



ALDO ROBERTO SILVA DINIZ

**AVALIAÇÃO DO CONTROLE DE PERDAS
FÍSICAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

**CAMPINAS
2012**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

ALDO ROBERTO SILVA DINIZ

**AVALIAÇÃO DO CONTROLE DE PERDAS
FÍSICAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ GILBERTO DALFRE FILHO

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO OU TESE DEFENDIDA PELO ALUNO ALDO ROBERTO SILVA DINIZ E ORIENTADO PELO PROF. DR. JOSÉ GILBERTO DALFRE FILHO.

ASSINATURA DO ORIENTADOR

CAMPINAS
2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

D615a Diniz, Aldo Roberto Silva
 Avaliação do controle de perdas físicas em redes de
 distribuição de água na região metropolitana de São Paulo /
 Aldo Roberto Silva Diniz. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.

 Orientador: José Gilberto DalFRE Filho.
 Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
 Urbanismo.

 1. Água - Distribuição. 2. Detectores de vazamento. 3.
 Abastecimento de água nas cidades. 4. Engenharia de
 abastecimento de água. I. DalFRE Filho, José Gilberto, 1976-.
 II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
 Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Evaluation of control physical losses in water distribution networks in
the metropolitan region of São Paulo

Palavras-chave em Inglês: Water - Distribution, Leak detectors, Water in cities,
Engineering water

Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Paulo VataVuk, Julio Gomes

Data da defesa: 03-09-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**AVALIAÇÃO DO CONTROLE DE PERDAS FÍSICAS EM
REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DA REGIÃO
METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

ALDO ROBERTO SILVA DINIZ

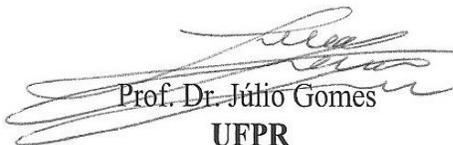
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho
Presidente e Orientador/ FEC/UNICAMP**



**Prof. Dr. Paulo Vatauvuk
FEC/UNICAMP**



**Prof. Dr. Júlio Gomes
UFPR**

Campinas, 03 de setembro de 2012

Dedicatória

A todos os pesquisadores que acreditam em um mundo melhor e participam dele dando sua contribuição.

Agradecimento

Primeiramente agradeço a Deus, por tudo que me permite.

Ao Professor Doutor José Gilberto Dalfré Filho, pela paciência, dedicação, caráter, amizade, incentivo e por aceitar a orientação deste trabalho.

Aos Professores Doutores Paulo Vatavuk, Professora Doutora Yvone de Faria Lemos de Lucca pelas análises e valorosas contribuições a este trabalho.

À Sabesp, em especial ao meu *coach* Tecnólogo Mario Alba Braghiroli, por me conduzir à engenharia na redução de perdas de água e por todas as oportunidades. Ao Eng. Alex Orellana, por seu companheirismo acadêmico. Aos Eng. José Júlio P. Fernandes, Sebastião Matos de Carvalho e Paulo Rastelli Junior pelo apoio. Ao meu supervisor e professor José Gilberto Kuhl pela compreensão e apoio.

À professora Marli do Nascimento pela contribuição na dissertação.

Agradeço aos meus queridos pais, Lazaro Pedro Diniz e Maria de Fátima Silva, por tudo que sou e por sempre me apoiarem. Agradeço também a minha esposa Raquel de Fatima Magano Diniz por me apoiar nesta empreitada contínua. Aos meus queridos e amados filhos (as) Alef Magano Diniz, Matheus Magano Diniz, Roberta Frangakis Diniz e Brida Magano Diniz, que intensificam a minha vida e trazem muita alegria e ainda mais motivação para concluir este trabalho, e que eles possam entender os momentos que não pude me dedicar a eles durante este período.

E finalmente a todos que tiveram alguma contribuição neste trabalho e por hora não tenha recordado.

*“A água é o sangue da terra, sem ela nosso mundo
não é nada.”*

Manoel Maria Barbosa Du

RESUMO

DINIZ, Aldo Roberto S. **Avaliação do controle de perdas físicas em redes de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo**. Campinas: Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2012. 99p.

O presente trabalho apresenta uma avaliação de um método para o controle de perdas físicas de água, caracterizando-as, de maneira a priorizar as ações de combate e redução de perdas físicas. Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica, em que é apresentada a conceituação geral sobre perdas de água, suas causas e ocorrências, indicadores, ações para redução, e uma abordagem detalhada quanto aos métodos existentes para avaliação de perdas e as ferramentas disponíveis. O método de avaliação para o controle das perdas físicas baseia-se no balanço hídrico, utilizando o *software* gratuito desenvolvido pela AWWA (*American Water Works Association, Water Audit 4.0*) e foi aplicada no estudo de caso do sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), denominado setor Casa Verde. Foram levantados os dados de controle do sistema e realizados os ensaios de campo, com medições de pressão para determinação do local dos vazamentos não visíveis, auxiliando na sua caracterização e permitindo a priorização das ações de combate às perdas físicas. Os resultados do diagnóstico da localização das perdas foram analisados, desenvolvendo-se uma estratégia para a redução de perdas físicas.

Palavras-chave: controle de perdas físicas, redes de distribuição de água, indicadores, detecção de vazamentos.

ABSTRACT

DINIZ, Aldo Roberto S. **Evaluation of control physical losses in water distribution networks in the Metropolitan Region of São Paulo**. Campinas: Thesis (MA) – School of Civil Engineering, Architecture and Urbanism, UNICAMP, 2012. 99p.

This paper presents an evaluation method for the control of physical losses of water, aiding in determining the profile of losses, allowing for better prioritization of actions to combat and reduce physical losses. For the development of this evaluation was performed an extensive literature review, where it shows a general concept on water loss, its causes and events, indicators, actions to reduce, and as a comprehensive approach to existing methodologies to assess losses and tools available. The assessment of physical losses presented here is the beginning through the water balance, using free software developed by AWWA (*American Water Works Association, Water Audit 4.0*), was applied to the water supply system in the Metropolitan Region of São Paulo (MRSP) industry called Casa Verde. Data were the basic control system and field trials carried out with pressure measurements and tests to determine the location of leaks not visible. The assessment was applied in a supply sector of the northern area of the metropolitan region, with characteristics of controlled pressure. Diagnostic results of the losses were consistent with expectations. Depending on the results for this sector should be developed a specific strategy for the reduction of physical losses and method for controlling physical losses of water, aiding in determining the profile of losses, allowing for better prioritization of actions to combat and reduce physical loss.

Key words: *control of physical losses, water distribution networks, leak detection.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 3.1 | Índice de perdas de faturamento em diferentes países. | 05 |
| Figura 3.2 | Índice médio de perdas de faturamento entre participantes do SNIS | 05 |
| Figura 3.3 | Mapa temático índice perdas região regional | 15 |
| Figura 3.4 | Sistema de blocos. Projeto EFICAZ | 17 |
| Figura 3.5 | Controle das perdas físicas. Projeto EFICAZ | 18 |
| Figura 3.6 | Calculo do balanço hídrico. NetPerdas. | 22 |
| Figura 3.7 | Controle da vazão mínima noturna. | 23 |
| Figura 3.8 | Ruído em redes de distribuição de água. | 25 |
| Figura 3.9 | Propagação do som e tipos de materiais | 27 |
| Figura 3.10 | Geofone eletrônico | 28 |
| Figura 3.11 | Geofone mecânico | 28 |
| Figura 3.12 | Correlacionadores de ruídos | 30 |
| Figura 3.13 | Princípio de funcionamento | 31 |
| Figura.3.14 | <i>Data loggers</i> de ruídos | 32 |
| Figura 3.15 | Esquema do sistema completo | 37 |
| Figura 3.16 | Redução de pressão por vazão | 38 |
| Figura 3.17 | Controle por tempo de VRP | 38 |
| Figura 4.1 | RMSP e setor Casa Verde em São Paulo | 39 |
| Figura 4.2 | Redes e ramais prediais no sistema | 40 |
| Figura 4.3 | Em azul, pontos do mapeamento de pressão e em vermelho, os vazamentos demarcados em planta | 45 |
| Figura 4.4 | Correlacionador de ruídos | 46 |
| Figura 5.1 | Médias mensais da vazão diária do setor Casa Verde nos anos de 2008 e 2009. | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 3.1 | Componentes e características da VRP. | 36 |
| Tabela 4.1 | Vazões de projeto do setor Casa Verde. | 42 |
| Tabela 4.2 | Dados de entrada e resultados do processamento. | 44 |
| Tabela 4.3 | Demanda máxima diária do setor Casa Verde. | 44 |
| Tabela 5.1 | Indicadores mensais de pesquisas de vazamentos não visíveis. | 50 |
| Tabela 5.2. | Indicadores anualizados de pesquisas de vazamentos não visíveis. | 50 |
| Tabela 5.3 | Balanço hídrico setor Casa Verde MN 2008 evolução mensal. | 53 |
| Tabela 5.4. | Balanço hídrico setor Casa Verde MN 2009 evolução anualizada. | 54 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------|---|
| <i>AWWA</i> | <i>American Water Works Association</i> |
| <i>BABE</i> | <i>Background and Bursts Estimates</i> |
| <i>Bottom-up</i> | De baixo para cima (tradução) |
| CPF | Controle de Perdas Físicas |
| DMA | <i>District Metered Area</i> |
| DMCs | Distritos de Medição e Controle |
| EPAL | Empresa Portuguesa das Águas Livres |
| <i>ILI</i> | Índice de Infraestrutura de fugas (tradução) |
| <i>IPT</i> | Instituto de Pesquisas Tecnológicas |
| <i>IWA</i> | <i>International Water Association</i> |
| <i>IAWQ</i> | <i>International Water Quality Association</i> |
| <i>IWSA</i> | <i>International Water Supply Association</i> |
| <i>JICA</i> | <i>Japan International Cooperation Association</i> |
| LNEC | Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Portugal) |
| mca | Metros de Coluna de Água |
| MN | Unidade de Negócio Metropolitana Norte da Sabesp |
| NBR | Norma Brasileira Regulamentada |
| <i>OFWAT</i> | <i>Office of Water Services</i> |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PEAD | Polietileno de Alta Densidade |
| PNCDA | Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água |
| PMSS | Programa de Melhoria do serviço de Saneamento |
| PVC | Policloreto de Vinila |

| | |
|-----------------|---|
| RDA | Rede de Distribuição de Água |
| RMSP | Região Metropolitana de São Paulo |
| SABESP | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo |
| SDA | Sistema de Distribuição de Água |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| SIGNOS | Sistema de Informações Geográficas no Saneamento |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações de Saneamento |
| <i>Top-down</i> | De cima para baixo (tradução) |
| <i>UK</i> | <i>United Kingdom</i> |
| VRPs | Válvulas redutoras de pressão |
| <i>WLTF</i> | <i>Water Loss Task Force</i> |
| ZMC | Zonas de Medição e Controle |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------------|--|
| L/dia | Litros/dia |
| L/l.dia | Litros/ligações.dia |
| l/s | Litros/segundos. |
| m ³ | Metros cúbicos |
| km | Quilômetros |
| IP | Indicador Percentual |
| IPR | Índice de perdas por ramal |
| T | Percentual do ano em que o sistema está pressurizado |
| IPER | Índice de perdas por extensão de rede |
| IIE | Índice Infraestrutural de Perdas |
| Lm | Comprimento de rede |
| Nc | Número de ramais |
| Lp | Extensão entre a testada do imóvel e o hidrômetro |
| P | Pressão média de operação |
| Q ₁ | Vazão do vazamento à pressão P ₁ |
| Q ₀ | Vazão do vazamento à pressão P ₀ |
| P ₂ | Pressão no instante 2 |
| P ₁ | Pressão no instante 1 |
| P ₀ | Pressão no instante 0 |
| N ¹ | Coeficiente exponencial da relação vazão/pressão |
| FCI | Fator de Condição da Infraestrutura |

Sumário

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Introdução. | 1 |
| 2. | Objetivo. | 3 |
| 2.1 | Objetivos Gerais. | 3 |
| 2.2 | Objetivos Específicos. | 3 |
| 3. | Revisão Bibliográfica. | 4 |
| 4. | Materiais e Método. | 39 |
| 4.1 | Descrição dos Parâmetros Hidráulicos do Setor Casa Verde. | 41 |
| 4.2 | Simulações. | 42 |
| 4.3 | Controle Ativo dos Vazamentos | 45 |
| 4.4 | Aplicação do Método do Balanço Hídrico. | 46 |
| 5. | Resultados e Análise. | 49 |
| 6. | Conclusões | 56 |
| 7. | Referências Bibliográficas. | 58 |
| 8. | Anexo. | 63 |

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, são muitas as dificuldades das empresas de saneamento em manter o sistema de abastecimento de água tratada funcionando com a eficiência desejada. O cenário de mudanças climáticas, que causam temperaturas gradativamente elevadas, a expansão demográfica, que demandam o aumento do consumo, a contaminação de mananciais, que compromete a oferta de água para o abastecimento da população e a limitação dos investimentos estão entre os principais desafios para se manter uma rede de abastecimento de água eficiente.

Contudo, há casos em que a situação tornou-se crítica devido à precariedade das redes, dado o processo de envelhecimento das mesmas. Deve-se levar em consideração a variabilidade dos materiais que compõem as redes de abastecimento (fibrocimento, ferro fundido, poli cloreto de vinil - PVC, polietileno de alta densidade - PEAD), bem como a variabilidade nas datas de implantação. Assim, estabelecer modelos ou técnicas de renovação e reabilitação das redes de abastecimento, com amplo espectro de aplicação, não é tarefa simples. Neste cenário, é essencial, como tarefa primeira, estabelecer o controle de perdas físicas.

Segundo THORNTON, STURM e KUNKEL (2008) o somatório das perdas físicas (reais) e não físicas (aparentes), mais consumo não faturado autorizado é definido como água não faturada. O Banco Mundial, conforme KINGDOM, LIEMBERGER E MARIN (2006), estima que os valores de água não faturada em todo o mundo sejam, em volume, 48,6 bilhões de m³/ano e que o volume de perdas reais que ocorrem nos países em desenvolvimento seriam suficientes para abastecer cerca de 200 milhões de pessoas. Isto, de acordo com o Banco Mundial, revela uma Concessionária de água mal administrada, sem autonomia, responsabilidade e habilidades técnicas e gerenciais necessárias para fornecerem um serviço de confiança para a sua população. Nota-se que

levar a água tratada aos mais diversos setores de qualquer localidade passa por uma série de desafios e obstáculos e, neste cenário, a redução de perdas é assunto premente.

O efetivo controle de perdas físicas é feito através de quatro atividades básicas: o gerenciamento das pressões, o controle ativo de vazamentos, a velocidade e a qualidade dos reparos e o gerenciamento da infraestrutura. O gerenciamento de pressões procura minimizar as pressões do sistema e a faixa de duração de pressões máximas, enquanto asseguram os padrões mínimos necessários para o atendimento adequado dos consumidores. Este objetivo é atingido pela setorização dos sistemas de distribuição, pelo controle de bombeamento direto na rede (“*boosters*”) ou pela introdução de válvulas redutoras de pressão (VRP's).

O controle ativo de vazamento se opõe ao controle passivo. O controle passivo é, basicamente, a atividade de reparar os vazamentos apenas quando se tornam visíveis. Já, no controle ativo, emprega-se mais comumente a pesquisa de vazamentos não visíveis, realizada através da escuta dos vazamentos, por geofones mecânicos ou eletrônicos, correlacionadores de ruídos e o armazenamento de ruídos. Essa atividade reduz o tempo de vazamento, ou seja, quanto maior for o controle da estrutura física e dos seus indicadores, maior será a taxa de vazão anual utilizada pelos consumidores.

Pesquisas que levam a uma melhor eficiência do sistema de distribuição de água e do controle das perdas físicas devem ser ampliadas, de forma a acompanhar a evolução do controle de perdas no contexto do mundo globalizado, assim como os novos desafios que se apresentam. O tema de redução de perdas de água tem-se desenvolvido rapidamente nos últimos anos, sobretudo com o avanço das tecnologias de informática e com a obtenção de dados dos sistemas de abastecimento de água no Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho apresenta uma avaliação do método denominado Balanço Hídrico para redução das perdas de vazamentos não visíveis e redução de pressão nas redes de distribuição de água. Desta forma, o trabalho também auxiliará as Concessionárias a priorizar as ações de combate e redução das perdas, com maior eficácia.

Os resultados foram aferidos com um modelo computacional livre *Water Audit 4*, disponibilizado pela *American Water Works Association (AWWA)*. Empregando o *software* gratuito, o método estará disponível a todos que desejarem e se interessarem, podendo ser aplicado em qualquer sistema de abastecimento de água que tenha os dados necessários.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Para tanto, o método foi aplicado em um estudo de caso no setor de abastecimento Casa Verde, contido no sistema produtor Cantareira, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme GUMIER (2005) o relatório *Water Resources Management Policy Paper* ONU (1993), elaborado pelo Banco Mundial, alertava o mundo para a iminente escassez de água em algumas regiões do planeta, principalmente nos grandes centros urbanos, prevendo que a água será o bem mais escasso no século XXI, tornando o suprimento da demanda o principal desafio para a humanidade, é recomendando um gerenciamento cuidadoso dos recursos hídricos disponíveis, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Dentre as propostas apresentadas no referido relatório está o gerenciamento adequado dos sistemas de abastecimento urbanos e a necessidade premente de implementar políticas e programas voltados à conservação e uso racional da água. Indicadores de perdas de água em sistemas de abastecimento urbanos de diversos países apontam para índices médios de 17% de perda de toda a água captada e tratada, como mostra a Figura 3.1, apresentada no documento técnico de apoio A-2 do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água PNCD (1998).

No Brasil, o órgão governamental responsável pela coleta de dados de perda de faturamento nas Concessionárias de água é o Ministério das Cidades, pelo SNIS (Sistema Nacional de Informações do Saneamento). Em 2009, este Ministério divulgou que a média nacional foi de 37,1% de perda de faturamento. A figura 3.2 apresenta este índice de perda de faturamento por Concessionária regional.

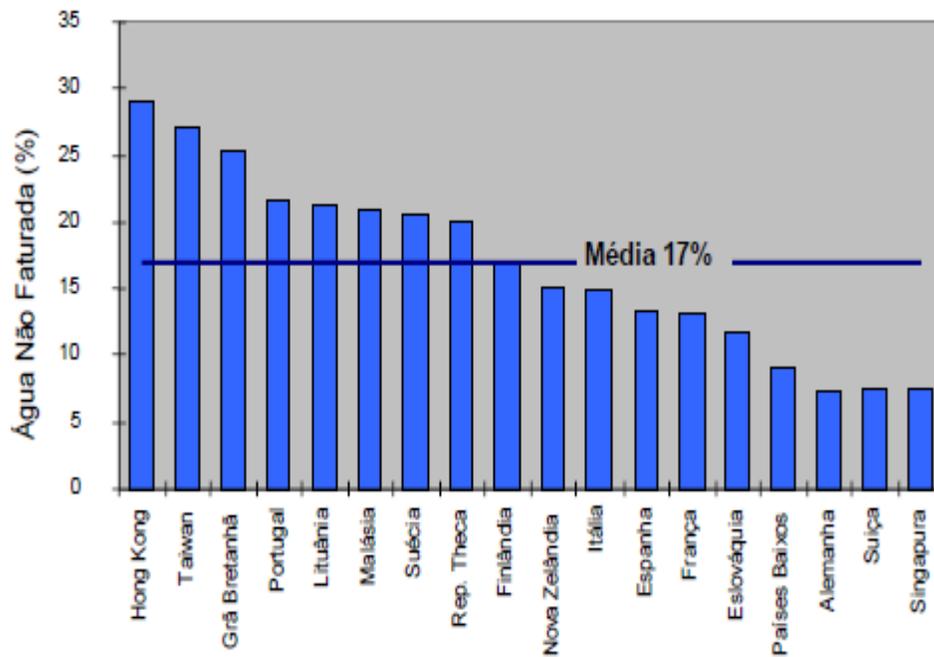


Figura 3.1. Índice de perdas de faturamento dos países PNCDA, (1998).

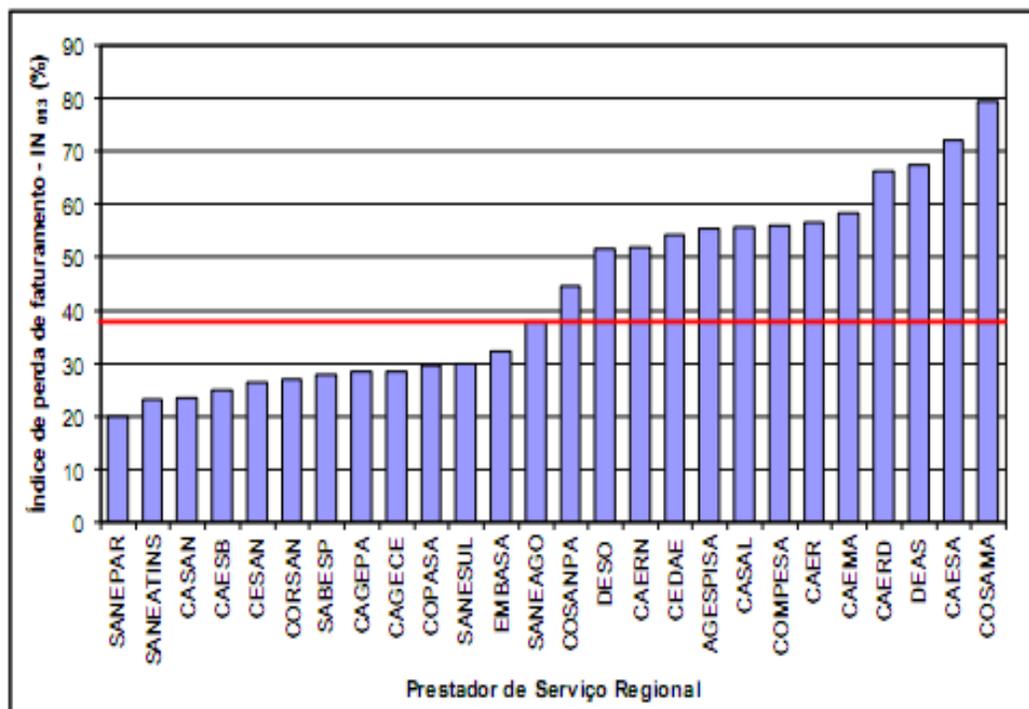


Figura 3.2. Índice médio de perdas de faturamento entre participantes do SNIS (2009).

Nota-se o grande desafio na redução do índice de perdas de faturamento. Ademais, há uma variação de, aproximadamente, 60% ao se comparar a Concessionária com menor índice (SANEPAR) com aquela de maior índice (COSAMA).

De acordo com CORTES *et al.* (1997), a perda de água pode ser um fator limitante no desenvolvimento de redes de distribuição. Como um dos exemplos, os autores citam que, de 1990 a 1992, aproximadamente, 36% de perda de água foi constatada em diferentes sistemas no México. Conforme CORTES *et al.* (1997) aproximadamente 17% das conexões em todas as cidades estudadas já apresentaram vazamentos. Por exemplo, na cidade de Xalapa, no México, 9% das ligações vazaram. No entanto, 38% do volume aduzido foi perdido. Logo, não há relação direta entre o número de vazamentos e a vazão de água perdida.

Em um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (2007), uma avaliação do índice de submedição médio nos hidrômetros instalados na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), chegou ao índice de 15% a 17% na submedição do volume de água efetivamente consumido, isto é volume real de água consumida.

