3 a 5 anos.

ETAPA 2: Definição dos objetivos, medidas e metas

A segunda etapa se refere à definição dos objetivos táticos concretos, pragmáticos, compatíveis entre si, mensuráveis e coerentes com as estratégias da organização. Para garantir esta coerência, uma possível solução consiste na definição destes objetivos com base nos critérios de avaliação definidos a nível estratégico. Para cada objetivo, deverão ser definidos critérios e medidas de avaliação de desempenho. Sugere-se que estas medidas sejam as mesmas que as do nível estratégico, complementadas com outras que se afigurem relevantes para o caso concreto.

Uma vez definidas as medidas de desempenho, devem-se estabelecer metas, neste caso de médio prazo, que deverão ser coerentes com as definidas no nível estratégico. Pode-se, eventualmente, admitir metas mais permissivas ou exigentes para subsistemas individuais, desde que se garanta o cumprimento das metas globais para toda a organização. O estabelecimento das metas setoriais pode e deverá atender às consequências de incumprimento das metas globais para o setor em análise.

As metas devem ser facilmente mensuráveis e passíveis de serem controladas. Para cada meta existe normalmente um plano de ação. A definição de metas globais e setoriais para as perdas reais e perdas aparentes é primordial na estruturação dos programas. Um bom programa deve apresentar de forma clara e sucinta os seus objetivos e as suas metas.

Para fins específicos de avaliação, ao se definir as ações, devem ser traçadas as metas, que deverão ser, preferencialmente, objetivas e passíveis de mensuração em termos quantitativos. É importante ressaltar que para cada objetivo, assim como para cada ação, poderão ser definidas uma ou mais metas. Por exemplo, um objetivo que busca a diminuição das perdas de faturamento pode ter como metas o aumento de 10% no índice de hidrometração da companhia (meta 1) e o aumento de 20% no volume macromedido (meta 2).

A definição de metas alcançáveis é muito importante para o sucesso dos programas. Metas distantes desestimulam os atores envolvidos, desmotivando as equipes, que acabam por

abandonar o interesse nas ações. Dentro de um planejamento de longo prazo, as metas devem ser revistas, de modo que permaneçam alcançáveis. Por exemplo, o Programa Corporativo de Redução de Perdas da SABESP estabeleceu como objetivo reduzir o índice de perdas a 13% até 2019, porém, apesar da meta de 2011 ter sido alcançada (25,7%, realizado: 25,6%), o valor previsto para o final do planejamento foi revisto em função dos resultados atingidos.

Quadro 8.2 – Exemplo de objetivo estratégico, critério, indicador e metas adotados em programas de combate a perdas de água

| Objetivo Estratégico: Proteção ao Meio Ambiente | | | |
|--|----------------|--------------------------|-------------------------|
| Critério: Avaliação da sustentabilidade ambiental | | | |
| Indicador | Situação Atual | Metas | |
| | | Médio Prazo (3 a 5 anos) | Longo Prazo (> 15 anos) |
| Perdas reais por ramal (Litros/ramal/dia) | 550 | 400 | 250 |
| Ineficiência de utilização dos Recursos Hídricos (%) | 65 | Reduzir 25% | Reduzir 15% |

ETAPA 3: Diagnóstico

O diagnóstico é realizado por uma equipe multidisciplinar e é imprescindível para a análise da situação atual dos sistemas. Sem um conhecimento prévio das condições, não há planejamento eficiente. Um programa com um diagnóstico inexistente ou falho representa um conjunto de ideias que podem ou não dar bons resultados.

A princípio, recomenda-se que seja realizado um diagnóstico preliminar, que visa obter dos gerentes e dos técnicos as informações sintomáticas relativas ao sistema de abastecimento de água da sua respectiva localidade. A equipe envolvida no diagnóstico precisa fazer o levantamento de plantas de cadastro técnico, fluxogramas e croquis do sistema, relatórios gerenciais, dados da medição, normas, manuais de operação etc. Em seguida, o diagnóstico deve ser complementado com informações colhidas *in loco*, que servirão para ampliar as informações e confirmar ou não as avaliações preliminares, compondo, portanto o diagnóstico definitivo dos sistemas. De forma sintética, o diagnóstico de um sistema pode envolver:

- Caracterização hidráulica do sistema.
- Avaliação dos sistemas produtores.
- Caracterização da demanda (situação atual e cenários futuros).
- Análise do sistema de macromedição.
- Análise do parque de hidrômetros.
- Análise do sistema comercial.
- Análise do sistema de informações gerenciais.
- Análise do cadastro técnico.
- Análise da qualidade de água fornecida.

ETAPA 4: Produção dos planos de ação

A definição de um planejamento contém componentes técnicos e metodológicos que atuam como dispositivos que contribuem para imprimir racionalidade às decisões e às ações.

Ou seja, dentro de seus componentes técnico-metodológicos, o planejamento exige instrumentos de consolidação das decisões, que são os planos, os programas e os projetos. Esses instrumentos marcam e/ou registram diferentes níveis de decisão e uma maior ou menor aproximação com a ação. Logo, o plano de ações é o conjunto de tarefas capazes de viabilizar a operacionalização do planejamento. Para cada objetivo contemplado no programa, é importante a elaboração de estruturas que esboçam as atividades, os métodos, os responsáveis, os prazos e os custos estimados. O plano de ação pode ser elaborado com vistas às metas da companhia, dos setores e/ou dos sistemas. Pode-se estabelecer um plano global ou planos específicos para os objetivos

Identificam-se, nesta etapa, as possíveis soluções alternativas de intervenção. Assim, deve-se proceder a concepção e o pré-dimensionamento de soluções alternativas para os problemas e causas identificados em cada área de análise. As alternativas podem ser exclusivamente infraestruturais (por exemplo, obras de setorização), atuarem no modo de operação e manutenção, ou na combinação destas duas. É nessa fase que se avalia a viabilidade técnica e econômica de cada solução alternativa em uma perspectiva de curto, médio e longo prazo. Esta análise deverá envolver no mínimo a avaliação do desempenho de cada área prioritária em termos qualitativos e empíricos. Faz-se também a seleção da melhor solução para cada área de análise, assegurando o equilíbrio entre o custo, o desempenho e o risco, tomando como base todo o período de análise. Por fim, estabelecem-se prioridades de intervenção.

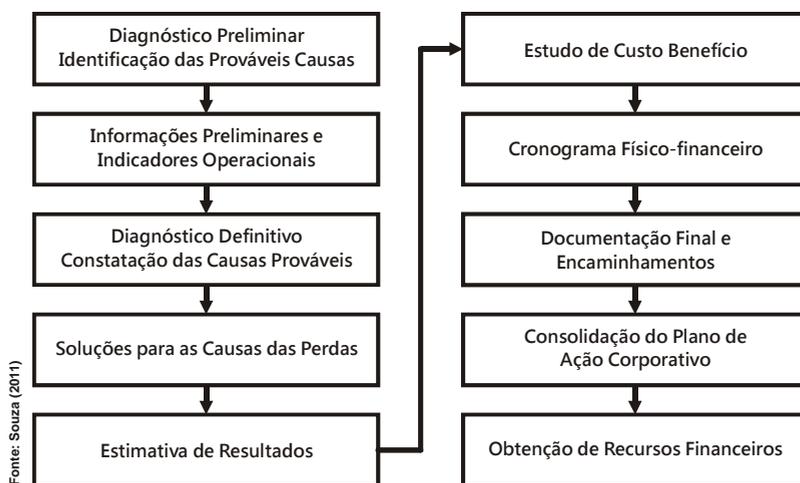


Figura 8.5 – Fases de um plano de ação

De forma geral, o plano de ação apresenta de forma sistemática as ações citadas no Capítulo 5 (Tecnologias para Controle de Perdas Reais e Aparentes). O Quadro 8.3 apresenta as etapas para a concepção de um plano de ação de combate às perdas de água.

Quadro 8.3 – Etapas para a concepção de um plano de ação de combate às perdas de água

| Etapa | Ações |
|--|---|
| Definição dos objetivos e metas | <ul style="list-style-type: none"> - Definição dos objetivos. - Definição do âmbito temporal do planejamento. - Estabelecimento de metas. |
| Levantamento do diagnóstico da situação atual | <ul style="list-style-type: none"> - Execução de auditoria dos diversos usos da água. - Análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões dos consumos e das disponibilidades. - Caracterização dos consumos. - Definição de perfis de consumo para os diferentes tipos de consumidores (histórico de medições e estudos específicos). - Avaliação de medidas implementadas anteriormente. |
| Definição do sistema de indicadores | <ul style="list-style-type: none"> - Escolha dos indicadores de desempenho para acompanhar a implementação do plano e a consecução de suas metas. |
| Identificação das medidas a serem adotadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados | <ul style="list-style-type: none"> - Identificação de medidas de uso eficiente da água potencialmente aplicáveis (Capítulo 5). - Definição do âmbito espacial, de forma a estabelecer os setores alvos. - Avaliação da viabilidade econômico-financeira das medidas, incluindo principalmente o potencial de economia com energia e produção de água, redução de efluentes, impacto na saúde pública e no meio ambiente. - Identificação de dificuldades na implementação destas medidas, mecanismos adequados e expectativa de generalização. |
| Elaboração de um prognóstico | <ul style="list-style-type: none"> - Prospecção de cenários futuros. - Estudo de cenários de evolução dos consumos e disponibilidades para diferentes níveis de redução por aplicação de medidas de uso eficiente da água. - Identificação de ineficiências internas e externas e de oportunidades para aplicação de medidas de uso eficiente nos cenários. |
| Seleção das medidas a serem implantadas | <ul style="list-style-type: none"> - Definição de critérios de seleção e priorização de medidas - Avaliação de cenários no horizonte de planejamento, efetuando para cada alternativa a análise financeira-econômica. - Seleção das medidas a serem implantadas com base nos resultados previstos e na análise financeiro-econômica (ver Capítulo 8). - Detalhamento das ações propostas e intervenções necessárias. Medidas para ações estruturais precisam ser desenvolvidas esquematicamente, com dimensionamentos preliminares que permitam uma avaliação de custos. Medidas para ações não estruturais devem chegar ao nível um anteprojeto. Medidas para ações de organização podem conter a elaboração dos termos de referência para a contratação dos mesmos. - Alocação equitativa dos recursos. Informar quais são os recursos necessários para a implementação das ações e como devem ser usados. Além de apresentar os custos envolvidos e os benefícios econômicos. |
| Preparação e implementação do plano | <ul style="list-style-type: none"> - Elaboração do documento base do plano de ação. - Implementação do plano de ação. |
| Monitoramento, avaliação e revisão do plano | <ul style="list-style-type: none"> - Avaliação periódica dos resultados e indicadores adotados. - Revisão periódica do plano. |

O processo de planejamento pode produzir táticas de diferente natureza que deverão ser coerentes com as estratégias: as táticas infraestruturais, que incluem as intervenções puramente físicas (obras de construção civil, equipamentos etc.) e constituem o cerne do plano de intervenções infraestruturais; e as táticas de operação e manutenção, que se referem a processos de operação e manutenção dos ativos físicos, e deverão ser incorporadas no plano de operação e manutenção.

As táticas deverão ser incorporadas e coerentes com os restantes planos táticos da organização (plano de gestão financeira, plano de gestão de informação, plano de gestão de recursos humanos etc.) e podem corresponder a:

- Intervenções permanentes – por exemplo, alteração do modo de controle de estações elevatórias e da operação de Distritos de Medição e Controle - DMC.
- Intervenções com caráter sistemático, correspondentes a ações de manutenção preventiva periódica ou condicionada – por exemplo, inspeção e manutenção de válvulas, e recuperação de reservatórios.
- Intervenções pontuais sem caráter sistemático – por exemplo, implementação de DMC e instalação de medidores de vazão e pressão.
- Outras táticas não infraestruturais que sejam relevantes para a adequada gestão patrimonial da infraestrutura, relativas a outros tipos de ativos (ativos financeiros, de recursos humanos, de informação etc.).

ETAPA 5: Monitoramento do plano

O monitoramento e o controle são essenciais no processo de melhoria contínua da eficiência dos sistemas, além de conferir transparência e gerar conhecimento. O monitoramento deve ter uma frequência não superior a um ano para os planos estratégicos e táticos, e inferiores a um ano para os planos operacionais. Deve contemplar o cálculo das medidas de avaliação estabelecidas no plano e a comparação com as respectivas metas, além de considerar o grau de implementação das estratégias, das táticas ou das ações, consoante o tipo de plano em causa. O monitoramento é materializado através de relatórios gerenciais encaminhados aos níveis hierárquicos superiores.

A elaboração de relatórios gerenciais periódicos com recursos analíticos e gráficos (tabelas, gráficos e mapas) é fundamental para o acompanhamento das ações. Os relatórios serão cada vez mais detalhados quanto menor for o nível hierárquico a quem se destinam. Assim, os técnicos diretamente envolvidos na condução do programa devem consolidar em um relatório todas as ações, resultados específicos e globais etc. Para os níveis hierárquicos superiores, há que se passar um filtro, selecionando as informações mais importantes de caráter gerencial que efetivamente dão uma ideia do andamento do programa, seus pontos fortes e fracos e principais resultados, tendo como plano de fundo as metas (TARDELLI FILHO, 2005).

8.1.1 Envolvimento dos Recursos Humanos

Os programas de controle e redução de perdas englobam aspectos econômicos, ambientais, sociais e culturais. O grau de cooperação entre todos os técnicos e a formação de parcerias entre os setores da companhia serão de importância fundamental para o sucesso da

implementação do plano. A cultura de combate às perdas deve ser disseminada, para que a responsabilidade seja compartilhada por todas as áreas e não mais apenas pela divisão de controle de perdas. Assim, para alcançar as metas do programa, primeiramente, deve-se convencer os gerentes e demais técnicos de que o programa é indispensável.

Um modelo de remuneração por resultados também pode ser adotado pela companhia, de modo que os empregados recebam uma remuneração extra e variável, que seja função das metas definidas para os indicadores de desempenho. Algumas companhias adotam este tipo de modelo, como é o caso da SABESP e COPASA. Na COPASA, que adota este sistema desde 2003 e vem obtendo excelentes resultados, a remuneração variável é composta dos seguintes processos: a Gratificação de Desempenho Institucional, o Programa de Participação dos Empregados nos Lucros da Empresa e a Gratificação de Desempenho Gerencial. Segundo informações do Relatório Anual e de Sustentabilidade 2010 da COPASA, os mecanismos de remuneração praticados pela companhia são instrumentos motivadores para obtenção de melhores resultados e estão estruturados para estimular o alcance de metas. Esses procedimentos, aplicados em todas as unidades, estão alinhados à diretriz da Política de Gestão de Pessoas da COPASA de promover a valorização e o aprimoramento das potencialidades dos empregados.