Um dos principais papéis do estado é prover aos usuários água com qualidade e em quantidade suficiente. PARK, LAMBERT e HAIMES (1998) citam que o sistema de distribuição de água baseia-se em componentes vitais que incluem os reservatórios, as tubulações, as bombas, as válvulas, entre outros. O desempenho destes componentes depende de uma série de fatores humanos e técnicos, do nível de investimento e de manutenção. Os recursos públicos, cada vez mais escassos, tornam o controle de fugas uma questão essencial.

COVAS (1998) relata que, inicialmente, muitos autores não desenvolveram estudos sobre controle de perdas físicas para as redes de distribuição de água, mas sim para redes da indústria química, em que as fugas dos fluidos, líquidos ou gasosos, podem provocar graves problemas para o ambiente. No entanto, o autor afirma que as conclusões para as redes do setor químico se adequam as redes do setor da distribuição da água.

ALEGRE *et al.* (2000), no intuito de tornar comparáveis as ações voltadas ao controle das perdas físicas de água no sistemas hidráulicos, propõem uma conceituação onde as perdas reais (físicas) compreendem os vazamentos de água existentes no sistema até o medidor do cliente. Os vazamentos podem ser classificados em três tipos, os vazamentos visíveis, os vazamentos não visíveis, detectáveis por equipamentos acústicos, e os vazamentos inerentes. Vazamentos visíveis são aqueles facilmente notados pelos técnicos da companhia e pela população, pois afloram à superfície tornando-se visíveis. Geralmente, os vazamentos visíveis apresentam grandes vazões de perdas por curtos períodos de ocorrência, porque são rapidamente identificados e reparados para restabelecimento do abastecimento. Os vazamentos não visíveis compreendem os vazamentos que não afloram à superfície. Os vazamentos não visíveis podem ser detectados ou não detectados por equipamentos acústicos de pesquisa. Os vazamentos indetectáveis são os vazamentos inerentes. Os vazamentos não visíveis detectáveis são vazamentos de menor vazão do que os vazamentos visíveis, e maior vazão do que os vazamentos inerentes. Quanto ao tempo de ocorrência, eles podem perdurar por alguns dias, meses ou por anos, dependendo da política do controle ativo de vazamentos. Finalmente, os vazamentos inerentes compreendem os vazamentos que, individualmente, apresentam pequenas vazões, entretanto, constituem-se em parcela significativa das perdas por vazamentos, pois ocorrem por longos períodos de tempo uma vez que não são detectáveis por métodos acústicos de localização dos vazamentos. Os

vazamentos inerentes podem ser quantificados pela aplicação de técnicas de estanqueidade em áreas de limites definidos.

FARLEY e TROW (2003) destacaram que, em cada sistema de abastecimento, o número e a importância relativa destes três componentes de perdas apresentam características diferentes, e não há situação comum para análise. Fatores como condições físicas do terreno, tipo de solo, topografia, tipo de material das tubulações e pressão de operação da rede afetam a proporção entre as parcelas de perdas responsáveis para cada tipo de vazamento.

Para ALEGRE *et al.* (2000), o volume anual de perdas através de todos os tipos de fissuras, rupturas e extravasamentos dependem da frequência, da vazão e da duração média de cada fuga. As perdas físicas podem ser severas ou indetectáveis por meses ou anos dependendo do tipo de vazamento existente e da tecnologia utilizada para detectá-lo. O volume perdido depende principalmente da política do controle ativo dos vazamentos e das características físicas e operacionais da rede: a pressão de operação, frequência de novos vazamentos, proporção de vazamentos visíveis, tempo de conhecimento, localização e reparo dos vazamentos, e nível de vazamentos inerentes que representam os vazamentos não detectáveis com uso das atuais tecnologias disponíveis.

Perdas não físicas correspondem aos volumes não faturados, ou seja, a água que é consumida pelo usuário e não faturada pelo serviço. São normalmente expressivas e podem representar 50% ou mais do percentual de água não faturada, dependendo de aspectos técnicos como critérios de dimensionamento e manutenção preventiva de hidrômetros, e de procedimentos comerciais e de faturamento, que necessitam de um gerenciamento integrado. A grande dificuldade para o controle e redução das perdas não físicas, assim como no caso das perdas físicas, reside exatamente na questão do gerenciamento integrado.

Como a redução de perdas requer ampla integração, definição clara e objetiva e grande participação de todo o serviço, muitos programas de controle não são bem sucedidos ou têm os resultados positivos anulados em curto espaço, se as transformações forem de caráter temporário, conforme SILVA (1998).

Para o indicador de desempenho detalhado a IWA (2000) recomenda a utilização do Índice de Perdas da Infraestrutura (ILI - *Infrastructure Leakage Index*) que é a relação entre as perdas físicas atuais (CARL - *Current Annual Real Losses*) e as perdas físicas inerentes (UARL - *Unavoidable Annual Real Losses*) que representam a parcela das perdas por vazamentos não detectáveis com as atuais tecnologias. O cálculo das perdas físicas inerentes (UARL) depende da extensão das redes, do número de ligações, da extensão da ligação até o micro medidor e da pressão média de operação. O índice de perdas da Infraestrutura é uma medida da efetividade da manutenção do sistema, incluindo a pesquisa de vazamentos, a velocidade dos reparos e a qualidade dos materiais. Para cálculo do índice UARL, em casos cujos comprimentos das ligações são desprezíveis, considerando os valores apresentados pela IWA (2000), pode-se utilizar a equação (1) apresentada pela IWA (2000).

$$\text{UARL (L/dia)} = (18 \times L_m + 0,8 \times N_c) \times P, \quad (1)$$

Em que L_m é extensão de rede em km, N_c é o número de ligações e P é a pressão média em mca.

A pesquisa realizada por TARDELLI FILHO (2004) destaca que a pressão exerce forte influência na frequência de vazamentos, bem como na vazão perdida através desses. A simples aplicação das equações da hidráulica leva a imaginar que a vazão dos vazamentos na rede de distribuição de água se comporta de acordo com a relação quadrática da pressão. Porém, isso é verdade apenas nos casos de orifícios que não variam de tamanho com a

alteração da pressão (seção constante), como é o caso, de um furo por corrosão em uma tubulação de ferro fundido. O modelo FAVAD - *Fixed and Variable Area Discharge*, desenvolvido em 1994 no Reino Unido por John May, apresentou um equacionamento para as várias situações encontradas nas redes de distribuição.

A vazão dos vazamentos se relaciona exponencialmente com a pressão, conforme apresentado na equação (2) (LAMBERT, 2002):

$$Q_1 / Q_0 = (P_1 / P_0)^{N_1} \quad (2)$$

Em que Q_1 é a vazão do vazamento à pressão P_1 , Q_0 é a vazão do vazamento à pressão P_0 e N_1 é um expoente. O expoente N_1 pode variar entre 0,5 e 2,5 dependendo do material da tubulação. Para tubos metálicos: $N_1 = 0,5$; Para tubos plásticos: $1,5 < N_1 < 2,5$. Para vazamentos inerentes: $N_1 = 1,5$ (LAMBERT, 2002).

Conforme ARIKAWA (2005), antes de 1900, o controle de perdas físicas era feito pelo Controle Passivo, ou seja, os reparos de vazamentos somente eram efetuados por intermédio de solicitação do usuário. Nessa época, as prestadoras de serviços de saneamento ainda não haviam implantado ações como a pesquisa de vazamentos e o controle de pressão. O controle ativo se desenvolveu com as medições de vazão, através da utilização de tubo Pitot, em zonas delimitadas. Ainda, por ARIKAWA (2005), 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 físicas passaram a ser monitoradas por meio do controle de pressão e da modelagem ativa das perdas.

SOARES (2007) desenvolveu um modelo com vistas às calibrações de sistemas hidráulicos, além da detecção e da localização de vazamentos nas

tubulações, através da resolução do problema inverso. O problema inverso consiste na minimização dos desvios entre os parâmetros observados e os simulados, tais como pressões e vazões monitoradas. O monitoramento dos volumes e da piezometria “in loco”, confrontado a modelagem hidráulica computacional, permite identificar pontos com indicio de anomalias nos sistema de distribuição de água que devem ser pesquisados para redução das fugas da rede de distribuição de água.

SABESP (2005) apresenta inovação onde a interação entre os modelos SIGNOS e *WATERCAD* possibilitam uma leitura espacial simultânea. O SIGNOS é um modelo que utiliza o sistema de informações geográficas (SIG), transferindo as informações do cadastro técnico e comercial para o modelador hidráulico *WATERCAD*. Assim, com maior velocidade de processamento, podem-se visualizar graficamente informações técnicas, comerciais e operacionais permitindo à empresa estabelecer planos de ação e direcionar investimentos de forma assertiva, cujos resultados esperados são redução dos custos de manutenção, diminuição de perdas pela identificação de concentração de vazamentos, renovação da infraestrutura e a melhoria dos serviços prestados aos clientes.

Observa-se em FANTOZZI *et al.* (2010) que há algumas dificuldades como basear-se em percentagens de volume com descontinuidades significativas, o que resulta em interpretação anômala de desempenho na gestão de perda de água. Segundo os autores, na cidade de Malta, o uso tradicional de percentagens por volume e as perdas por km de rede, tiveram sua configuração alterada em 2006. Na Áustria, um esquema de classificação baseado em desempenho no Índice de infraestrutura de fuga (ILI), e perdas por ligação de serviço, indicado pelo Banco Mundial, foram recentemente introduzidas. O uso crescente de ILI e de perdas por conexão de serviço na Itália, Croácia e Sérvia são notados. Os inúmeros problemas com o uso de percentagens para aferir e estabelecer metas têm sido documentados (por

exemplos, na Alemanha, pelo *Deutscher Verein Des Gas- Und Wasserfaches - DVGW*; na Inglaterra pelo *Office of Water Services - OFWAT*). Esta afirmação pode parecer contra intuitiva para aqueles que pensam que vazamentos visíveis são a principal contribuição para o controle de perdas. Contudo, um simples cálculo da análise mostra que, se vazamentos visíveis são reparados rapidamente, eles geralmente representam menos de 10% das perdas físicas. A maioria das perdas físicas de volume geralmente surge de vazamentos de ligações prediais, exceto em trechos de baixa densidade de ligações prediais. Taxas de fluxo de vazamento também variam de acordo com a pressão média P , para a influência do N_1 , podendo ser considerada como uma média próxima a 1,0 para sistemas com materiais de canalização mista conforme FANTOZZI *et al.* (2010).

Assim, as formas lógicas de equações relativas às perdas físicas (RL) em função do comprimento de rede (L_m) e número de ligações (N_s) são descritas nas equações de (3.1) a (3.3).

$$RL \text{ (L / dia)} = (A + B \times L_m \times N_s) \times P \quad (3.1)$$

$$RL \text{ (L / km de rede / dia)} = (A + B \times N_s / L_m) \times P \quad (3.2)$$

$$RL \text{ (L / ligação / dia)} = (A \times L_m / N_s + B) \times P \quad (3.3)$$

Em que A e B são coeficientes da rede, N_s / L_m é a densidade de conexões por km de rede e P é a pressão. Valores dos coeficientes A e B podem ser obtidos por meio de regressão linear, usando equação 3.2 ou 3.3, de dados de sistemas utilizados ou do uso de modelos de componentes BABE (*Background and Bursts Estimates*).

LAMBERT (1997) cita que este é o método de determinação dos vazamentos inerentes, possibilitando o cálculo estimado dos componentes das perdas físicas segundo três tipos distintos de vazamentos sendo, 1 - inerentes, 2 - vazamentos visíveis e 3 - vazamentos não visíveis. Assim, permite-se a

análise da fuga não visível, frequências de rompimentos, as taxas de vazão média e de duração dos vazamentos.

No Brasil, a situação ainda é muito crítica em termos de direcionamento dos recursos disponíveis. Em muitas cidades, ainda há um *déficit* grande de saneamento básico, seja pela falta de distribuição de água tratada para toda população, ou, principalmente, pela ausência de coleta e tratamento de esgotos. Dessa forma, o controle e redução de perdas correm o risco de ficar em segundo plano.

O PMSS/SNIS (2005) apresenta dados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos elaborados pelo Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS). Para representar a média regional dos índices de perdas de faturamento da Região Sudeste em 2005, foi elaborada a equação (3.4).

$$IPF = \frac{(VP - VS) - VF}{VP + VI} \quad (3.4)$$

Em que IPF é o índice de perdas de faturamento, VP é o volume produzido, VS é o volume de serviços, VF é o volume faturado e VI, o volume importado.

Em PMSS/SNIS (2005), são incluídas as perdas físicas (reais) e não físicas (aparentes), medidas pela relação entre os volumes faturados e disponibilizados para distribuição. Esta relação foi de 20% em grande porção da amostra. Na menor parte da amostra a relação foi de 60%, conforme figura 3.3, mapa temático. Porém, há Municípios com índices maiores que 70%. Isto demonstra que as elevadas perdas nos sistemas continuam preocupantes e há uma enorme disparidade entre as prestadoras deste serviço. O relatório indica que a questão de perdas deve ser considerada desde a etapa do projeto, e não apenas na operação do sistema. Além disso, o problema não é somente de

engenharia, mas também de recursos humanos, de comunicação, de contabilidade, de controle financeiro, de planejamento, de mobilização social, de educação e cultura. Uma informação importante para analisarmos a figura 3.3 é que o Estado de Minas Gerais é classificado com a melhor disponibilidade hídrica da região Sudeste e fornece cerca de 60% do volume utilizado para abastecer a região metropolitana de São Paulo (RMSP). Outro aspecto relatado em PMSS/SNIS (2005) é o aumento das perdas. Se nada for feito, haverá o surgimento de novos vazamentos, deterioração das redes de distribuição, envelhecimento do parque de hidrômetros e aumento das fraudes. Portanto, são necessários esforços para, primeiramente, conter estes fatos, para depois, reduzir as perdas.

TARDELLI FILHO (2004) destaca que há vários problemas associados às perdas de água, tais como o desempenho operacional, em que o nível de perdas é um dos principais indicadores de uma prestadora de serviços de saneamento. Altos índices de perdas demonstram ineficiência e desperdício, afetando a imagem da prestadora. Os aspectos financeiros significam redução de custos, aumento de faturamento e postergação de investimentos. Eventualmente, pode ocorrer a despressurização do sistema de distribuição e haver a contaminação da água pela entrada de agentes nocivos na tubulação. A questão da preservação dos recursos hídricos, considerando que os altos índices de perdas reais requerem a ampliação da captação, do tratamento e do transporte de volumes maiores de água do que o necessário, implicando em maiores gastos com energia elétrica e produtos para o tratamento. Além disto, se faz necessário buscar água cada vez mais longe.

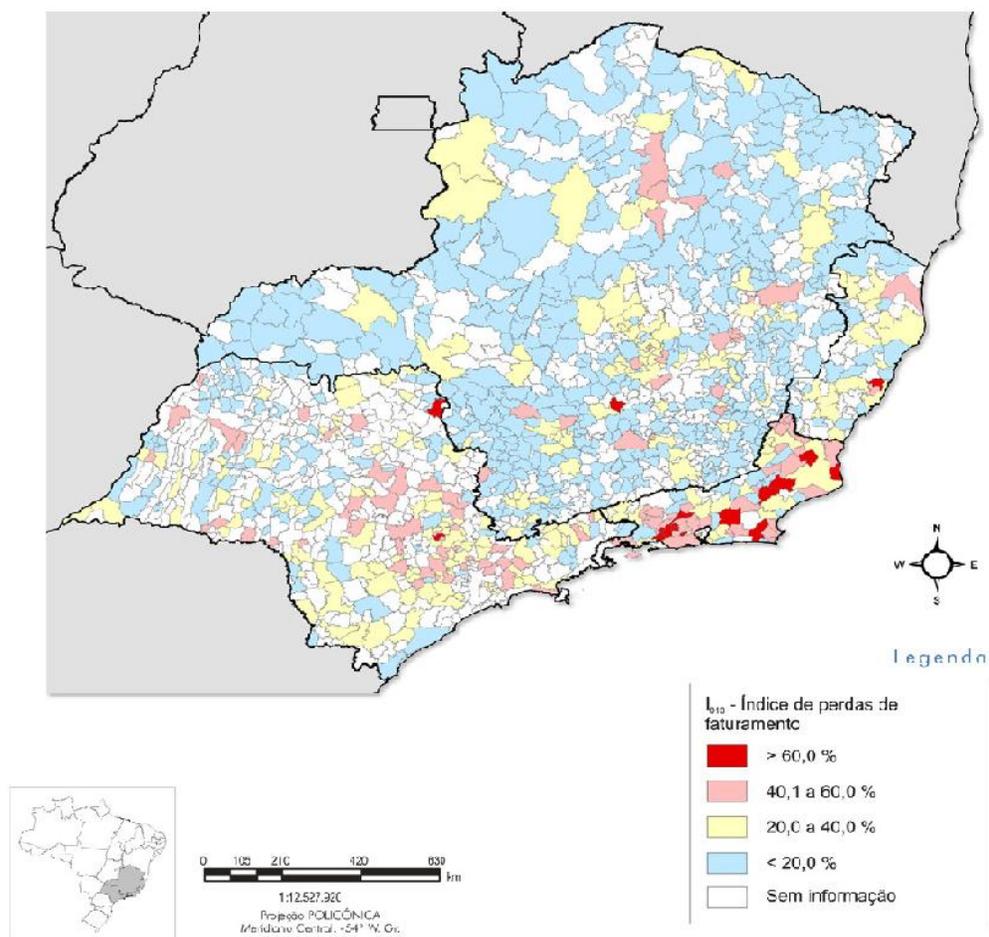


Figura 3.3. Mapa temático índice perdas regional. Fonte: PMSS/SNIS, (2005).

MELATO (2010) destaca que a realização de um diagnóstico de perdas bem feito e confiável é necessário. A maioria das prestadoras de serviços de água e saneamento calcula, periodicamente, o seu indicador, pois a avaliação de perdas totais é uma apuração simples e relativamente fácil de ser feita, sendo obtida simplesmente pela diferença entre o volume entregue ao sistema e os volumes autorizados e medidos. Porém, um diagnóstico adequado das perdas, através da quantificação das perdas físicas e das perdas não físicas é uma tarefa muito mais complexa, que exige a aplicação de hipóteses e a realização de testes e ensaios em campo. Por isso, a maioria das empresas não faz essa quantificação. Dessa forma, não há um correto direcionamento

das ações, com desperdício de recursos, os quais normalmente são escassos, e não há uma redução eficaz das perdas físicas

THORNTON *et al.* (2008) relatam que não é fácil obter melhor eficiência na redução das perdas de água nos sistemas. Trata-se de uma questão complexa, que necessita de um bom diagnóstico, levantamento de dados históricos, conhecimento técnico, cadastramento confiável, envolvimento, esforços e recursos contínuos e permanentes.

SABESP (2010) relata a cooperação técnica Brasil-Japão, focada no controle das perdas. Isto, pois, o Japão possui um dos menores índices de perdas, em torno de 5%. Para atingir este patamar de perdas, foram feitos investimentos de melhoria da qualidade da mão de obra, planejamento das atividades, aplicação de tecnologia para conhecimento das áreas críticas, procedimentos de reparo de vazamentos e de trocas de ramais. As etapas da gestão eficiente no controle de perdas basearam-se na abordagem por setor de abastecimento; na divisão do setor em DMCs (Distritos de Medição e Controle), a subdivisão em unidades ou blocos conforme figura 3.4.

SABESP (2010) apresenta o programa de medições, diagnóstico de pressão-vazamentos, simulação do desempenho hidráulico, identificação e definição de prioridades, análise das condições da infraestrutura, planejamento e execução das ações de controle de pressões, dos vazamentos e da infraestrutura, monitoramento e controle de parâmetros hidráulicos. O planejamento das ações e avaliações é apresentado na figura 3.5.

A (IWA) *International Water Association* é uma associação sem fins lucrativos de âmbito internacional criada oficialmente em 1999, da junção de duas outras associações internacionais: a *International Water Supply Association* (IWSA) e a *International Water Quality Association* (IAWQ). A missão da IWA é criar e fomentar uma rede mundial de profissionais ligados à

água, provendo serviços e produtos, através de conferências, seminários, publicações, fóruns, grupos de especialistas e forças tarefas, objetivando avançar nas melhores práticas para uma gestão sustentável de água. Conforme IWA (2010).

Sistema em Blocos (Estação de água de Kawasaki)

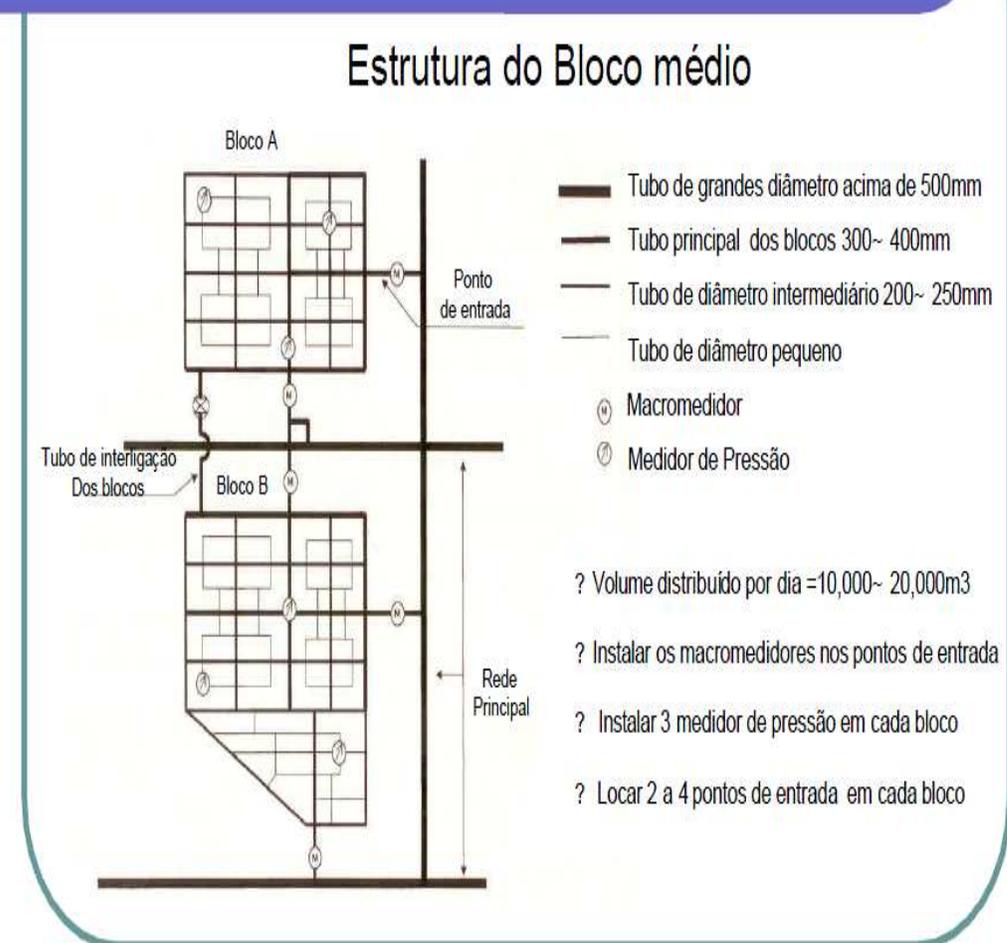


Figura 3.4. Sistema de blocos. Fonte: Projeto EFICAZ, Sabesp (2010).



Figura 3.5. Controle das perdas físicas. Fonte: Projeto EFICAZ, Sabesp (2010).

Em MELATO (2010) as forças tarefa da IWA foram criadas para que seus membros se concentrassem em assuntos específicos e desafiadores, para estabelecer as melhores práticas, incluindo sumários e manuais, além de definir as políticas da IWA com relação a aquele assunto estratégico.

Segundo a IWA (2010), com relação à questão perdas de água, destaca-se em 1996, a criação da Força Tarefa de Perdas de Água (*Water Loss Task Force*), cujo objetivo é desenvolver e promover as melhores práticas internacionais em gerenciamento de perdas de água através de grupos de atividade, trocar informações numa base internacional e estabelecer indicadores de desempenho padronizados e recomendados, publicar e manter atualizadas as bibliografias de trabalhos relevantes publicados, estudos de caso e manuais de melhores práticas no assunto perdas e manter uma ligação com a força tarefa de Indicadores de desempenho da IWA.

A partir da criação das forças tarefa da IWA, vários trabalhos foram elaborados. ALEGRE *et al.* (2000) padronizaram a terminologia e definição uma série de indicadores para sistemas de abastecimento de água, onde também foram definidos os indicadores de perdas, permitindo a comparação de índices de desempenho de diferentes empresas de diversos países, tamanhos, públicas, privadas, de diferentes graus de desenvolvimento e complexidade. ALEGRE *et al.* (2006) trouxe uma versão revisada e consolidada dos indicadores estabelecidos em 2000. FARLEY e TROW (2003) abordam um diagnóstico objetivando a redução de perdas, usando ferramentas adequadas para descobrir as melhores soluções para qualquer tipo de rede de distribuição. *District Metered Areas (DMA)*, que é um orientador para a atividade de implantação e gerenciamento de distritos pitométricos e *Guidance Notes: Leak Location and Repair*, que é um orientador para a atividade de pesquisa e reparo de vazamentos.

Conforme ALMEIDA (1999), SPRINT é um programa estabelecido pela União Européia que tem como objetivo promover a transferência de tecnologia na Europa. O SPRINT 257 – “*Managing Water Supply Systems and Leakage Control*” incentiva o uso de técnicas modernas de detecção e localização de fugas em áreas piloto situadas em diversos países (Portugal, Alemanha, Espanha, Grécia e Irlanda), e a elaboração de manuais de apoio, com vista à adoção de estratégias centradas de controle de perdas de água em sistemas de distribuição. O projeto teve como parceiros portugueses a EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. e o LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil e foi coordenado por uma empresa de consultoria inglesa. O foco principal apresentado é a estruturação das zonas de medição e controle (ZMC) e seu desenvolvimento.

A AWWA (2010) apresenta o modelador hidráulico de perdas disponibilizado através do site e denominado *Water Audit 4*, que proporciona ao seu usuário às adequações necessárias para estimativa dos volumes perdidos,

contemplando desde os sistemas mais simples no tocante ao uso de novas tecnologias, aos que se utilizam equipamentos de medição empregando tecnologia de ponta. Desta forma, pondera assim os níveis de imprecisão na medição de vazão e estima o volume dos vazamentos inerentes com base nas características do sistema apresentado. Com a finalidade de evitar equívocos na utilização desta ferramenta, o modelo *Water Audit 4*, oferece sinais de alerta quando as informações inseridas apresentam divergências no tocante as parcelas dos volumes que compõem a auditoria de perdas de água. O *software* livre possui em seus recursos os atributos decisórios que permitem múltiplas configurações de sistemas.

DINIZ, HURTADO e BRAGHIROLI (2003) apresentam a questão da ligação predial que sofre alterações consideráveis quando observados os diferentes sistemas concebidos no mundo. Em alguns países ou localidades não existe a medição predial, mas sim regional, desta forma a eficiência na contabilização das perdas é parcialmente prejudicada. Em outros casos, o medidor predial está localizado dentro da propriedade, o que amplia a extensão do ramal de água e representa em termos internacionais 90% das ocorrências de vazamentos na distribuição de água. Finalmente, tem-se o caso em que o medidor predial está situado fora da propriedade e bem próximo do registro de parada, sendo este o recomendado pela IWA. No que diz respeito a avaliação de perdas, MELATO (2010) sugere uma auditoria das águas, por técnicas de perdas reconhecidas e aplicadas internacionalmente. A auditoria de água identifica as perdas e o custo do volume de perdas para a prestadora do serviço. A auditoria tem como objetivo subsidiar a prestadora do serviço, com dados e resultados de medições e sistemas de controle, na seleção e na implementação de programas para redução de perdas no sistema de abastecimento de água. De acordo com os autores, existem dois métodos para avaliação geral das perdas:

- Top-down: conhecido como Balanço Hídrico ou das Águas;

- *Bottom-up*: conhecido como avaliação da vazão mínima noturna.

Além desses dois métodos, existe o método de análise de componentes de perdas reais BABE – *Background and Bursts Estimates*. Os três métodos serão apresentados a seguir.

O método *Top-down* (figura 3.6) consiste em avaliar as perdas por meio do cálculo do balanço hídrico pelo volume de água que entra no setor delimitado, menos o volume de água consumido por usuários. Neste método, são feitas amostras para determinar as perdas aparentes e, pela diferença, chega-se às perdas físicas. Recomenda-se utilizar o período de um ano para avaliação dos volumes. O balanço hídrico é uma forma estruturada de avaliar os fluxos, os usos e as fugas no sistema. É uma excelente ferramenta de gestão, pois daí podem ser gerados diversos indicadores de desempenho para o acompanhamento das ações técnicas, operacionais e empresariais.

SABESP (2005) apresenta o método *Bottom-up* que consiste no controle, utilizando a vazão mínima noturna, direcionado a avaliar as perdas por meio de pesquisas, testes e inspeções em campo de cada componente de perda, real ou aparente, e ainda para cada área específica, compondo, assim, a somatória das parcelas de volumes perdidos até a obtenção do volume total de perdas. Em função do método *Bottom-up* ser fundamentado em diagnósticos de campo, se apresenta como o método mais oneroso, porém de maior precisão.

Na figura 3.7, apresenta-se o gráfico de vazão mínima noturna em que se evidencia que a vazão noturna compreendida entre 02h00 e 04h00 tende a ser constante, pois ocorre o menor consumo e a maior parte deste volume refere-se às perdas físicas na rede de distribuição de água. Já, a vazão nos demais horários apresentados são maiores e com inclinações características do perfil de consumo.

Balanco Hídrico

Dados mensais.

| Limite | Data de Referência | Disponibilizado (m³) | Micromedido (m³) | Usos E.O.S. (m³) | Perda Total (m³) | Perda Real (m³) | Perda Aparente (m³) | Água Faturada (m³) | Água Não-Faturada (m³) |
|--------|--------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| MN | 08/2009 | 25.023.001 | 13.584.537 | 2.473.904 | 8.964.560 | 6.230.369 | 2.734.191 | 13.584.537 | 11.438.464 |
| MN | 09/2009 | 24.018.510 | 13.677.224 | 2.394.101 | 7.947.185 | 5.523.294 | 2.423.891 | 13.677.224 | 10.341.286 |
| MN | 10/2009 | 25.000.670 | 13.903.717 | 2.473.904 | 8.623.049 | 5.993.019 | 2.630.030 | 13.903.717 | 11.096.953 |
| MN | 11/2009 | 25.006.606 | 14.649.933 | 2.403.605 | 7.953.068 | 5.527.382 | 2.425.686 | 14.649.933 | 10.356.673 |
| MN | 12/2009 | 25.414.825 | 14.569.104 | 2.473.904 | 8.371.817 | 5.818.413 | 2.553.404 | 14.569.104 | 10.845.721 |

Mostrar registros por página.

| - MN - 12/2009 - Volumes (m³) - | | | | |
|--|---|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Entregue 23.006.407 90,5% | Disponibilizado 25.414.825 100,0% | Autorizado 17.043.008 67,1% | Micromedido 14.569.104 57,3% | Água Faturada 14.569.104 57,3% |
| | | Usos E. O. S. 2.473.904 9,7% | Perda Real 5.818.413 22,9% | Água Não-Faturada 10.845.721 42,7% |
| | | Perdido 8.371.817 32,9% | Perda Aparente 2.553.404 10,0% | |
| Produzido no S. Isolado 2.408.418 9,5% | | | | |

Figura 3.6. Calculo do balanço hídrico. Fonte: NetPerdas, SABESP, (2010).

O método de análise de componentes de perdas físicas (*Background and Bursts Estimates*) *BABE*, cuja tradução é “*estimativa de vazamentos inerentes e arrebatados*”, é acompanhada de uma série de estimativas e hipóteses referenciadas a uma combinação particular e de circunstâncias locais, relacionadas à frequência de vazamentos, vazão dos vazamentos, método de controle de vazamentos e o padrão de descarga de redes e requer informações de nível satisfatório de confiabilidade sobre o sistema. A avaliação de perdas reais usando o *BABE* objetiva avaliar os componentes de

vazamentos em uma determinada área, e comparar com resultados derivados de outras metodologias de análise como o Balanço de Águas e da Vazão Mínima Noturna ou, preferivelmente, ambas.

Todos os componentes e parâmetros envolvidos devem ser identificados separadamente e avaliados criteriosamente. Para tanto, é necessário estimar, a ocorrência de vazamentos inerentes, visíveis e não visíveis, a frequência de ocorrência dos vazamentos por ano, os tempos de duração dos vazamentos (conhecimento, localização, reparo), as condições de infraestrutura do sistema e a pressão média de operação.

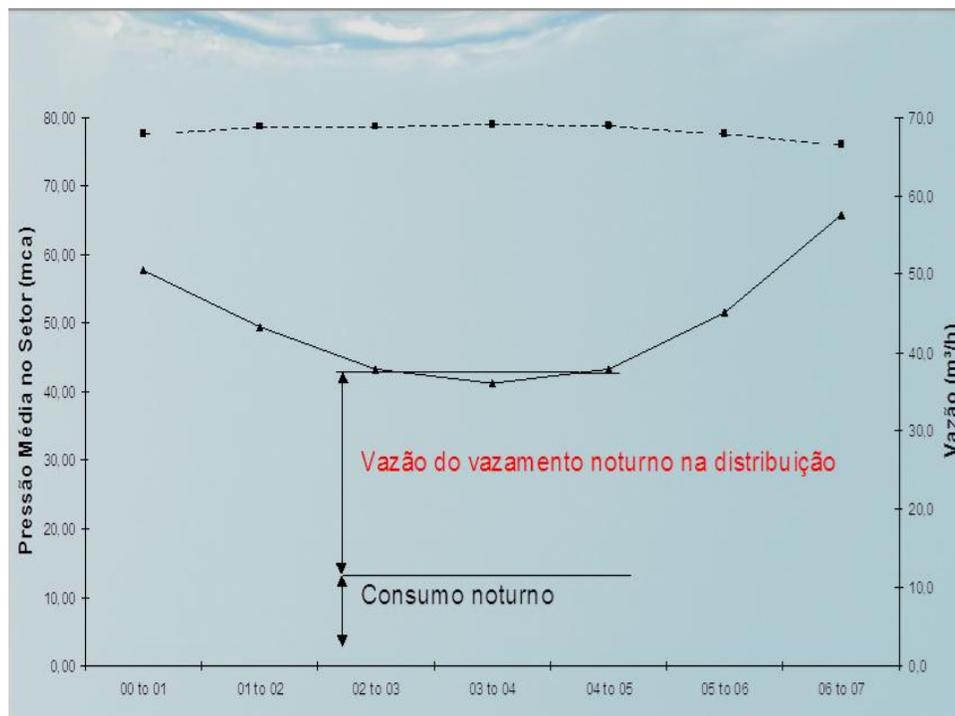


Figura 3.7. Controle da vazão mínima noturna. Fonte: SABESP (2005).

A representatividade de cada tipo de vazamento varia de área para área em função das características físicas e operacionais do sistema de abastecimento e das condições físicas do terreno. Por este motivo, a avaliação de perdas por vazamentos utilizando o conceito *BABE* requer ensaios específicos para cada área de análise, seguindo o procedimento de seleção de

áreas amostrais que sejam representativas para análise global da área de projeto.

No contexto da avaliação de perdas, outro conceito importante é o de medição de vazão. A medição de vazão é uma das análises do controle de perdas físicas em Sistema de Distribuição de Água (SDA), que se deve dedicar maior atenção, sendo levada em consideração a eficiência ou deficiências dos medidores, pois a base para geração dos indicadores de perdas são as medições macro realizadas em uma área delimitada pela setorização e a micro que compreende a medição do consumo de água das ligações dos consumidores.

Este é um processo de constante evolução dada a variedade das aplicações e das propriedades dos fluidos. A utilização de hidrômetros no Brasil é um exemplo de processo em constante evolução. As medições no abastecimento de água residencial e suas baixas vazões que ocorrem com a utilização das caixas de água diminuem a precisão da leitura dos equipamentos. Contudo, as tecnologias de medição com melhor precisão tem um alto custo inviabilizando a sua utilização em larga escala.

Já, a pesquisa de vazamentos pode ser realizada por meio da pesquisa acústica de vazamentos não visíveis. As perdas físicas estão diretamente ligadas aos vazamentos que ocorrem nas redes de distribuição de água (RDA) e podendo levar a graves perdas para a empresa de saneamento e seus clientes, as consequências podem ser desde uma poça d'água, ao desmoronamento de um ou mais imóveis, e ocasionalmente, levando até a perda de vidas humanas, acompanhados da necessidade de interrupção do abastecimento da região até que a manutenção corretiva seja realizada.

SABESP (2005) destaca que a pesquisa acústica de vazamentos consiste em detectar o ruído provocado pela passagem da água pressurizada

através de um furo na tubulação ou conexão (figura 3.8). A pesquisa consiste em auscultar o ruído do vazamento em válvulas; hidrantes; cavaletes em contato com a tubulação, ou sob a superfície do terreno ao longo da tubulação. Três causas produzem o ruído do vazamento de água: o líquido, ao atravessar o orifício, faz vibrar o tubo que produz um ruído de alta frequência, situando, na maioria dos casos, na faixa de 500 Hz a 800 Hz; o jato do líquido que se choca contra o solo produz um ruído na faixa de 20 Hz a 300 Hz. O choque do líquido com o material existente em volta da tubulação produz um som externo, e sua frequência e intensidade depende da pressão e do impacto; o ruído provocado pela circulação do líquido, juntamente com as partículas do solo na cavidade provocada pelo vazamento, próxima ao tubo, sendo de baixa frequência, entre 20 Hz a 300 Hz.

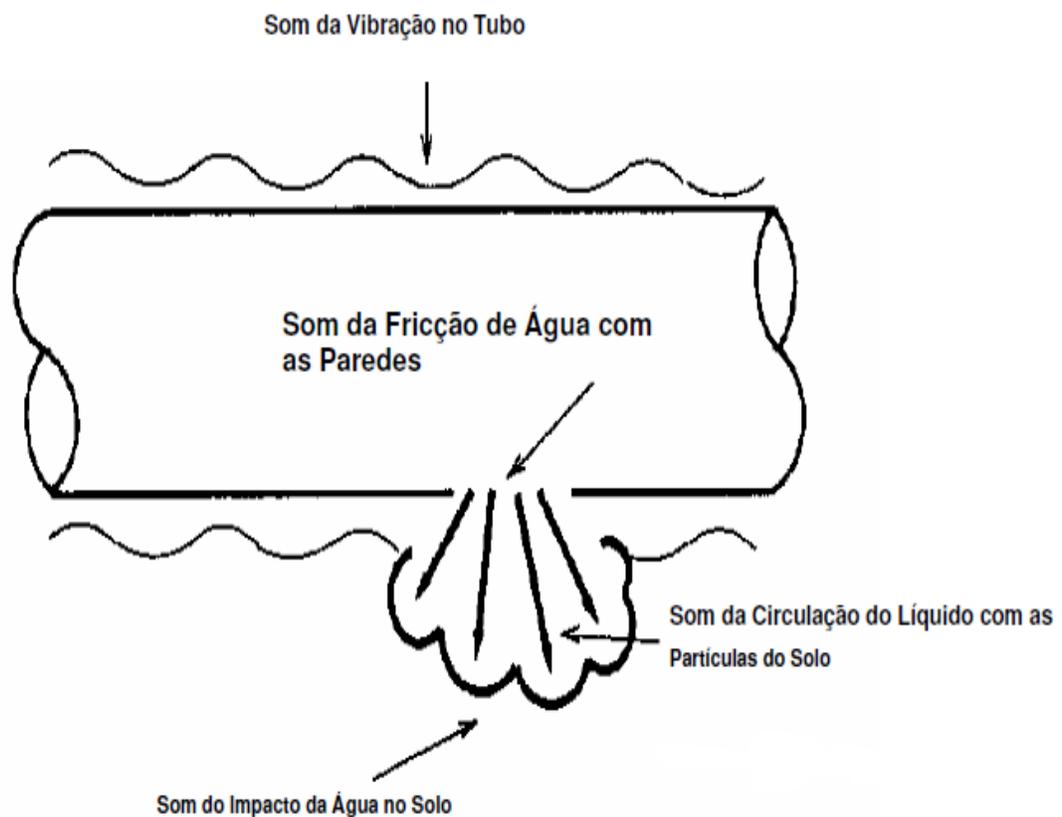


Figura 3.8. Ruídos em redes de distribuição de água. Fonte SABESP (2005).

A detecção de um vazamento consiste então em encontrar o local exato onde ele está ocorrendo, reduzindo assim o trabalho de escavação, racionalizando a manutenção corretiva. A propagação do som do ruído ocorre nos dois sentidos da tubulação, com velocidade que depende do material que a mesma é constituída. A frequência e a intensidade dependem da pressão do líquido, do material da tubulação, do tipo de solo e do tipo de superfície (figura 3.9), cujos detalhes são apresentados a seguir.

- Pressão: necessariamente a pressão mínima de 15 mca. (metros de coluna de água) para a detecção acústica do vazamento não visível.

- Material e diâmetro da tubulação: técnicas acústicas de detecção de vazamentos podem ser usadas em qualquer tipo de material. Entretanto, as tubulações metálicas são melhores condutoras do que as tubulações não metálicas.

- Tipo de solo: o tipo de solo exerce grande influência no som transmitido à superfície.

- Tipo de superfície: o tipo de superfície sobre o qual o equipamento é posicionado também exerce influência sobre a transmissão sonora do ruído. A terra tende a abafar o som transmitido, enquanto o asfalto e o concreto são bons ressonantes, provocando um som uniforme sobre a superfície, conforme apresentado na figura 3.10.

Já, para realização da pesquisa acústica podem ser utilizados os seguintes equipamentos: haste de escuta, geofone eletrônico ou mecânico, armazenador e correlacionador de ruídos SABESP (2005). A haste de escuta é um equipamento composto de um amplificador mecânico ou eletrônico, acoplado a uma barra metálica, destinado a captar ruídos de vazamentos nos pontos acessíveis dos acessórios da rede de distribuição de água (cavaletes,

registros, hidrantes, etc.). Embora de tecnologia simples, é um equipamento largamente utilizado pelos operadores de sistemas de abastecimento de água.

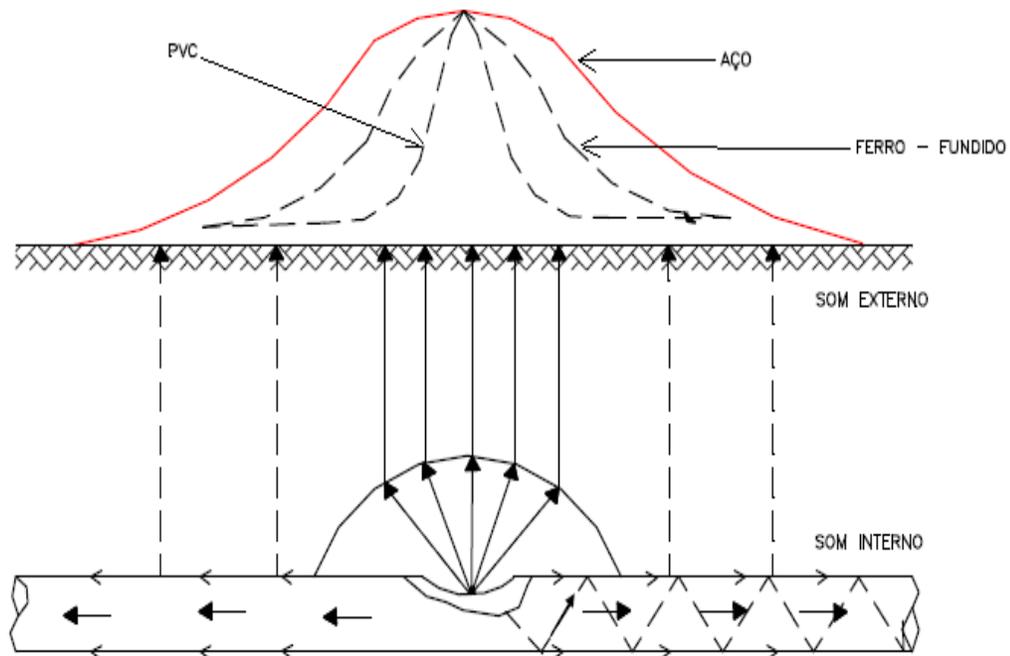


Figura 3.9. Propagação do som e tipos de materiais. Fonte SABESP (2005).

O geofone eletrônico (figura 3.10) é um detector acústico de vazamentos composto de sensor, amplificador, fones de ouvido e filtros de ruídos, destinado a identificar os ruídos de vazamentos através dos pontos da tubulação inacessíveis inicialmente, a partir da superfície do solo ou em contato com acessórios da rede. A técnica consiste em percorrer o caminhamento da tubulação de água com o geofone, e observar variações sonoras próximas à posição do vazamento. O local onde o ruído apresentar maior intensidade é o ponto acima do qual se encontra o vazamento não visível. O geofone mecânico (figura 3.12) é um equipamento muito mais simples que o geofone eletrônico, e também de aplicação mais restrita.

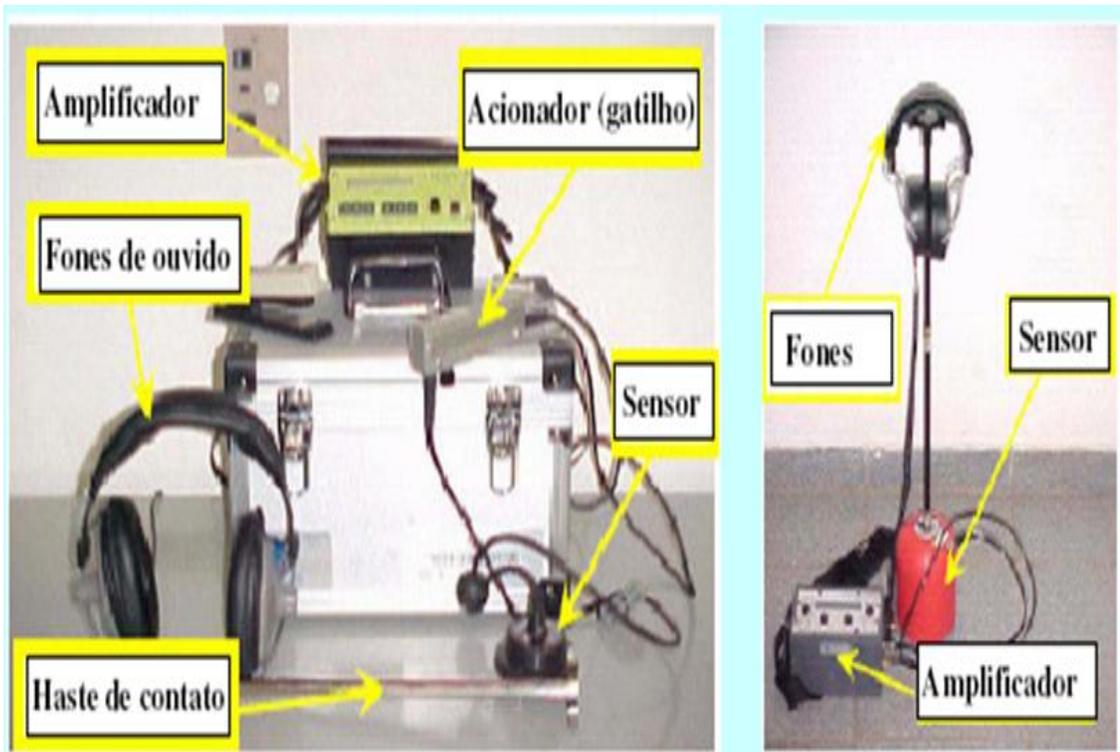


Figura 3.10. Geofone eletrônico. Fonte: SABESP (2005).