8.2 Programa de Redução de Perdas da EMBASA

O programa apresentado a seguir foi baseado na publicação da EMBASA - Programa de Desenvolvimento Operacional (PDO) 2010-2013¹³, de maio de 2010. Este programa tem como referencial o Acordo de Melhoria de Desempenho (AMD), firmado em 26 de maio de 2008, e aditado recentemente (junho de 2009) entre a EMBASA e o Governo Federal - Ministério das Cidades, com a interveniência da Caixa Econômica Federal (CEF) e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Federal e Social (BNDES).

O Programa de Desenvolvimento Operacional da EMBASA compreende as atividades estratégicas (subprogramas) de Redução e Controle de Perdas e o de Melhoria Operacional¹⁴. O programa apresenta o diagnóstico operacional, comercial e/ou financeira, defini os objetivos e metas estratégicas, as estratégias a serem seguidas para alcançar os resultados estabelecidos ao longo do tempo e os mecanismos de gestão e controle do processo na organização. Os programas foram desmembrados em projetos (ações) estratégicos com descrição detalhada das metas e objetivos específicos, atividades previstas e cronograma físico e financeiro.

O Subprograma de Redução e Controle de Perdas abrange as ações de:

- Perdas de água.
- Perdas de faturamento.
- Perdas de arrecadação (eficiência da cobrança).
- Perdas de insumos básicos (energia elétrica e produtos químicos).
- Perdas técnicas ou de energia hidráulica no sistema.
- Perdas administrativas (despesas x receitas, produtividade, eficiência, eficácia, efetividade e economicidade da organização).

¹³ O PDO é um componente do planejamento estratégico da EMBASA para o período de 2010 a 2013.

¹⁴ Documento elaborado pelo Comitê Técnico, que foi coordenado por Rodolfo Garcia de Aragão.

O documento do Subprograma de Redução e Controle de Perdas e o de Melhoria Operacional é composto pelos seguintes itens:

1. Introdução

O Plano Global Estratégico das empresas de saneamento é uma visão futura de 4 a 5 anos, que geralmente corresponde a um período de uma gestão. Na área operacional e comercial, o programa estratégico setorial, que foi designado de Programa de Desenvolvimento Operacional (PDO), compreende as atividades estratégicas (subprogramas) de redução e controle de perdas nas suas diversas formas e de melhoria operacional. O programa apresenta um diagnóstico operacional, comercial e financeiro, define os objetivos e as metas estratégicas, as estratégias a serem seguidas para alcançar os resultados estabelecidos ao longo do tempo e os mecanismos de gestão e controle do processo na organização (EMBASA, 2010).

2. Conceituação Básica - Componentes das Perdas de Água e de Faturamento

O capítulo 2 do documento tem a função de propiciar o nivelamento conceitual dos principais elementos relacionados com o tema (conceituação básica sobre os componentes das perdas de água reais e aparentes, os indicadores de desempenho e o balanço hídrico da IWA).

3. Diagnóstico Operacional e Comercial das Perdas de Água e de Faturamento

Para a elaboração de um diagnóstico completo e abrangente das perdas de água em um sistema de abastecimento, deve-se avaliar não apenas números e metas, mas também as ações administrativas, os estudos e os projetos desenvolvidos, a situação do controle operacional, os mecanismos de combate efetivo a perdas reais e aparentes, bem como o monitoramento e avaliação. Só assim será possível conhecer a situação real da empresa frente às perdas e redirecionar ações e recursos para a redução e controle efetivos (EMBASA, 2010).

O diagnóstico é composto pelos seguintes itens:

- Evolução das Perdas de Água e de Faturamento na EMBASA (2000 a 2008).
- Perdas Atuais de Água e de Faturamento e Metas 2009.
- Ações de Redução e Controle de Perdas em Curso.
- Análise dos Dados.

4. Princípios e Diretrizes

Os princípios que norteiam a execução do Programa de Desenvolvimento Operacional são os seguintes:

- **Universalização do Acesso** - a redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento aumenta a disponibilidade hídrica dos mesmos, possibilitando a postergação de investimentos e o atendimento a um número maior de usuários.
- **Redução gradativa e contínua das perdas** - uma redução continuada e gradativa permitirá fracionar os investimentos necessários, gerando uma melhoria consolidada na mudança de paradigmas e de cultura das perdas na empresa e, por isso, mais sólida e duradoura. Os aspectos econômicos de custo, benefício, economia de escala e perdas

reais e aparentes inevitáveis deverão ser considerados nos trabalhos de redução e controle de perdas a serem desenvolvidos em cada sistema de abastecimento de água.

- **Gerenciamento Integrado** - trabalhar todos os componentes de perdas e causas de maneira integrada tem demonstrado ser a estratégia de gestão mais eficaz e que garante melhores e efetivos resultados do que as ações específicas voltadas apenas para um determinado tipo de perda (real ou aparente). O gerenciamento integrado é, inclusive, recomendado pelo Ministério das Cidades nas experiências apoiadas por este órgão público.
- **Uso de Tecnologias Apropriadas** - o emprego de tecnologias específicas a cada realidade permite otimizar o emprego dos recursos disponíveis e melhora a eficiência dos processos operacionais.
- **Padronização de Ferramentas Operacionais** - a padronização visa garantir a uniformidade das ações e atividades a serem realizadas nos diferentes sistemas das Superintendências da EMBASA, buscando ter um resultado corporativo mais eficiente. Visando garantir o emprego dos princípios citados, propõem-se as diretrizes a seguir:
- **Desenvolver Melhoria da Gestão Operacional e Comercial** – aperfeiçoar o modelo de Gestão Integrada de Combate as Perdas (estrutura organizacional, linha de gestão); viabilizar os recursos humanos, materiais e financeiros necessários, em especial, para investimento; criar um centro de custo para investimento; revisar os padrões de trabalho e de indicadores - itens de controle e verificação; estabelecer resultados e estratégias; vencer desafios; ser efetivo e empreender medidas de controle e avaliação operacional e comercial eficazes.
- **Planejar e executar as ações de Desenvolvimento Operacional** – micromedição, macromedição, pitometria, cadastros, setorização, combate às perdas reais e aparentes, telemetria, melhorar a eficiência do faturamento e arrecadação, controle de qualidade de água, capacitação de pessoal, comunicação e outras. Controlar e avaliar as ações visando alcançar o máximo de eficiência, eficácia e efetividade nos resultados.

O sucesso de qualquer programa de redução de perdas de água depende de um sistema de gestão permanente e eficaz que compreenda a realização de um conjunto de ações de base operacional e comercial, institucional, educacional e legal. Essas ações, além de promover a redução das perdas de água e de faturamento, devem visar também os seguintes objetivos: incremento de receitas, redução de custos, redução das despesas de energia elétrica, postergação de investimentos, ganho de produtividade, economia de escala e satisfação dos clientes. A melhoria da gestão deverá compreender, também, a instituição de diretrizes e ações para o gerenciamento e controle de perdas com maior consistência e dinamismo na estrutura organizacional para execução das ações planejadas, assim como a manutenção ou melhoria dos resultados alcançados, e introduzir ou melhorar as metodologias e tecnologias mais eficazes no processo (EMBASA, 2011).

Este tópico do programa também apresenta os seguintes itens:

- Estrutura organizacional da empresa.
- Proposta de metodologia de trabalho.
- Estratégias para redução e controle de perdas.

A **metodologia de trabalho** foi especificada de acordo com o nível de Água Não Faturada nos sistemas (Vazão Disponibilizada – Vazão Faturada). As atividades básicas fundamentais a serem implementadas nos sistemas chamados prioritários (**água não faturada > 25%**) foram divididas em duas etapas:

1ª etapa:

- Execução das atividades de medição - macromedição de vazão/pressão e micromedição.
- Melhoria ou institucionalização do suporte de pitometria.
- Revisão do cadastro comercial com uso do geoprocessamento.
- Combate às fraudes e outras irregularidades comerciais.
- Recuperação de inativas e do débito pendente.
- Controle dos grandes consumidores.
- Combate aos vazamentos visíveis e controle de pressão com a eficácia necessária.
- Implantação da setorização de controle operacional nos sistemas críticos, compatibilizada com o zoneamento comercial acompanhada da melhoria do cadastro técnico com uso geoprocessamento e mapeamento de pressões.
- Melhoria do sistema de informações, em especial, o comercial, para apurar melhor os resultados de faturamento e arrecadação.
- Desenvolvimento das ações de controle da qualidade de água.

2ª etapa:

- Continuidade dos trabalhos com a realização do Balanço Hídrico com levantamento de amostragens de campo referentes às perdas reais e aparentes.
- Para perdas reais:
 - Implantação de distritos pitométricos com levantamento do fator de pesquisa noturno, fator noite-dia e volume de perdas reais.
 - Efetivação de pesquisa amostral de vazamentos em áreas representativas do sistema com realização de geofonamento e combate aos vazamentos visíveis e não visíveis de forma eficaz.
 - Estabelecimento de padrões de pressão.
- Para perdas aparentes:
 - Continuidade das ações cadastrais.
 - Melhoria do desempenho e expansão da micromedição e de combate às fraudes.
 - Avaliação do rendimento do parque de hidrômetros existente com pesquisa de campo e de laboratório.
 - Recuperação de inativas.
 - Controle de procedimentos comerciais e outras ações necessárias.
- Buscar o equilíbrio da oferta × demanda e perdas de água, desenvolver medidas sociais de controle do desperdício e medidas para recuperação do faturamento e arrecadação em comunidades de baixa renda (se preciso).

Nos demais sistemas (**água não faturada < 25%**), a meta principal é manter as perdas sob controle e o aumento da produção quando ocorrer restrição na oferta de água. As atividades básicas fundamentais a serem implementadas nestes sistemas são:

- Execução de atividades de micromedição com combate às fraudes.
- Recuperação de inativas.

- Recadastramento comercial.
- Macromedição de vazão e pressão.
- Combate aos vazamentos visíveis e controle de pressão com a eficácia necessária.
- Desenvolvimento das ações de controle da qualidade de água.

Este tópico do programa também apresenta as estratégias para redução e controle de perdas adotadas pela EMBASA, são elas:

- Implantação e manutenção dos mecanismos básicos de controle operacional (medições dos parâmetros operacionais e comerciais, sistematização do levantamento de informações-chave do processo e uso de sistemas de informações).
- Ações sobre a organização ou sistema.
- Planejamento e controle operacional (ações integradas de combate às perdas reais e aparentes nos sistemas, objetivando a redução e controle destas), com atuação prioritária nos maiores sistemas, críticos em relação às perdas.
- Pesquisas operacionais – novas tecnologias.
- Melhoria da eficiência do faturamento e arrecadação.
- Capacitação de pessoal – desenvolvimento operacional.
- Revisão de critérios de projeto e construção – controle de perdas de água.
- Comunicação – controle de perdas de água.

As atividades para implantação e manutenção dos mecanismos básicos de controle operacional (medições dos parâmetros operacionais e comerciais, sistematização do levantamento de informações-chave do processo e uso de sistemas de informações) estão de acordo com as recomendações apresentadas no Capítulo 5 deste livro, são elas:

- Macromedição de vazão, pressão, tempo, nível e grandezas elétricas com suporte técnico das equipes de pitometria.
- Micromedição (hidrômetro com suporte de laboratório e sistema informatizado).
- Cadastro técnico de sistemas com uso do sistema de informações geográficas.
- Cadastro comercial (mercado) com uso do sistema de informações geográficas.
- Controle da qualidade de água.
- Setorização operacional da rede distribuidora compatibilizada com o zoneamento do faturamento comercial, subsetores de controle operacional, distritos pitométricos e controle de pressão na rede.
- Sistema de informações comercial.
- Sistema de informações de controle de perdas com indicadores operacionais e comerciais de gestão.

As ações sobre a organização compreendem as seguintes atividades:

- Implantação de Sistema Integrado de Prestação de Serviços e Atendimento ao Público (SIPSAP), visando elevar a qualidade e produtividade do trabalho.
- Desenvolvimento da manutenção eletromecânica.
- Reabilitação de Unidades Operacionais.
- Implantação de telemetria/telecomando nas unidades operacionais (níveis de automação).

5. Objetivos / Metas Estratégicas - Período 2010 a 2013

Os objetivos e metas estratégicas foram estabelecidos para a empresa, para as superintendências operacionais e para os sistemas de abastecimento de água prioritários.

Para alcançar as metas estabelecidas no AMD EMBASA - Governo Federal e no Planejamento Estratégico da EMBASA é necessário que sejam tomadas diversas medidas estratégicas de planejamento, bem como, estabelecer um melhor controle e avaliação na condução do processo operacional e comercial da empresa (EMBASA, 2010).

Este tópico do programa também apresenta a “**Atuação nos Demais Sistemas**”, “**Atuação Relativa aos Grandes Consumidores**” e a “**Integração das Ações**”. De forma prioritária, o plano estabelece que deverão ser reavaliados todos os hidrômetros das ligações dos grandes consumidores, em especial, na RMS e região de Feira de Santana. Está prevista a substituição de todos os medidores que necessitam de novo dimensionamento ou ultrapassaram a vida útil. Em decorrência dos grandes consumidores (consumos mensais superiores a 360 m³) representarem 53% de todo o faturamento da RMS, estes deverão ter uma atenção específica das superintendências. Logo, devido à grande importância para manter e elevar os resultados, a superintendência deverá ter uma equipe atuando, planejando, controlando a execução, acompanhando e avaliando os resultados neste universo, realizando a correção dos desvios, quando necessário. O uso da telemetria é adequado para os maiores consumidores, visando um melhor controle por parte da EMBASA e, também, do usuário, que pode acompanhar as informações, praticamente, em tempo real.