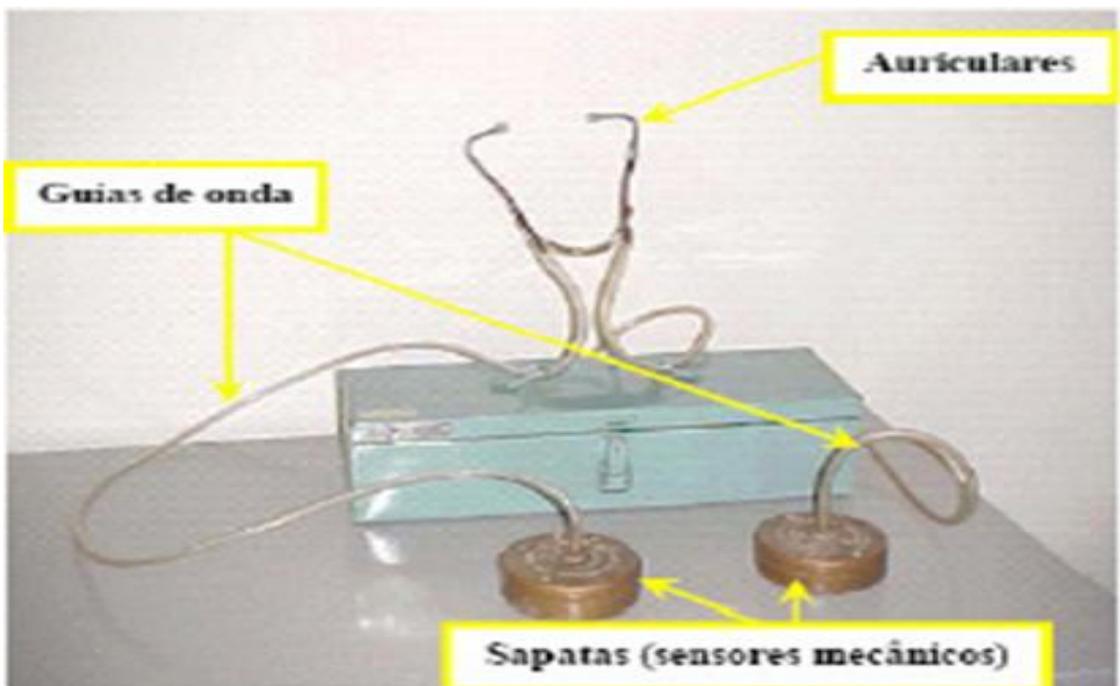


Figura 3.11. Geofone mecânico. Fonte: SABESP (2005).

O correlacionador de ruídos (figura 3.12) é um equipamento acústico, composto de uma unidade principal processadora, de um pré-amplificador e de sensores, e serve para identificar a posição do vazamento entre dois pontos determinados de uma tubulação. É um equipamento mais sofisticado, usado, na maioria das vezes, para encontrar os vazamentos em trechos onde o uso do geofone é difícil (ruas muito movimentadas, ou com interferências sonoras constantes) ou para confirmar algum apontamento do geofone. O princípio de funcionamento deste equipamento se baseia no ruído característico gerado pelo vazamento, que é captado por meio de sensores sonoros instalados em pontos de acesso à tubulação, como: registros, hidrantes, ramais prediais, ventosas, e outros.

O método de análise de componentes de perdas físicas (*Background and Bursts Estimates*) *BABE*, cuja tradução é “*estimativa de vazamentos inerentes e arrebatados*”, é acompanhada de uma série de estimativas e hipóteses referenciadas a uma combinação particular e de circunstâncias locais, relacionadas à frequência de vazamentos, vazão dos vazamentos, método de controle de vazamentos e o padrão de descarga de redes e requer informações de nível satisfatório de confiabilidade sobre o sistema. A avaliação de perdas reais usando o *BABE* objetiva avaliar os componentes de vazamentos em uma determinada área, e comparar com resultados derivados de outras metodologias de análise como o Balanço de Águas e da Vazão Mínima Noturna ou, preferivelmente, ambas.



Figura 3.12. Correlacionador de ruídos. Fonte SABESP (2005).

O método utilizado para a localização precisa do vazamento está embasado no fato das ondas sonoras geradas pela fuga da água se propagarem nos dois sentidos da tubulação. A correlação é baseada na diferença de tempo que o ruído do vazamento leva para atingir cada um dos sensores. Essa diferença de tempo é denominada Tempo de Retardo (T_d).

Assim sendo, a partir do comprimento da tubulação entre os sensores, da velocidade de propagação da onda e do tempo de retardo é possível determinar a localização do vazamento. O princípio de funcionamento do correlacionador de ruídos é representado na Figura 3.13.

SABESP (2005) destaca que, a maior dificuldade do método de correlação está no fato de que nem sempre o vazamento é o ruído predominante, e nesse caso, seria necessária a correlação com frequência que normalmente seriam descartadas.

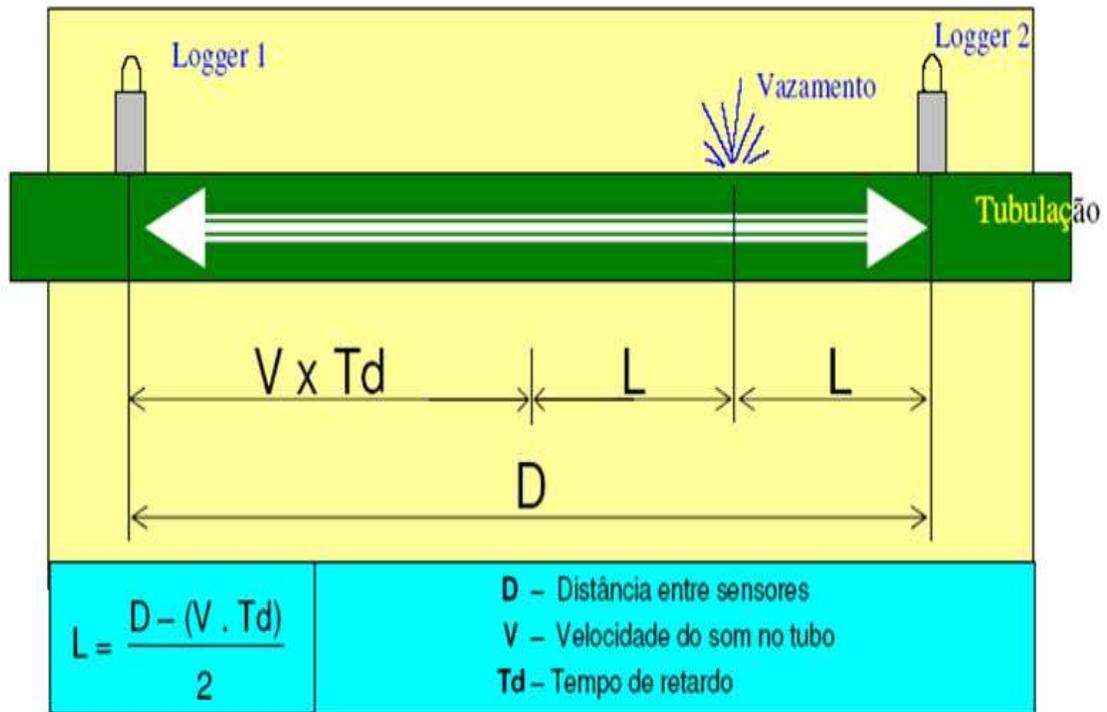


Figura 3.13. Princípio de funcionamento. Fonte: SABESP (2005).

DINIZ, HURTADO e BRAGHIROLI (2003) apresentam o armazenador de dados acústicos (figura 3.14) é um analisador estatístico de ruído. Normalmente, o equipamento é instalado e processa os ruídos por 2 horas, geralmente das 2 horas às 4 horas durante a madrugada, quando o consumo é mínimo, e a intensidade do ruído aumenta devido ao acréscimo de pressão gerada no sistema. Esta técnica tornou-se muito conhecida nos últimos anos, e consiste em inspecionar o setor por meio da utilização de microfones incorporados a armazenadores de dados. Cada microfone dispõe de uma fixação magnética para garantir contato entre o sensor e o metal. As unidades são instaladas em pontos de contato com a rede de água (válvulas ou hidrantes), e são operados automaticamente por tempo determinado pelo usuário.



Figura 3.14. *Data loggers* de ruídos. Fonte: SABESP (2005).

Conforme SILVA (1996), diversas são as técnicas capazes de encontrar e apontar o surgimento de vazamentos. Baseiam-se nos princípios do Balanço das Massas, Análise de Medida da Pressão e Vazão, Simulação Paralela e no Monitoramento dos sinais característicos gerados por um vazamento. No Balanço das massas são consideradas constantes as propriedades de densidade, viscosidade, temperatura e pressão de um fluido que escoar através de uma tubulação em regime permanente. Assim, a o volume de entrada e o de saída devem ser iguais no tempo. Caso haja diferença, existe um ou mais vazamentos nessa tubulação. Entretanto, na prática estes parâmetros estão sujeitos a sofrer variações de temperatura e pressão, o que ocasiona falsas deduções de diferenças na taxa de fluxo do produto. A análise de medidas de pressão e vazão pode ser feita com piezômetros. Na Simulação Paralela o modelo é conduzido pelo conjunto limitado de medições reais de uma tubulação, tipicamente medições nas extremidades de uma tubulação. Assim, o

modelo estima as condições de escoamento do fluido, pressão, velocidade, densidade e outras condições intermediárias ao longo da tubulação. De posse destas estimativas é realizada a comparação entre estes valores e os medidos, e as divergências apontam vazamentos. Métodos baseados neste princípio tem apresentado bons resultados para sistemas de tubulações com poucas ramificações e que operam fluidos incompressíveis.

Um exemplo de aplicação destas ferramentas em campo e para posterior detecção de vazamentos com um modelo matemático é o desenvolvido por BAGHDADI e MANSY (1998) é baseado num modelo unidimensional conforme segue. O modelo desenvolvido é valido para regimes de escoamento laminar e turbulento para líquidos incompressíveis. Através da análise da equação da continuidade, da perda de carga devido ao atrito ao longo da tubulação a jusante e a montante do vazamento em regime permanente, da carga do fluido através do vazamento, obtida pela equação que descreve o volume do fluxo através do orifício e do balanço da energia global do sistema. Quando se sucede um vazamento numa RDA (rede de distribuição de água), uma rápida queda de pressão ocorre na posição do mesmo originando uma onda de pressão negativa que se propaga a uma velocidade superior a do som no meio, tanto no sentido a jusante como a montante, de forma que o escoamento volta a estabilizar-se em novas condições estacionárias. A instalação de transdutores de pressão ligados a um computador, em vários pontos da tubulação, possibilita a detecção da onda de pressão gerada pelo vazamento proporcionando ainda, uma estimativa da localização do mesmo. A onda de pressão negativa pode ser causada por operações normais na tubulação, como a parada e partida de uma bomba, o fechamento de uma válvula e outros procedimentos operacionais. A filtragem cuidadosa dos dados e correlação de possíveis ondas de pressão induzidas por vazamento são necessárias para minimizar falsos alarmes. Quando um líquido sob pressão escoar através de um orifício na parede de um tubo, ruídos ultrassônicos são gerados. Tais ruídos podem ser medidos e gravados através

de sensores localizados ao longo da RDA. Este método consegue detectar e localizar os vazamentos não visíveis (vazamento de pequena magnitude) com boa precisão. Com a instalação de microfones na entrada e na saída da tubulação é possível detectar e medir as ondas de pressão. Essas ondas possuem forma de pulso e o instante em que elas aparecem e suas amplitudes indicam respectivamente, a posição e o tamanho do vazamento.

Conforme VAIRAVAMOORTHYL e LUMBERS (1998) a redução das perdas é um objetivo importante para as concessionárias de água no Reino Unido. Os autores recomendam que seja feita a redução da pressão, onde esta seja viável, técnica e economicamente. Isto pode ser aplicado individualmente ou em conjunto com outros métodos de controle de perdas.

Sabesp (2005) apresenta que até os anos 70, para atender às Normas de Projeto da ABNT quanto aos limites de pressões superiores, principalmente nas regiões de topografia extremamente acidentada e com baixo adensamento relativo, instalavam-se nas microzonas de pressão as caixas de quebra-pressão e os “*stand-pipes*”. Estas soluções apresentavam custos relativamente altos e passíveis de falha pelas limitações tecnológicas dos próprios dispositivos de quebra-pressão. Com a expansão da ocupação urbana para as regiões periféricas e a busca de soluções alternativas mais econômicas, as válvulas redutoras de pressão (VRPs) passaram a ser consideradas para tal finalidade.

As válvulas utilizadas para o Controle de Pressão são chamadas de válvulas redutoras de pressão (VRP), porém podem ser configuradas de diversas outras maneiras, como sustentadora de pressão, aliviadora de pressão, reguladora de vazão, válvula de proteção contra transientes hidráulicos, controladora de bomba, etc. Podem também combinar duas ou mais funções dependendo da necessidade do sistema de distribuição, por exemplo, válvula redutora e sustentadora de pressão, válvula sustentadora e aliviadora de pressão, etc.

A seguir serão apresentadas as descrições dos dois sistemas e os respectivos princípios de funcionamento. O controle de pressão através de VRP com pressão de saída fixa usualmente se aplica a uma região isolada alimentada por uma VRP. A pressão de saída da VRP é ajustada, pela modificação da pressão da mola da válvula piloto, de tal forma que sob condição de máxima vazão a pressão no ponto crítico é mantida. Esta pressão é constituída de três componentes conforme segue: O nível mínimo de pressão de serviço requerido no ponto crítico; A diferença de cota altimétrica entre a VRP e o ponto crítico; A perda de carga no sistema entre a VRP e o ponto crítico sob condições de vazão máxima projetada. As principais características da VRP com pressão de saída fixa são as seguintes, conforme tabela 3.1.

Existem dois tipos principais de controladores de pressão de saída, o controlador hidráulico e o eletrônico. O controle eletrônico é o que está sendo utilizado para comandar a atuação da VRP. Controladores eletrônicos possibilitam diminuir a pressão média de um setor através da variação da pressão de saída da VRP modulados pelo tempo ou pela vazão de demanda. Modulação pelo tempo: Permite a diminuição ou aumento da pressão de saída da VRP em função de um determinado horário, para compensar a variação da vazão durante o dia e a perda de carga entre a VRP e o ponto crítico. Modulação pela vazão: Conectando-se um medidor de vazão que fornece sinais de pulso, o controlador realiza a modulação da pressão de saída da VRP com base na vazão (demanda da área), isto é, pressões maiores de saída são reguladas automaticamente quando a demanda da área aumenta, para compensar as perdas de carga adicionais entre a VRP e o ponto crítico. O funcionamento básico da VRP com um controlador eletrônico modulado pela vazão está demonstrado nas Figuras 3.15 e 3.16.

Tabela 3.1 – Componentes e características da VRP

| COMPONENTES | CARACTERÍSTICAS |
|---|---|
| <i>Válvula</i> | <i>Tipo globo eixo vertical</i> |
| <i>Corpo</i> | <i>Ferro fundido dúctil e pintura eletrostática total</i> |
| <i>Acento, eixo e mola</i> | <i>Aço inoxidável</i> |
| <i>Diafragma</i> | <i>Buna – N vulcanizada e reforçada</i> |
| <i>Vedação</i> | <i>O-ring (Quad-ring)</i> |
| <i>Relação - área do diafragma/área da sede</i> | <i>1,5/1</i> |

O sistema de múltiplas válvulas, baseado no controle de pressão pela vazão, pode ser utilizado com vantagem para reduzir a faixa de atuação, que pode ser requerida de uma válvula apenas. Tais sistemas podem reduzir extremamente as demandas sobre a VRP, melhorando a sua confiabilidade e também contribuindo para se ter um sistema mais robusto na eventualidade de falha de uma das válvulas. A questão de qual sistema usar numa situação particular é complexa e requer um exame detalhado do sistema, preferencialmente com a ajuda de um modelo hidráulico de sistema de alta qualidade, se disponível.

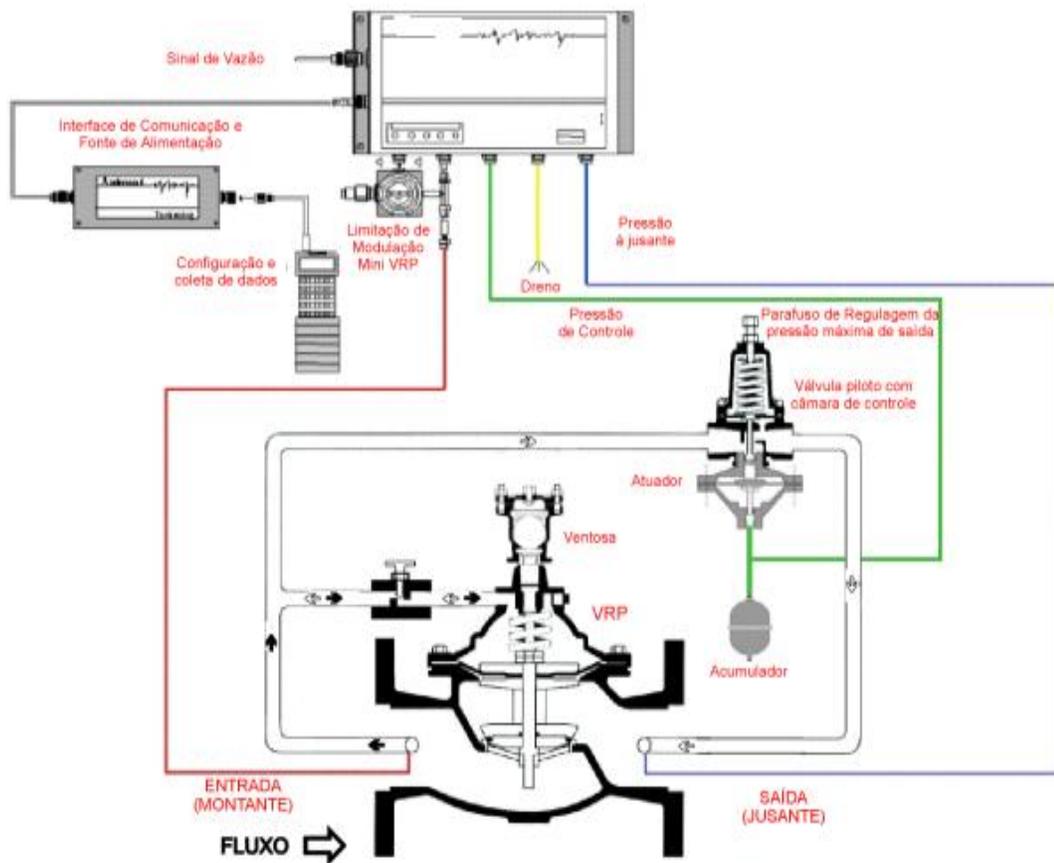


Figura 3.15. Esquema do sistema completo. Fonte: Sabesp (2005)

A figura 3.17 demonstra o acompanhamento da operação de uma válvula controlada por tempo onde são monitoradas as pressões a montante, jusante e sua respectiva vazão trabalhando harmoniosamente. O controle de perdas físicas apresenta-se bastante diversificado e com muitas variáveis, sendo necessários critérios rigorosos na análise prévia do sistema e das condições de infraestrutura. Desta forma, pode-se identificar qual o melhor método de controle e quais os melhores equipamentos a serem utilizados. Porém, de forma geral, faz-se necessário obterem-se áreas de controle delimitadas e reduzir a pressão na rede ao mínimo necessário para reduzir as vazões dos vazamentos.

Redução de pressão com modulação pela vazão

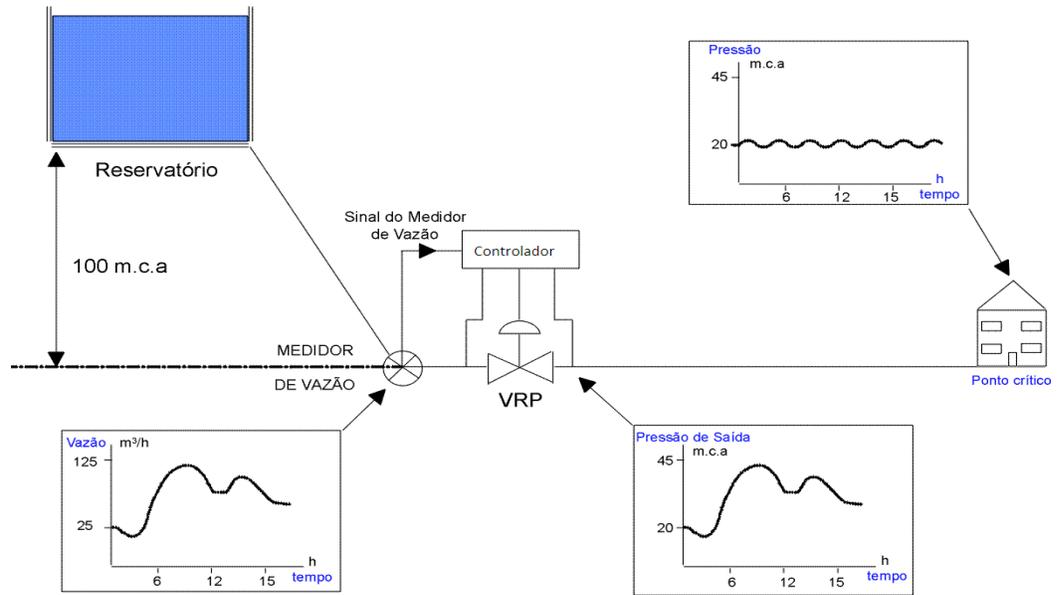


Figura 3.16. Redução de pressão por vazão. Fonte: SABESP (2005).

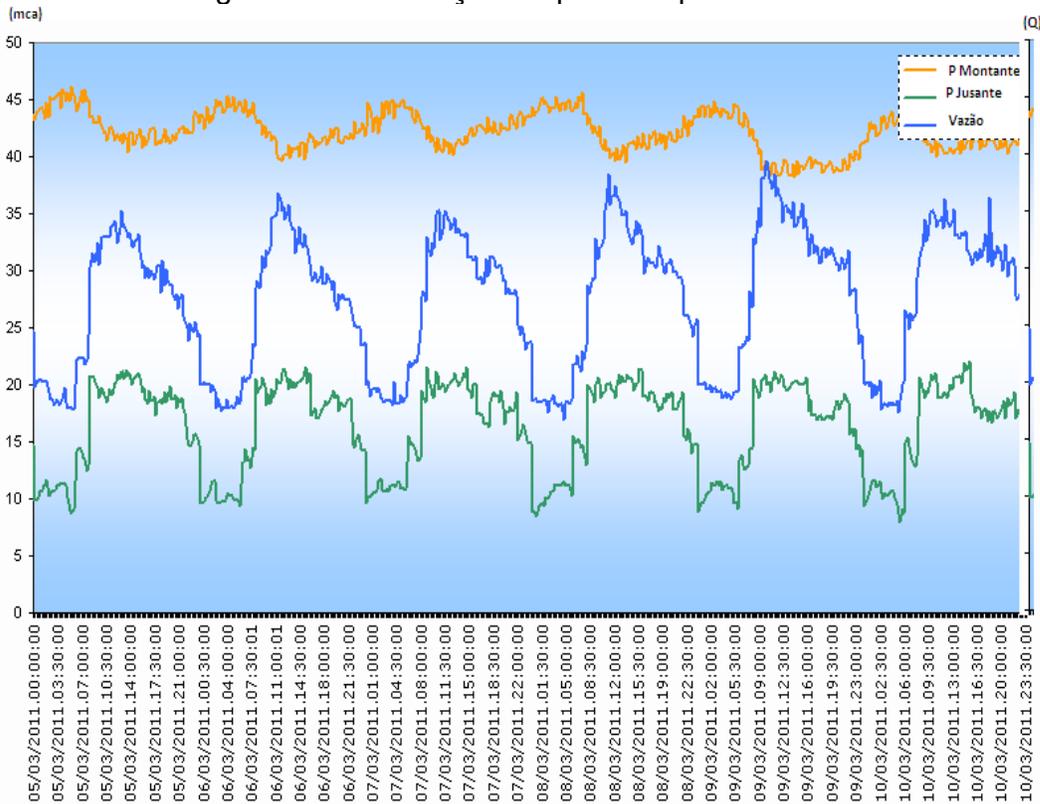


Figura 3.17. Controle por tempo de VRP. Fonte SABESP (2011).

4. MATERIAIS E MÉTODO

Para o trabalho de controle de perdas físicas em redes de distribuição de água tratada foram utilizados 84,2 km de redes de distribuição de água tratada do setor Casa Verde, que pertence ao sistema produtor Cantareira, na cidade de São Paulo (Figura 4.1).

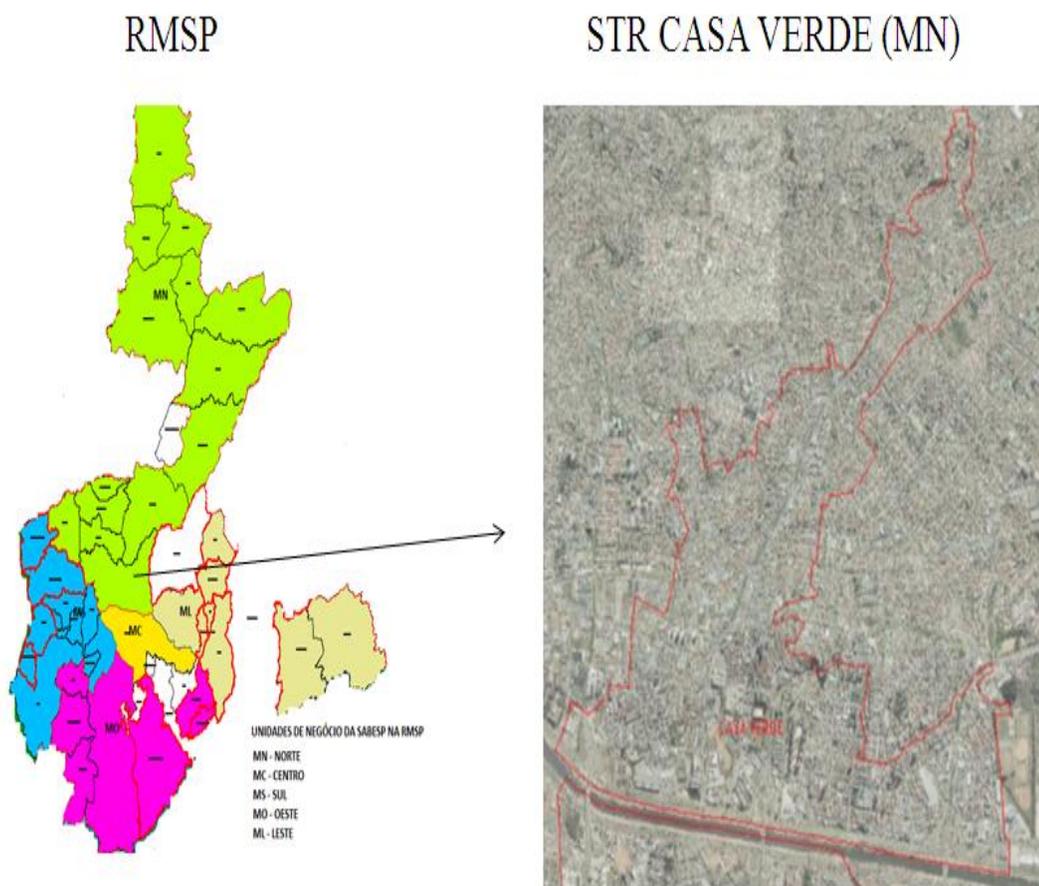


Figura 4.1. A RMSP e Setor Casa Verde em São Paulo.
Fonte: SABESP (2010).

O setor Casa Verde conta com 6 Distritos de Medição e Controle (DMC), em que são controladas as pressões e vazões. Este setor é composto de 11.002 ligações e 16.891 economias e uma vazão de 201,94 L/s. Além disso, cabe observar que 75% dos componentes de redes de distribuição foram instalados antes de 1970.

Neste cenário, utilizando o método do balanço hídrico, descrito no Capítulo 3, foram detectados os vazamentos não visíveis com o a técnica de utilização dos geofones, hastes de escuta, correlacionadores de ruídos e armazenadores de ruídos. Também, as medições de vazão e pressões foram registradas com a utilização de piezômetros e *data loggers* (armazenadores de dados). Todos os dados foram analisados e correlacionados com as informações do sistema de informações geográficas (SIG) conforme figura 4.2.

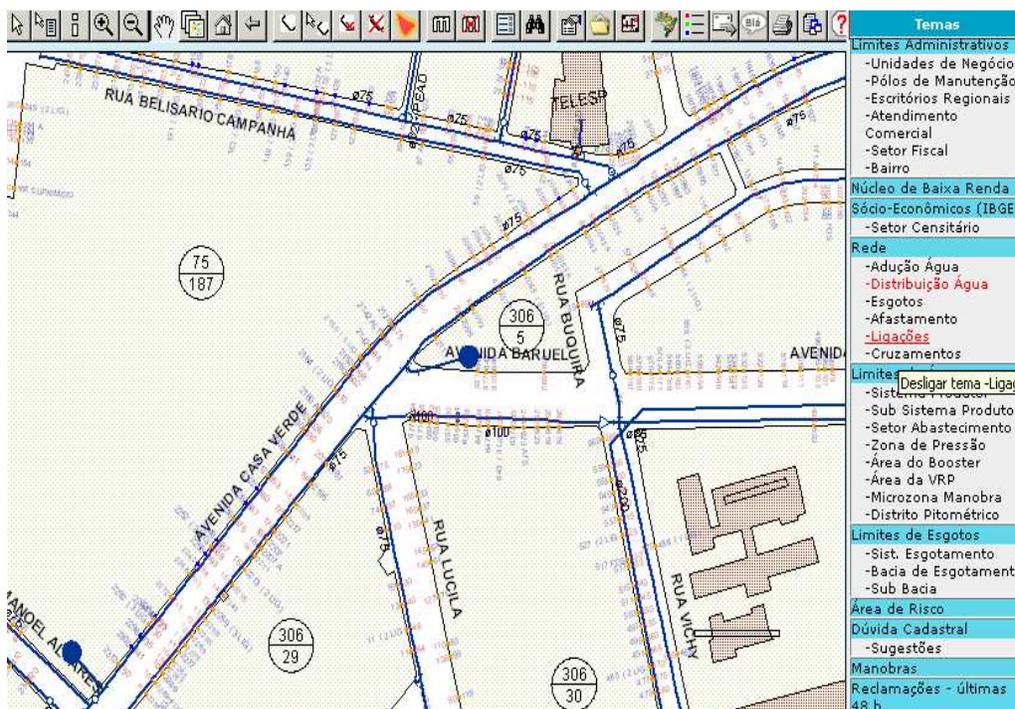


Figura 4.2. Redes e ramais prediais no sistema. Fonte: SABESP (2010).

Assim sendo, os dados compilados somados aos históricos de vazamentos não visíveis foram utilizados para auxiliar o controle das perdas

físicas. Então, analisaram-se estes parâmetros de quantidade de vazamentos e vazões, para a obtenção de indicadores que contribuíram para a evolução do controle de perdas físicas em redes de distribuição de água.

Os critérios utilizados para escolha da área de estudo foram direcionados pelo histórico de trabalhos realizados na Unidade de Negócio Norte da Sabesp (MN), que há anos busca a melhoria contínua e o desafio é racionalizar os processos, reduzir as perdas de água, aumentar a rentabilidade do negócio e decifrar a oportunidade de melhoria presente nesta infraestrutura que apresenta, em sua maioria, redes de água com mais de 40 anos de utilização e assentamento antes de 1970.

4.1. Descrição dos parâmetros hidráulicos do Setor Casa Verde

O setor Casa Verde é configurado por um único setor piezométrico com variação altimétrica entre as cotas 755,00m e 720,00m. Ocupando uma área de 466,30ha apresenta uma delimitação bem definida, segundo as definições da própria SABESP. Pequenos ajustes foram feitos no cadastro existente, em virtude da delimitação dos setores vizinhos, definidos nos respectivos estudos de setorização.

Sendo atendido pelo reservatório de Casa Verde de 12.000m³ de capacidade total, com o nível de água máximo operacional atual na cota 774,23m, a faixa de pressão operacional do setor varia de uma pressão máxima estática de 54,23m a 19,30m na dinâmica. A alimentação para o setor Casa Verde (MC) foi considerada como sendo apresentado na tabela 4.1.

Atualmente, a medição da água que chega ao reservatório Casa Verde é feita no ponto localizado na adutora de 600 mm. Como se trata de um setor com uma única zona de pressão, há necessidade de se fazer medição somente

para medir a água que passa do setor Casa Verde (MN) que é foco deste estudo, para o setor Casa Verde (MC), que não foi contemplado pelo estudo. O macromedidor está localizado na Av. Ordem e Progresso, a jusante do registro de 600 mm existente na Ponte do Limão.

Na tabela 4.1, a vazão média do setor foi definida pela SABESP (2005) decorreram da aplicação dos coeficientes $K1 = 1,2$ e $K2 = 1,5$.

Tabela 4.1. – Vazões de projeto do setor Casa Verde. Fone: Sabesp 2010.

| VAZÃO (l/s) | 1997 | 1998 | 2007 | 2017 |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Q médio diário</i> | 90,00 | 88,20 | 87,12 | 94,93 |
| <i>Q máximo diário</i> | 108,00 | 105,84 | 104,55 | 113,92 |
| <i>Q máximo horário</i> | 162,00 | 158,76 | 156,82 | 170,88 |

4.2 Simulações

Para a distribuição espacial das demandas e carregamentos dos nós, o método adotado está descrito a seguir. Foi feita a delimitação do setor a partir das informações cadastrais e de operação. Daí, o traçado das redes primárias de distribuição com diâmetro igual ou superior a 200 mm. Entretanto, em alguns trechos, devido à baixa velocidade, considerou-se o diâmetro igual a 150mm; nós nos pontos de cruzamentos de linhas, nas reduções de diâmetro, nas inflexões e nas vazões concentradas. Delimitaram-se as áreas de influência dos nós. Finalmente, determinaram-se as demandas média, máxima diária e máxima horária em cada nó, em L/s.

As análises hidráulicas da rede primária de distribuição existente foram realizadas mediante a adoção da perda de carga distribuída da fórmula de Hazen-Williams, considerando valores de C de acordo com a faixa de idade da rede.

Em AZEVEDO NETO, (1998) a fórmula de Hazen-Williams utilizada no cálculo de perda de carga é apresentada pela equação (4.1):

$$H = 10,69 \cdot L \cdot Q^{1,852} \cdot C^{1,852} \cdot D^{-4,867} \quad (4.1)$$

Em que H é a perda de carga (m), L é a extensão (m), Q é a vazão do trecho (m³/s), C é o coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams e D é o diâmetro da tubulação (m).

No caso de redes paralelas utilizou-se, para efeito de dimensionamento, o diâmetro equivalente da associação, conforme AZEVEDO NETO (1998). O cálculo da equivalência foi efetuado mediante a expressão (4.2.); considerando-se o mesmo C.

$$\frac{D^{2,63}}{L^{0,54}} = \frac{D1^{2,63}}{L1^{0,54}} + \frac{D2^{2,63}}{L2^{0,54}} + \frac{D3^{2,63}}{L3^{0,54}} \quad (4.2.)$$

A modelagem da rede de distribuição primária foi realizada a partir do cadastro do sistema existente. Os trechos de tubulação foram caracterizados a partir de sua extensão, diâmetro e coeficiente “C”. Para os nós foram fornecidas as vazões teóricas de saída para a rede secundária e suas respectivas cotas altimétricas.

As Unidades adotadas no programa foram comprimento (L) em metros, diâmetro (D) em centímetros, vazão (Q) em litros/segundo, cotas em metros, velocidade (v) em metros/segundo, pressões (p) em kPa e metros de coluna d’água. Os resultados dos processamentos realizados apresentam os dados de saída correlacionados aos dados de entrada, conforme a tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Dados de entrada e resultados do processamento.

| | |
|---|--|
| Dados de entrada dos trechos de canalizações | <i>Número do tramo, nós inicial e final, comprimento, diâmetro e coeficiente de rugosidade.</i> |
| Dados de entrada dos nós | <i>Vazão, cota e interligações.</i> |
| Dados de saída | <i>Vazão, velocidade e sentido de fluxo em todos os trechos, níveis piezométricos e pressões nos diversos nós da rede.</i> |

De acordo com a demanda máxima diária do setor Casa Verde nas diferentes datas marco e a vazão máxima diária a ser transferida para o setor Casa Verde (MC), a situação da reservação aplicando sobre a demanda K1 e K2 é mostrado na tabela 4.3 a seguir.

Tabela 4.3. – Demanda máxima diária do setor Casa Verde

| Ano | Demanda máxima diária (l/s) | | | Volume Necessário (m³) | Volume Existente (m³) |
|-------------|------------------------------------|------------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------|
| | Casa Verde (MN) | Casa Verde (MC) | Total | | |
| 2009 | 199,71 | 37,65 | 237,36 | 6.767 | 12.000 |
| 2010 | 176,30 | 36,72 | 213,02 | 6.073 | 12.000 |
| 2011 | 179,37 | 39,80 | 219,17 | 6.249 | 12.000 |

A necessidade de reservação foi calculada considerando-se 20% do volume máximo diário. Conclui-se que mesmo considerado o critério de Fruhling

apresentado por AZEVEDO NETO (1998) em que a reservação mínima admitida é igual a 1/3 do volume máximo diário. A reservação existente é suficiente, desde que o volume útil do reservatório seja da ordem de 10.000m³.

4.3. Controle ativo dos vazamentos

O controle ativo dos vazamentos está associado à realização de acompanhamento das vazões e, a partir de uma anormalidade constatada, é iniciada a inspeção das redes e ramais prediais, também denominada por “varredura”, por, literalmente, varrer a totalidade das redes com equipamentos de medição piezométrica “*in loco*” conforme figura 4.3.

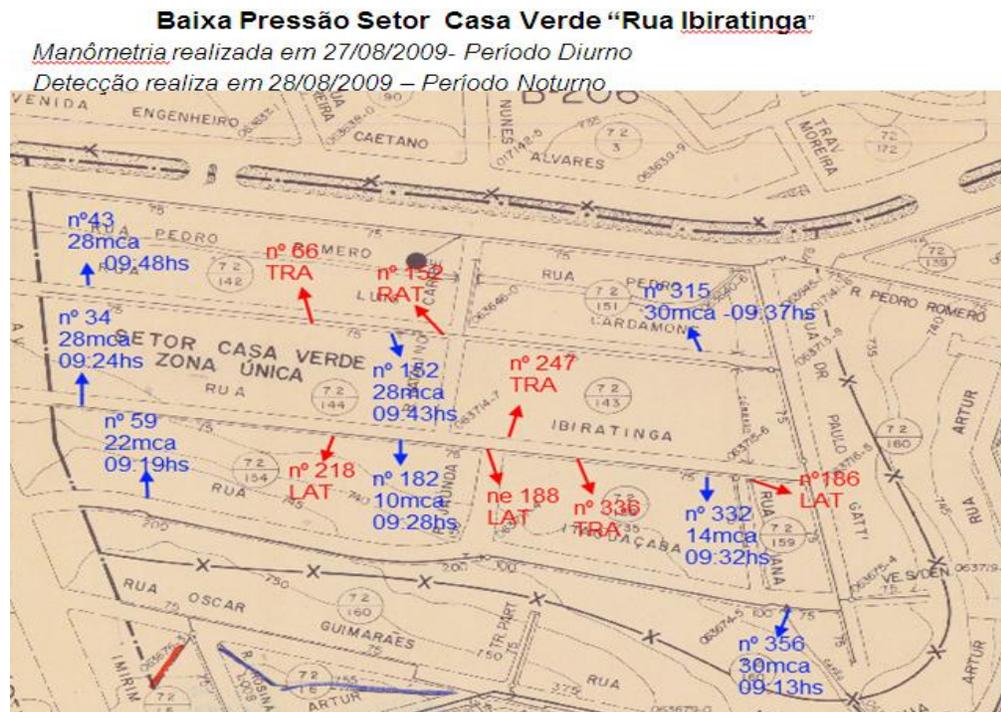


Figura 4.3. Em azul, pontos do mapeamento de pressão e em vermelho, os vazamentos demarcados em planta.

Após constatar a possibilidade de perda de carga por possíveis vazamentos, inicia-se a pesquisa de fugas com os geofones eletrônicos que amplificam os sinais característicos de vazamentos (propagação da onda

sonora) em redes de água pressurizada que variam entre 30 Hz e 3000 Hz em sua grande maioria. Depois de identificada a proximidades do ruído de vazamento inicia-se o empregando do aparelho de geofonamento, e na impossibilidade da demarcação exata do ponto a ser corrigido, indica-se o empregado do aparelho de correlação (*leak noise correlator*) que é composto de dois ou três sensores que captam o ruído de uma fuga transmitem o sinal por radiofrequência para um processador que localiza o ponto de vazamento pelo tempo de retardo da transmissão do sinal, representado na figura 4.4.

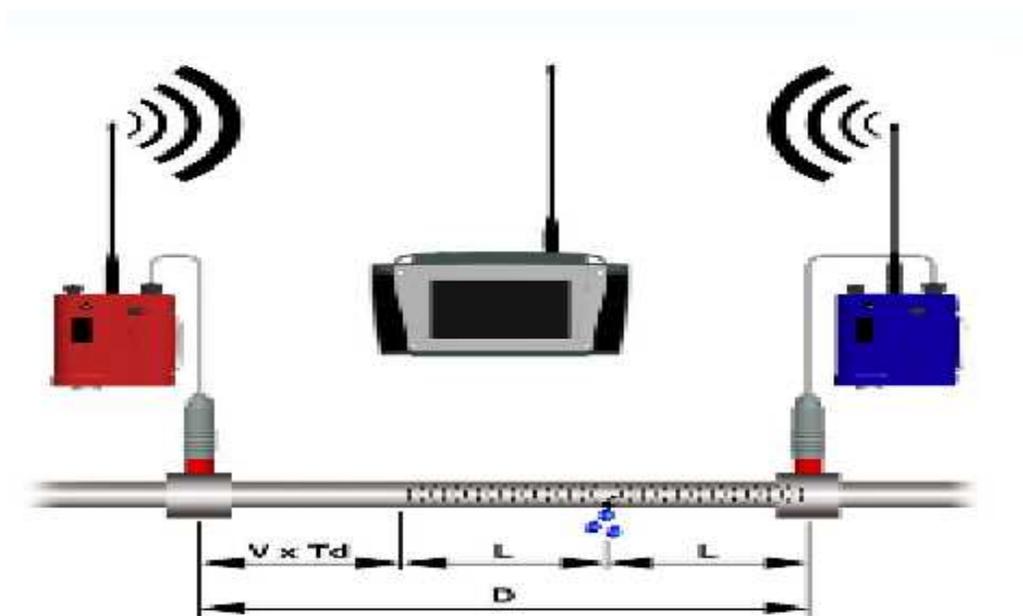


Figura 4.4. Correlacionador de ruídos. Fonte: SABESP (2010).

4.4. Aplicação do método do balanço hídrico.

A estimativa das perdas em um sistema de abastecimento se dá pela comparação entre o volume de água transferido de um ponto ao outro do

sistema e o volume de água recebido em um ou mais pontos do sistema de distribuição, situados nas áreas de influência do ponto de transferência. A identificação e a separação das perdas físicas de água e das não físicas são tecnicamente possíveis mediante pesquisa de campo, utilizando o método da análise de histograma (registros contínuos) de consumo, verificação de pressões e de vazão aferida por micro e macro medidores. Nesse caso, a oferta noturna estabilizada durante a madrugada, abatendo-se os consumos noturnos contínuos por parte determinados usuários do serviço (fábrica, hospitais e outros) representam, em sua quase totalidade, a perda física no período pesquisado, decorrente de vazamento nas redes ou ramais prediais. A perda não física será a diferença entre a perda total de água na distribuição, água não contabilizada (fraudes e clandestinas) e a perda física levantada. Em relação às perdas físicas na rede distribuidora, é nos ramais prediais que se registra a maior quantidade de ocorrências (vazamentos). Isso nem sempre significa, porém, que esta seja a maior perda em termos de volume.

Para o indicador de desempenho foi empregado o comparativo entre períodos utilizando o método do balanço hídrico aliado às medições realizadas “*In loco*”.

A variável medida indiretamente, pois se tem a vazão de entrada e saída do sistema, evidencia a tendência de aumentar ou diminuir vazão e a pressão dos tubos na malha do sistema de distribuição. *O consumo instantâneo é a indicação da vazão* e, com esse controle, se detectam novas perdas nos sistemas e subsistemas com facilidade e em tempo adequado e com confiabilidade. O consumo diário com essa informação permite obter informações sobre como adequar as redes de distribuição de acordo com o consumo atual da região e a tendência de consumo. Já, o consumo mensal é a variável que é medida nas residências nos hidrômetros pela diferença entre dois valores de leituras consecutivas, com isso pode-se comparar com consumo individual de cada residência e fazer o abatimento. A instalação de

distritos de medição e controle com válvulas redutoras de pressão e detecção de vazamentos não visíveis vem se sobressaindo pelo rápido retorno dos investimentos realizados e várias são as razões que levam um sistema de distribuição de água, ou parte dele, a operar com pressões que excedam ao necessário a um determinado nível de serviço, considerado adequado pelos principais interessados, ou seja, os usuários.

Também, no que concerne a redução das perdas físicas, pode-se relacioná-las conforme segue: topografia local com grandes variações; setorização inexistente; setorização feita com o objetivo de atender á condição mínima de serviço durante todo o dia em pontos críticos, geralmente aqueles localizados nos pontos mais altos ou mais distantes, ou ainda uma combinação dos dois, que resulta em pressões elevadas no restante do sistema; excessiva perda de carga nos horários de pico de consumo; perdas físicas elevadas.

O excesso de pressão durante todo dia, ou parte dele, constitui o motivo primordial para o aumento das perdas físicas, seja nos vazamentos não visíveis ou nos inerentes, que são aqueles que não são localizáveis pelas modernas técnicas disponíveis.