6. Ações Estratégicas - Período 2010 a 2013

O Programa de Desenvolvimento Operacional compreende a execução de diversas ações estratégicas, no período 2010 a 2013, sobre os sistemas de abastecimento e a organização que os operam, tais como:

- Ações específicas básicas para incorporação dos mecanismos de controle operacional no processo – macromedição e pitometria; micromedição; cadastro técnico, uso do sistema de informações geográficas; cadastro comercial (mercado), uso do sistema de informações geográficas; controle de qualidade da água e dos processos de tratamento do esgotamento sanitário; sistema de informações.
- Ações sobre a organização ou sistemas voltadas para redução de custos e melhorias da manutenção eletromecânica, manutenção de tubulações e atendimento ao público – Sistema Integrado de Prestação de Serviços e Atendimento ao Público (SIPSAP), e telemetria e telecomando de unidades operacionais.
- Ações Integradas sobre os sistemas de abastecimento de água objetivando a redução e controle das perdas, melhoria e pesquisas operacionais.
- Ações para elevação da arrecadação – melhoria da eficiência do faturamento e arrecadação.

Um exemplo concreto de ação estratégica prevista no programa é a implantação de telemetria (coleta, transmissão, tratamento e uso dos dados), telecomando operacional à distância e controle automático local nos 5 (cinco) maiores sistemas de abastecimento de água do Estado.

7. Projetos de Desenvolvimento Operacional

Os projetos são detalhados para a implementação das ações estratégicas. Para cada projeto, especifica-se:

- Unidades Responsáveis.
- Coordenação Geral.
- Justificativas.
- Objetivos.
- Metas.
- Plano de Trabalho.
- Orçamento Global.
- Cronograma Físico Financeiro.

8. Investimento Total

9. Desembolso Financeiro Anual

10. Resultados Esperados

Espera-se que as ações do Programa de Desenvolvimento Operacional proporcionem a redução de custos operacionais e ganhos de receitas. A meta de reduzir as águas não faturadas do índice atual para 25% agregará ao processo um aumento do volume faturado e, conseqüentemente, um ganho financeiro.

11. Implementação do Programa de Desenvolvimento Operacional

As superintendências operacionais, através das unidades regionais e unidades de apoio técnico e comercial, serão responsáveis pela execução e pelos resultados das atividades do programa, na sua maior parte.

O Departamento de Suporte Técnico (OPT) executará a parte correspondente às ações referentes à macromedição, à pitometria, à micromedição, ao controle da qualidade de água, às pesquisas operacionais – novas tecnologias, à revisão de critérios de projeto e construção, à capacitação de pessoal (parte de identificação dos eventos e definição do conteúdo programático). Estas atividades terão uma parcela das partes executivas de campo que serão desenvolvidas pelas unidades regionais ligadas as superintendências. O OPT, também, fará o planejamento e controle geral das ações e resultados do programa.

A superintendência comercial coordenará as atividades de execução do Projeto de Melhoria da Eficiência do Faturamento e Arrecadação e do Atendimento ao Público e executará aquelas atividades inerentes a esta superintendência, conjuntamente com as Unidades Regionais / Superintendências Operacionais.

O departamento de suprimento será o responsável pela efetivação das compras de equipamentos e diversos materiais necessários para a execução do programa no período 2010 a 2013.

A avaliação do programa será efetuada trimestralmente e semestralmente. Trimestralmente, o OPT deverá divulgar as atividades realizadas e os resultados alcançados dos diversos projetos. Semestralmente, será feita a avaliação conjunta entre a Diretoria de Operações, Superintendências Operacionais / Unidades de Apoio Técnico e Comercial, OPT e Diretoria Financeira Comercial / Superintendência Comercial, para correção de desvios em função dos resultados alcançados nas diversas atividades.

12. Anexos

Os anexos apresentam o memorial de cálculo das diversas ações previstas no subprograma, como, por exemplo, a relação dos materiais e equipamentos, e os valores dos serviços envolvidos na micro e macromedição.

CAPÍTULO 9

Análise de Viabilidade Econômica de Projetos

Heber Pimentel Gomes e Saulo de Tarso Marques Bezerra

Este capítulo tem como objetivo transmitir ao leitor os procedimentos financeiros e matemáticos necessários às análises econômicas de projetos na área de Saneamento.

9.1 Juros, Valor Futuro e Valor Presente

Os juros podem ser entendidos como uma recompensa ou prêmio que uma determinada pessoa (física ou jurídica) recebe por dispor ou emprestar um determinado capital a outra pessoa, para recebê-lo depois de certo tempo.

Uma determinada pessoa “A”, que empresta uma quantia “X” de capital a outra pessoa “B”, estará descapitalizada (por um determinado tempo) até receber o valor “X” de volta. Os juros, ou a recompensa, que a pessoa “A” terá por se descapitalizar (estar sem a posse da quantia “X”) será arcado pela pessoa “B”, que tem a oportunidade de dispor desta quantia para pagá-la depois.

Considere a operação monetária em que o indivíduo “A” empresta \$ 1.000,00 a “B” e recebe, ao final de um ano, o valor de \$ 1.200,00. Neste caso, o valor dos juros (J) é igual a \$ 200,00, que corresponde ao valor final do investimento (F) menos o valor inicial (P).

A taxa de juros “i” mede o valor total dos juros em relação ao valor inicial do investimento e é expressa pela Equação 9.1.

$$i = \frac{J}{P} = \frac{F - P}{P} \quad (9.1)$$

Para o exemplo anterior, “i” é igual a 0,20 (200/1.000), que corresponde a um juros de 20% ao a.a. (representação de ao ano). A taxa de juros costuma ser expressa em porcentagem.

Caso o investidor ou aplicador não retire seus rendimentos (juros) periodicamente (ano após ano) e os aplique à mesma taxa de juros, tem-se ao final do período “n”:

$$F = P \times (1 + i)^n \quad (9.2)$$

Na situação anterior, na qual a taxa de juros vai sendo aplicada não apenas sobre o capital inicial “P”, mas também sobre os rendimentos deste, diz-se que a quantidade “P” está sujeita a uma taxa de juros compostos.

Para exemplificar a diferença entre juros simples e juros compostos, considere a aplicação de \$ 1.000,00 durante 4 anos. Deseja-se saber ao final de cada ano quanto será o valor final (F), aplicando uma taxa de juros simples e compostos. A Tabela 9.1 mostra a diferença dos valores finais obtidos, sujeitos a juros simples e compostos de 10% a.a.

Tabela 9.1 – Valores de juros simples e compostos

| Período Anual (n) | Juros Simples | | Juros Compostos | |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | Rendimentos (\$) | Valor Futuro (\$) | Rendimentos (\$) | Valor Futuro (\$) |
| 1 | 100,00 | 1.100,00 | 100,00 | 1.100,00 |
| 2 | 100,00 | 1.200,00 | 110,00 | 1.210,00 |
| 3 | 100,00 | 1.300,00 | 121,00 | 1.310,00 |
| 4 | 100,00 | 1.400,00 | 133,10 | 1.464,10 |

No caso do exemplo da Tabela 9.1, pode-se observar que o investimento de \$ 1.000,00, a uma taxa de juros compostos de 10% a.a., proporcionará um valor futuro de \$ 1.464,10 após 4 anos. Pode-se considerar que o valor presente de \$1.000,00 é financeiramente equivalente a \$ 1.464,10, quatro anos depois, a uma taxa de 10% a.a., quando se emprega a capitalização utilizando o método dos juros compostos.

9.2 Custos e Receitas Periódicas, Fluxo de Caixa

Durante a implantação e a operação de um projeto de engenharia na área de saneamento irão ocorrer custos, assim como receitas, que incidirão anualmente ou mensalmente, dependendo da unidade de tempo utilizada na análise econômica.

Normalmente, os projetos de engenharia operam durante dezenas de anos, de maneira que os custos e as possíveis receitas, envolvidos no projeto, são contabilizados anualmente. Pode ocorrer também que a análise econômica de um determinado projeto seja realizada com uma contabilidade mensal, o que implica dizer que a unidade de tempo de análise será a mensal. Caso a unidade de tempo adotada seja anual, a taxa de juros a ser considerada deve ser anual, assim como a taxa de juros mensal servirá de base na análise econômica de um projeto cuja contabilidade seja realizada mensalmente.

Na análise econômica de projetos de engenharia, o número de períodos “n” pode coincidir com o período da vida útil do projeto, com a vida útil dos equipamentos ou com o período de concessão dos serviços envolvidos.

O fluxo de caixa é uma maneira simplificada de representar graficamente as receitas e as despesas de um projeto ao longo do tempo (ver Figura 9.1). As receitas (benefícios do projeto) são representadas por setas (vetores) orientadas para cima, e as despesas (investimentos e custos de operação e manutenção) são representadas por vetores orientados para baixo.

Convencionalmente, o investimento (inicial) incide no instante zero, enquanto as receitas e os gastos ocorrem nos finais dos períodos considerados. Esta convenção é necessária para se comparar as várias alternativas de projeto que estão sendo analisadas.

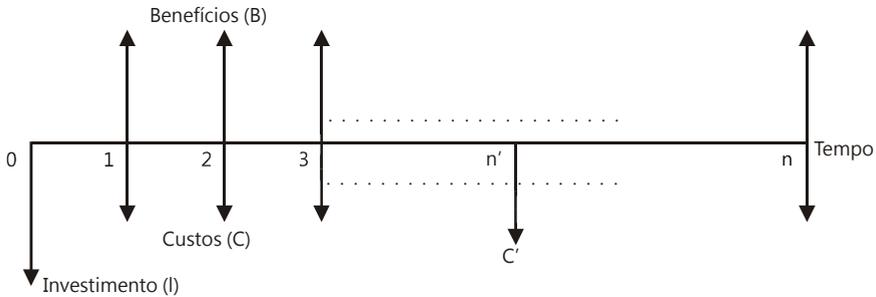


Figura 9.1 – Diagrama de Fluxo de Caixa

9.2.1 Série Uniforme de Parcelas

Uma série uniforme de parcelas é uma sucessão de receitas (benefícios, ganhos etc.) ou despesas (custos de operação, manutenção, pagamentos etc.), de valores fixos, que incidem em intervalos regulares de tempo (mês, ano etc.), ao longo de um período finito “n”. Este tipo de série ocorre nas análises econômicas de projetos de saneamento, para contabilizar as despesas com operação e manutenção dos sistemas, os ganhos provenientes das receitas pela cobrança da água distribuída aos consumidores, a economia decorrente de melhoramentos no sistema, dentre outros.

Uma série uniforme também é utilizada para contabilizar um número “n” de parcelas iguais de pagamentos, com intervalos constantes entre prestações, ou para amortizar um determinado capital sujeito a uma taxa de juros compostos.

Seja a série uniforme de parcelas iguais “A”, que incidem ao final de cada intervalo de tempo, conforme mostrado no fluxo de caixa apresentado na Figura 9.2. Pretende-se saber o valor presente “P” e o montante ou valor futuro “F” desta série, sujeita a uma taxa de juros compostos “i”. O valor futuro será dado pela soma das parcelas corrigidas pela taxa de juros. Para o último intervalo de tempo o valor futuro da parcela será o mesmo valor de “A”, já que esta não acumulou nenhum juro. O valor futuro da penúltima parcela será $A(1+i)$, da antepenúltima será $A(1+i)^2$, e assim sucessivamente. O montante ou valor futuro “F” será:

$$F = A + A(1+i) + A(1+i)^2 + A(1+i)^3 + \dots + A(1+i)^{n-1} \quad (9.3)$$

$$F = A [1 + (1+i)^1 + (1+i)^2 + (1+i)^3 + \dots + (1+i)^{n-1}] \quad (9.4)$$

A expressão entre colchete da Equação 9.4 caracteriza uma soma de elementos de uma progressão geométrica. Assim:

$$\frac{F}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (9.5)$$

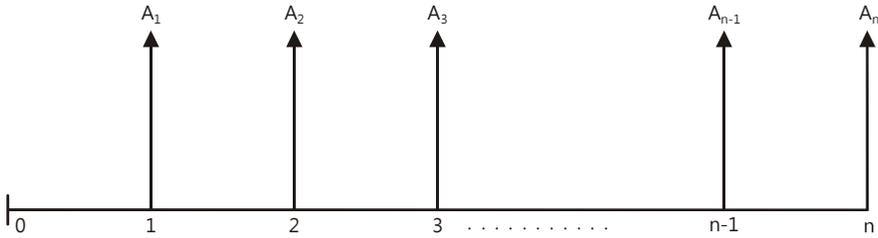


Figura 9.2 – Série uniforme de parcelas

Combinando a Equação 9.2 com a Equação 9.5, tem-se:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (9.6)$$

A relação P/A, obtida a partir da equação anterior, é denominada fator de atualização ou **Fator de Valor Presente (FVP)**. O inverso desta relação (A/P) é denominado **Fator de Recuperação do Capital (FRC)**, também conhecido como fator de amortização:

$$FVP = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (9.7)$$

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (9.8)$$

O valor presente “P”, relativo à soma das parcelas “A” de uma série uniforme, sujeita a uma taxa de juros compostos “i”, será:

$$P = A \times FVP \quad (9.9)$$

O valor das parcelas “A” de uma série uniforme sujeita a uma taxa de juros compostos “i”, relativo à amortização de um investimento (valor presente “P”), será:

$$A = P \times FRC \quad (9.10)$$

Exemplo 9.1

Um novo sistema de abastecimento de água de uma cidade (trinta mil habitantes) estará com sua construção terminada no início de 2005 e seu custo de implantação (investimento inicial) é de \$ 11.000.000,00. A vida útil esperada do projeto é de 30 anos e haverá uma distribuição de 2.000.000 m³/ano nos primeiros dez anos, de 3.500.000 m³/ano nos dez anos seguintes e de 5.000.000 m³/ano nos últimos dez anos. Os custos de exploração do sistema de abastecimento de água (operação, manutenção, administração e mão de obra), ao final de cada ano, serão iguais a \$ 700.000,00 nos primeiros 10 anos; \$ 1.000.000,00 nos dez anos seguintes; e \$ 1.300.000,00 nos últimos dez anos.

Pretende-se saber quanto deve ser cobrado pelo metro cúbico da água distribuída “X”, de maneira que a receita proveniente da sua venda cubra todos os gastos de investimento e exploração do sistema ao longo da vida útil do projeto. A taxa de juros compostos que incidirá sobre os custos e as receitas do projeto será de 9% a.a.

Resolução:

Na Figura 9.3 encontra-se o fluxo de caixa de todos os custos e receitas que incidem ao longo do projeto. Para se efetuar qualquer comparação entre eles, devem-se calcular os valores dos totais dos custos e receitas em uma mesma data, ou seja, como se todos incidissem em um mesmo instante de tempo. Assim, calcula-se o valor presente (valor financeiramente equivalente) dos custos, despesas e receitas, referidos ao instante inicial do projeto (instante zero).