5. RESULTADOS E ANÁLISE

Este método do balanço hídrico de controle propiciou um histórico quantitativo do consumo em um determinado período que deve ser comparado aos resultados do mesmo período do ano anterior, para minimizar as discrepâncias das variáveis apresentadas. Assim, pode-se detectar onde ocorrem as maiores quedas nas pressões e acréscimos nas vazões mínimas noturnas. Além disso, os resultados desse estudo, a médio e a longo prazos, possibilitam futuros estudos de substituição das redes em relação ao diâmetro ou tipo de material a ser usado na reestruturação do sistema de distribuição de água tratada, caso este apresente subdimensionamento ou má qualidade pelo envelhecimento do material da tubulação.

Das pesquisas de campo extraiu-se um quantitativo de vazamentos conforme tabelas 5.1 e 5.2 em que se apresenta o setor, data, extensão de redes pesquisadas, número de vazamentos apontados em redes, número de vazamentos apontados em ramal, índice de vazamentos detectados por quilômetros de redes pesquisadas e índice de pesquisa que é a (média percentual em relação ao total em extensão de redes de distribuição de água, do setor de abastecimento que deve ser correlacionado ao volume de água recuperado.

Para auxiliar o controle das perdas e tornar prática a leitura dos parâmetros utilizou-se modelo da figura 5.1 que apresenta o histórico do acompanhamento das médias vazões diárias durante o período de experimentação onde o método é proposto e seu respectivo comparativo com os períodos anteriores. Então, são identificados os possíveis desvios em

Tabela 5.1. Indicadores mensais de pesquisas de vazamentos não visíveis.

| Limite setor | Data de referência | Extensão de rede pesquisada (m) | Vazamentos apontados em redes (un) | Vazamentos apontados em ramal (un) | Índice Vaz/Km Pesquisa do | Índice de pesquisa (média) (%) |
|--------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Casa Verde | 01/2009 | 29.390 | 0 | 44 | 1,50 | 8,44 |
| Casa Verde | 02/2009 | - | - | - | - | _* |
| Casa Verde | 03/2009 | 44.630 | 0 | 47 | 1,05 | 53,40 |
| Casa Verde | 04/2009 | 51.340 | 2 | 37 | 0,76 | 58,97 |
| Casa Verde | 05/2009 | - | - | - | - | _* |
| Casa Verde | 06/2009 | 22.210 | 3 | 34 | 1,67 | 26,59 |
| Casa Verde | 07/2009 | - | - | - | - | _* |
| Casa Verde | 08/2009 | 39.205 | 12 | 55 | 1,71 | 46,84 |
| Casa Verde | 09/2009 | 67.804 | 7 | 42 | 0,72 | 81,00 |
| Casa Verde | 10/2009 | 11.640 | 2 | 14 | 1,37 | 13,86 |
| Casa Verde | 11/2009 | 36.540 | 0 | 46 | 1,26 | 43,51 |
| Casa Verde | 12/2009 | - | - | - | - | _* |

(*) Período em que não foi possível realizar a medição devido a complexidade do sistema.

Tabela 5.2. Indicadores anualizados de pesquisas de vazamentos não visíveis.

| Limite setor | Data de referência | Extensão de rede pesquisada (m) | Vazamentos apontados em redes (un) | Vazamentos apontados em ramal (un) | Índice Vaz/Km Pesquisa do | Índice de pesquisa (média) (%) |
|--------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Casa Verde | 01/2009 | 200.442 | 31 | 171 | 1,01 | 15,16 |
| Casa Verde | 02/2009 | 197.502 | 28 | 170 | 1,00 | 14,98 |
| Casa Verde | 03/2009 | 242.132 | 28 | 217 | 1,01 | 18,42 |
| Casa Verde | 04/2009 | 286.802 | 29 | 251 | 0,98 | 21,82 |
| Casa Verde | 05/2009 | 286.802 | 29 | 251 | 0,98 | 21,88 |
| Casa Verde | 06/2009 | 309.012 | 32 | 285 | 1,03 | 23,64 |
| Casa Verde | 07/2009 | 274.791 | 20 | 259 | 1,02 | 21,07 |
| Casa Verde | 08/2009 | 252.879 | 29 | 258 | 1,13 | 19,50 |
| Casa Verde | 09/2009 | 254.579 | 24 | 259 | 1,11 | 19,68 |
| Casa Verde | 10/2009 | 266.219 | 26 | 273 | 1,12 | 20,70 |
| Casa Verde | 11/2009 | 302.759 | 26 | 319 | 1,14 | 23,67 |
| Casa Verde | 12/2009 | 302.759 | 26 | 319 | 1,14 | 23,80 |

relação às metas estipuladas durante a etapa de planejamento das ações de combate às perdas física do setor de abastecimento de água Casa Verde (MN).



FÓRMULA DE CÁLCULO

Volume Macromedido por setor de abastecimento

| MÊS | 2008 | META 2009 | EXECUTADO 2009 | DIFERENÇA = Executado 2009 - 2008 | | EVOLUÇÃO = Diferença Acumulada | PONTOS PROBLEMÁTICOS |
|-----------|--------|-----------|----------------|--------------------------------------|--------|-----------------------------------|----------------------|
| Janeiro | 21.249 | 19.421 | 17.308 | -3.941 | -18,5% | -18,55% | |
| Fevereiro | 22.334 | 19.362 | 18.479 | -3.855 | -17,3% | -17,89% | |
| Março | 23.145 | 19.484 | 18.080 | -5.065 | -21,9% | -19,27% | |
| Abril | 23.127 | 19.387 | 16.991 | -6.136 | -26,5% | -21,14% | |
| Maio | 23.785 | 19.999 | 16.906 | -6.879 | -28,9% | -22,77% | |
| Junho | 23.036 | 19.344 | 16.580 | -6.456 | -28,0% | -23,66% | |
| Julho | 21.418 | 17.692 | 17.027 | -4.391 | -20,5% | -23,23% | |
| Agosto | 21.083 | 17.415 | 17.627 | -3.456 | -16,4% | -22,42% | |
| Setembro | 20.019 | 17.683 | 17.073 | -2.946 | -14,7% | -21,65% | |
| Outubro | 19.112 | 17.310 | 17.433 | -1.679 | -8,8% | -20,52% | |
| Novembro | 18.073 | 17.181 | 17.035 | -1.038 | -5,7% | -19,39% | |
| Dezembro | 17.823 | 16.995 | 17.441 | -382 | -2,1% | -18,18% | |

Figura 5.1. Médias da vazão diária do setor Casa Verde nos anos de 2008 e 2009.

A tabela 5.3 apresenta a aplicação do método do balanço hídrico no setor de abastecimento Casa Verde (MN), aliado as ações de aplicação “*In loco*” das tecnologias para detecção de vazamentos e controle de pressão. Foram apresentados os seus volumes mensais acumulados, totalizando os volumes em dezembro 2008. Destacam-se as colunas de perda total e de perda real (focos deste trabalho) e, também, a parcela da perda aparente, que representa um percentual da perda estabelecido por análise de amostragens do

setor de abastecimento em referência. Já, na coluna usos (E.O.S), onde Especiais representa o abastecimento emergencial em hospitais, escolas, órgãos públicos; Operacionais representa os volumes utilizados nas operações de descargas em redes de água, desobstrução de rede coletora de esgotos e outras operações; e Sociais que representam os volumes de áreas irregulares sem micromedição (hidrômetros).

No figura 5.2 são estabelecidos parâmetros de controle definidos como limites superiores, em que foram mapeados os maiores volumes (Q) no horário das 02h00 as 04h00, limites inferiores onde foram mapeados os menores volumes (Q) e a média que a média aritmética estabelecida utilizando-se os limites superiores e inferiores já mencionados para aquele respectivo horário de menor vazão, onde podemos observar 27 pontos críticos relacionados ao período anterior, para demonstrar a variação no período, e com maior eficiência atuar nas perdas físicas do setor de abastecimento.

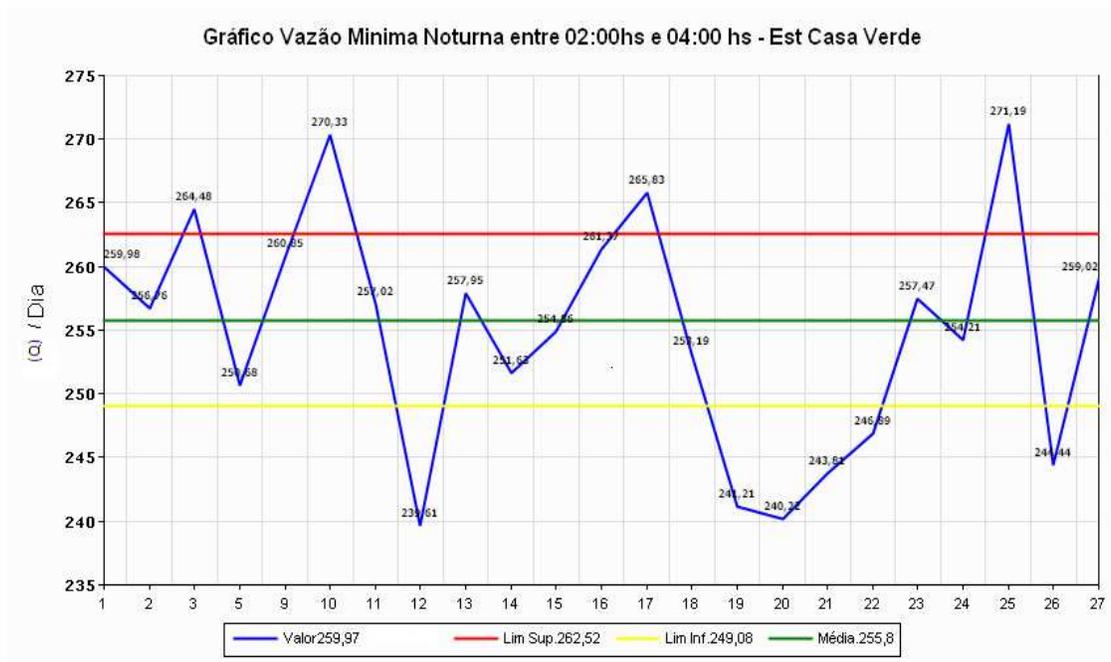


Figura 5.2. Controle da vazão (Q) mínima noturna do setor.

Tabela 5.3 – Balanço hídrico setor Casa Verde MN 2008 evolução mensal.

| <i>Limite</i> | <i>Data</i> | <i>Acumulado no ano (1000.m³)</i> | <i>Micromedido (1000.m³)</i> | <i>Usos E. O.S.* (1000.m³)</i> | <i>Perda total (1000.m³)</i> | <i>Perda Real (1000.m³)</i> | <i>Perda aparente (1000.m³)</i> |
|---|-------------|--|---|---|---|--|--|
| C. Verde | 01/2008 | 658 | 271 | 29 | 357 | 248 | 109 |
| C. Verde | 02/2008 | 1.306 | 551 | 57 | 697 | 484 | 212 |
| C. Verde | 03/2008 | 2.023 | 850 | 86 | 1.086 | 755 | 331 |
| C. Verde | 04/2008 | 2.717 | 1.128 | 115 | 1.474 | 1.024 | 449 |
| C. Verde | 05/2008 | 3.455 | 1.401 | 144 | 1.908 | 1.326 | 582 |
| C. Verde | 06/2008 | 4.146 | 1.690 | 173 | 2.281 | 1.585 | 696 |
| C. Verde | 07/2008 | 4.810 | 1.961 | 203 | 2.645 | 1.838 | 806 |
| C. Verde | 08/2008 | 5.463 | 2.233 | 232 | 2.997 | 2.083 | 914 |
| C. Verde | 09/2008 | 6.064 | 2.515 | 261 | 3.287 | 2.284 | 1.002 |
| C. Verde | 10/2008 | 6.656 | 2.794 | 290 | 3.571 | 2.482 | 1.089 |
| C. Verde | 11/2008 | 7.198 | 3.067 | 316 | 3.814 | 2.651 | 1.163 |
| C. Verde | 12/2008 | 7.751 | 3.329 | 346 | 4.076 | 2.832 | 1.243 |
| <i>*Usos especiais, operacionais e sociais.</i> | | | | | | | |

Pode-se afirmar que o aprimoramento das ações de controle de perdas físicas em redes de distribuição de água demonstrou que é possível recuperar um determinado volume de água perdido, quando comparados aos volumes apresentados na tabela 5.4, que representam o balanço hídrico do setor de abastecimento Casa Verde (MN) em sua evolução anualizada Assim, aferiu-se uma redução no volume direcionado a contabilização das perdas na ordem de 800.000m³ por ano, observando a coluna de perdas real (físicas) de dezembro

2009 em relação aos seus 12 últimos meses em um setor de abastecimento com 84 km de redes de distribuição de água. Isto, possibilitaria abastecer este mesmo setor com cerca de 40.000 consumidores por aproximadamente 35 dias.

Tabela 5.4 – Balanço hídrico setor Casa Verde MN 2009 evolução anualizada.

| <i>Limite</i> | <i>Data</i> | <i>Acumulado no ano (1000m³)</i> | <i>Micromedido (1000m³)</i> | <i>Usos E. O.S. * (1000m³)</i> | <i>Perda total (1000m³)</i> | <i>Perda Real (1000m³)</i> | <i>Perda aparente (1000m³)</i> |
|---|----------------|---|--|---|--|---------------------------------------|---|
| <i>C. Verde</i> | <i>01/2009</i> | <i>7.629</i> | <i>3.303</i> | <i>346</i> | <i>3.979</i> | <i>2.765</i> | <i>1.213</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>02/2009</i> | <i>7.498</i> | <i>3.272</i> | <i>345</i> | <i>3.880</i> | <i>2.697</i> | <i>1.183</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>03/2009</i> | <i>7.341</i> | <i>3.261</i> | <i>345</i> | <i>3.734</i> | <i>2.595</i> | <i>1.139</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>04/2009</i> | <i>7.157</i> | <i>3.249</i> | <i>345</i> | <i>3.563</i> | <i>2.476</i> | <i>1.086</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>05/2009</i> | <i>6.944</i> | <i>3.249</i> | <i>345</i> | <i>3.349</i> | <i>2.328</i> | <i>1.021</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>06/2009</i> | <i>6.750</i> | <i>3.216</i> | <i>345</i> | <i>3.188</i> | <i>2.216</i> | <i>972</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>07/2009</i> | <i>6.614</i> | <i>3.198</i> | <i>345</i> | <i>3.071</i> | <i>2.134</i> | <i>936</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>08/2009</i> | <i>6.507</i> | <i>3.184</i> | <i>345</i> | <i>2.977</i> | <i>2.069</i> | <i>908</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>09/2009</i> | <i>6.419</i> | <i>3.165</i> | <i>345</i> | <i>2.908</i> | <i>2.021</i> | <i>886</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>10/2009</i> | <i>6.367</i> | <i>3.150</i> | <i>345</i> | <i>2.870</i> | <i>1.994</i> | <i>875</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>11/2009</i> | <i>6.336</i> | <i>3.157</i> | <i>358</i> | <i>2.819</i> | <i>1.959</i> | <i>860</i> |
| <i>C. Verde</i> | <i>12/2009</i> | <i>6.324</i> | <i>3.160</i> | <i>358</i> | <i>2.804</i> | <i>1.949</i> | <i>855</i> |
| <i>*Usos especiais, operacionais e sociais.</i> | | | | | | | |

Faz-se importante ressaltar que o aprimoramento das medições de vazões para melhor direcionar as ações e buscar um resultado ainda mais relevante, no que diz respeito ao comportamento dos volumes por alças de

distribuição e a montante destes pontos, não foi possível. Isto, pois as intervenções em vias públicas, em São Paulo, respeitam um cronograma de liberação estipulado por órgãos municipais e os prazos ultrapassavam aquele necessário para a conclusão deste Mestrado.

6. CONCLUSÕES

As análises dos volumes recuperados nesta dissertação permitiu aferir o método do balanço hídrico com o modelo hidráulico de perdas no *software* livre denominado “Water Audit v.4” (AWWA) como uma boa ferramenta auxiliar no controle das perdas de água. Por necessitar de variados dados, seu usuário necessita conhecer o sistema e, assim, possibilita-se obter os resultados de variados cenários de aplicação prática, contribuindo para o direcionamento assertivo dos investimentos no controle das perdas físicas. O *software* o seu manual estão disponíveis no site < www.awwa.org>.

A utilização de válvulas redutoras de pressão (VRP) nas redes de distribuição para adequação da linha piezométrica e da redução de vazão das perdas pelos vazamentos, nos períodos de menor solicitação dos consumidores, contribui para o monitoramento e otimização do controle, criando novos distritos de medição. Estes, aliado aos recursos tecnológicos de automação, tais como os controladores eletrônicos de VRP, *data loggers* (armazenadores) de ruídos e correlacionadores de ruídos, faz possível realizar ações de forma pró ativa no combate ao desperdício de água, em redes de distribuição, quando observado o aumento da vazão noturna.

O estudo também observou que em seus resultados que as ligações prediais (ramais) concentram os maiores índices de desperdício de água em redes de distribuição. Logo, reforça-se que pesquisas sobre as técnicas de instalação ou materiais mais resistentes são necessárias, inclusive em períodos da sua manutenção.

Uma das perspectivas de continuidade deste estudo é a realização da troca otimizada de ligações prediais com um material tecnologicamente superior, em uma área de efetivo controle e com um histórico de manutenções e de indicadores de perdas. Desta forma, pode-se, comparar as demais ações

convencionalmente utilizadas para a redução das perdas de água nos sistemas de distribuição. Neste contexto, os modelos matemático de simulação-otimização para localização de fugas, baseados no método inverso, se inserem como uma ótima ferramenta, nas campanhas de investigação de vazamentos “*In loco*”, reduzindo, consideravelmente a extensão de redes a serem pesquisadas com os aparelhos de detecção (geofones, *data loggers* ou correlacionadores de ruídos).

Recomenda-se, então, a ampliação de investimentos neste setor, tendo em vista à viabilidade de retorno e a escassez deste recurso tão precioso à vida. A continuidade das investigações, na análise do modelo sob o regime transitório de escoamento buscando o aperfeiçoamento das faixas de propagação de ondas características de vazamentos e os fatores que causam os rompimentos nas redes e ramais prediais, é necessária em uma etapa futura, buscando identificar com inovações tecnológicas, os vazamentos que atualmente são classificados como inerentes e neste estudo representaram em torno de 50% dos resultados aferidos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, H. et al. Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água. LONDON: IWA PUBLISHING, 2000. P 164.

ALMEIDA, M.C.S.R.S. et al. A DETECÇÃO SISTEMÁTICA DE FUGAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE LISBOA E O PROJETO SPRINT, IN: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999, RIO DE JANEIRO, ANAIS. P 1080.

ARIKAWA, K.C.O. Perdas Reais em Sistemas de Distribuição de água – Proposta de Metodologia para avaliação de Perdas Reais e Definição das Ações de Controle. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM HIDRÁULICA E SANEAMENTO) – ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO PAULO, 2005. P 196.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). Manual of Water Supply Practices M36: Water Audits and Leak Detection. 2ND. ED. DENVER: AWWA PUBLICATIONS. 1999. P 98.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). IN: Congresso Water Loss XX, 2010, SÃO PAULO, ANAIS. P 1080.

AZEVEDO NETTO et al. **Manual de hidráulica.** 8° Ed. São Paulo, Editora Blucher, 1998. p.148 – 153.

BAGHDADI, A.H.A.; MANSY, H.A. A mathematical model for leak location in pipelines. Modelagem Matemática Aplicada. 1988. P 122.

CORTES, F.I.A.; ALEJO, L.H.O. **Evaluation of Water Losses in Distribution Networks.** Journal. Water Resources. Plan. Manage. ASCE. 1997. p 123.

COVAS, D. Detecção e Localização de Fugas em Redes de Distribuição de Água: Método de Análise Hidrodinâmica. TESE DE MESTRADO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA, LISBOA. 1998. P 67.

DINIZ, A. R. S.; HURTADO, L. S. N.; BRAGHIROLI, M. A. **Data Logger de Ruído, Uma Nova Tecnologia no Processo de Detecção de Vazamentos Não Visíveis.** In: 22º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Santa Catarina. 2003. p 23.

FANTOZZI, M. ET AL. **Some Examples of European Water Loss Targets, and the Law of Unintended Consequences,** Water Loss, São Paulo, 2010. p 192.

FARLEY, M.; TROW, S. **Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control.** LONDON: IWA PUBLISHING, 2003. p 282.

GUMIER, C. C. **Aplicação de Modelo Matemático de Simulação Otimização na Gestão de Perda de Água em Sistemas de Abastecimento.** CAMPINAS, FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2005. p 128. DISSERTAÇÃO (MESTRADO).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Determinação e Caracterização de Submedição no Rol Comum em unidades de negócio da Sabesp – RMSP,** São Paulo. 2007. p 143.

IWA – INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. ABOUT IWA – WHO WE ARE. DISPONÍVEL EM <WWW.IWAHQ.ORG> ACESSO EM 01 DE SETEMBRO DE 2008.

IWA – INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. ABOUT IWA – DISPONÍVEL EM <WWW.IWAHQ.ORG> ACESSO EM 16 DE OUTUBRO DE 2010.

KINGDOM.B.; LIEMBERGER. R.; MARIN P.; **WATER SUPPLY AND SANITATION BOARD DISCUSSION PAPER SERIES. PAPER N. 08 THE WORLD BANK, WASHINGTON, DC.** 2006. p 52.

LAMBERT, A. **Managing Leakage: Strategies for Quantifying, Controlling and Reducing Water Losses, based on analysis of Components using**

BABE Concepts. PAPER PRESENTED AT IIR CONFERENCE – WATER PIPELINES AND NETWORKS MANAGEMENT, LONDON, 1997. P 113.

LAMBERT, A. International report on water losses management and techniques. PAPER PRESENTED AT THE 2ND WORLD WATER CONGRESS: WATER DISTRIBUTION AND WATER SERVICES MANAGEMENT, BERLIN. 2001

LAMBERT, A.; THORNTON, J. AVALIAÇÃO DE PERDAS REAIS. REGIÃO SÃO PAULO. SABESP, 2002. P 132.

MELATO, D. S., Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: Aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL) ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO PAULO, 2010. P 133.

PARK, J.I.; LAMBERT, J.H.; HAIMES, Y.Y., Hydraulic power capacity of water distribution networks in uncertain conditions of deterioration. Water Resources Research, VOL. 34, N. 12, 1998. P.3605-3614.

PMSS / SNIS – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2005. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. < HTTP://WWW.CIDADES.GOV.BR/INDEX.PHP?OPTION=COM_CONTENT&VIEW=ARTICLE&ID=405:INDICADORES&CATID=90&ITEMID=119> ACESSADO EM 18 DE AGOSTO 2011.

PMSS / SNIS – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2009. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. < HTTP://WWW.CIDADES.GOV.BR/INDEX.PHP?OPTION=COM_CONTENT&VIEW=ARTICLE&ID=405:INDICADORES&CATID=90&ITEMID=119> ACESSADO EM 18 DE AGOSTO 2011.

SABESP. SIGNOS–SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NO SANEAMENTO. DISPONÍVEL EM <WWW.PREMIOMARIOCOVAS.SP.GOV.BR/PESQUISA2005/TIC%20TRANSACOES%20INTERNAS/TT_274.DOC> ACESSADO EM 22 DE MARÇO 2006.

SABESP. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **GERENCIAMENTO DE PERDAS DE ÁGUA.** DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO INTEGRADO MPI – 2005. P 44.

SABESP. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA.** PROJETO EFICAZ. DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO INTEGRADO MPI – 2010. P 111.

SANTOS, A. **ESTUDO DAS PERDAS POR VAZAMENTO APLICADO A UM SETOR DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SÃO CARLOS.** DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM HIDRÁULICA E SANEAMENTO) – ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO CARLOS, 2000. P 114.

SILVA, R. A. **Supervisão de tubulações por computador on-line.** DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA) – FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, CAMPINAS, 1996. P 102.

SILVA, R. T. **INDICADORES DE PERDAS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.** MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. SECRETARIA DE POLÍTICA URBANA. BRASÍLIA, BRASIL. <WWW.AMBIENTEBRASIL.COM.BR/COMPOSER.PHP3?BASE=../AGUA/URBANA/INDEX.HTML&CONTEUDO=../AGUA/URBANA/PROGRAMAS/PNCDA.HTML> ACESSADO EM 15/09/2010 AS 0H30.

SOARES, A. K. **Calibração e Detecção de Vazamentos em Modelos de Sistemas Hidráulicos no Escoamento Transitório.** (DOUTORADO EM HIDRÁULICA E SANEAMENTO) – ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO CARLOS, 2007. P 336.

TARDELLI FILHO, J. Controle e Redução de Perdas. In: TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água.** Ed.1. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. p 496.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. *Water Loss Control.* 2º ed. EUA. **McGraw-Hill.** 2008. p 345 – 350.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água**. Ed.1. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. p 643.

VAIRAVAMOORTHYL. K.; LUMBERS.J.; ***Leakage Reduction in Water Distribution Sys Optimal Valve Control. USA. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, 1998. p 1147.***

8. ANEXO

CONTROLE DE PERDAS – DESENVOLVIMENTO CONTINUO PARA DETECÇÃO DE VAZAMENTOS DE ÁGUA NA RMSP.

Jose Gilberto Dalfre Filho¹, professor de pós graduação da FEC – UNICAMP
dalfre@fec.unicamp.br. Aldo Roberto Silva Diniz², técnico em sistemas de saneamento da Sabesp pós
graduando, área de concentração em RHEA-FEC-UNICAMP; a096437@dac.unicamp.br.

RESUMO

O modelo de redução de perdas do sistema de distribuição de água na Região metropolitana de São Paulo (RMSP), historicamente, focou-se no controle da pressão usando válvulas redutoras de pressão e técnicas não destrutivas para detectar vazamentos não visíveis. Desde 2005, uma nova abordagem foi adotada. Um modelo de controle, baseado na medição de vazão utilizando novas tecnologias de medidores eletromagnéticos e envio de dados remotamente, em tempo real foi introduzida, a fim de melhorar o controle de fugas. Este modelo é chamado de Metodologia de Análise de Soluções de Problemas para Perdas - (MASPP). Mas, não só a tecnologia foi suficiente para a efetiva redução de perdas. O compromisso do grupo foi essencial. Uma Central de Controle Operacional da Distribuição (COD) da concessionária foi criada para sistematizar a distribuição de água e o consequente controle de perdas. O objetivo deste trabalho é apresentar o método e os resultados dessa nova abordagem para a redução de perdas em uma área densamente povoada como a grande São Paulo.

ABSTRACT

The model for losses reduction in the São Paulo Greta Area has historically focused on the control of pressure, using pressure-reducing valves and non-destructive techniques for detecting not visible leaks. Since 2005, a new approach was adopted. A control model based on flow measurement using new technologies of electromagnetic meters and remote data was introduced in order to improve leakage control. This model is called Analysis Methodology for

Troubleshooting Losses - (MASPP). But, not only, was the technology effective enough to reduce losses. The commitment of the group was essential. An Operational Distribution Control Center (COD) was created to systematize the distribution of water and consequent loss control. The aim of this paper is to present the method and the results of this new approach to reduce losses in a densely populated area such as São Paulo.

Palavras chave – Eficiência operacional, controle de perdas, infraestrutura urbana

INTRODUÇÃO

Os serviços de infraestrutura formam a base fundamental das funções sociais e econômicas de uma nação, tais como comunicação, distribuição de energia, transportes, esgotamento sanitário e distribuição de água. Estes sistemas de infraestrutura são geograficamente distribuídos por extensas áreas e devem possuir longa vida útil.

Um dos principais papéis do estado é prover aos usuários água com qualidade e em quantidade suficiente. Park, Lambert e Haimes (1998) citam que o sistema de distribuição de água baseia-se em componentes vitais que incluem os reservatórios, as tubulações, as bombas, as válvulas, entre outros. O desempenho destes componentes depende de uma série de fatores humanos e técnicos, ademais do nível de investimento e de manutenção. Os recursos públicos, cada vez mais escassos, tornam o controle de fugas uma questão essencial.

As perdas no sistema de distribuição de água são, basicamente, contabilizadas pela diferença entre o Volume Distribuído e o Volume Utilizado. Para contabilizar o volume utilizado é necessário conhecer os volumes utilizados em operações de manutenção em redes, em áreas consideradas de usos sociais e nas imprecisões das medições. Já, o volume distribuído tem sua otimização alcançada por diversas ações que são implementadas e controladas no sistema de distribuição de água. Assim, para identificar –se uma área com potencial de diminuição de perdas, usualmente, prioriza-se a região onde a contabilização do volume distribuído e utilizados apresenta a maior diferença ou, simplesmente, utiliza-se o controle de reclamações de clientes, atuando nas aglutinações das reclamações de baixa pressão piezométrica da rede, falta de água ou vazamentos visíveis.

Os volumes de macromedição dos setores são identificados com medidores de vazão instalados nos reservatórios, cujos erros de leitura podem ocorrer da inadequação do medidor ou, para aquela situação até mesmo, da sua ausência no sistema, ou ainda, da falta de calibração ou da sub-medição nas baixas vazões. Cabe ressaltar que a medição volumétrica de vazão de líquidos, que é a mais utilizada na maioria dos processos, depende do estudo das variáveis que a influencia, tais como a velocidade de escoamento do fluido, a viscosidade do líquido, a temperatura, a pressão e a massa específica. Conhecidas adequadamente estas variáveis, será possível compensar, descartar ou, ainda, selecionar um tipo de medidor específico para uma determinada aplicação.

Já, a gestão das pressões usa minimizar as pressões do próprio sistema e o tempo de duração das mesmas, enquanto assegura o mínimo padrão de serviço para os consumidores. Isto é alcançado pela setorização dos sistemas de distribuição, através do controle da bomba diretamente na rede ("*booster*") ou pela introdução de válvulas redutoras de pressão (VRPs).

No que diz respeito ao controle de perdas, o controle ativo de vazamentos se opõe ao controle passivo que é, basicamente, a atividade de reparar os vazamentos apenas quando eles se tornam visíveis. O método mais empregado no controle ativo de vazamentos é a pesquisa de vazamentos não visíveis, realizada através de métodos acústicos de detecção de vazamentos (haste de escuta, geofones eletrônicos). Esta atividade reduz o tempo de vazamento. Assim, quanto maior a frequência de realização do inquérito, maior será a taxa de recuperação de volume anual.

Uma análise custo-benefício pode definir a melhor frequência de inquérito a ser realizado em cada área. A partir do conhecimento da existência de um vazamento, o tempo despendido para a sua localização e sua efetiva reparação é um ponto chave da gestão de perdas físicas. Entretanto, é importante assegurar que o reparo seja executado com qualidade. Um serviço de má qualidade gerará reincidência de perdas, que pode ocorrer em horas ou dias após a repressurização da rede de distribuição.

O objetivo deste trabalho é apresentar o processo de melhoria contínua na gestão operacional para redução de perdas, nos sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). As principais ações de combate às perdas físicas são o controle das pressões por válvulas redutoras de pressão, a otimização das áreas de controle, a setorização piezométrica e a detecção de vazamentos não visíveis.

2. HISTÓRICO DOS PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DO CONTROLE DE PERDAS.

Covas et al. (1998) apresentam que muitos dos autores pioneiros não desenvolveram os estudos diretamente direcionados para as redes de distribuição de água, mas para redes da indústria química, em que as fugas dos fluidos podem provocar graves problemas para o meio ambiente. No entanto, as conclusões para aqueles sistemas adequaram-se ao setor de abastecimento de água.

Conforme Arikawa (2005) antes de 1900 o controle de perdas reais era feito pelo Controle Passivo, ou seja, os reparos de vazamentos somente eram efetuados por intermédio de solicitação do usuário. Naquela época, as prestadoras de serviços de saneamento ainda não haviam implantado as ações como a pesquisa de vazamentos e o controle de pressão.

O controle ativo iniciou-se apenas com as medições de vazão, através da utilização de tubo Pitot, em zonas delimitadas. 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 ser monitoradas por meio do controle de pressão e da modelagem ativa das perdas nas redes.

O histórico dos procedimentos de análises das perdas no âmbito internacional e nacional é apresentado por Lambert et al. (1999) e Alegre et al. (2000). Foram realizados estudos de modo a atualizar a curva do Relatório 26 (1998) e tornar mais precisa a estimativa de diminuição ou aumento das vazões noturnas com a pressão. Em particular, foi levado em consideração o conceito FAVAD (Fixed and Variable Area Discharge Path), que significa área fixa ou variável da abertura na tubulação, através da qual se processa o vazamento, acoplado com o conceito BABE (Bursts and Background Estimate), desenvolvido pela National Leakage Initiative / Inglaterra (1994) que trata da divisão dos componentes do vazamento (perdas inerentes, arrebentamentos e extravasamentos). Como resultado, foi apresentado um conjunto de curvas em Lambert (1997) que possibilita uma estimativa mais real da variação das vazões noturnas com a variação de pressão. Um exemplo de área fixa, através da qual se processa o vazamento, é um furo proveniente de corrosão localizada, em um tubo de ferro fundido ou aço, que não varia de dimensão/área independentemente da pressão. Exemplo de área variável seria uma trinca num tubo (de PVC ou metálico), que tende a progredir e aumentar a área, através da qual se processa o vazamento. O mesmo caso de área variável seria um vazamento através do anel de borracha, usado na ligação entre tubos de ferro fundido. Comumente, os dois tipos de vazamentos existem na maioria dos sistemas de distribuição, sendo possível existir casos extremos onde existem vazamentos só através de áreas fixas, ou vazamentos só através de áreas variáveis.

A IWA (2000), apresentou a revisão dos indicadores de desempenho chamados “*best practice performance indicators*” em que foram estabelecidos 133 indicadores de desempenho para diferentes funções, sendo 12 indicadores infra estruturais, 02 indicadores de recursos hídricos, 36 indicadores operacionais, 25 indicadores de qualidade de serviço, 36 indicadores econômico-financeiros e 22 indicadores de recursos humanos. Tais indicadores foram, então, subdivididos em 3 níveis:

- Nível 1 (básico ou geral): que inclui um primeiro conjunto de indicadores de desempenho fornecendo uma síntese da eficiência e da eficácia da entidade gestora;
- Nível 2 (intermediário): que constitui um conjunto adicional de indicadores de desempenho permitindo um conhecimento mais pormenorizado do que os indicadores Nível 1, para usuários que necessitem de uma análise mais profunda;
- Nível 3 (detalhado): que constitui um segundo conjunto adicional de indicadores de desempenho, de maior especificidade, relevantes para a gestão de excelência da entidade gestora. Com base nos mesmos conceitos utilizados pela Força Tarefa da IWA (2000), foram definidos os indicadores de desempenho para avaliação de perdas físicas, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores de Desempenho para Perdas Físicas

| Indicador | Nível de Importância | Unidade Recomendada |
|------------------------------------|-----------------------------|---|
| Perdas físicas | N1 | litros/ligação.dia, para densidade de ligações maior que 20 lig/km, ou litros/km.dia, para densidade de ligações menor que 20 lig./km, sempre quando o sistema está pressurizado. |
| Índice de perdas da infraestrutura | N3 | Relação entre as perdas físicas e as perdas físicas anuais mínimas |

Fonte: Performance Indicators for Water Supply Services, IWA - 2000

No entanto, como pode ser visualizada na tabela 1, a escolha do indicador de desempenho de perdas físicas depende da densidade do número de ligações por extensão de rede. A recomendação considera que se a densidade de ligações for maior que 20 lig/km, provavelmente mais de 50% das perdas estão localizadas nas ligações sendo, portanto, adequado utilizar-se o número de ligações como denominador do indicador de desempenho. Caso a densidade de ligações for menor que 20 lig/km, utiliza-se a extensão de rede.

Para o indicador de desempenho detalhado recomenda-se a utilização do Índice de Perdas da Infraestrutura (ILI - *Infrastructure Leakage Index*) que é a relação entre as perdas físicas atuais (CARL - *Current Annual Real Losses*) e as perdas físicas inerentes (UARL - *Unavoidable Annual Real Losses*). O cálculo das perdas físicas inerentes (UARL) depende da extensão das redes, do número de ligações, da extensão da ligação até o micro-medidor e da pressão média de operação. O índice de perdas da Infraestrutura é uma medida da efetividade da manutenção do sistema, incluindo a pesquisa de vazamentos, a velocidade dos reparos e a qualidade dos materiais. Para cálculo do índice UARL, em casos cujo comprimento das ligações são desprezíveis, considerando os valores apresentados pela IWA (2000), pode-se utilizar a equação (1).

$$\text{UARL (l/dia)} = (18 \times L_m + 0,8 \times N_c) \times P, \quad (1)$$

Em que L_m é extensão de rede em km, N_c é o número de ligações e P é a pressão média em mH_2O

Em Soares et al. (2007), foi desenvolvido um modelo com vistas às calibrações de sistemas hidráulicos, além da detecção e da localização de vazamentos nas tubulações através da resolução do problema inverso, que consiste na minimização dos desvios entre parâmetros observados e os simulados, tais como as pressões e as vazões.

Analisando-se a melhor forma de se utilizar os indicadores de perdas, Alonso (2009) aponta que grandes empresas, com recursos suficientes para o desenvolvimento de indicadores mais sofisticados como o Índice de Perdas da Infraestrutura (ILI - *Infrastructure Leakage Index*). Para aquelas com restrição de recursos e cujo objetivo principal é o de reduzir as perdas imediatas, sem ainda poder comparar sua eficiência com

as grandes empresas, o autor recomenda utilizar o índice percentual econômico e de simples aplicação.

Também, outro parâmetro bastante utilizado é o fator de pesquisa que relaciona a vazão média diária dividida pela vazão mínima noturna. A vazão mínima noturna é obtida como a média das vazões entre o período das 2h até às 4h da manhã. Assim, quando o fator de pesquisa for igual superior a três, dispara-se a ação corretiva.

A atividade de controle operacional e de combate a vazamentos nas redes de distribuição de água é que os custos de intervenções operacionais embrulhe em várias fases do processo. O levantamento e apropriação destes custos será importante para a análise econômica do controle de perdas que serão levados para a região em estudo.

As principais variáveis que devem compor o do levantamento são:

- Custos da Unidade referente à nota dos vazamentos visíveis através do sistema de telefonia.
- Os custos referentes às obras de detecção de vazamentos não - visível (mão de obra, equipamentos, materiais, administração, etc.)
- Custo relativo ao valor da água perdida (ou recuperação) nos vazamentos.

Os custos variam de lugar para lugar, dependendo das condições do mercado e da tecnologia do contratado de serviços e das características do sistema de abastecimento (imposto de aparecimento de vazamentos, disponibilidade hídrica, etc.)

Através da análise econômica em relação ao vazamento é possível determinar o nível aceitável de vazamentos na rede, que é definido como sendo o nível em que os custos adicionais para desenvolver a detecção de vazamentos de superar os custos adicionais para aumentar a produção de água . Em outras palavras, quanto menor os vazamentos melhor a receita líquida, mais difícil e com elevado custo será sua detecção, para posterior reparação, que não será capaz de pagar, em comparação com os gastos com a produção de água tratada. A figura 1, mostra o nível aceitável de vazamentos, através da composição das curvas em relação aos custos de praticar o controle ativo de vazamentos e de produção de água, apontando para o nível em que o custo total é menor.

Figura 1. – Análise Econômica: Nível aceitável de fugas

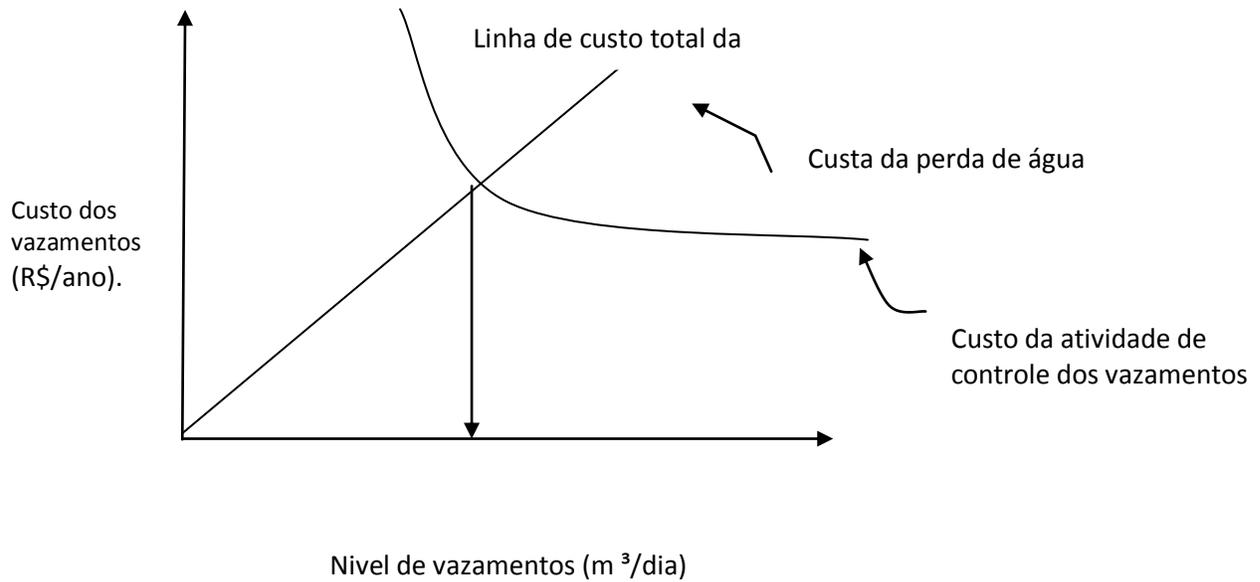


Figura 1. - Lambert A. – Managing Water Leakage – Economic and Technical Issues. London, (1998).

3. A GESTÃO DE PERDAS NA RMSP

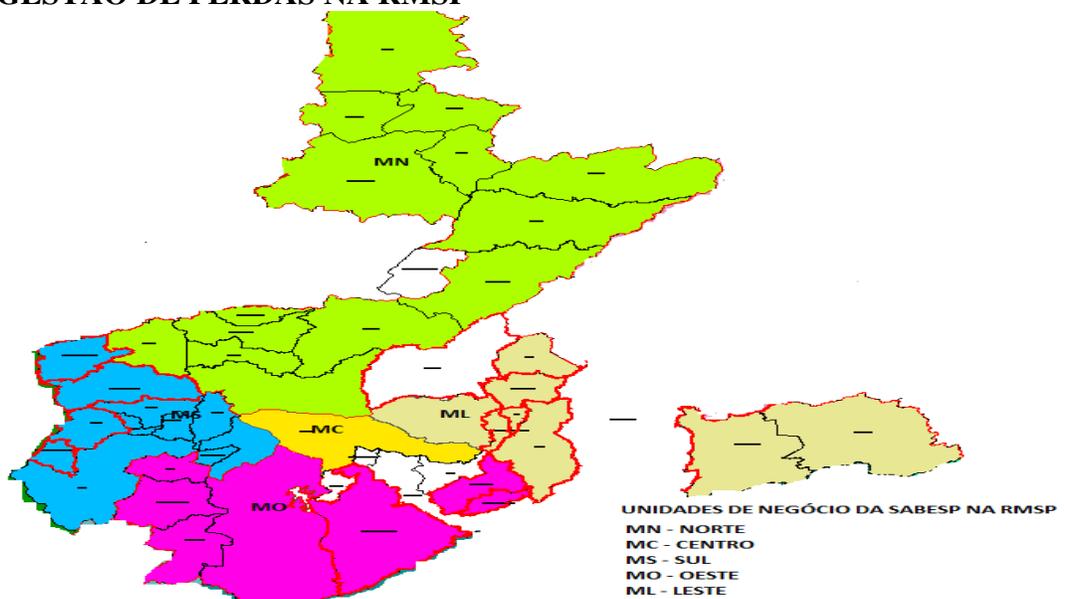


Figura 2. Mapa de atuação da Sabesp na RMSP.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) atua conforme o programa da Diretoria Metropolitana, no processo de gestão operacional para redução de perdas na Região Metropolitana de São Paulo. O processo consiste em um conjunto de ações planejadas por técnicos que, na cidade de São Paulo, está subdividida em cinco unidades de negócio (UN), a saber, subdivididas em Centro, Leste, Norte, Sul e Oeste como se visualiza na figura 2, A UN é a representação da Sabesp por uma superintendência local, responsável pela gestão operacional do saneamento em parcela na cidade de São Paulo e, em alguns casos nos municípios onde a SABESP tem a concessão para operar.

Cada unidade de negócio possui um Departamento de Engenharia e, sob a supervisão deste, a Divisão de Operação de Água, como se verifica na figura 3. A Divisão de Operação de Água existente na unidade de negócio do norte não é diretamente responsável pela implementação e continuidade de todas as ações de controle de perdas de água, contudo é indiretamente responsável, pois realiza o controle do sistema de distribuição de água na região.

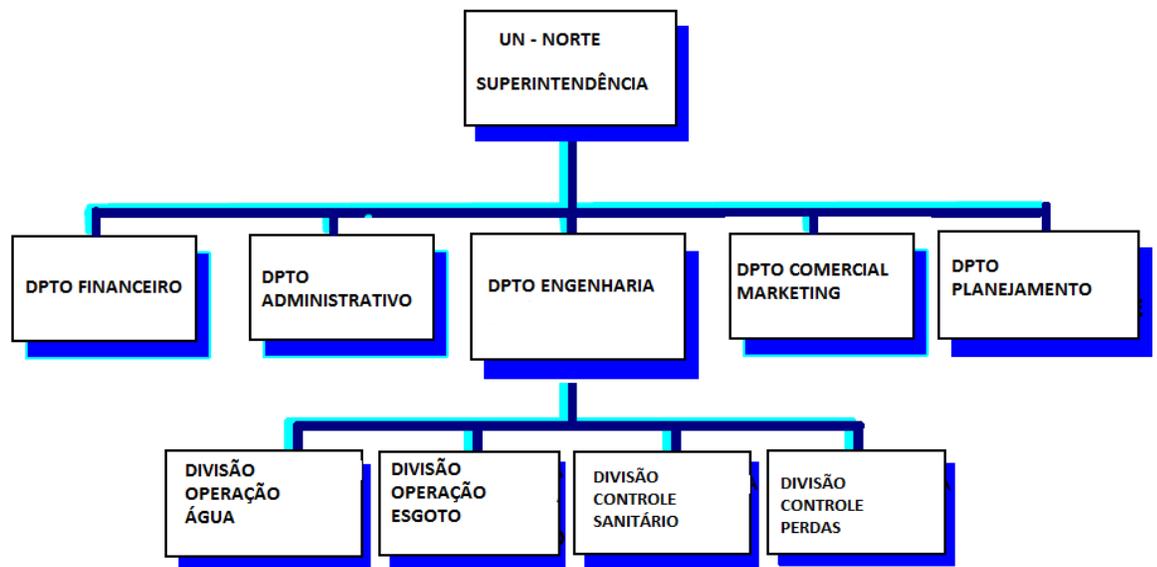


Figura 3. Diagrama da hierarquia da Unidade de Negócio Norte da Sabesp.