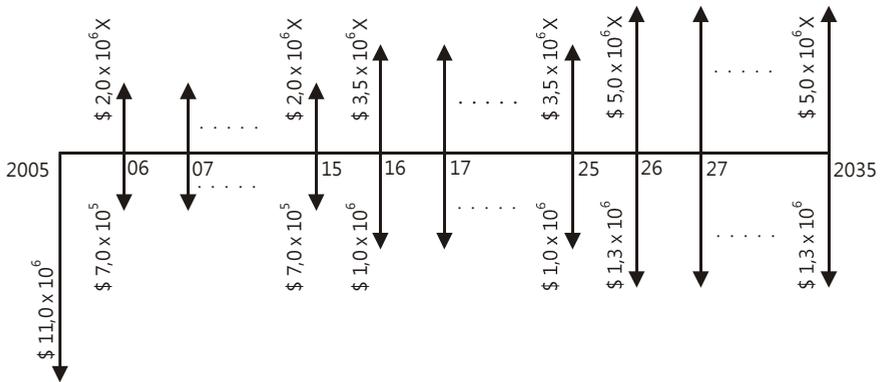


Figura 9.3 – Fluxo de caixa dos custos e receitas ao longo do projeto

Convencionalmente, o instante inicial (zero) do projeto corresponde ao dia 1º de janeiro de 2005, enquanto os custos anuais de operação e manutenção, assim como as receitas anuais da venda de água, incidem no final de cada ano.

Igualando-se o valor presente dos custos com o valor presente das receitas que incidem ao longo do projeto, obtém-se o valor de “X”, que corresponde ao valor líquido a ser cobrado pelo metro cúbico de água.

O valor presente do custo de implantação será igual a \$ 11.000.000,00, já que este incide no instante zero do projeto.

O valor presente dos custos de operação e manutenção “C” correspondentes aos dez primeiros anos do projeto será dado pela Equação 9.9, com “A” igual a \$ 700.000,00. Para “n” igual a 10, e “i” igual a 0,09, o fator de valor presente (FVP) será:

$$FVP = \frac{(1 + 0,09)^{10} - 1}{0,09 \times (1 + 0,09)^{10}} = 6,42$$

$$C_{2005} (1^\circ \text{ período}) = 700.000,00 \times 6,42 = \$ 4.494.000,00$$

O valor, em janeiro de 2015, dos custos de operação e manutenção correspondentes aos dez anos seguintes do projeto (entre janeiro de 2015 e dezembro de 2024) será o resultado do produto de \$ 1.000.000,00 com o FVP. Para “n” igual a 10, e “i” igual a 0,09, tem-se:

$$C_{2015} (2^{\circ} \text{ período}) = 1.000.000,00 \times 6,42 = \$ 6.420.000,00$$

O valor, em janeiro de 2025, dos custos de operação e manutenção, correspondentes aos últimos dez anos do projeto (entre janeiro de 2025 e dezembro 2034) será igual a:

$$C_{2025} (3^{\circ} \text{ período}) = 1.300.000,00 \times 6,42 = \$ 8.346.000,00$$

Os valores presentes das receitas “R” da venda da água serão:

$$R_{2005} (1^{\circ} \text{ período}) = 2.000.000 X \times 6,42 = \$ 12.840.000 X$$

$$R_{2015} (2^{\circ} \text{ período}) = 3.500.000 X \times 6,42 = \$ 22.470.000 X$$

$$R_{2025} (3^{\circ} \text{ período}) = 5.000.000 X \times 6,42 = \$ 32.100.000 X$$

A Figura 9.4 mostra o fluxo de caixa dos vetores dos custos e receitas incidindo em janeiro de 2005, 2015 e 2025.

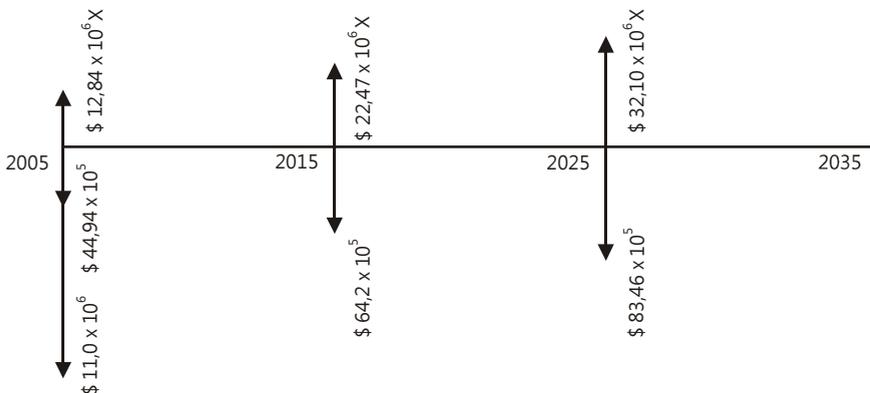


Figura 9.4 – Fluxo de caixa dos custos e receitas no início de 2005, 2015 e 2025

Os valores correspondentes aos 2º e 3º períodos incidem em janeiro de 2015 e janeiro de 2025, respectivamente. Como a análise econômica do projeto é realizada considerando a incidência de todos os custos e receitas no instante inicial (janeiro de 2005), deve-se calcular o valor presente do montante antes determinado para o instante zero. Considerando “i” igual a 9%, os valores presentes serão:

$$C_{2005} (1^{\circ} \text{ período}) = 4.494.000,00$$

$$C_{2005} (2^{\circ} \text{ período}) = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{6.420.000,00}{(1+0,09)^{10}} = \$ 2.711.877,38$$

$$C_{2005} (3^{\circ} \text{ período}) = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{8.346.000,00}{(1+0,09)^{20}} = \$ 1.489.184,21$$

$$R_{2005} (1^{\circ} \text{ período}) = \$ 12.840.000 X$$

$$R_{2005} (2^{\circ} \text{ período}) = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{22.470.000X}{(1+0,09)^{10}} = \$ 9.491.570,83 X$$

$$R_{2005} (3^{\circ} \text{ período}) = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{32.100.000X}{(1+0,09)^{20}} = \$ 5.727.631,56 X$$

De posse do valor presente de todos os custos e receitas, incidindo no instante inicial do projeto, torna-se possível determinar o valor a ser cobrado pelo metro cúbico da água distribuída “X”, de forma que não haja nem *déficit* nem *superávit* entre as despesas e os ganhos. Igualando-se as somas dos custos e das receitas tem-se:

$$11.000.000,00 + 4.494.000,00 + 2.711.877,38 + 1.489.184,21 = \\ = 12.840.000,00 X + 9.491.570,83 X + 5.727.631,56 X$$

$$X = (19.695.061,59) / (28.059.202,39) = \$ 0,70$$

O valor líquido do metro cúbico da água a ser distribuída deve ser igual a \$ 0,70. A Tabela 9.2 mostra todos os cálculos dos valores presentes dos custos e receitas do projeto. O valor do metro cúbico da água será suficiente para cobrir os custos de exploração, que compreendem os gastos com operação (principalmente a energia elétrica), manutenção, administração e mão de obra, como também amortizar (pagar) o investimento realizado no sistema de abastecimento.

O valor monetário de “X” é cifra líquida, livre de impostos. O valor a ser cobrado aos consumidores deve ser acrescido dos impostos, que serão repassados ao poder público pela empresa que detém a concessão pelo serviço de abastecimento de água.

Tabela 9.2 – Resumo do fluxo de caixa do projeto, entre janeiro de 2005 e dezembro de 2034

| Parcelas | Período | \$ | Custos em janeiro/2005 (\$) | Receitas em janeiro/2005 (\$) |
|-----------------|-----------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| Investimento | Janeiro de 2005 | 11.000.000,00 | 11.000.000,00 | |
| Custos anuais | Dez (2005-2014) | 700.000,00 | 4.494.000,00 | |
| | Dez (2015-2024) | 1.000.000,00 | 2.711.877,38 | |
| | Dez (2025-2034) | 1.300.000,00 | 1.489.184,21 | |
| Receitas anuais | Dez (2005-2014) | 2.000.000,00 X | | 12.840.000,00 X |
| | Dez (2015-2024) | 3.500.000,00 X | | 9.491.570,83 X |
| | Dez (2025-2034) | 5.000.000,00 X | | 5.727.631,56 X |
| | SOMA | | 19.695.061,59 | 28.059.202,39 X |
| | | | Valor do metro cúbico | 0,70 |

9.2.2 Série Crescente de Parcelas

Na análise econômica de projetos de engenharia, as parcelas de custos e de receitas, normalmente, sofrem variações crescentes, em função do aumento das tarifas de água, energia, custo de mão de obra etc. Neste caso, para uma análise econômica precisa, é necessário considerar no fluxo de caixa as taxas de aumento (água, energia etc.), que proporcionarão valores crescentes das parcelas (custos e receitas) da série considerada.

Considere uma série de parcelas anuais, correspondentes aos custos (energia elétrica, água, mão de obra etc.), ou receitas anuais de um determinado projeto de engenharia, submetidas a uma taxa de aumento da tarifa “e” (ver fluxo de caixa da Figura 9.5).

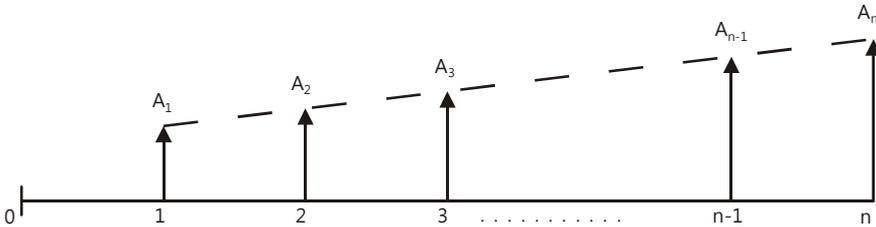


Figura 9.5 – Série crescente de parcelas

Os valores presentes (A'_t) para cada ano, considerando uma taxa de juros anual “i” são:

$$A'_t = \frac{A_n}{(1+i)^n} = A_1 \frac{(1+e)^{(n-1)}}{(1+i)^n} \tag{9.11}$$

O valor presente “P” da soma das parcelas anuais, ao longo do período de anos “n” será $A'_1 + A'_2 + A'_3 + \dots + A'_n$. Substituindo os valores de A'_t , tem-se a Equação 9.12. A expressão em colchetes da equação corresponde ao **Fator de Valor Presente “FVP”**, relativo à série das anuidades crescentes, sujeitas a uma taxa de aumento “e”, e a uma taxa de juros compostos “i”.

$$P = A_1 \times \left[\frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \times \frac{1}{(1+i)^n} \right] \tag{9.12}$$

$$FVP = \frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \times \frac{1}{(1+i)^n} \tag{9.13}$$

A Equação 9.12 proporciona o valor atual ou presente, financeiramente equivalente, a uma série de parcelas crescentes (anuais, mensais etc.), sujeita a uma taxa de crescimento “e” e a uma taxa de juros compostos “i”. Este valor presente é igual ao produto do valor da primeira parcela, que incide no final do primeiro período, pelo fator de valor presente FVP.

Às vezes é necessário dispor de uma série de valores uniformes que seja financeiramente equivalente à série crescente, conforme apresentado na Figura 9.6. O valor uniforme “VE” da série equivalente pode ser obtido aplicando-se o fator de recuperação do capital (FRC), pela

Equação 9.8, ao valor presente “P” da série crescente expressa pela Equação 9.12. O valor de “VE” será:

$$VE = A_1 \times \left[\frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \times \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (9.14)$$

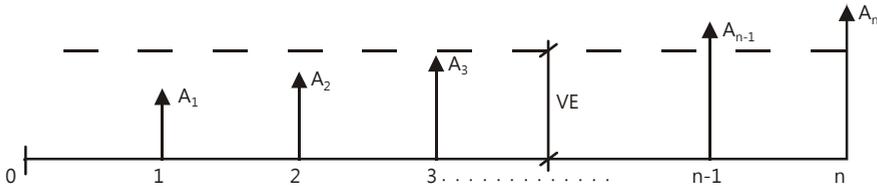


Figura 9.6 – Série crescente de parcelas com valor equivalente uniforme VE

Na Equação 9.14, a expressão em colchetes corresponde ao **Fator de Equivalência Parcelar “FEP”**, relativo à série de parcelas uniformes, equivalente aos custos parcelares crescentes, sujeitos a uma taxa de aumento “e” e a uma taxa de juros compostos “i”.

$$FEP = \left[\frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \times \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (9.15)$$

A periodicidade das séries de parcelas mostradas nas Figuras 9.1 a 9.6 podem ser calculadas com qualquer intervalo de tempo.

Nas análises econômicas de projetos de saneamento, alguns órgãos financiadores desconhecem a taxa “e” de aumento da energia, da água ou de algum outro insumo. Considerando uma taxa nula de aumento de algum insumo “e”, o fator de valor presente da série crescente de parcelas será dado pela Equação 9.7 (GOMES, 2009, p. 38).

Exemplo 9.2

Determinar o preço do metro cúbico de água do sistema de abastecimento do exemplo anterior, que deve ser cobrado no primeiro ano de operação do projeto (2005), considerando que este preço aumentará a uma taxa de 6% ao ano.

Resolução:

Todos os custos que incidem no projeto serão os mesmos do exemplo anterior, enquanto que as receitas serão diferentes, já que estas aumentarão a uma taxa “e” de 6% a.a.

Os valores presentes das três séries de receitas serão calculados a partir da Equação 9.12. Para as três séries de receitas, o FVP será determinado para “n”, “i” e “e” iguais, respectivamente, a 10; 0,09 e 0,06:

$$FVP = \frac{(1+0,06)^{10} - (1+0,09)^{10}}{(1+0,06) - (1+0,09)} \times \frac{1}{(1+0,09)^{10}} = 8,12$$

O valor presente das receitas “R” da venda da água durante os dez primeiros anos do projeto será:

$$R_{2005} (1^{\circ} \text{ período}) = 2.000.000 X \times 8,12 = \$ 16.240.000,00 X$$

O valor, em janeiro de 2015, das receitas da venda de água, correspondentes aos dez anos seguintes do projeto (entre 2015 e 2024), será igual a:

$$R_{2015} (2^{\circ} \text{ período}) = 3.500.000 X \times 8,12 = \$ 28.420.000,00 X$$

Este último valor trazido para janeiro de 2005 ($n = 10$) será igual a:

$$R_{2005} (2^{\circ} \text{ período}) = R_{2015} = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{28.420.000 X}{(1+0,09)^{10}} = \$ 11.991.561,18 X$$

O valor, em janeiro de 2025, das receitas da venda da água, correspondentes aos últimos dez anos do projeto (entre 2025 e 2034) será:

$$R_{2025} (3^{\circ} \text{ período}) = 5.000.000 X \times 8,12 = \$ 40.600.000,00 X$$

Este último valor trazido para janeiro de 2005 ($n = 20$) será igual a:

$$R_{2005} (3^{\circ} \text{ período}) = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{40.600.000 X}{(1+0,09)^{20}} = \$ 7.244.294,13 X$$

O valor do metro cúbico de água a ser cobrado no primeiro ano do projeto e sujeito a um reajuste anual de 6% será igual a \$ 0,55:

$$X = (19.695.061,59) / (35.475.585,31) = \$ 0,55$$

Na Tabela 9.3 encontram-se os cálculos correspondentes ao fluxo de caixa dos custos e receitas do projeto.

Tabela 9.3 – Resumo do fluxo de caixa entre janeiro de 2005 e dezembro de 2034

| Parcelas | Período | \$ | Custos em jan. de 2005 (\$) | Receitas em jan. de 2005 (\$) |
|-----------------|-----------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| Investimento | Janeiro de 2005 | 11.000.000,00 | 11.000.000,00 | |
| Custos anuais | Dez (2005-2014) | 700.000,00 | 4.494.000,00 | |
| | Dez (2015-2024) | 1.000.000,00 | 2.711.877,38 | |
| | Dez (2025-2034) | 1.300.000,00 | 1.489.184,21 | |
| Receitas anuais | Dez (2005-2014) | 2.000.000,00 X | | 16.240.000,00 X |
| | Dez (2015-2024) | 3.500.000,00 X | | 11.991.561,18 X |
| | Dez (2025-2034) | 5.000.000,00 X | | 7.244.294,13 X |
| | SOMA | | 19.695.061,59 | 35.475.585,31 X |
| | | | Valor do metro cúbico | 0,55 |

Na Tabela 9.4 estão os valores do metro cúbico de água durante os trinta anos da vida útil do projeto, calculados a partir da Equação 9.2.

Tabela 9.4 – Valores (líquidos) do metro cúbico de água ao longo da vida útil do projeto

| Ano | (\$) | Ano | (\$) | Ano | (\$) |
|------|------|------|------|------|------|
| 2005 | 0,55 | 2015 | 0,98 | 2025 | 1,76 |
| 2006 | 0,58 | 2016 | 1,04 | 2026 | 1,87 |
| 2007 | 0,62 | 2017 | 1,11 | 2027 | 1,98 |
| 2008 | 0,66 | 2018 | 1,17 | 2028 | 2,10 |
| 2009 | 0,69 | 2019 | 1,24 | 2029 | 2,23 |
| 2010 | 0,74 | 2020 | 1,32 | 2030 | 2,36 |
| 2011 | 0,78 | 2021 | 1,40 | 2031 | 2,50 |
| 2012 | 0,83 | 2022 | 1,48 | 2032 | 2,65 |
| 2013 | 0,88 | 2023 | 1,57 | 2033 | 2,81 |
| 2014 | 0,93 | 2024 | 1,66 | 2034 | 2,98 |

9.2.3 Inflação nas Séries de Parcelas

Se um certo capital “P” é aplicado durante um determinado período, sujeito a uma taxa de juros “i”, o valor final (montante) resultante será:

$$F = P \times (1 + i) \quad (9.16)$$

Se, no mesmo período a taxa de inflação for “f”, o capital corrigido será:

$$F_1 = P \times (1 + f) \quad (9.17)$$

Caso:

$F = F_1$ → a taxa de juros repõe apenas o poder aquisitivo do capital inicial P.

$F > F_1$ → haverá ganho de capital em relação à inflação.

$F < F_1$ → haverá perda real do capital.

A diferença positiva ($F - F_1$) representa o ganho real do capital aplicado “P” e a taxa real de juros “r” é expressa como a porcentagem do ganho real em relação ao capital corrigido:

$$r = \frac{F - F_1}{F_1} = \frac{F}{F_1} - 1 \quad (9.18)$$

A taxa de juros “i” é denominada, também, **taxa de juros efetiva, corrente ou aparente**, e seu valor é estabelecido pelo mercado financeiro, enquanto a taxa de inflação “f” é estabelecido pelo índice de correção monetária.

Para uma taxa de juros corrente de 18% ao ano, e uma taxa de inflação de 10%, também ao ano, a taxa anual real dos juros será:

$$r = \frac{0,18 - 0,10}{1,10} = 0,07 = 7\%$$

Nas análises financeiras de mercado e nos estudos de engenharia econômica a taxa de juros “i” empregada é a taxa de juros efetiva ou corrente. Assim, a taxa de juros “i” adotada pelas instituições financeiras leva em conta a taxa real de juros, que efetivamente representa o ganho real de capital, mais a taxa “f”, relativa à taxa esperada da inflação no período considerado, que deve representar a correção monetária neste período. As incertezas nas estimativas das taxas esperadas de inflação levam as instituições financeiras a superestimarem as taxas “f” para evitar que os valores adotados sejam superados pelas taxas de inflação (GOMES, 2009, p. 44).

Sendo a taxa efetiva de juros a utilizada nos estudos de engenharia econômica, esta leva em consideração a taxa de inflação que incidirá no fluxo de caixa. Neste caso, é necessária a utilização das taxas “e” de aumento dos demais gastos e receitas envolvidos no mesmo fluxo de caixa (GOMES, 2009, p. 44).

Considere que um determinado banco de investimento emprestou recursos financeiros a uma taxa efetiva de juros de 15% a.a. e que no período considerado, a taxa acumulada de inflação “f” ao ano foi de 9%. Neste caso, a taxa real de juros “r”, que representa o ganho do capital, foi de 6% a.a. ($r = i - f$).

9.3 Identificação dos Custos e Benefícios dos Projetos

A metodologia de avaliação econômica de um projeto de engenharia, previamente concebido, começa com a identificação e a quantificação de todos os custos e benefícios envolvidos. Posteriormente, após o estabelecimento do fluxo de caixa correspondente, conforme visto na seção anterior, são aplicados os métodos de avaliação econômica (que serão vistos na seção seguinte), para a obtenção do diagnóstico definitivo da viabilidade econômica do projeto. Caso haja mais de uma alternativa de engenharia, mutuamente excludentes, para um mesmo projeto, estas serão avaliadas para se decidir pela mais viável em termos sociais, ambientais e econômicos. Não havendo distinção entre os aspectos sociais e ambientais das alternativas analisadas, a mais viável, economicamente, deverá ser a escolhida.

A avaliação econômica de um projeto voltado para o controle de perdas de água deve incluir as seguintes parcelas:

- Custos de engenharia.
- Custos de construção.
- Custos de produtos.
- Aumento de custos de manutenção dos novos equipamentos e *softwares*.
- Redução da receita decorrente da diminuição do consumo resultado da gestão de pressões.
- Redução de perdas a custo marginal.
- Redução de custos de manutenção decorrente da redução de novos vazamentos.

9.3.1 Alcance do Projeto

Em projetos de engenharia na área de saneamento, a identificação dos custos e benefícios começa pela definição da vida útil ou alcance do projeto. O alcance do projeto corresponde ao período de atendimento das estruturas físicas projetadas, tanto equipamentos como obras civis.

9.3.2 Identificação dos Custos

Os custos envolvidos nos projetos de saneamento são divididos em duas categorias: custos de investimento e custos de exploração. Os **custos de investimento** compreendem os gastos fixos, diretos e indiretos, necessários à implantação do projeto.

Os custos diretos dizem respeito à aquisição dos equipamentos das instalações (tubulações, válvulas, bombas, motores, elementos de controle e automação, equipamentos elétricos, subestação etc.) e as obras civis necessárias à implantação do projeto (estruturas de captação, casas de bombas, montagem das tubulações etc.). Os custos fixos de investimento incidem, normalmente, no início do projeto, durante sua implantação. Em alguns casos, os custos de investimento ocorrem, também, ao longo do alcance, quando o projeto tiver que ser implantado por etapas. Nos custos de investimento são incluídos os impostos e os gastos com transporte de materiais e equipamentos.

Os custos dos materiais, equipamentos e obras civis são estimados em função do projeto de engenharia correspondente, a partir dos quantitativos relacionados e dos preços unitários dos elementos que compreendem a composição de custos. Geralmente, a equipe de engenharia responsável pela composição dos custos do projeto se encarregará de fornecer os dados dos quantitativos e dos preços unitários dos materiais. A credibilidade da análise de viabilidade econômica do projeto dependerá, substancialmente, da precisão dos dados a serem estimados de todos os custos e benefícios envolvidos.

Os custos indiretos compreendem os gastos com os projetos de engenharia, fiscalização de obra, serviço de consultoria, reserva de contingência para cobrir despesas não previstas, e os juros pagos durante a implantação do projeto.

Os custos de investimentos necessários para a implantação das instalações dos projetos podem ser pagos ao longo do tempo ou da vida útil destes. Ou seja, o investimento inicial para a implantação do projeto deverá ser amortizado mediante parcelas anuais ou mensais, que poderão ser consideradas, respectivamente, como custos anuais ou mensais do projeto. A determinação dos valores das parcelas do investimento a ser amortizado se obtém através da Equação 9.10.

Ao longo da sua vida útil, o projeto diminui sua eficiência ou sua capacidade de prestação de serviço devido ao desgaste, à deterioração ou à obsolescência dos seus componentes, principalmente equipamentos. O desgaste dos componentes do projeto proporciona uma diminuição dos seus valores ou **depreciação** destes elementos. Para levar em conta a depreciação dos equipamentos do projeto na análise econômica, considera-se, no fluxo de caixa, um componente de custo parcelar, proporcional à diminuição dos valores destes bens. A apropriação dos custos parcelares de depreciação constituirá uma reserva, ou fundo, de

modo que o montante dessa reserva seja equivalente ao valor da aquisição de um novo bem quando o atual estiver com sua utilização antieconômica. O valor da depreciação dependerá do valor original do bem, da sua vida útil e do seu valor residual, quando este for retirado do serviço.

Os valores das parcelas periódicas “ D_k ”, que irão compor o fundo de reserva para cobrir a depreciação de um determinado componente do projeto, será determinado em função do seu valor original “ I ”, do seu valor residual no final da sua vida útil “ R ” e da taxa efetiva de juros “ i ”.

O valor da depreciação inicial, que corresponderá ao valor do depósito periódico uniforme, será obtido a partir da Equação 9.19, enquanto o valor da depreciação no final de cada período “ k ” é dado pela Equação 9.20.

$$D_1 = (I - R) \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (9.19)$$

$$D_k = (I - R) \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] (1+i)^{k-1} \quad (9.20)$$

Exemplo 9.3

O conjunto motobomba da estação elevatória de um sistema de abastecimento de água possui um custo inicial de \$ 300.000,00. No final da sua vida útil, após 10 anos, o conjunto motobomba estará obsoleto, com seu rendimento baixo, e seu valor residual cai para 10% do valor original (\$ 30.000,00). Considerando uma taxa efetiva de juros de 10% ao ano, determinar:

- O valor do depósito anual uniforme que cobrirá a depreciação total do conjunto motobomba no final dos 10 anos de utilização.
- A depreciação acumulada e o valor residual do equipamento no final de cada ano.

Resolução:

O valor uniforme da anuidade obtém-se pela Equação 9.19:

$$D_1 = (300.000 - 30.000) \left[\frac{0,10}{(1,10)^{10} - 1} \right] = \$ 16.941,26$$

Na análise econômica de sistemas de saneamento, nem todos os componentes do projeto possuem a mesma vida útil. Neste caso, a duração do fluxo de caixa do estudo econômico deve corresponder ao alcance do componente com maior vida útil. Para os componentes do projeto com vida útil inferior, deverão ser calculadas as depreciações destes componentes, cujos montantes corresponderão aos reinvestimentos que precisarão ser efetuados no final dos seus alcances (GOMES, 2009, p. 51).

Os resultados da Tabela 9.5 mostram a depreciação acumulada (coluna 3) e o valor residual do equipamento (coluna 4) no final de cada ano.

Tabela 9.5 – Depósito anual, depreciação acumulada e valor residual do conjunto motobomba

| Final do ano | Depósito anual (\$) | Depreciação acumulada (\$) | Valor residual (\$) |
|--------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| 1 | 16.941,26 | 16.941,26 | 283.058,74 |
| 2 | 16.941,26 | 35.576,64 | 264.423,36 |
| 3 | 16.941,26 | 56.075,56 | 243.924,44 |
| 4 | 16.941,26 | 78.624,37 | 221.375,63 |
| 5 | 16.941,26 | 103.428,07 | 196.571,93 |
| 6 | 16.941,26 | 130.712,13 | 169.287,87 |
| 7 | 16.941,26 | 160.724,60 | 139.275,40 |
| 8 | 16.941,26 | 193.738,31 | 106.261,69 |
| 9 | 16.941,26 | 230.053,40 | 69.946,60 |
| 10 | 16.941,26 | 270.000,00 | 30.000,00 |

Os **custos de exploração** são os correspondentes a operação e a manutenção do sistema de saneamento, incluindo os administrativos. Diferentemente dos custos de investimentos, que são fixos e incidem, normalmente, no início do projeto, os custos de exploração são variáveis e ocorrem em parcelas mensais, ou anuais, dependendo da escala de tempo utilizada na análise. Os custos de operação compreendem os gastos com:

- Mão de obra.
- Energia consumida pelas estações de bombeamento.
- Produtos químicos utilizados nas estações de tratamento.
- Água bruta utilizada nos sistemas de abastecimento.
- Serviços de terceiros.

Sobre os custos de operação e manutenção (incluindo os administrativos) devem incidir os tributos correspondentes e os gastos com seguro.

A cobrança às empresas de saneamento pela água bruta, captada nos mananciais para o sistema de abastecimento, ainda não acontece em todas as regiões do Brasil. No entanto, com a regulamentação da Lei 9.433/1997, esta cobrança deverá ocorrer em todo o território nacional, para cobrir os custos de conservação da bacia hidrográfica que o manancial está inserido.

Os custos de manutenção correspondem aos gastos com a conservação preventiva, a reposição de peças nas instalações, a reparação de avarias, os combustíveis, os lubrificantes etc.

Os custos de mão de obra são, ainda, os que mais oneram os gastos das empresas de saneamento. Nos últimos anos, os gastos com a energia elétrica, consumida nas estações elevatórias de água e esgoto têm aumentado de forma significativa, e correspondem ao segundo item de despesas das empresas concessionárias de saneamento. No Brasil, a repercussão, cada vez maior, do custo da energia elétrica ocorre devido à diminuição dos subsídios às tarifas.

9.3.3 Identificação dos Benefícios

Os benefícios proporcionados pelos projetos de redução de perdas de água e energia podem ser classificados em diretos e indiretos, como também em tangíveis e intangíveis.

Os **benefícios diretos** estão constituídos pelos resultados imediatos do projeto, tais como as economias obtidas pelas empresas de saneamento com as reduções nos consumos de água e energia.

Exemplos de benefícios diretos são os proporcionados pela redução do volume de água produzido. Os custos diretos que serão reduzidos com a diminuição das perdas reais são todos aqueles envolvidos na produção e distribuição da água tratada, como:

- Produtos químicos da ETA.
- Energia elétrica consumida nas estações elevatórias.
- Compra da água bruta (caso haja cobrança).
- Outros serviços necessários.

A diminuição nos custos da mão de obra nem sempre acontece com a redução da vazão produzida pelo sistema de abastecimento, pois esta redução não acarreta, necessariamente, uma menor quantidade de trabalhadores envolvidos.

A redução das perdas aparentes, decorrentes de ligações fraudulentas, consumos não faturados, falta de hidrômetros, medidores defeituosos etc., proporciona um aumento direto na arrecadação da empresa. Este crescimento se traduz em benefícios monetários diretos.

Seja o caso de um sistema de distribuição de água de uma determinada localidade, onde há ligações fraudulentas (domiciliares, comerciais e industriais), sem hidrômetros e com hidrômetros defeituosos. Com a implantação de um programa de redução de perdas aparentes, amplia-se o número de economias (domiciliares, comerciais e industriais) medidas e faturadas corretamente. Esta ampliação proporciona um aumento no volume medido, que corresponde ao benefício direto mensal.

Os **benefícios indiretos** são proporcionados, de maneira não intencional, pelos resultados do projeto. Em um projeto de redução de perdas reais de água, a vazão economizada do manancial poderá ser utilizada para outros fins, se constituindo em um benefício indireto deste projeto.

Em seguida, são citados e comentados os principais benefícios indiretos obtidos com projetos ou programas de redução de perdas de água e energia em sistemas de abastecimento de água e estações elevatórias de água e esgoto. Estima-se que cada real investido em conservação de energia no Brasil evita oito reais em novos investimentos necessários para a geração de energia elétrica. Trata-se de um benefício indireto estratégico para o país, cujo beneficiário é a nação como um todo.

Projetos que proporcionam a diminuição do consumo de energia elétrica resultam em benefícios indiretos hidrológicos, derivados do aumento da disponibilidade hídrica nos reservatórios das usinas hidroelétricas. Com a redução da demanda de energia elétrica, diminuirá, na mesma proporção, a demanda de vazão necessária para energia hidroelétrica, conservando a disponibilidade de água, que poderá ser utilizada para outros fins (agricultura irrigada, abastecimento humano e animal, recreação etc.).

Outro exemplo é a diminuição dos gastos com a energia elétrica em estações de bombeamento, que produzirá, na mesma proporção, uma redução no custo de produção da água de abastecimento. Esta economia poderá levar a um abatimento na tarifa de água cobrada ao consumidor ou contribuir para a expansão da capacidade da rede de abastecimento, aumentando a cobertura do sistema de distribuição de água (benefício social).

Os **benefícios tangíveis** são aqueles que podem ser quantificados monetariamente, enquanto os **benefícios intangíveis** são os que não admitem uma avaliação econômica direta. Uma empresa de saneamento que consegue uma melhora substancial na sua eficiência, em relação à diminuição de perdas de energia e de água, terá um ganho de gestão e de confiança, que lhe proporcionará uma maior credibilidade, em termos técnicos, financeiros, sociais e políticos. Este ganho de gestão e de credibilidade pode ser considerado um benefício intangível significativo. A redução de perdas reais de água também resulta um benefício ambiental e político, que é intangível. No caso do benefício político, a empresa terá mais credibilidade perante a sociedade e as entidades de desenvolvimento (bancos e órgãos públicos), o que facilitará a obtenção de novos financiamentos com juros mais baixos ou subsidiados.

9.4 Métodos de Avaliação Econômica de Projetos

Considerando que a implantação de um determinado projeto de saneamento não possui restrições com relação aos aspectos técnicos, ambientais e sociais, deve-se verificar sua viabilidade em termos econômicos. Nestes casos, a viabilidade econômica subsidia a decisão de implantação ou não do investimento correspondente ao projeto considerado.

Os métodos de avaliação descritos neste capítulo estão embasados na determinação de todos os custos e benefícios envolvidos nos projetos a serem analisados, nos correspondentes fluxos de caixa, e nas estimativas dos indicadores econômicos: taxa efetiva de juros, taxa de aumento dos custos e receitas, e duração da análise do projeto.

Os métodos ou indicadores normalmente empregados nos estudos de viabilidade econômica são:

- Valor Presente Líquido (VPL).
- Valor Uniforme Líquido (VUL).
- Relação Benefício/Custo (RBC).
- Taxa Interna de Retorno (TIR).
- Tempo de Retorno do Capital (TRC).

9.4.1 Valor Presente Líquido

Este método é, geralmente, aplicado quando se deseja comparar várias alternativas de projeto mutuamente excludentes.

Todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, ao longo de seu alcance, são transformados em valores presentes (instante zero).

Dentro do critério de maximização dos benefícios, a alternativa que oferecer o maior Valor Presente Líquido (benefícios menos os custos envolvidos) será a mais atrativa. Quando as alternativas de projeto possuem os mesmos benefícios, aquela que proporcionar o menor Valor Presente Líquido dos custos envolvidos será a mais atrativa. A expressão geral para a determinação do VPL é:

$$\text{VPL} = \text{Benefícios (valor presente)} - \text{Investimentos} - \text{Custos (valor presente)}$$

Para um fluxo de caixa, com séries uniformes de receitas (benefícios) e custos (despesas) o valor presente líquido será:

$$VPL = B \times FVP - I - C \times FVP \quad (9.21)$$

onde B é o benefício uniforme, I é o investimento inicial e C é o custo uniforme.

Avaliando o valor do VPL (exclusivamente financeira), tem-se:

VPL > 0 → atrativo (selecionar a alternativa de maior VPL).

VPL < 0 → não atrativo.

VPL = 0 → indiferente.

Este critério de avaliação que compara o VPL com o valor “0” pode ser interpretado de maneira diferente, desde que se considere na análise econômica os possíveis benefícios indiretos e intangíveis. Desta maneira, um projeto, cujo VPL for igual ou menor que zero, pode ser considerado atrativo desde que os benefícios indiretos (que não foram considerados na análise) justifiquem o projeto (GOMES, 2009, p. 65). Do mesmo modo, os demais indicadores (VUL, RBC, TIR, TRC etc.) também podem ser atrativos se os benefícios indiretos abonarem os investimentos.

9.4.2 Valor Uniforme Líquido

Da mesma forma que o VPL, o método do Valor Uniforme Líquido (VUL) é indicado para comparar alternativas de projeto mutuamente excludentes. O VUL constitui-se em uma alternativa ao método do Valor Presente Líquido. Todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, ao longo de seu alcance, são distribuídos em valores uniformes mensais ou anuais.

Dentro do critério de maximização dos benefícios, a alternativa que oferecer o maior VUL (benefícios menos os custos envolvidos) será a mais atrativa. O método do VUL é menos aplicado do que o VPL.

$$VUL = B - C - I \times FRC \quad (9.22)$$

onde B é o benefício uniforme (constante) da série, C é o custo uniforme (constante) da série e I é o investimento.

Quando a série for crescente, o valor do benefício é dado pelo produto da primeira parcela do benefício e o fator de equivalência parcelar (FEP) (Equação 9.15). Quando a série for crescente o valor dos custos é dado pelo produto da primeira parcela do custo e o FEP.

Avaliação do VUL (exclusivamente financeira):

VUL > 0 → atrativo (selecionar a alternativa de maior VUL).

VUL < 0 → não atrativo.

VUL = 0 → indiferente.

9.4.3 Relação Benefício/Custo

Outro indicador normalmente empregado nos estudos de viabilidade econômica é a relação entre todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, contabilizados numa mesma referência de tempo (valores presentes ou anuidades).

Avaliação da relação RBC (exclusivamente financeira):

$RBC > 1$ → atrativo (selecionar a alternativa de maior RBC).

$RBC < 1$ → não atrativo.

$RBC = 1$ → indiferente.

A viabilidade econômica pode ser avaliada, também, pela relação entre todos os custos e benefícios (Relação C/B - RCB), contabilizados numa mesma referência de tempo.

9.4.4 Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de juros que zera o Valor Presente Líquido (VPL) ou Valor Uniforme Líquido (VUL) do empreendimento. É a taxa de desconto que iguala o valor das receitas (benefícios) aos valores dos custos de investimento e operação do projeto.

A forma prática de se determinar a TIR de um determinado projeto consiste em calcular valores de VPL para taxas crescentes de juros “*i*” (utilizando uma planilha eletrônica) e verificar qual o valor desta taxa que zera o Valor Presente Líquido do projeto.

É um método amplamente recomendável para analisar a viabilidade econômica de um projeto isolado (por si mesmo), sem comparação com alternativas excludentes.

Avaliação da TIR (exclusivamente financeira):

$TIR > i$ (taxa de juros do mercado ou de referência) → atrativo.

$TIR = i$ → indiferente.

$TIR < i$ → não atrativo.

9.4.5 Tempo de Retorno do Capital

São dois os indicadores de Tempo de Retorno do Capital (*payback*): o TRC não descontado e o TRC descontado. O **Tempo de Retorno não descontado** é o período de tempo (meses ou anos) necessário para o retorno do investimento inicial, sem se levar em conta as taxas de juros e de aumento das grandezas monetárias durante a análise do projeto. O valor de TRC indica quanto tempo é necessário para que os benefícios se igualem ao custo de investimento.

O Tempo de Retorno não descontado é determinado, simplesmente, pela divisão do custo de implantação (I) do empreendimento pelo benefício líquido de um período de referência (BL).

$$TRC = I/BL \quad (9.23)$$

O **Tempo de Retorno descontado** é o número de períodos que zera o Valor Presente Líquido do projeto, levando-se em conta a taxa de juros e o aumento das parcelas incidentes no fluxo de caixa.

A forma prática de se determinar o Tempo de Retorno descontado de um determinado projeto consiste em calcular valores de VPL para valores crescentes do número de períodos “n” (utilizando uma planilha eletrônica) e verificar qual o valor de “n” que zera o Valor Presente Líquido do projeto.

A análise do Tempo de Retorno do Capital está diretamente relacionada, também, com a duração da vida útil do projeto. Caso o tempo de retorno do capital seja superior ao período de vida útil do projeto, o investimento correspondente não é atrativo.

9.4.6 Considerações sobre os Métodos de Avaliação Econômica

É conveniente avaliar a viabilidade econômica de um determinado projeto por meio da análise simultânea dos métodos VPL, RBC, TIR e TRC descontado. Quando se trabalha com planilhas eletrônicas, conforme as apresentadas nos exemplos deste livro, os resultados dos indicadores da viabilidade econômica são fornecidos conjuntamente.

A maior ou menor confiança nos indicadores de viabilidade dos métodos apresentados dependerá diretamente da precisão dos dados envolvidos nas análises. As estimativas dos dados envolvidos no instante presente são mais confiáveis do que aquelas correspondentes aos dados que incidirão no futuro, ao longo da vida útil do projeto. É evidente que não se pode garantir precisão em todos os dados envolvidos nas análises, principalmente os que incidirão no futuro. Também é evidente que as estimativas das taxas envolvidas nos estudos de viabilidade (efetiva de juros e de aumento dos custos e receitas) poderão ser afetadas por fatores externos à engenharia. Sendo assim, é de se esperar que os valores ou indicadores que responderão pela viabilidade de um projeto estarão sujeitos a uma margem de erro, para mais ou para menos.

A decisão final sobre a implantação de um determinado projeto dependerá dos indicadores de viabilidade descritos neste capítulo. Além da obtenção dos resultados de VPL, TIR, RBC, TRC ou VUL, é importante que seja efetuada uma análise de sensibilidade para se conhecer o comportamento destes indicadores de viabilidade diante de diversos cenários de exploração do projeto. A sensibilidade dos indicadores de viabilidade deverá ser analisada, pelo menos, em função da variação da taxa de juros “i”, da taxa de aumento dos insumos “energia e água” e da duração da vida útil do projeto. Quando possível, a sensibilidade deve ser analisada em função da variação dos custos e benefícios envolvidos no projeto (GOMES, 2009, p. 70).

Exemplo 9.4

Verificar a viabilidade econômica de um projeto de redução de perdas de água (reais e aparentes) do sistema de abastecimento de uma cidade de 500 mil habitantes. O projeto, que terá a duração de 60 meses, consistirá na mobilização de 30.000 hidrômetros (implantação e substituição de equipamentos defeituosos), o controle de pressões na rede de distribuição, a

modelagem hidráulica do sistema, e a colocação de válvulas redutoras de pressão, além de uma campanha de monitoramento e diminuição de vazamentos.

Meta:

Com a implantação do programa espera-se que as perdas reais (físicas) de água sejam reduzidas para 10%, em relação ao volume total bombeado pelo sistema, e que as perdas por consumos não faturados (aparentes) sejam reduzidas para 10% do volume faturado. As perdas reais de água refletem diretamente (na mesma proporção) em perdas de energia (do bombeamento).

Dados:

- Vazão média de água bruta bombeada pelo sistema = 1,45 m³/s.
- Volume mensal faturado = 2,04 milhões de metros cúbicos.
- Consumo per capita médio da população = 170 L/hab./dia.
- Vazão estimada para chafarizes, lavagem de filtros, irrigação de praças e jardins e para o atendimento de hospitais públicos = 0,12 m³/s.
- Tarifa de água (valor líquido médio sem impostos) cobrada pela empresa = 1,00 \$/m³.
- Custo de produção da água distribuída = 0,35 \$/m³. Este preço de produção inclui gastos com energia, tratamento e compra da água bruta (não considera o custo da mão de obra envolvido no processo).
- Custo unitário do hidrômetro (aquisição + mão de obra + caixa) = \$ 75,00.
- Custo inicial dos equipamentos de controle de pressão na rede (válvulas) e de macromedição = \$ 1.200.000,00.
- Taxa de juros = 2% ao mês (a.m.).
- Taxa esperada de aumento das tarifas de energia e de água = 1% a.m.
- Custo mensal (uniforme) de manutenção e operação = \$ 60.000,00.

Resolução:

- Estimativa das perdas (reais e aparentes):

O volume mensal faturado de 2,04 milhões de m³ corresponde à vazão:

$$Q = \frac{2,04 \times 10^6}{30 \times 86.400} = 0,787 \text{ m}^3/\text{s}$$

O volume estimado (médio mensal) demandado pelo consumo populacional será:

$$V = 500.000 \times 0,170 \times 30 = 2.550.000 \text{ m}^3$$

A vazão estimada, média, demandada pelo consumo populacional:

$$Q = \frac{2.550.000}{30 \times 86400} = 0,984 \text{ m}^3/\text{s}$$

As perdas reais de água no sistema são iguais à vazão média bombeada pelo sistema, menos a vazão média demandada pelo consumo populacional, menos a demanda de água utilizada para chafarizes, lavagem de filtros, irrigação de praças e jardins e para o atendimento de hospitais públicos:

$$\text{Perdas reais} = 1,45 - (0,984 + 0,12) = 0,346 \text{ m}^3/\text{s}$$

As perdas por consumo não faturado (perdas aparentes) podem ser estimadas pela diferença entre a vazão média demandada pelo consumo populacional e a vazão correspondente ao volume faturado:

$$\text{Perdas aparentes} = 0,984 - 0,787 = 0,197 \text{ m}^3/\text{s}$$

Em termos de volume mensal as perdas aparentes ou comerciais são:

$$\text{Perdas aparentes} = 2.550.000 - 2.040.000 = 510.000 \text{ m}^3/\text{mês}$$

- Estimativa do consumo economizado pela redução das perdas reais:

Como as perdas reais serão reduzidas para 10% da vazão bombeada, a vazão economizada será:

$$\text{Valor esperado das perdas reais} = 0,10 \times 1,45 = 0,145 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Vazão economizada (perdas reais)} = 0,346 - 0,145 = 0,201 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Volume economizado (perdas reais)} = 0,201 \times 30 \times 86.400 = 520.992 \text{ m}^3/\text{mês}$$

- Estimativa do aumento do consumo faturado pela redução das perdas aparentes:

De acordo com o enunciado do exemplo, as perdas aparentes serão reduzidas para 10% do volume faturado:

$$\text{Valor esperado das perdas aparentes} = 0,10 \times 2.040.000 = 204.000 \text{ m}^3/\text{mês}$$

O aumento do volume faturado em decorrência da diminuição das perdas aparentes nem sempre ocorre de forma direta. Por exemplo, considere o caso de um usuário (uma economia) que consumia 40 m³/mês sem que houvesse o faturamento por parte da empresa (por falta de hidrômetro ou outra razão). Caso ele passe a pagar pela água utilizada, a tendência é que o volume medido e faturado se torne inferior ao que era antes consumido. Este aspecto, conhecido na microeconomia como elasticidade-preço, deve ser levado em conta quando da estimativa do aumento do consumo faturado por parte da concessionária (GOMES, 2009, p. 85).

O aumento do volume faturado mensal será dado pela diferença entre o volume não faturado e o valor esperado das perdas aparentes:

Volume economizado (perdas aparentes) = $510.000 - 204.000 = 306.000 \text{ m}^3/\text{mês}$

- Estimativa do Benefício pela redução das perdas reais:

Benefício volume mensal = $520.992 \times 0,35 = \$ 182.347,20$

- Estimativa do Benefício pelo aumento do consumo faturado (benefício comercial):

O valor mensal a ser faturado a mais pela empresa (livre de impostos) será:

Benefício comercial mensal = $306.000 \times 1,00 = \$ 306.000,00$

- Benefício total mensal:

Benefício total mensal = $306.000,00 + 182.347,20 = \$ 488.347,20$

- Estimativa dos custos:

O custo de investimento no instante inicial (instante zero) será:

Custo investimento = $1.200.000,00 + (30.000 \times 75,00) = \$ 3.450.000,00$

Custo mensal de manutenção e operação = $\$ 60.000,00$ (dado do exemplo).

A Figura 9.7 mostra o fluxo de caixa relativo aos custos e receitas do projeto de redução de perdas de água.

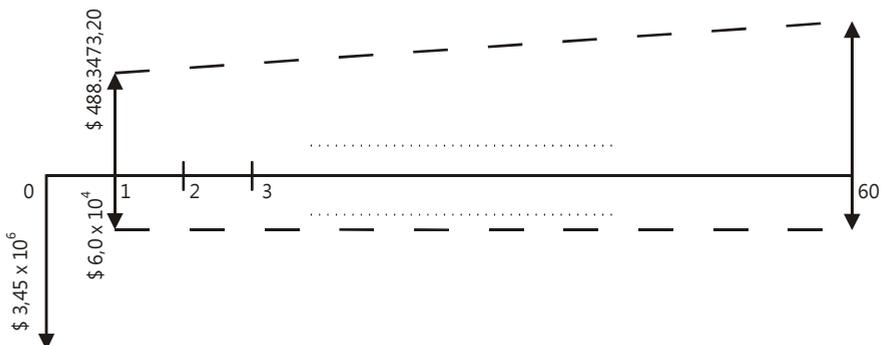


Figura 9.7 – Fluxo de caixa do projeto de redução de perdas

Tempo de Recuperação do Capital (TRC) não descontado

TRC = Custo inicial / Benefício líquido mensal

TRC = $(3.450.000,00)/(488.347,20 - 60.000,00) = 8,05$ meses

A Planilha 9.1 apresenta os cálculos dos indicadores de viabilidade. De acordo com os dados da planilha, o Tempo de Retorno descontado é de 8,5 meses (linha 7).

Planilha 9.1 – Cálculo dos Indicadores de Viabilidade

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|----|--------------|-----------------------|-------------------|-------|-------|-----|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------|------------|------|
| 2 | Invest. (\$) | Benefício mensal (\$) | Custo mensal (\$) | i (%) | e (%) | n | FVP (i,e,n) | FVP (i,n) | VPL (\$) | FEP (i,e,n) | FRC (i,n) | VUL (\$) | RBC |
| 3 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 2 | 1 | 60 | 44,630 | 34,761 | 16.259.431,90 | 1,284 | 0,029 | 467.750,78 | 3,94 |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 2 | 1 | 7 | 6,664 | 6,472 | -583.892,83 | 1,030 | 0,155 | -90.218,42 | 0,85 |
| 6 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 2 | 1 | 8 | 7,579 | 7,325 | -188.236,64 | 1,035 | 0,137 | -25.696,15 | 0,95 |
| 7 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 2 | 1 | 8,5 | 8,014 | 7,728 | 0,00 | 1,037 | 0,129 | 0,00 | 1,00 |
| 8 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 2 | 1 | 9 | 8,485 | 8,162 | 204.042,63 | 1,040 | 0,123 | 24.998,37 | 1,05 |
| 9 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 2 | 1 | 10 | 9,383 | 8,983 | 592.968,24 | 1,045 | 0,111 | 66.013,10 | 1,15 |
| 10 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 12 | 1 | 60 | 9,073 | 8,324 | 481.091,65 | 1,090 | 0,120 | 57.795,39 | 1,12 |
| 13 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 13 | 1 | 60 | 8,323 | 7,687 | 153.491,23 | 1,083 | 0,130 | 19.966,91 | 1,04 |
| 14 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 13,5 | 1 | 60 | 7,972 | 7,386 | 0,00 | 1,079 | 0,135 | 0,00 | 1,00 |
| 15 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 14 | 1 | 60 | 7,687 | 7,140 | -124.518,33 | 1,077 | 0,140 | -17.439,28 | 0,97 |
| 15 | 3,45E+06 | 488.347,20 | 6,0E+04 | 15 | 1 | 60 | 7,140 | 6,665 | -363.159,96 | 1,071 | 0,150 | -54.486,42 | 0,91 |

Indicadores de Viabilidade – Taxa Interna de Retorno, RBC, VPL e VUL

Para uma duração do projeto de 5 anos (n = 60 meses) a Taxa Interna de Retorno mensal será de 13,5%, conforme mostrado na Planilha 9.1 (linha 13), que corresponde a uma TIR anual:

$$TIR = [(1 + 0,135)^{12} - 1] \times 100 = 359\% \text{ a.a.}$$

De acordo com os resultados da planilha (linha 3), a RBC é de 3,94, o VPL é de \$ 16.259.431,90 e o VUL é de \$ 467.750,78.

Pelos dados apresentados na Planilha 9.1, pode-se assegurar que o programa de redução de perdas de água analisado é viável economicamente, com ótima rentabilidade.

Exemplo 9.5

Considere que, no exemplo anterior, os investimentos incidem no início de janeiro de 2005 e que os benefícios, com as reduções das perdas, ocorrem a partir do 2º mês (fevereiro). Os demais dados são:

- A partir de julho de 2005 a redução das perdas atinge a meta esperada de projeto, continuando inalterada até o último mês do quinto ano (alcance do projeto).
- A redução das perdas em fevereiro é de 15% da redução máxima (que ocorre de julho em diante), em março é de 30%, 45% em abril, 60% em maio e 80% em junho.

- Os custos de manutenção e operação incidem a partir de julho de 2005, com um aumento de 1% a.m.
- Os aumentos nas taxas de energia elétrica e água ocorrem a partir de julho de 2005, a uma taxa de 1% a.m.

Resolução:

Os benefícios são:

Benefícios em fevereiro de 2005 = $0,15 \times 490.161,60 = \$ 73.524,24$

Benefícios em março de 2005 = $0,30 \times 490.161,60 = \$ 147.048,48$

Benefícios em abril de 2005 = $0,45 \times 490.161,60 = \$ 220.572,72$

Benefícios em maio de 2005 = $0,60 \times 490.161,60 = \$ 294.096,96$

Benefícios em junho de 2005 = $0,80 \times 490.161,60 = \$ 392.129,28$

A Figura 9.8 mostra o fluxo de caixa relativo aos custos e benefícios do exemplo. A Planilha 9.2 apresenta os cálculos financeiros da análise de viabilidade econômica do projeto de redução de perdas.

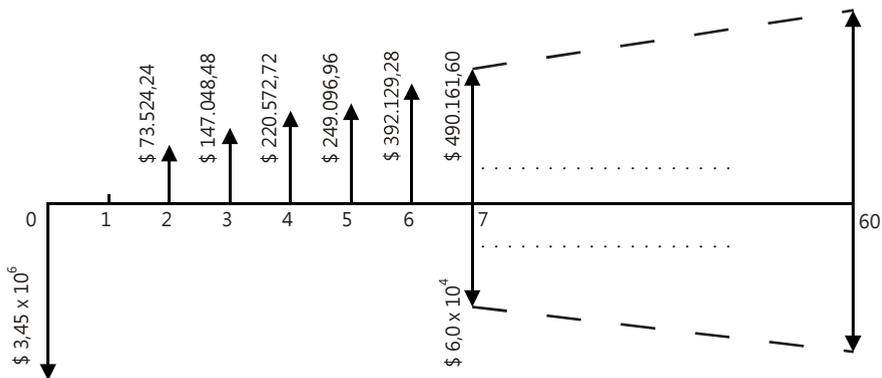


Figura 9.8 – Fluxo de caixa, relativo aos custos e benefícios do Exemplo 9.5

A Taxa Interna de Retorno pode ser obtida diretamente da Planilha 9.2, por meio da ferramenta “atingir meta” do aplicativo Excel, conforme mostrado na caixa de diálogo da Figura 9.9. O valor da TIR é de 9,9% ao mês, conforme mostrado na planilha.



Figura 9.9 – Determinação da TIR através da caixa de diálogo “atingir meta”

Planilha 9.2 – Cálculo dos indicadores de viabilidade

| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|---|--------------|-----------------|-------------|---------------------|---|---|------------|
| 2 | Instante | Invest. (\$) | Benefícios (\$) | Custos (\$) | Fluxo de Caixa (\$) | Valor Presente dos custos no início de jan. de 2005 | Valor Presente dos benefícios no início de jan. de 2005 | Parâmetros |
| 3 | zero | 3.450.000,00 | | | | 3.450.000,00 | | 0 |
| 4 | Jan. de 05 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | 1 |
| 5 | Fevereiro | | 73.524,24 | 0,00 | 73.524,24 | | 70.669,20 | 2 |
| 6 | Março | | 147.048,48 | 0,00 | 147.048,48 | | 138.567,07 | 3 |
| 7 | Abril | | 220.572,72 | 0,00 | 220.572,72 | | 203.775,10 | 4 |
| 8 | Maiο | | 294.096,96 | 0,00 | 294.096,96 | | 266.372,68 | 5 |
| 9 | Junho | | 392.129,28 | 0,00 | 392.129,28 | | 348.199,58 | 6 |
| 10 | Julho | | 490.161,60 | 60.000,00 | 430.161,60 | 2.198.182,92 | 17.957.747,65 | |
| 11 | Agosto | | 495.063,22 | 60.600,00 | 434.463,22 | | | |
| 12 | Setembro | | 500.013,85 | 61.206,00 | 438.807,85 | | | |
| 13 | Outubro | | 505.013,99 | 61.818,06 | 443.195,93 | | | |
| 14 | Novembro | | 510.064,13 | 62.436,24 | 447.627,89 | | | |
| 15 | Dezembro | | 515.164,77 | 63.060,60 | 452.104,16 | | | |
| 16 | Jan. de 06 | | 520.316,42 | 63.691,21 | 456.625,21 | | | |
| 17 | | | | VPL (2%): | -229.883,23 | | | |
| 18 | | | | VPL (2%): | 123.102,91 | | | |
| 19 | | TR (meses) | 13 | TIR (a.m.) | 9,5 % | | | |
| 20 | | | | | VP | 5.648.182,92 | 18.985.331,28 | |
| 21 | | | | | VPL (2%) | 13.337.148,35 | | |
| 22 | | | RCB | 0,30 | RBC | 3,36 | | |
| 23 | Taxa de juros (%) | | | | 2 | | | |
| 24 | Taxa de aumento da energia e/ou água "e" (%) | | | | 1 | | | |
| 25 | Período "n" | | | | 54 | | | |
| 26 | Fator de valor presente (FVP) | | | | 41,26 | | | |
| 27 | VP dos custos no início de julho de 2005 (\$) | | | | 2.475.511,00 | | | |
| 28 | VP dos benefícios no início de julho de 2005 (\$) | | | | 20.223.340,54 | | | |

Os significados das células da Planilha 9.2 são:

- Coluna A: Números de referência das linhas.
- Coluna B: Instante de aplicação dos custos e receitas. O instante zero corresponde a 1º de janeiro de 2005. Os demais instantes, onde incidem as parcelas mensais de custos e benefícios, coincidem no último dia de cada mês.
- Coluna C: Investimento no instante zero (célula C3).

- Coluna D: Benefícios mensais. De julho de 2005 em diante os valores aumentam a uma taxa de 1% a.m.
- Coluna E: Custos mensais. De julho de 2005 em diante os valores aumentam a uma taxa de 1% a.m.
- Coluna F: Benefícios líquidos (valores de D menos valores de E). Na célula F17 encontra-se o Valor Presente Líquido dos benefícios líquidos mensais do fluxo de caixa até o mês de dezembro de 2005, calculado diretamente pela função financeira VPL da planilha Excel ($n = 12$ meses). Na célula F18 encontra-se o VPL correspondente à série dos benefícios líquidos até o mês de janeiro de 2006 ($n = 13$ meses).
Célula F23: valor da taxa de juros “i”.
Célula F24: valor da taxa “e”.
Célula F25: período “n” igual a 54.
Célula F26: FVP (Equação 9.13), correspondente à série de 54 meses (07/2005-12/ 2010).
Célula F27: Valor presente dos custos em 01/07/05, correspondente à série de 54 meses.
Célula F28: Valor presente dos benefícios em 01/07/2005.
- Coluna G: Valor presente dos custos em 01 de janeiro de 2005. A célula G10 traz para o instante zero o VP da série dos 54 meses de custos (julho de 2005 a dezembro de 2010) calculado pela célula F27.
 $G10 = F27 / (1 + F23/100)^{I9}$.
Célula G20 = somatório dos valores presentes de todos os custos.
Célula G21: VPL do projeto = $H20 - G20$.
Célula G22: Relação Benefício/Custo = $H20/G20$.
- Coluna H: Valor presente dos benefícios em 01 de janeiro de 2005. A célula H10 traz para o instante zero o VP da série dos 54 meses de benefícios (julho de 2005 a dezembro de 2010) calculado pela célula F28. A expressão da célula H10 é: $=F28 / (1 + F23/100)^{I9}$.
Célula H20 = somatório dos valores presentes de todos os benefícios = $SOMA(H3:H10)$.
- Coluna I: Expoente “n” utilizado para os cálculos dos valores presentes.

Resumindo, tem-se:

Alcance do projeto = 5 anos (60 meses).

VPL = \$ 13.337.148,35 (célula G21).

RCB = 0,30 (célula E22).

RBC = 3,36 (célula G22).

TR descontado = 13 meses (obtido em função dos valores das células F17 e F18).

Pelos dados anteriormente apresentados, pode-se assegurar que o programa de redução de perdas de água, para o exemplo considerado, é viável economicamente, com ótima rentabilidade.

Na maioria das vezes, os projetos de redução de perdas de água (reais e aparentes) são bastante rentáveis economicamente. Esta rentabilidade será tanto maior quanto maiores forem os índices de perdas. Nestes projetos de alta rentabilidade, cujos investimentos se pagam em alguns meses, o indicador mais adequado para expressar a viabilidade é o Tempo de Retorno do Capital (GOMES, 2009, p. 95).

Na medida em que se diminuem os índices de perdas de água nos projetos de abastecimento, as ações de combate ao desperdício são menos impactantes. Isto significa dizer que com um índice de perdas (reais e aparentes) pequeno, os benefícios auferidos serão menores e o projeto de controle de perdas, provavelmente, não será rentável economicamente. Como visto na Seção 3.5, em todos os projetos há um nível econômico (índice de perdas ótimo) que corresponde à situação em que o custo de redução da perda de 1 m³ é igual ao ganho recuperado por um 1 m³. A partir desse índice, não é atrativo financeiramente a busca por valores menores de perdas.

Referências

ABENDI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. 2004. PR-051 - Estanqueidade - Detecção de Vazamentos Não Visíveis de Líquidos sob Pressão em Tubulações Enterradas Procedimento. São Paulo, SP: ABENDI.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992a. NBR 12213 - Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, RJ: ABNT.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992b. NBR 12216 - Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, RJ: ABNT.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1994. NBR 12218 - Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, RJ: ABNT.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2012. NBR ISO 24512 - Atividades Relacionadas aos Serviços de Água Potável e de Esgoto - Diretrizes para a Gestão dos Prestadores de Serviços de Água e para a Avaliação dos Serviços de Água Potável. Rio de Janeiro, RJ: ABNT.

ADANI, L.C. 2012. A Perda de Água no Abastecimento Público: Diretrizes para o Plano Diretor de Perdas. In: 1º Simpósio dos Comitês PCJ. São Pedro, SP.

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J.M.; CABRERA JR., H.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. 2006. Performance Indicators for Water Supply Services. 2ª ed., Londres: IWA Publishing.

ALEGRE, H.; COELHO, S.T.; ALMEIDA, M.C.; VIEIRA, P. 2005. Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição. Série Guias Técnicos n. 3. Lisboa, Portugal: Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) / Instituto da Água (INAG) / Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J.M.; PARENA, R. 2004. Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água. Série Guias Técnicos n. 1. Lisboa, Portugal: Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) / Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

ALMEIDA, M.C.; VIEIRA, P.; RIBEIRO, R. 2006. Uso Eficiente da Água no Sector Urbano. Série Guias Técnicos n. 8. Lisboa, Portugal: Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) / Instituto da Água (INAG) / Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. 1987. Water Treatment Plant Waste Management. American Water Works Association Research Foundation.

BEZERRA, S.T.M. *et al.* 2009. DTA D2 - Macromedição. João Pessoa: Editora Universitária UFPB.

BEZERRA, S.T.M.; ALENCAR, R.I.S. 2012. Medidores de Grandezas Hidráulicas e Elétricas e Válvulas de Controle. In: GOMES, H.P.; CARVALHO, P.S.O. (org.). Manual de Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética. 1ª ed., João Pessoa: Editora UFPB.

BEZERRA, S.T.M.; GOMES, H.P. 2013. Automação em Sistemas de Irrigação. In: Sistemas de Irrigação: Eficiência Energética. GOMES, H.P. (org.). 1ª ed., João Pessoa: Editora UFPB.

BEZERRA, S.T.M.; SILVA, S.A.; CARVALHO, P.S.O. 2013. Automação e Controle. In: Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética. GOMES, H.P. (org.). 2ª ed., João Pessoa: Editora UFPB.

BROTHERS, P.K.; LAMBERT, A. 2010. Strategies to Integrate District Metered & Pressure Management Design Area Principles to Achieve & Benchmark Lowest Levels of Leakage. In: Water Loss 2010. São Paulo: IWA Publishing.

COELHO, A.C. 2009. Micromedição em Sistemas de Abastecimento de Água. 1ª ed., João Pessoa: Editora UFPB.

COVAS, D.; RAMOS, H. 2007. Minimização de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento. In: Abastecimento de Água: O Estado da Arte e Técnicas Avançadas. GOMES, H.P.; GARCÍA, R.P.; IGLESIAS REY, P.L. (org.). 1ª ed., João Pessoa: Editora UFPB.

DEPREXE, M.D.; ARROSI, E.L. 2011. Aplicação e Validação de Fórmula para Estimativa de Perda Real Inevitável em Redes de Distribuição. Revista Hydro, São Paulo: Aranda Editora, ano 5, n. 55.

EMBASA - EMPRESA BAIANA DE ÁGUAS E SANEAMENTO S. A. 2010. Programa de Desenvolvimento Operacional 2010-2013 - Subprograma: Redução e Controle de Perdas de Água e de Faturamento. Salvador: EMBASA.

EMBASA - EMPRESA BAIANA DE ÁGUAS E SANEAMENTO S. A. 2011. Planejamento Estratégico 2012-2015: Rumo à Universalização. Salvador: EMBASA.

FARLEY, M.; TROW, S. 2003. Losses in Water Distribution Networks - A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control. IWA Publishing.

FOURNIOL, M. 2004. Avaliação do Parque de Hidrômetros. Maceió, AL (*apud* COELHO, 2009).

FRANGIPANI, M.; GOMES, A.S. 2005. DTA G1 - Guia Prático de Ensaios Pitométricos. Brasília: Ministério das Cidades / SNSA / PNCDA.

GALVÃO JUNIOR, A.C.; XIMENES, M.M.A.F. 2008. Regulação: Normatização da Prestação de Serviços de Água e Esgoto. Fortaleza: Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará (ARCE). 510p.

- GIROL, G. V. 2008. Análise de Perdas Reais em um Setor do Sistema de Abastecimento de Água no Município de Capinzal - SC. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, Florianópolis, SC.
- GIUGNI, M.; PORTOLANO, D.; FONTANA, N. 2011. Economia de Energia em Sistemas de Distribuição de Água. Revista Hydro, São Paulo: Aranda Editora, Ano 5, n. 57.
- GOMES, H.P. 2009. Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos. 2ª ed., João Pessoa: Editora UFPB.
- GOMES, H.P.; BEZERRA, S.T.M. 2012. Ações de Eficiência Energética. In: GOMES, H.P.; CARVALHO, P.S.O. (org.). Manual de Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética. 1ª ed., João Pessoa: Editora UFPB.
- GONÇALVES, E.; ITONAGA, L.C. 2007. Controle de Perdas em Sistemas de Água. Caderno do Profissional em Capacitação da Oficina do Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Brasília: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.
- GOULART, W.A. 2001. Programa de Controle de Perdas. Apresentação ao público interno da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (*apud* GONÇALVES e ITONAGA, 2007).
- JACOB, A. 2006. Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: O Caso de Estudo da ZMC 320 da EPAL. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- KINGDOM, B.; LIEMBERGER, R.; MARIN, P. 2006. The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries - How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting. Washington, DC: Banco Mundial.
- LAMBERT, A.O.; BROWN, T.G.; TAKIZAWA, M.; WEIMER, D. 1999. A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems. Journal of Water Services Research and Technology (Aqua), vol. 48, n. 6, p. 227-237.
- LIMA, M.R.; MAGALHÃES, M.L. 2011. Redução de Perdas em ETA. Revista Hydro, São Paulo: Aranda Editora, ano 6, n. 62.
- MADUREIRA, L.P.; ABRAHÃO, C.R.O.O.; MENDONÇA, R.P.; SANTOS, P. 2010. Melhoria da Eficiência Operacional na Região Bragantina, com Ênfase em Redução de Perdas de Água. Revista Saneas, Ano XI, n. 39, p. 25-31.
- MANCISIDOR, M.; URIBE, N. 2008. The Human Right to Water - Current Situation and Future Challenges. Unesco Etxea - Centro Unesco del País Vasco.
- MAY, J. 1994. Leakage, Pressure and Control. In: BICS International Conference on Leakage Control Investigation in Underground. Londres, Reino Unido: BICS.
- MELLO, E. 1997. Perdas na Medição de Água - A Contribuição do Hidrômetro Inclinado. In: XXIV Assembleia Nacional da ASSEMAE, Brasília (*apud* COELHO, 2009).
- MORRISON J.; TOOMS. S.; DEWI, R. 2007. DMA Management - Guidance Notes. IWA Publishing.
- OLSSON, G. 2012. Water and Energy. IWA Publishing.

PATIÑO, G.L.; SOLANO, F.J.M. 2002. Geographic Information Systems Applied to Urban Water Supply Systems. In: Urban Water Supply Handbook, Mays, L.W. (org.). 1ª ed., New York: Mcgraw-Hill Professional, 704p.

PENA, M.M. 2010. Aplicação e Análise de Metodologia IWA para o Controle de Perdas no Sistema de Abastecimento de Água da Baixada de Jacarepaguá/RJ. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PEREIRA, L.G.; ILHA, M.S.O. 2006. Avaliação da Submedição de Água em Edificações Residenciais de Interesse Social Localizadas em Campinas. In: 11º Encontro Nacional de Engenharia Ambiental, Florianópolis, SC.

SABESP. 2011. Norma Técnica SABESP NTS 281 - Critérios para Gestão dos Hidrômetros (Exceto 1ª ligação). São Paulo: SABESP.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO EM SANEAMENTO. 2013. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2011. Brasília: Ministério das Cidades, Governo Federal.

SOUZA, P.R.C. 2011. Eficiencia Energética, Seguridad y Pérdidas en Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable. Cuarto Encuentro Técnico Iberoamericano de Alto Nivel. Belo Horizonte, MG.

SOUZA, R.F.; BRUCOLI, A.C.; LUCARELLI, D.L. 1978. Bombeamento Direto nas Redes de Abastecimento através de Bombas de Velocidade Variável sem Reservatório de Distribuição. Revista DAE, n. 118, p. 186-195 (*apud* TSUTIYA, 2008).

TARDELLI FILHO, J. 2005. Controle e Redução de Perdas. In: Abastecimento de Água. TSUTIYA, M.T. (org.). 2ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

THORNTON, J.; STURM, R; KUNKEL, G. 2008. Water Loss Control Manual. 2ª ed., New York: Mcgraw Hill Professional, 632p.

TONETO JÚNIOR, R.; SAIANI, C.C.S.; RODRIGUES, R.L. 2013. Perdas de Água: Entraves ao Avanço do Saneamento Básico e Riscos de Agravamento à Escassez Hídrica no Brasil. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 51p.

TROW, S. 2011. Sistemas Inteligentes de Gerenciamento de Pressão. Revista Hydro, São Paulo: Aranda Editora, Ano 5, n. 53.

TSUTIYA, M.T. 1989. Redução do Custo de Energia Elétrica em Estações Elevatórias de Sistemas de Abastecimento de Água de Pequeno e Médio Portes. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo (*apud* Tsutiya, 2008).

TSUTIYA, M.T. 2005. Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

TSUTIYA, M.T. 2008. Abastecimento de Água: Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento - Guia do Profissional em Treinamento: Nível 2. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Salvador: Recesa, 139p.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 2009. Estimated Use of Water in the United States in 2005. Virginia: USGS.