A Unidade de Negócios Norte da Sabesp é responsável pela distribuição de água da região norte de São Paulo, com uma ampla cobertura da rede de distribuição de água por Distritos de Medição e Controle (DMC) que são regiões onde os limites do setor de abastecimento são determinados para facilitar o controle das perdas. Habitualmente, existem de 2000 a 5000 ligações no máximo, controladas por válvulas redutoras de pressão em que são realizadas as atividades de detecção de vazamentos, periodicamente, no mínimo duas vezes por ano ou sempre que os indicadores de controle apresentarem oportunidades de melhoria.

Os DMCs são controlados até os limites impostos pela NBR 12218. Assim, a pressão máxima estática em redes de distribuição deve ser de 500 kPa e a mínima pressão dinâmica deve ser de 100 kPa nos pontos mais críticos. Ou seja, quando ocorre algum problema hidráulico ou mecânico na válvula redutora de pressão ou na sua respectiva área de influência da rede de distribuição, os clientes dos pontos críticos não recebem água dentro dos limites de pressão previstas nas normas da ABNT (mínimo de 100 kPa), levando a ação corretiva para a normalização do fornecimento. No tocante aos sistemas de abastecimento de água os problemas mais frequentes são novo vazamento na área de influência, mudança de comportamento de vazamentos antigos, aumento do consumo, bloqueio de redes antigas, problemas mecânicos na válvula redutora de pressão e a abertura ou fechamento de válvulas limitadas do DMC.

O método de trabalho empregado pela UN do Norte é o Método de Análise e Problemas de Perdas (MASPP) em que os sinais dos equipamentos de medição de vazão e pressão são recebidos periodicamente em intervalos de 15 minutos e uma Central de Controle da Operação de Distribuição (COD) processa os dados e identifica oportunidades de melhorias no processo de controle operacional em redes de distribuição de água, o que propicia a utilização sistematizada de ferramentas da qualidade tais como, Gráficos de Controle, CEP (Controle Estatístico de Processo), Diagrama de Ishikawa (correlação entre as causas e efeitos das ações), 5W2H(What, Who, When, Where, Why, How, How much), Diagrama de Pareto (ferramenta de controle), Curva ABC, (curva de priorização), Estas ferramentas facilitam a análise de problemas, determinam suas causas e como consequência elaboram-se planos de ação para eliminação das causas. Esta metodologia PDCA (Plan, Do, Check, Action) é constituída em duas fases distintas, A fase de construção, em que são definidos os tipos de gráficos de controle e seus limites de controle. Nesta fase, são definidos os gráficos de controle utilizados para cada item de controle escolhido, em que através do uso de CEP, são calculados o limite superior de controle, o limite inferior de controle e a média, que devem indicar o comportamento de um processo ao longo do tempo, fase de utilização, em que são usadas as ferramentas de controle para a análise e a melhoria do processo. São utilizados os gráficos de controle com os limites definidos na fase de construção, para realizar o controle estatístico do processo. Nas áreas de influência com a supervisão por telemetria pela COD, o problema é detectado antes da abertura de ordem de serviço dos usuários e desencadeia um protocolo de providências. A saber, a verificação dos equipamentos de válvulas redutoras de pressão e o acompanhamento de pressões nas redes de distribuição de água no interior do DMC, além da detecção de vazamentos não visíveis na área de influência do DMC.

A estrutura atual da divisão de engenharia da Unidade de Negócio Norte da Sabesp, no controle da distribuição de água e da detecção de vazamentos não visíveis para ação corretiva é composto por seis líderes e dezessete equipes que trabalham em escala de alternância. As equipes de trabalho são treinadas dentro dos padrões desenvolvidos pela Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI), que junto a diversas companhias de saneamento e empresários do setor desenvolveram o procedimento que muito contribuiu para a melhoria do processo durante a detecção de vazamentos não visíveis.

As equipes foram treinadas para capacitação de detecção de vazamentos não visíveis empregando equipamentos de última tecnologia como o geofone eletrônico, a haste de escuta, a barra de perfuração, os tradicionais manômetros, os localizadores de redes, os armazenadores dos dados de ruídos e os correlacionadores de ruídos. O geofone eletrônico indiretamente amplifica os ruídos emitidos pela passagem da água sob pressão em uma fissura na tubulação. A haste de escuta é utilizada em pontos de acesso direto a tubulação como amplificadora de ruídos. Já, a barra de perfuração permite a execução de um acesso mais próximo à tubulação enterrada. Os manômetros aferem a pressão no local. O localizador de redes permite a correção do cadastro técnico onde a posição exata da tubulação é aferida “in loco” por meio de transmissão de ondas, o armazenador de dados de ruídos é normalmente instalado em pontos de contato direto com a tubulação de água ou ramais prediais e guardam os sinais dos ruídos da tubulação, principalmente nos horários de menor consumo das ligações. E, finalmente, os correlacionadores de ruídos captam os sinais de ruídos e realizam o processamento dos sinais captados, realizando a correlação para identificar a posição exata do vazamento e indicando o local para escavação para correção do vazamento.

Já, Divisão de Operação de Água do Norte, o grupo de trabalho ativo no controle da pressão é composto por três equipes técnicas e um supervisor. As equipes estão divididas por setores de abastecimento e são encarregadas de exercer o controle e a otimização em determinadas áreas de um DMC. Eles são preparados e realizam as manutenções com diversos equipamentos para melhor desempenho do controle das perdas. São estes, os registradores de dados, os manômetros, os programadores e os coletores de dados, as chaves de manobra em registros hidráulicos e demais ferramentas mecânicas. Também, são utilizadas bancadas de testes para equipamentos de controle das VRPs e circuito de duplo “set point” (dois estágios de regulagem).

A COD é o “cérebro” do controle das perdas de água do sistema, em que são determinadas as faixas de níveis de controle, recebendo os dados dos transmissores GPRS na tradução representa serviços de rádio de pacotes geral, que são “modems” que transmitem os sinais sem a necessidade de cabos ou via internet, instalados nas DMCs. O sistema supervisor analisa os dados de controle e propõem as medidas preventivas ou corretivas, que se façam necessárias. Os sinais de pressão e vazão que chegam a COD são mapeados e compilados para gráficos de controle que facilitam as verificações das variações do período conforme figura 4.

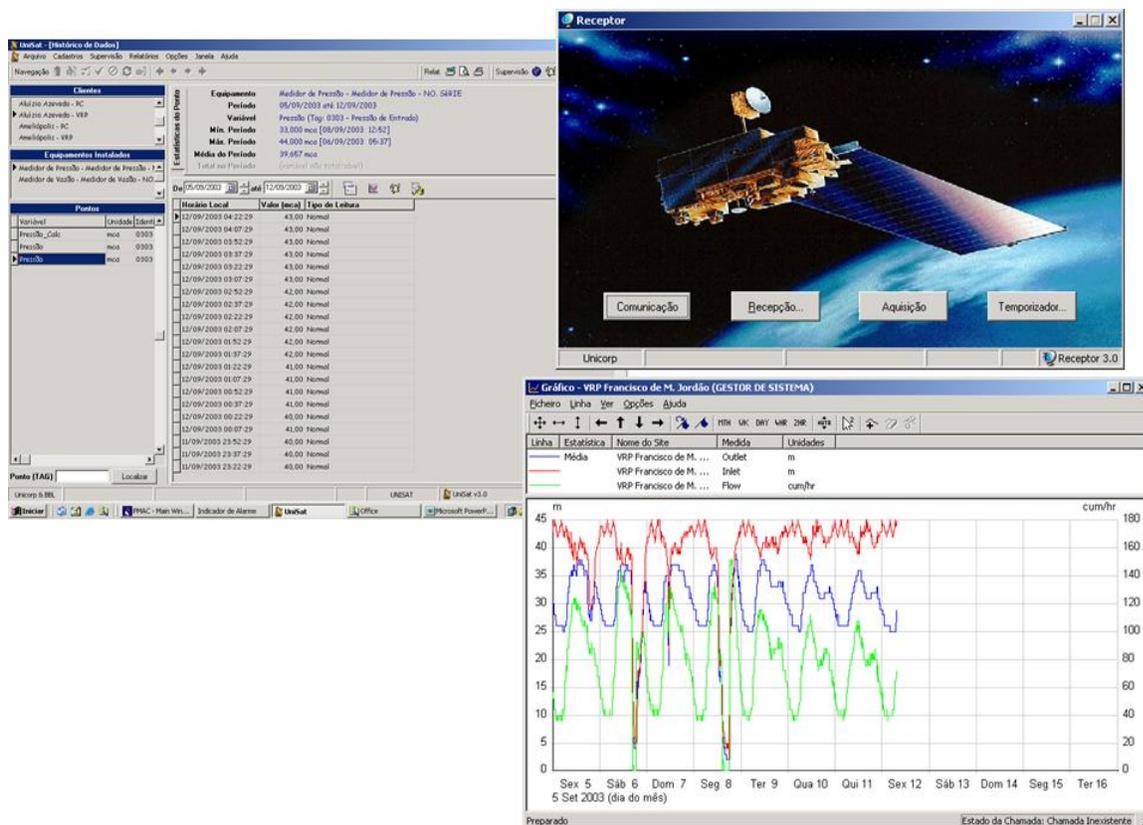


Figura 4 – GPRS e transmissão de dados, fonte SABESP (2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo em vista o desenvolvimento contínuo da detecção de perdas, o mesmo foi aplicado em um uma área com desníveis topográficos e gradativo aumento da vazão mínima noturna (VMN). A figura 5, apresenta a DMC em análise doravante denominada DMC ESTUDO, a válvula tem diâmetro de 0,20m e o diâmetro da rede é de 0,30 m. O medidor de vazão registrava uma elevação de 0,012 m³/s, no menor fluxo noturno. A respectiva pressão no ponto crítico (PC) foi aferida em 100 kPa, em uma área de extensão de rede de distribuição de 16.550 m.

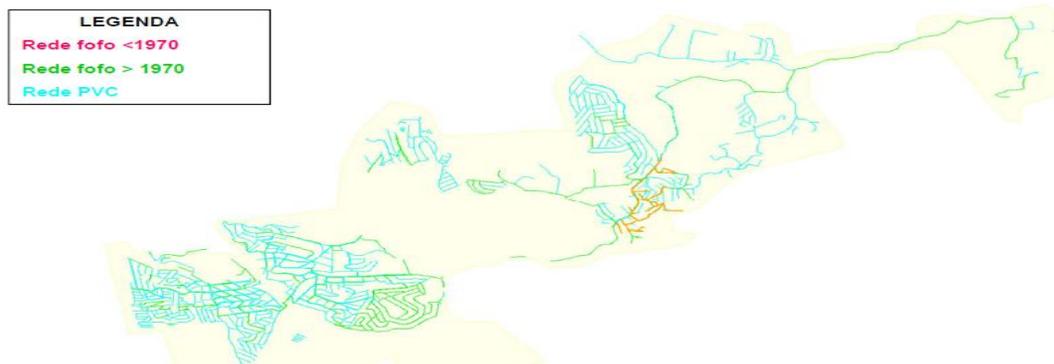


Figura 5. – DMC ESTUDO, Fonte Sabesp, UN.Norte – (2010).

A Unidade de Negócio do Norte possui uma considerável quantidade de válvulas redutoras de pressão que são denominadas Distritos de Medição e Controle (DMCs), para a melhoria da eficácia operacional na distribuição de água e controle de perdas no sistema. Para o desenvolvimento deste trabalho, será considerado o caso de uma DMC cuja rede representa 2,35% do total gerenciado pela unidade, que possui uma cobertura de válvula redutora de pressão no sistema, em extensão igual a 55% do total rede de distribuição de água da Unidade do Norte, que transporta 4,55 m³/s, o que representa 42% da sua vazão total.

Os materiais utilizados neste trabalho, dentro da DMC, são equipamentos de medição de vazão eletromagnéticos a bateria e com possibilidade de transmissão de dados GPRS (General Packet Radio Service), amplificador eletrônico de ruídos, piezômetro eletrônico com transmissão GPRS. A grande inovação no equipamento de medição utilizado está na possibilidade de obter os sinais com transmissão GPRS, sem a necessidade de se projetar uma estrutura elétrica de porte para as instalações físicas e com a vantagem da redução da imprecisão da medição em comparação a medidores de vazão taquimétricos. Por exemplo, no caso dos piezômetros eletrônicos com a inovação da transmissão GRPS, estes possuem baterias de longa duração, em torno de quatro anos, condicionadas aos intervalos de transmissão dos dados.

Para tanto, o método utilizado é o Método de Análise e Problemas de Perdas (MASPP), em que a COD inicia o processo de detecção de vazamentos não visíveis com correção pela inspeção hidráulica usando a metodologia da ABENDI, credenciada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

5. RESULTADOS E ANÁLISE

O Gráfico de controle apresenta os limites de controle que são calculados com base na variabilidade do processo. Tendo isto em vista, se o gráfico da variabilidade possuir causas especiais, não é possível confiar nos limites de controle calculados. Portanto é importante, antes de se validar os limites observar se a variabilidade do

processo está sob controle. Após a validação dos limites não se faz necessária a estabilidade estatística da medida de dispersão.

Os limites são inferior, média e superior que representam o histórico de anos anteriores obtidos pelos sinais de vazão captados e quando extrapolados são identificadas causas especiais.

A figura 6 (a) apresenta o gerenciamento dos sinais de vazão traduzidos em gráficos de controle. Nota-se uma anomalia, na mudança brusca da curva. Isto é definido, em padrão da SABESP, como “causa especial”. Assim, iniciaram-se as ações corretivas.

Primeiramente, fecharam-se as alças da rede dentro da DMC ESTUDO alternadamente. Desta forma, conseguiu-se identificar a direção do trecho em que serão aplicadas as técnicas de detecção de vazamentos não visíveis. Empregando as técnicas de detecção de fugas não visíveis, diversos vazamentos foram identificados e corrigidos.

Esta etapa seguinte, após, a correção dos vazamentos é verificada na figura 6 (b), em que o controle da vazão não retornou ao seu ponto de normalidade. Este ponto, é definido como sendo abaixo da linha inferior de controle.

Desta forma, uma inspeção adicional foi disparada, em que uma medição detalhada das pressões foi realizada na alça suspeita de estar prejudicando o abastecimento de água da região.

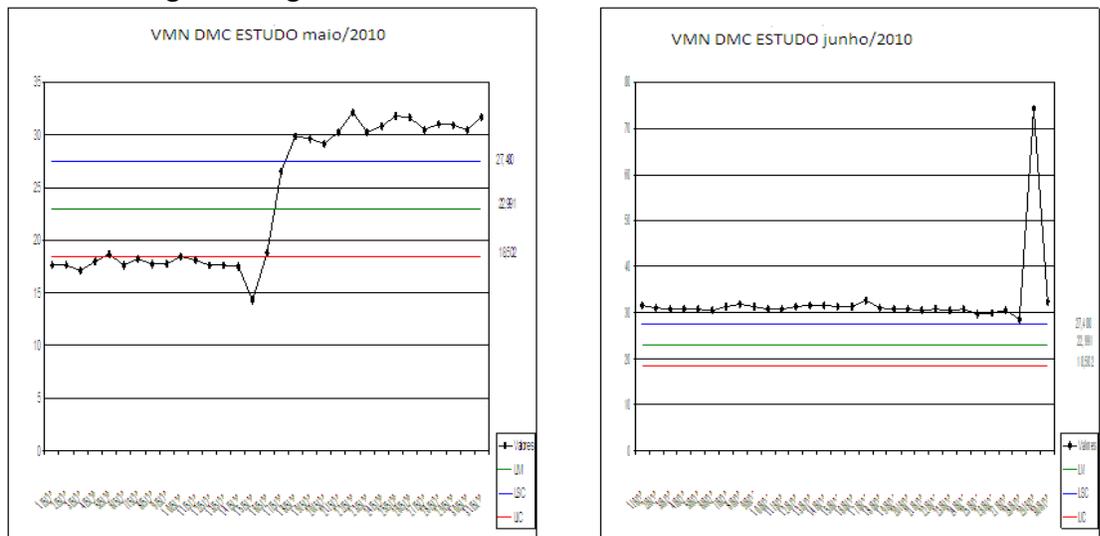


Figura 6 (a) e (b) – Gráficos de controle DMC ESTUDO - fonte Sabesp 2010.

As inspeções, neste caso, levaram a travessia de uma rede em 0,30m na linha da companhia de trens metropolitanos (CPTM), onde o acesso para inspeções e a correção de vazamentos dependem de permissões externas a SABESP e, sobretudo, a obra deve ser executada com cautela, para não interromper o transporte público.

Os indicadores resultantes da aplicação dos métodos apresentados no DMC ESTUDO são em uma extensão de rede de água 16.550 m, vazão mínima noturna (verificada entre 02h00 e 04h00) de 0,018 m³ /s, apresentado na figura 7, em que o total de vazamentos não visíveis detectados foi 43, os reparos em rede e ramais domiciliares foram iguais a 42 e o total de reparos em “vazamentos / km” rede do DMC igual a 2,53.

Este período de trabalho foi de 17/05/10 a 17/09/10. Após, as obras realizadas com sucesso, houve a normalização das pressões, como visualizado no gráfico 7.

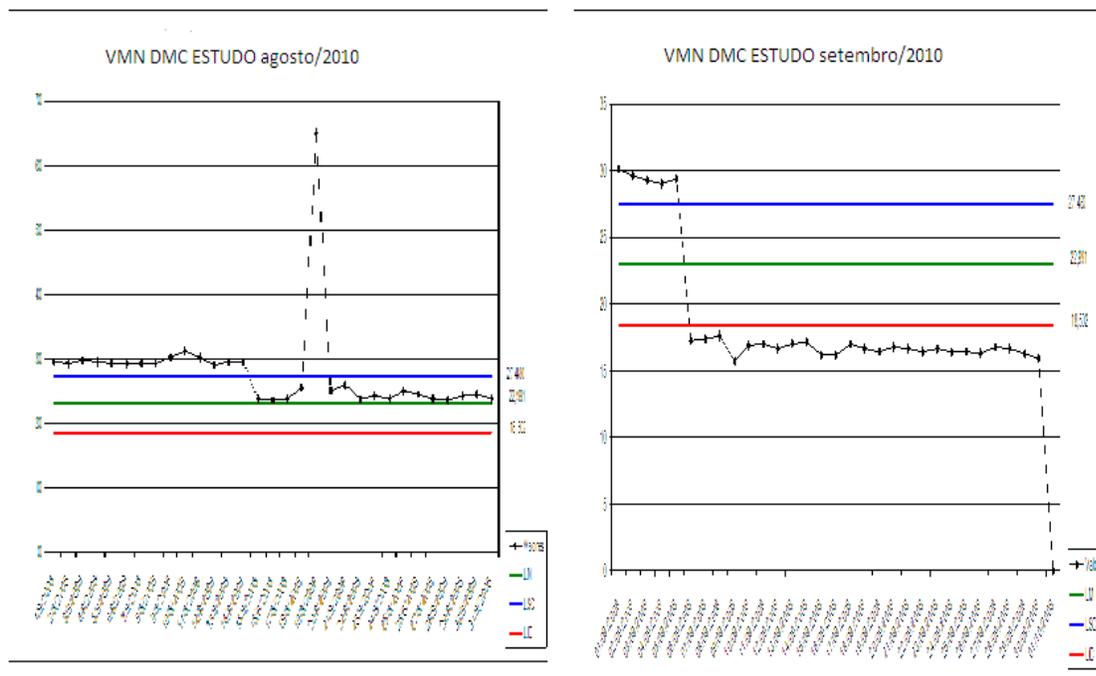


Figura 7 – Gráfico de controle DMC Estudo. Fonte Sabesp 2010.

O emprego de novas tecnologias é uma necessidade contínua. Porém, o cerne do modelo é o processo de controle do DMC e a detecção de vazamentos não visíveis. Estas são as referências para contratar os serviços, garantir recursos financeiros, otimizar a detecção de vazamentos nas redes primárias e secundárias, aplicar das novas tecnologias, melhorar e motivar constantemente a força de trabalho.

O grande desafio no controle operacional das redes de água é o fato de que, intervenções são necessárias para evitar o envelhecimento da infraestrutura, do parque de medidores, do aumento das fraudes, e o aparecimento e a evolução de novas perdas. As ações focadas no controle das perdas têm, primeiramente, que manter o abastecimento de água em todas as regiões de forma eficiente e racional de maneira a manter o fornecimento de água atual.

No tocante a qual indicador utilizar para controle das perdas, no caso da unidade de negócio norte da companhia de água de São Paulo, que em muito se aproxima da média das outras unidades de negócio da região metropolitana de SP (considerando a densidade média de 138 lig./km), o indicador recomendado é o uso do indicador por volume de água perdido é litro/ligação x dia. Este indicador permite um referencial comparativo. Em paralelo, os gráficos de controle da VMN são também essenciais para observarem-se com maior precisão as alterações dos sinais de vazão.

CONCLUSÕES

Os processos de controle e operação das redes de distribuição de água passam constantemente por atualizações tecnológicas. Neste contexto, observa-se a oportunidade de melhoria na velocidade de trânsito da informação e nas respostas com ações corretivas acertivas para a preservação ambiental e para o atendimento aos clientes. Os resultados do controle de fugas obtidos após o uso das novas tecnologias em equipamentos de medição eletromagnéticos, detecção de vazamentos não visíveis, transmissão de dados e de controle da pressão nas redes de distribuição de água aliados a ao controle operacional apresentou uma melhoria notável, verificados pelos indicadores de perdas físicas.

Observa-se também neste estudo que a referência do período da VMN das 02h00 as 04h00 tem apresentado uma leve variação em comparação aos estudos apresentados pela IWA, sugerindo-se um estudo sobre as causas desta discrepância.

A busca da eficiência do sistema operacional deve estar vinculado ao desenvolvimento de novas tecnologias que ofereçam condições de otimização das ações de controle e amplie os resultados almejados. A qualificação profissional das pessoas envolvidas no processo é crucial para o sucesso da operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, L. (2009), Estudos Técnicos e Projetos, ETEP, “O Indicador Percentual é Efetivo para o Controle de Perdas?”, revista DAE 181, set/09, fl.34.
- COVAS, D. (1998). Detecção e Localização de Fugas em Redes de Distribuição de Água: Método de Análise Hidrodinâmica. Tese de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- IWA, International Water Association. (2000) Performance Indicators for Water Supply Services, Publicação manual of Best Practice, International Water Association Publishing, London, 160 p.
- LAMBERT, A. (1997), “Pressure Management/Leakage Relationships: Theory, Concepts and Practical Application”, Watertight Solutions Ltd. 134 p. Inglaterra.
- LAMBERT, A. (1998), Managing Leakage: Strategies for Quantifying, Controlling and Reducing Water Losses, based on analysis of Components using BABE Concepts. Paper presented at IIR Conference – Water Pipelines and Networks Management, 162 p, London.
- PARK, J.I.; LAMBERT, J.H.; HAIMES, Y.Y. (1998) Hydraulic power capacity of water distribution networks in uncertain conditions of deterioration. *Water Resources Research*, vol. 34, n. 12, pp.3605-3614.
- SABESP, (2010), Avaliação do perfil das perdas da unidade de negócio norte. Relatórios técnicos e controle de perdas de água. 165 p. Unidade de Negócio Norte, SP.
- SANTOS, A.(2000), Estudo das Perdas por Vazamento Aplicado a um Setor da Rede de Abastecimento de Água de São Carlos. 114 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, R. A. (1996), Supervisão de tubulações por computador on line. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOARES, A. K.(2007), Calibração e Detecção de Vazamentos em Modelos de Sistemas Hidráulicos no escoamento Transitório.. 336 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

HALONEN.T.; ROMERO.J.; MELERO.J; (2003) “GSM, GPRS, and edge performance : evolution towards 3G/UMTS”, – 2 nd. ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication.