

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL**

ROBSON FONTES DA COSTA

**Métodos e Aplicações de Técnicas de Locações de Vazamentos não Visíveis
em Sistemas de Abastecimento de Água**

Orientador: Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles

**São Paulo
2011**

ROBSON FONTES DA COSTA

Métodos e Aplicações de Técnicas de Locações de Vazamentos não Visíveis em
Sistemas de Abastecimento de Água

Dissertação apresentada como exigência parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia, no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado em Tecnologia: Gestão, Desenvolvimento e Formação, sob orientação do Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles.

São Paulo
2011

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA
FATEC-SP / CEETEPS

Costa, Robson Fontes da
Métodos e aplicações de técnicas de locações de vazamentos
não visíveis em sistemas de abastecimento de água / Robson
Fontes da Costa. – São Paulo : CEETEPS, 2012.
153f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles.
Dissertação (Mestrado) – Centro Estadual de Educação
Tecnológica Paula Souza, 2011.

1. Abastecimento de água. 2. Métodos de pesquisa de
vazamentos.. 3. Perdas Reais. 4. Recorrência de vazamentos
I. Telles, Dirceu D'Alkmin. II. Centro Estadual de Educação
Tecnológica Paula Souza. III. Título.

ROBSON FONTES DA COSTA

Métodos e Aplicações de Técnicas de Locações de Vazamentos não Visíveis em
Sistemas de Abastecimento de Água

PROF. DR. DIRCEU D'ÁLKMIN TELLES – ORIENTADOR

PROF. DR. ALFREDO COLENCI JÚNIOR

PROF. DR. ALISSON GOMES DE MORAES

SÃO PAULO, 11 DE OUTUBRO DE 2011

Dedicatória

Aos meus pais, em especial a minha querida mãe Irene, presente em todos os momentos importantes da minha vida, e que, com sua simplicidade forjou esta conquista.

À minha amada esposa Simone por suportar as minhas ausências com paciência e amor estando ao meu lado. Sem a qual esse trabalho não seria possível.

Ao meu filho Rafael, razão de nosso viver, e pelo qual nenhum trabalho é árduo, pois seu sorriso é minha energia motivadora.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles, meu professor na graduação em Tecnologia e agora pela orientação, dedicação e incentivo durante a elaboração do trabalho.

Aos amigos da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, onde cada ação desta foi construída.

Aos colegas em especial das Divisões de Controle de Perdas Leste e Norte, que me apoiaram e acreditarão neste sonho, ajudando a construí-lo.

A todos os profissionais que tive a honra de treinar em pesquisa e detecção de vazamentos não visíveis, pois ensinando aprendi muito.

A Deus, por me abençoar com uma linda família e sempre me cercar de pessoas especiais.

“Mais fácil me foi encontrar as leis com que se movem os corpos celestes, que estão a milhões de quilômetros, do que definir as leis do movimento da água que escoam frente aos meus olhos.”

Galileu Galilei

RESUMO

COSTA, RF. **Métodos e Aplicações de Técnicas de Locações de Vazamentos não Visíveis em Sistemas de Abastecimento de Água**. 154f. Dissertação – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2011.

Nos Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água, como em qualquer indústria de transformação, existem perdas em algumas fases do processo. Desde a captação até o consumidor final, existem vários tipos de perdas, geradas em sua maioria por manutenções, operações, aplicação de materiais e tecnologias inadequadas.

As perdas reais correspondem ao volume de água tratada produzida que não chega ao consumidor final devido à ocorrência de vazamentos ou extravasamentos de reservatórios.

Para um efetivo combate a essas perdas é necessária à utilização de um correto método de pesquisa de vazamentos, sendo que, de acordo com as características do setor de abastecimento, pode ser dividido em três principais aplicações:

- Varredura de rede;
- Pesquisa sem medição de vazão;
- Pesquisa com medição de vazão.

Os resultados de cada aplicação utilizados em três sistemas de abastecimento, cada qual com suas características são apresentadas com suas vantagens e desvantagens.

A análise da recorrência dos vazamentos e a aplicação do formulário de “registro de falhas” complementam os estudos abordados, visando identificar as causas prováveis dos apontamentos de vazamentos não visíveis localizados.

Palavras Chaves: Métodos de Pesquisa de Vazamentos, Perdas Reais, Recorrência de Vazamentos.

ABSTRACT

COSTA, R.F. **Methods and Techniques Applications Locations of invisible leakage in water supply systems.**154f, Dissertation - State Center for Technological Education Paula Souza, São Paulo, 2011.

Treatment systems and water distribution, as in any manufacturing industry, there are losses in some stages. Since the capture to the end consumer, there are several types of losses, generated mostly by maintenance, operations, application of inappropriate technologies and materials.

The actual losses represent the volume of treated water produced that does not reach the final consumer due to the occurrence of leaks or overflows of reservoirs.

For an effective fight against these losses is necessary for a correct application of research method of leaks, and applied according to the characteristics of supply sectors, can be divided into three main applications:

- Scan network;
- Search without flow measurement;
- Research with flow measurement.

The results of each application used in three water supply systems, each with its features are presented with their advantages and disadvantages.

The analysis of recurrence of the leaks and the application of the form of a "record of failure" complement the published studies, to identify probable causes of the notes of invisible leakage leased.

Keywords: Research Methods Leak, Actual losses, Recurrence of leaks.

Lista de Ilustrações

Figura 1- Esquema de redes de distribuição de água.....	23
Figura 2 – Arranjo físico das redes de distribuição de água.....	24
Figura 3 – Esquema de ligação domiciliar de água.....	24
Figura 4 - Exemplos de peças nas redes de abastecimento	27
Figura 5 - Exemplos de vazamentos que ocorrem nas ligações domiciliares	30
Figura 6 - Exemplos de vazamentos que ocorrem em redes de distribuição.....	31
Figura 7 – Ligações clandestinas.....	32
Figura 8 – Vazão mínima noturna.....	38
Figura 9 – Fluxograma da classificação dos vazamentos.....	42
Figura 10 – Exemplos de duração de vazamentos	43
Figura 11 – Exemplos de duração de vazamentos em relação à frequência de pesquisas	44
Figura 12 – Relação entre pressão e vazão de vazamentos	45
Figura 13 – Taxa de surgimento de vazamento em relação ao tempo de pesquisa e detecção	46
Figura 14 – Esquema geral do gerenciamento das perdas reais	48
Figura 15 – Esquema de setorização clássica.....	50
Figura 16 – Esquema de uma Estação Pitométricas.....	53
Figura 17 – Esquemático de setor de abastecimento.....	54
Figura 18 – Curva de consumo de um Setor de Abastecimento de Água em 24 (vinte e quatro) horas	56
Figura 19 – Componentes da vazão mínima noturna.....	57
Figura 20 – Exemplo de determinação de valores para o cálculo de um fator de pesquisa	58
Figura 21 – Fluxograma de um sistema de prevenção e correção de vazamentos	61
Figura 22 – Balanço de volumes de vazamentos.....	63
Figura 23 – Som provocado por vazamentos	67
Figura 24 – Propagação do som do vazamento por tipo de material.....	68
Figura 25 – Faixa de percepção dos equipamentos de detecção de vazamento e frequências de vários sons, incluindo ruídos de vazamento.....	73
Figura 26 – Haste de escuta mecânica.....	75
Figura 27 – Geofone eletrônico.....	77
Figura 28 – Correlação de ruído com correlacionador	80
Figura 29 – Locador de massa metálica	81

Figura 30 – Localização de rede metálica por indução indireta.....	82
Figura 31 – Localização de rede metálica por condução direta.....	83
Figura 32 – Localização de rede metálica por bobina de indução.....	84
Figura 33 – Localização de rede não metálica	85
Figura 34 – Válvula geradora de ondas	86
Figura 35 – Roda de medição eletrônica	87
Figura 36 – Piezômetro	89
Figura 37 – Manômetro.....	90
Figura 38 – Exemplo de utilização de armazenadores de ruídos	92
Figura 39 – Exemplo de utilização de haste de escuta	96
Figura 40 – Exemplo de utilização de geofone eletrônico	97
Figura 41 – Mapa de pressão dinâmica – Setor Jaraguá	102
Figura 42 - Mapa temático de vazamentos em ramais – Setor Jaraguá.....	103
Figura 43 - Quadricula de manobra - Setor Jaraguá.....	105
Figura 44 – Mapa temático de vazamentos não visíveis executados - Setor Jaraguá	106
Figura 45 – Resumo das falhas encontradas nos ramais executados.....	120
Figura 46 – Área abastecida pela DMC Artur Siqueira	138
Figura 47– Problemas de infra-estrutura encontrados.....	147
Figura 48 – Exemplo de recorrência de vazamentos.....	148

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Pareto por quadrícula - Setor Jaraguá	107
Gráfico 2- Percentual de idade de rede por data de assentamento	117
Gráfico 3 – Material da rede de distribuição.	118
Gráfico 4 - Valores de pressões registradas por faixa durante as varreduras	119
Gráfico 5 – Material da rede do Setor Jaraguá.	124
Gráfico 6 – Ciclos de pesquisas no Setor Jaraguá.....	126
Gráfico 7 – Ciclo de re-pesquisas no Setor Jaraguá.....	128
Gráfico 8 – Vazamentos por quilometro entre os ciclos de pesquisas no Setor Jaraguá.....	128
Gráfico 9 – Gráfico de recorrência de vazamentos no Setor Jaraguá.....	129
Gráfico 10 – Gráfico das retas de recorrência de vazamentos no Setor Jaraguá.....	130
Gráfico 11 - Tipos de vazamentos locados em cavaletes	131
Gráfico 12 - Tipos de vazamentos locados em redes	131
Gráfico 13 – Serviços de manutenção realizados nos ramais locados	132
Gráfico 14 – Posição dos ramais locados	132
Gráfico 15 – Profundidade média dos ramais locados	133
Gráfico 16 – Tipos de vazamentos executados nos ramais locados.....	133
Gráfico 17 – Tipos de vazamentos nas conexões dos ramais locados	134
Gráfico 18 – Tipos de vazamentos nas conexões de rede dos ramais locados.....	134
Gráfico 19 – Acompanhamento das pressões antes e após os reparos de redes.....	135
Gráfico 20 – Acompanhamento das pressões antes e após os reparos de ramais.....	136
Gráfico 21 - Vazão inicial da DMC Artur Siqueira.	139
Gráfico 22 – Vazão final da DMC Artur Siqueira.	141
Gráfico 23 – Medição inicial e final da DMC Artur Siqueira.....	142
Gráfico 24 – Aumento da pressão após reparo do vazamento apontado.....	147

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Extensões percentuais por material de rede.....	117
Tabela 2 – Resultado do geofonamento realizado.....	118
Tabela 3 - Resultados percentuais dos registros de falhas	120
Tabela 4 – Características das redes de abastecimento	121
Tabela 5 - Tabela resumo de extensões de rede primária material e comprimento.....	123
Tabela 6 - Idade das redes de abastecimento do Setor Jaraguá	125
Tabela 7 – Primeiro ciclo de pesquisa.....	125
Tabela 8 – Segundo ciclo de pesquisa.....	126
Tabela 9 – Primeiro ciclo de re-pesquisa	127
Tabela 10 – Segundo ciclo de re-pesquisa	127
Tabela 11 – Vazão e fator de pesquisa da DMC Artur Siqueira	139
Tabela 12 – Resumo analítico da varredura efetuada por dia	140
Tabela 13 - Detalhamento dos vazamentos localizados na DMC Artur Siqueira	140
Tabela 14 - Vazão e fator de pesquisa finais da DMC Artur Siqueira.....	141

Lista de Quadros

Quadro 1 – Detalhamento do Balanço Hídrico	34
Quadro 2 – Balanço Hídrico.....	35
Quadro 3 – Componentes da vazão mínima noturna	37
Quadro 4 – Causas internas e externas de vazamentos	40
Quadro 5 - Características dos vazamentos visíveis e não-visíveis	41
Quadro 6 – Propagação de frequências	71
Quadro 7 – Propagação do som de vazamentos conforme material da tubulação	72
Quadro 8 - Relação entre o ruído de vazamentos e as características da tubulação.....	72
Quadro 9 - Equipamentos de medição de vazão	88
Quadro 10 – Formulário de preenchimento de resultado de pesquisa de vazamento	99
Quadro 11 – Formulário de registro de falha	101
Quadro 12 - Comparativo entre Métodos, Setores de Aplicação, Técnicas Acústicas, Infra-estrutura, Vantagens, Desvantagens e Indicadores das Técnicas de Locação de Vazamentos Não Visíveis.	150

Lista de Abreviaturas e Siglas

AZNP – Average Zone Night Pressure – Pressão média noturna do setor

ABENDI – Associação de Ensaio Não Destrutivos

CETRE – Centro de Treinamentos do Brasil

DMC – Distrito de Medição e Controle

EE – Estação Elevatória

ETA - Estação de Tratamento de Água

FP – Fator de Pesquisa

ILI – Infrastructure Leakage Index, - Índice Infra-estrutural de Perdas

IP (L/LIG*DIA) – Índice de Perdas de Ligação

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IWA – International Water Association. – Associação Internacional da Água

MCA – Metro de Coluna de Água

MN- Unidade de Negócio Norte da Sabesp

MNEP – Divisão de Controle de Perdas Norte

MNET – Divisão de Controle de Perdas Leste

NTS – Norma Técnica Sabesp

PE – Polietileno

PVC – Policloreto de Vinílica

QMN – Vazão Mínima Noturna

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

SABESP – Companhia Estadual de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SAM – Sistema Adutor Metropolitano

SIGNOS – Sistema de Geo-referenciamento utilizado pela Sabesp

TAP – Registro de Derivação para Executar Medições de Vazão e Pressão

UARL – Unavoidable Annual Real Losses – Perdas Reais Anuais Inerentes

VGO – Válvula Geradora de Ondas

VRP – Válvula Redutora de Pressão

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. OBJETIVO.....	21
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	22
3.1. Sistemas de abastecimento de água.....	22
3.2. Componentes da rede de distribuição.....	25
3.3. Cadastro técnico.....	27
3.4. Conceitos de controle de perdas.....	28
3.4.1. Balanço Hídrico.....	32
3.4.2. Perdas reais nas redes de distribuição.....	39
3.4.3. Classificação dos vazamentos.....	40
3.4.4. Duração dos vazamentos.....	42
3.4.5. Relação entre a pressão e os vazamentos.....	44
3.4.6. Taxa natural de ocorrência de vazamentos.....	46
3.5. Gerenciamento de perdas reais.....	47
3.5.1. Esquema geral.....	47
3.5.2. Áreas de controle.....	49
3.5.3. Distritos de medição e controle.....	51
3.5.4. Projeto do distrito de medição e controle.....	52
3.5.5. Implantação do distrito de medição e controle.....	52
3.5.6. Pontos de medição.....	53
3.5.7. Parâmetros básicos de controle.....	55
3.5.8. Análise econômica.....	59
3.6. Metodologia para priorização de áreas para pesquisa acústica de vazamentos.....	60
3.6.1. Sistema de prevenção e correção de vazamentos.....	60
3.6.2. Disponibilização dos mapas.....	61
3.6.3. Definição das áreas de controle e verificação da estanqueidade.....	62
3.6.4. Definição de metas.....	62
3.7. Priorização de áreas para pesquisa de vazamentos.....	64
3.7.1. Varredura de rede.....	64
3.7.2. Pesquisa sem medição de vazão.....	64
3.7.3. Pesquisa com medição de vazão.....	66
3.8. Princípios físicos do ensaio de detecção de vazamentos.....	67
3.8.1. Características da vibração produzida pelo vazamento.....	69
3.8.2. Propagação do ruído na tubulação.....	69
3.8.3. Características das frequências.....	70
3.8.4. Propagação do ruído.....	71
3.8.5. Detecção do ruído de vazamento.....	71
3.9. Equipamentos.....	73
3.9.1. Haste de escuta.....	74
3.9.2. Geofone eletrônico.....	75
3.9.3. Correlacionador de ruídos.....	77
3.9.4. Locador de massa metálica.....	80
3.9.5. Locador de tubulação metálica.....	81
3.9.6. Locador de tubulação não-metálica.....	81
3.9.7. Roda de medição.....	86
3.9.8. Medidores de vazão.....	87

3.9.9. Medidores de pressão	89
3.9.10. Armazenador de dados (“data logger”)	90
3.9.11. Armazenador de dados de ruídos	91
4. MATERIAL E METODOS.....	93
4.1. Procedimentos para execução do ensaio	94
4.1.1. Inspeção de campo para avaliação preliminar do trabalho.....	94
4.1.2. Avaliação em campo dos dados cadastrais da rede de distribuição de água	94
4.1.3. Pesquisa acústica em pontos acessíveis.....	95
4.1.3.1. Pesquisa de redes e ramais com geofone eletrônico.....	96
4.1.3.2. Pesquisa de redes e ramais com equipamento correlacionador.....	98
4.1.4. Confirmação em campo da localização de vazamentos	98
4.1.5. Registro dos resultados.....	98
4.2. Acompanhamento dos reparos	100
4.3. Elaboração de mapas temáticos.....	102
4.4. Medições de pressões	103
4.5. Medições de vazões.....	103
4.6. Metodologias aplicadas as priorizações de áreas para pesquisa de vazamento.....	103
4.6.1. Metodologia aplicada a varredura de rede.....	103
4.6.2. Metodologia aplicada a pesquisa sem medição de vazão.....	104
4.6.3. Metodologia aplicada a pesquisa com medição de vazão	107
5. APRESENTAÇÃO E ANALISE DOS RESULTADOS	115
5.1. Varredura de Rede.....	115
5.1.1. Limite e área do setor de abastecimento.....	115
5.1.2. Área de atuação do estudo	115
5.1.3. Válvulas redutoras de pressão existentes	116
5.1.4. Idade da rede.....	116
5.1.5. Resultados obtidos na varredura.....	118
5.1.6. Análise das pressões dinâmicas.....	118
5.1.7. Análise do registro de falhas	119
5.2. Pesquisa sem medição de vazão	121
5.2.1. Caracterização do setor de abastecimento.....	121
5.2.2. Infra estrutura existente	121
5.2.3. Análise de recorrências de vazamentos no Setor Jaraguá	125
5.2.4. Análise dos formulários de Registro de Falha.....	130
5.3. Pesquisa com medição de vazão	136
5.3.1. Medições	136
5.3.2. Parâmetros	137
5.3.3. Caracterização da área de estudo.....	137
5.3.4. Performance na área DMC Artur Siqueira	138
5.3.5. Pesquisa de vazamentos na DMC Artur Siqueira	140
5.3.6. Medição de vazão final.....	141
6. CONCLUSÕES.....	144
6.1. Varredura de rede	144
6.2. Pesquisa sem medição de vazão	145
6.3. Pesquisa com medição de vazão	149
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150

1. INTRODUÇÃO

A utilização da água é fundamental para a existência humana. Desde os primórdios da antiguidade o homem se estabelece as margens de rios e lagos, para prover sua própria sobrevivência.

A água é utilizada para diversos fins, desde o abastecimento, a agricultura, recreação ou até a diluição de poluentes.

Os conceitos de sustentabilidade, ainda eram desconhecidos totalmente ou não aplicados pela sociedade até o século passado. A preocupação pela manutenção de recursos ambientais não era relevante, apenas a sua exploração desenfreada, impulsionada por uma crescente onda de consumo e geração de serviços.

Estas atividades provocaram ao longo dos anos graves desajustes ambientais, aos diversos recursos naturais explorados pelo homem. Desta forma, os chamados recursos hídricos sofreram graves problemas gerados pela falta de uma política de sustentabilidade.

Hoje, mais de um bilhão de pessoas não tem acesso adequado e a um preço aceitável a água potável. Perto de dois bilhões e meio não dispõem de qualquer tipo de saneamento (CANDESSUS, 2005).

Como o ar, a água não é tão presente do que quando ela falta. O simples gesto de abrir uma torneira e para muitos ainda um luxo.

Durante séculos a água não foi uma preocupação: quando faltava, migrava-se em direção a outro poço a outra fonte. Com o tempo as regras mudaram e este horizonte, não é mais verdadeiro. A população do mundo multiplicou-se exponencialmente, o que demanda um maior consumo deste escasso recurso, desde as praticas de lazer, higiene ou a outras tão importantes como a agricultura.

O desenvolvimento sustentável não engloba somente todos os sujeitos do ambiente, ele os completos pela tomada em consideração das instituições públicas em seu conjunto, do mundo profissional privado e da sociedade civil nela contida. Sobretudo, ele sublinha a relação

sistêmica entre três obrigações incontornáveis de nossas economias: crescer, compartilhar – pois a pobreza é a poluição mais grave -, fazer prosperar o planeta que transmitimos para as gerações futuras. Trata-se de restabelecer o desenvolvimento para os 50% da humanidade que estão totalmente desassistidos (CAMDESSUS, 2005).

O crescimento desordenado de grandes centros urbanos agrava estas desigualdades. A disponibilidade de Recursos Hídricos para o atendimento desta demanda cada vez mais crescente da população é muitas vezes insuficiente.

A falta de políticas de planejamento e a falta de investimentos nos sistemas de abastecimento de água geram problemas de difícil solução, uma vez que a não eficiência destes sistemas geram “perdas” no processo, consumindo cada vez mais recursos naturais advindos das captações.

Segundo Tardelli Filho (2006) “perda” é toda água tratada que foi produzida e se perdeu no caminho, não chegando ao uso final pelos clientes. Portanto a água é um meio muito complexo, não somente no ponto de vista científico e técnico, mas igualmente pelas implicações políticas, sociais e econômicas e financeiras que sua gestão – boa ou má – vai provocar. Um conjunto de medidas técnicas, administrativas, financeiras e de comunicação que convém colocar em operação simultaneamente para se chegar a alguma solução, a um progresso coletivo, mensurável objetivamente. A abordagem sistêmica é então necessária.

Destas necessidades podem-se ressaltar as seguintes para um desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos:

- Combate as perdas;
- Reciclar a água;
- Diminuir a carga poluidora das indústrias;
- Utilização de água de chuva;
- Desenvolver gestão por Bacias Hidrográficas.

É necessária uma mudança mais profunda. Cultural com medidas que visem não somente a educação de nossos filhos ou da própria sociedade, mas atitudes que nos modifiquem mesmos na busca da sustentabilidade da água.

Em um sistema público de abastecimento de água, a ocorrência de vazamentos nas tubulações representa um grande problema para a companhia de saneamento.

É senso comum associar os vazamentos nas tubulações à idéia de perda, desperdício, ineficiência e outros qualitativos que denotam má gestão do sistema (CETRE, 2009). As conseqüências mais imediatas dos vazamentos são:

- Aumento dos custos de produção e operação, resultando em preços mais elevados da água tratada ao consumidor;
- Riscos maiores de contaminação da água distribuída quando houver depressurização da rede, pela possibilidade de acesso de agentes nocivos ao interior da tubulação;
- Danos aos patrimônios públicos ou privados, pela degradação do sistema viário e comprometimento das edificações devido a infiltrações de água;
- Prejuízos à imagem da companhia de saneamento perante a comunidade.

Segundo Gomes (2004) as tubulações da rede de distribuição são enterradas e transportam água sob pressão até os pontos de consumo junto aos imóveis, onde ocorre a medição dos volumes através de hidrômetros. Este ponto define as responsabilidades: até o hidrômetro a operação e manutenção do sistema cabem à companhia de saneamento; após o hidrômetro, todo e qualquer problema nas tubulações é de responsabilidade do consumidor.

Os vazamentos geralmente afloram à superfície, sendo então facilmente identificados e posteriormente corrigidos. Entretanto, em muitos casos os vazamentos não atingem a superfície do terreno, permanecendo dias, meses ou anos escoando, totalizando volumes consideráveis de perdas de água.

Para diminuir os efeitos desses vazamentos não-visíveis, existem técnicas de detecção acústica que devem ser sistematicamente aplicadas pela companhia de saneamento. Os

equipamentos e as metodologias envolvidas estão em contínuo desenvolvimento, permitindo que cada vez mais se indique com maior precisão o ponto exato do vazamento, evitando gastos inúteis com escavações devido à eventual erro na indicação do vazamento. Tão importante quanto à técnica é a capacitação dos profissionais que militam nesse campo, fundamental para ampliação dos benefícios da aplicação dessas metodologias.

2. OBJETIVO

Apresentar às relações das ações de combate as perdas reais aplicadas a sistema de distribuição de água através de métodos de priorização de áreas para a pesquisa e locação de vazamentos não visíveis, com os seguintes objetivos:

Objetivo principal:

- Verificar o desempenho dos métodos de pesquisa de vazamentos não visíveis em Sistemas de Abastecimento de Água aplicadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), tanto na varredura de rede como nas pesquisas sem e com medição de vazão.

Objetivos secundários:

- Apresentar os principais métodos de pesquisa de vazamentos e equipamentos de detecção de vazamentos;
- Apresentar o resultado do acompanhamento dos reparos de vazamentos através do formulário de “Registro de Falhas” e o cálculo das recorrências de vazamentos não visíveis em redes de abastecimento de água.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Sistemas de abastecimento de água

Segundo Tsutya, (2006) são longos os caminhos percorridos pela água até chegar às torneiras dos consumidores. Depois de captada nos rios ou represas, a água sofre um processo de tratamento para garantir a sua qualidade para o consumo humano, ou seja, a água passa a ser potável.

A partir das Estações de Tratamento a água é transportada através de grandes condutos (as adutoras) até os reservatórios, grandes estruturas, de concreto ou aço, que armazenam uma quantidade de água suficiente para enfrentar as variações do consumo ao longo do dia. Geralmente, ao lado do reservatório existe uma estrutura elevada (torre) para onde a água é bombeada a fim de abastecer as partes mais altas da região (estas partes altas também podem ser abastecidas diretamente pelas bombas, sem a necessidade da torre).

Dos reservatórios e torres saem às tubulações das redes de distribuição, que percorrem as ruas da cidade para permitir a ligação dos consumidores ao sistema de abastecimento de água. Toda a rede que está vinculada a um reservatório constitui um “setor de abastecimento de água”. Um setor geralmente é compartimentado em “zonas de pressão”, associadas à situação topográfica da região (zona alta, zona baixa). A figura 01 representa o desenho esquemático de um Sistema de Abastecimento de Água, desde a captação até as redes de abastecimento.

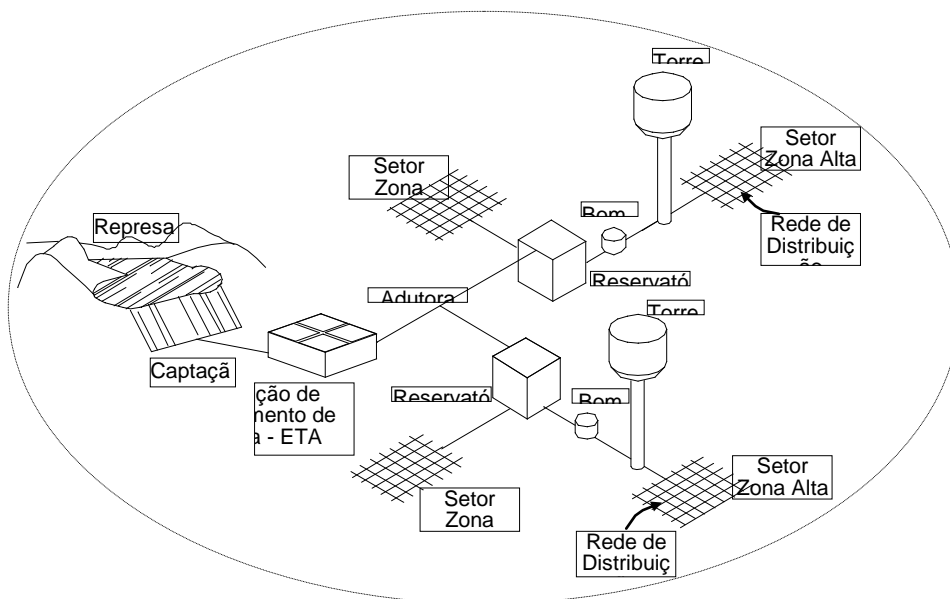


Figura 1- Esquema de redes de distribuição de água

Fonte: Sabesp, 2005.

As tubulações que compõem a rede de distribuição podem ter funções e arranjos físicos distintos. As tubulações primárias são aquelas de maiores dimensões das quais saem às linhas secundárias; estas apresentam diâmetros de 75 mm e 100 mm e suprem os ramais dos consumidores.

Em relação ao arranjo físico, as redes de distribuição podem ser:

- Ramificadas: uma linha primária vai distribuindo água em um único sentido de alimentação (“espinha de peixe”).
- Malhadas: as linhas primárias em geral constituem anéis, onde se interconectam as linhas secundárias; o sentido de escoamento é variável, em função das condições locais das demandas.
- Mistas: representam uma combinação das redes ramificadas e malhadas.

A Figura 2 ilustra os arranjos físicos das redes de distribuição.

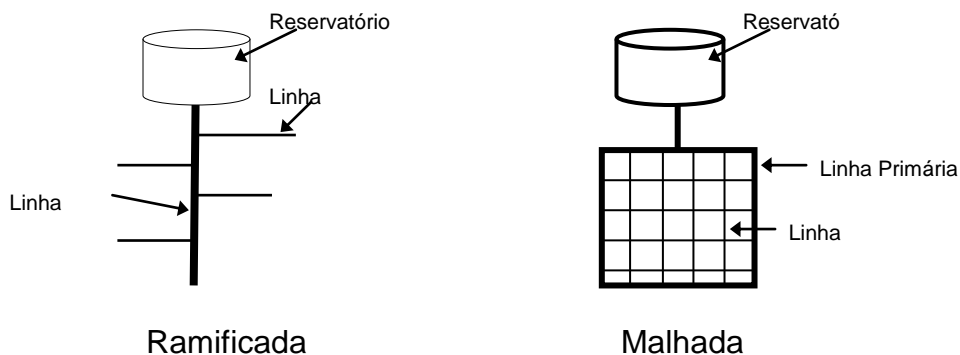


Figura 2 – Arranjo físico das redes de distribuição de água

Fonte: Sabesp, 2005.

A ligação dos consumidores à rede é constituída por um ramal predial e um cavalete, no qual é instalado um hidrômetro, que mede o consumo de água do imóvel. Nos ramais prediais mais recentes os tubos utilizados são feitos de material plástico flexível denominado polietileno (PE). A Figura 3 apresenta um esquema de um ligação domiciliar de água.

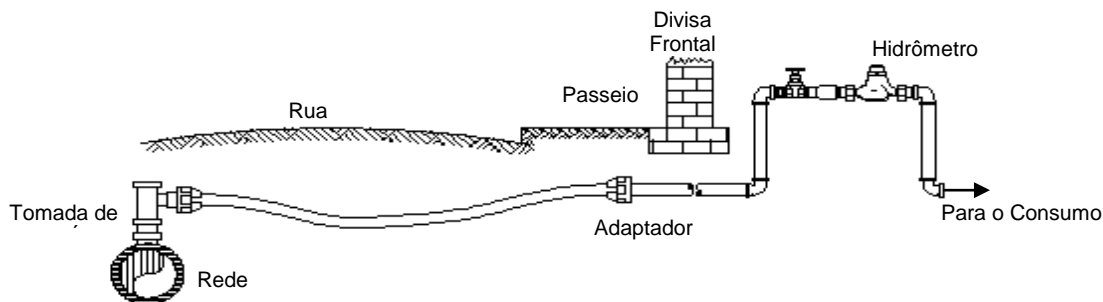


Figura 3 – Esquema de ligação domiciliar de água

Fonte: Sabesp, 2005

Segundo Tardelli Filho (2006) os problemas mais comuns na operação do sistema de abastecimento de água são:

- Falta d'água, decorrente da insuficiência de oferta de água, de tubulações subdimensionadas ou entupidas e também devido a manutenções do sistema de abastecimento de água.

- Arrebitamentos, que são acidentes motivados pelo rompimento das tubulações, geralmente com grandes vazões de perda e com riscos ao patrimônio.
- Vazamentos, que representam falhas nas junções dos tubos, trincas ou perfurações, que ocasionam a perda de água através de fluxos contínuos, que podem ou não aflorar à superfície do terreno.
- Baixa pressão, motivada por insuficiência ou entupimento das tubulações, bem como situações topográficas adversas (pontos altos), podendo ocasionar falta d'água nas edificações pelo fato de não se conseguir atingir as caixas d'água domiciliares.
- Alta pressão, que geralmente ocorre nos pontos baixos da rede (próximos aos córregos e fundos de vale), facilita o surgimento de arrebitamentos, aumenta a perda por vazamentos e muitas vezes danifica as bóias das caixas d'água domiciliares.
- Água suja, decorrente de problemas de corrosão das tubulações de ferro fundido, que tornam a água com coloração vermelha e dificultam o seu uso. Análises sanitárias devem dizer se a água é própria ou imprópria ao consumo humano. Pode haver casos em que ocorre infiltração de esgotos ou outros produtos indesejáveis na rede de distribuição de água, através de pontos de vazamentos, quando há depressurização das tubulações, bem como nas manutenções executadas sem os cuidados necessários.

3.2. Componentes da rede de distribuição

Os materiais mais comuns utilizados nas redes de distribuição dos sistemas de abastecimento de água são o ferro fundido e o PVC. Como exemplo, na Região Metropolitana de São Paulo, 72% dos tubos é de ferro fundido, 24% de PVC e o restante (4%) de outros materiais.

Os tubos comercializados têm comprimento de 6 m, garantindo-se a continuidade no assentamento através de juntas (PIMENTEL, 2008). Nos tubos de ferro fundido e de PVC a junta mais comum empregada nas redes de distribuição é a ponta e bolsa com junta elástica,

para a instalação de alguns equipamentos (válvulas, por exemplo) há necessidade de se empregar juntas flangeadas.

Segundo diversos autores na operacionalização das redes de distribuição, normalmente são empregados os seguintes componentes:

- Ventosa: sua função é evitar o acúmulo de ar nos pontos altos da rede; serve também para a admissão de ar no esvaziamento da rede quanto para a saída do ar contido na tubulação durante o enchimento;
- Válvula ou Registro: sua função é permitir a execução de manobras na rede de abastecimento. Os tipos mais comuns são as válvulas de gaveta e as válvulas borboleta;
- Tap: dispositivo utilizado para a colocação de medidores de pressão ou de vazão;
- Válvula Redutora de Pressão (VRP): dispositivo instalado nas redes para adequação das pressões de operação;
- “Booster”: conjunto moto-bomba inserido diretamente na tubulação da rede destinado ao aumento da pressão ou vazão, permitindo o abastecimento de regiões mais altas ou remotas;
- Hidrante: derivação da rede munida de registro que serve para o suprimento de água em casos emergenciais, como, por exemplo, no combate a incêndios.

A Figura 4 mostra alguns exemplos dessas peças.



Figura 4 - Exemplos de peças nas redes de abastecimento

Fonte: Sabesp, 2005

3.3. Cadastro técnico

É o conjunto de atividades desenvolvidas por uma companhia de saneamento referente a políticas, normas e procedimentos que permitem registrar e manter atualizadas as informações técnicas sobre os diversos componentes dos sistemas de abastecimento de água, inclusive rede de distribuição (MELATO, 2010).

A disponibilidade de um cadastro bem organizado, atualizado e com as informações necessárias é de importância fundamental, uma vez que facilita as atividades emergenciais ou rotineiras de operação, manutenções preventiva e corretiva das instalações, bem como subsidia com exatidão o desenvolvimento dos projetos e estudos do sistema.

Os requisitos básicos a serem obedecidos na elaboração dos cadastros técnicos são:

- Confiabilidade;
- Facilidade de acesso;
- Rápida obtenção de informações;
- Critérios para revisão e atualização periódicas; e

- Critérios para introdução de novos dados e informações.

O cadastro técnico deve conter todos os dados reais existentes no campo (cotas, dimensões, equipamentos, locação etc.) apresentados em plantas, cortes, perfis, indicações etc. de todo o sistema de abastecimento de água, podendo ser dividido em:

- Cadastro de sistemas produtor e adutor: reservatórios de acumulação, captações, adutoras, canais, elevatórias, estações de tratamento e reservatórios setoriais
- Cadastro de sistemas de distribuição: redes
- Cadastro de equipamentos: bombas e demais dispositivos eletromecânicos.

Para os trabalhos de detecção de vazamentos não-visíveis utiliza-se na maioria das vezes o cadastro das redes de distribuição de água (TARDELLI FILHO, 2006).

3.4. Conceitos de controle de perdas

Sendo assim, o entendimento básico do conceito de perdas no sistema de distribuição é “a diferença entre o volume de água tratada colocada à disposição da distribuição e o volume medido nos hidrômetros dos consumidores finais em um determinado período de tempo”.

Pela terminologia da IWA (ALEGRE et al., 2006), perda de água “é o volume referente à diferença entre a água entregue ao sistema de abastecimento e os consumos autorizados, medidos e não-medidos, faturados ou não-faturados, fornecidos aos consumidores cadastrados, à própria Prestadora de Serviços e a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo”.

Todos os sistemas de abastecimento de água apresentam perdas entre a Estação de Tratamento de Água e os consumidores finais. As perdas de um sistema de abastecimento de água são definidas, em geral, como:

Volume Perdido = Volume Fornecido (ou Produzido) – Volume Faturado (ou Micromedido) – Usos Autorizados (Combate a incêndios, favelas etc.).

O Índice de Perdas pode ser calculado de várias formas. A mais comum é a Porcentual. Atualmente o índice também está sendo calculado em relação ao número de ligações de água.

A seguir as duas expressões são apresentadas, representando o cálculo percentual e o indicador em litros por ligação por dia perdido:

$$\text{Índice de Perdas (\%)} = \frac{\text{Volume Perdido}}{\text{Volume Fornecido}} \times 100$$

ou

$$\text{Índice de Perdas (L/lig.dia)} = \frac{\text{Volume Perdido}}{\text{Nº de Ligações}}$$

A definição do Índice de Perdas representa, em linhas gerais, a quantidade de água produzida que não é faturada ou contabilizada pela empresa, estando associado ao grau de eficiência operacional de uma companhia de saneamento. Vale enfatizar que o desperdício feito por alguns consumidores nas residências, comércio, indústrias etc. não é computado como perda, sob o ponto de vista técnico, pois este consumo se dá após a medição no hidrômetro.

A primeira noção das perdas que vem à mente é o vazamento de água nas tubulações. Mas o conceito incluído nas expressões anteriores é mais amplo. Existem dois tipos de perdas: Reais e Aparentes.

A perda real corresponde ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final devido à ocorrência de vazamentos nas adutoras, redes de distribuição e reservatórios, bem como de extravasamentos em reservatórios setoriais (TARDELLI FILHO, 2006). Representa o volume de água que foi realmente perdido, pois ninguém consumiu, sendo chamado de perda física, anteriormente à introdução da terminologia padrão pela IWA. Perdas Reais, portanto, são representadas pelas águas que efetivamente não chegam ao consumidor, em função de vazamentos nos ramais prediais, nas redes de distribuição e nos reservatórios setoriais (extravasões, principalmente). Os vazamentos podem ser visíveis (afloram à

superfície) ou não-visíveis. As Figuras 5 e 6 mostram os vários tipos de vazamentos que ocorrem nas ligações domiciliares e rede de distribuição de água, respectivamente.



Figura 5 - Exemplos de vazamentos que ocorrem nas ligações domiciliares

Fonte: Costa, 2009



Figura 6 - Exemplos de vazamentos que ocorrem em redes de distribuição

Fonte: Costa, 2009

A perda aparente corresponde ao volume de água consumido, mas não contabilizado, decorrente de erros de incertezas de medição nos hidrômetros e demais medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas de cadastro comercial. Neste caso, a água é efetivamente consumida, mas não é medida e nem faturada (TARDELLI FILHO, 2006).

Perdas Aparentes são, portanto, aquelas decorrentes de imprecisão da medição nos hidrômetros, fraudes, ligações clandestinas (Figura 7) e falhas do sistema de cadastramento da Companhia. Nestes casos, de alguma forma a água é consumida, mas não é medida, acarretando perda de faturamento.

As perdas por vazamentos que ocorrem nas ligações clandestinas ainda não possuem uma classificação determinada, pois além do consumo indevido que a caracterizam como perda aparente, estes vazamentos também a classifica como perdas reais.



Figura 7 – Ligações clandestinas

Fonte: Costa, 2006

Estudos realizados pela Sabesp (2001), na Região Metropolitana de São Paulo – RMSP indicaram que as perdas nos seus sistemas dividem-se equitativamente entre perdas físicas e não-físicas, podendo, entretanto, este rateio variar bastante em função das condições específicas de cada local. Outra conclusão importante foi que mais de 90% dos vazamentos estão localizados nos ramais prediais. Por sua vez, as falhas da medição nos hidrômetros e as deficiências na gestão comercial (cadastro de consumidores, fraudes etc.) representam a maior parte das perdas não-físicas.

3.4.1. Balanço Hídrico

O conhecimento da distribuição das perdas de água é uma das importantes ferramentas nas decisões das ações a serem aplicadas no combate às perdas. Para isso o balanço hídrico reúne os parâmetros necessários para estas verificações, visto que procura compor deste a produção de água que é distribuída ao sistema até os volumes consumidos, além de volumes operacionais e os usos sociais (ARIKAWA, 2005). O quadro 01 representa a divisão destes consumos, divididos em:

a) Volume que entra no sistema: é todo o volume produzido é disponibilizado ao sistema;

b) Consumos Autorizados - são divididos em duas subcategorias:

- Consumos Autorizados Faturados: o volume de água medido e/ou estimado que seja faturado pela empresa (ligações normais, grandes consumidores etc.).
- Consumos Autorizados Não-Faturados: usos legítimos da água, conhecidos pela Sabesp como Bombeiros, Prédios Públicos, Favelas incluindo os consumos operacionais (descargas de redes, lavagem de redes e reservatórios etc.).

Estes usos não podem ser confundidos com perdas, visto que se não possuem medição, como em casos de favelas, os volumes são estimados, ficando dentro dos consumos autorizados não-medidos e não-faturados do Balanço Hídrico.

Desta forma são relativas às perdas de água, que é toda perda real ou todo o consumo não autorizado que determina aumento de custo de funcionamento ou impeça a realização de plena receita operacional. As perdas podem ser divididas em:

- Reais: são perdas físicas de águas decorrentes de vazamentos na rede de distribuição e extravasamentos em reservatórios de água tratada. Este tipo de perda impacta a disponibilidade de recursos hídricos superficiais e os custos de produção de água tratada.
- Aparentes: são perdas não-físicas, de decorrentes de submedição nos hidrômetros, fraudes e falhas do cadastro comercial. A água é consumida, mas não é faturada pela empresa de saneamento.

Segundo Alegre (2006), os consumos não-autorizados consistem nos consumos existentes em furtos ou fraudes através de ligações clandestinas, by pass, hidrantes, hidrômetros e em outros componentes dos sistemas de abastecimento de água, sem a devida autorização.

Quadro 1 – Detalhamento do Balanço Hídrico

V O L U M E	V O L U M E S	F A C T O R E S	U T I L I Z A D O S	Usos Faturados	Consumidores Normais	
	E N T R E G U E O U P R O D U Z I D O	V O L U M E S N Ã O - F A T U R A D O S		U T I L I Z A D O S		Grandes Consumidores
Fornecimento em Caminhões-Pipa						
Outros (estimados etc.)						
Usos Próprios			Instalações Administrativas			
			Operação		Descarga de Redes	
					Lavagem de Reservatórios	
					Lavagem de Redes	
Outros (vazamentos em gaxetas, EE)						
Usos Especiais			Suprimento de Emergência (caminhões-pipa)			
			Combate a Incêndios			
	Suprimento Social (favelas e áreas invadidas)					
	Outros					
Perdas Físicas	Vazamentos/Arrebetamentos nas Adutoras, Redes e Ramais					
	Vazamentos e Extravasamentos em Reservatórios					
	Outros					
Perdas Não-Físicas	Erros de Micromedição e Macromedição					
	Ligações Clandestinas					
	Fraudes					
	Política Tarifária					
	Lapso de Cadastro (inativa, hidrômetro não-cadastrado)					
	Outros (reforma de contas etc.)					

(Fonte: Sabesp/2001)

Portanto o Balanço Hídrico de um sistema de água é uma forma estruturada de avaliar os componentes dos fluxos e usos da água no sistema e os seus valores absolutos ou relativos (ARIKAWA, 2005).

Segundo Thornton (2008) as metodologias aplicadas nos balanços são divididas em duas categorias principais:

Balanço Hídrico: neste método são inseridos os volumes macro de entrada dos sistemas de abastecimento, como o volume macromedido de entrada no setor e o volume micromedido do

mesmo, ou seja, a análise é feita de cima para baixo, subtraindo-se do volume macromedido, todos os parâmetros restantes conhecidos, mensuráveis ou estimados. O quadro 2 representa um destes balanços.

Quadro 2 – Balanço Hídrico

Fontes Próprias	Vol. Fornec.	Água Exportada	Água Exportada	Água Exportada	Água Importada	Água Exportada
		Água Distribuída	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Faturado	Consumo Autorizado Não Faturado	Água Não Faturada
Consumo Não Medido Faturado						
Água Import.	levar em conta erros	Perdas de Água	Perdas Reais	Água Não Faturada	Consumo Medido Não Faturado	
					Consumo Não Medido, Não Faturado	
					Consumo Não Autorizado	
					Imprecisão dos Hidrômetros	
					Vazamentos na Rede	
					Vazam. e Extrav. em Reserv. Vazamentos em Ramais até o hidrômetro	

(Fonte: Sabesp/2001)

Destes pontos principais destaca-se:

- **Volume Fornecido:** É a somatória do volume produzido ou importado e sua precisão dependerá da precisão dos equipamentos de medição (Tubo Venturi, Hidrômetros). É necessário um acompanhamento periódico destes equipamentos e aferições programadas;
- **Água Exportada:** Devem-se ter os mesmos cuidados do volume fornecido.

A última coluna do Balanço Hídrico representa o maior percentual de erro, devido à imprecisão de alguns parâmetros:

- **Consumo medido faturado:** É a somatória de todas as medições individuais realizadas nas ligações dos clientes. Podem sofrer influência por leituras pela média ou pela idade do parque de hidrômetros.
- **Consumo medido e não faturado:** Aqueles utilizados nas próprias instalações e prédios;

- Consumo não medido e não faturado: Decorrente dos chamados usos operacionais, que são aqueles volumes de água utilizada em lavagens de filtros, desobstrução de redes de esgoto e combate a incêndios. Sua precisão dependerá, portanto da medição correta destes usos;

Os dados abaixo estão relacionados diretamente aos indicadores de perdas.

- Consumo não autorizado: Decorrentes das ligações clandestinas, furtos de água e fraudes. Para determinarem-se estes volumes é necessário o acompanhamento após sua regularização para obter-se com o volume consumido a estimativa do consumo perdido.
- Imprecisão dos hidrômetros: Atualmente estão em andamento muitos estudos a respeito da sub medição provocada pelo uso de caixas de água, ou mesmo pela classe metrológica dos hidrômetros instalado. Portanto a imprecisão dos hidrômetros dependerá não somente da idade do mesmo, como da sua classe e se há reservação no imóvel.
- Vazamentos: O calculo do volume perdido por vazamento será em função do tempo de conhecimento, associado a pressão média do local. Por se tratar de um calculo estimado, há muitos erros inseridos nestes volumes.

Deve-se ainda mencionar os volumes das Perdas Inerentes, que são decorrentes daqueles vazamentos não detectáveis pelos métodos acústicos (THORNTON, 2008). Pode-se estimar estes volumes pela seguinte equação:

Perdas Inevitáveis Anuais = $(18 \times L_m + 0,8 \times N_l + 25 \times L_p) \times P$ onde:

- L_m = comprimento da rede (km)
- N_l = n° de ligações
- L_p = comprimento de tubo entre o limite da rua e o hidrômetro (km)
- P = pressão média (mca)

Portanto,

Perdas Inevitáveis Anuais = $(18 \times L_m + 0,8 \times N_l) \times P/1000$ (m³/dia)

Vazão Mínima Noturna: Nesta metodologia o balanço das perdas será composto de baixo para cima, ou seja, da análise da vazão de consumida nos setores serão subtraídas as perdas do setor. Como no método anterior, a precisão dependerá da qualidade das informações e medições efetuadas. O quadro 3 representa estes parâmetros.

Quadro 3 – Componentes da vazão mínima noturna

Vazão Mínima Noturna Medida	Taxa de Vazamentos Noturnos	Taxa de Vazamentos Noturnos na Distribuição	Vazamentos Não Visíveis Estimados	Vazamentos Não Visíveis Estimados	
			Vazamentos Inerentes no Sistema de Distribuição	Na Rede	
		Consumo Noturno	Vazamentos após o hidrômetro		Nos ramais (rede até o hidrômetro)
					Em encanamentos internos até a caixa d'água, e na própria caixa d'água
					Vazamentos em bóias de caixas d' água
					Vazam. em encanam. internos Economias residenciais
	Consumo Noturno	Consumo Noturno Excepcional		Vazam. em encanam. internos Economias não residenciais	
				Não Residencial	
				Residencial	
				Não Residencial	
	Consumo Noturno Estimado		Residencial		

(Fonte: Sabesp/2001)

De outra forma os parâmetros necessários para a determinação deste método podem conter mais erros na sua precisão devido à necessidade de muitas medições, muitas delas após os hidrômetros.

Em geral a vazão mínima noturna é utilizada como acompanhamento das ações realizadas em áreas de controle.

Segundo Costa (2008) se simplificam sua utilização conforme a Figura 08.

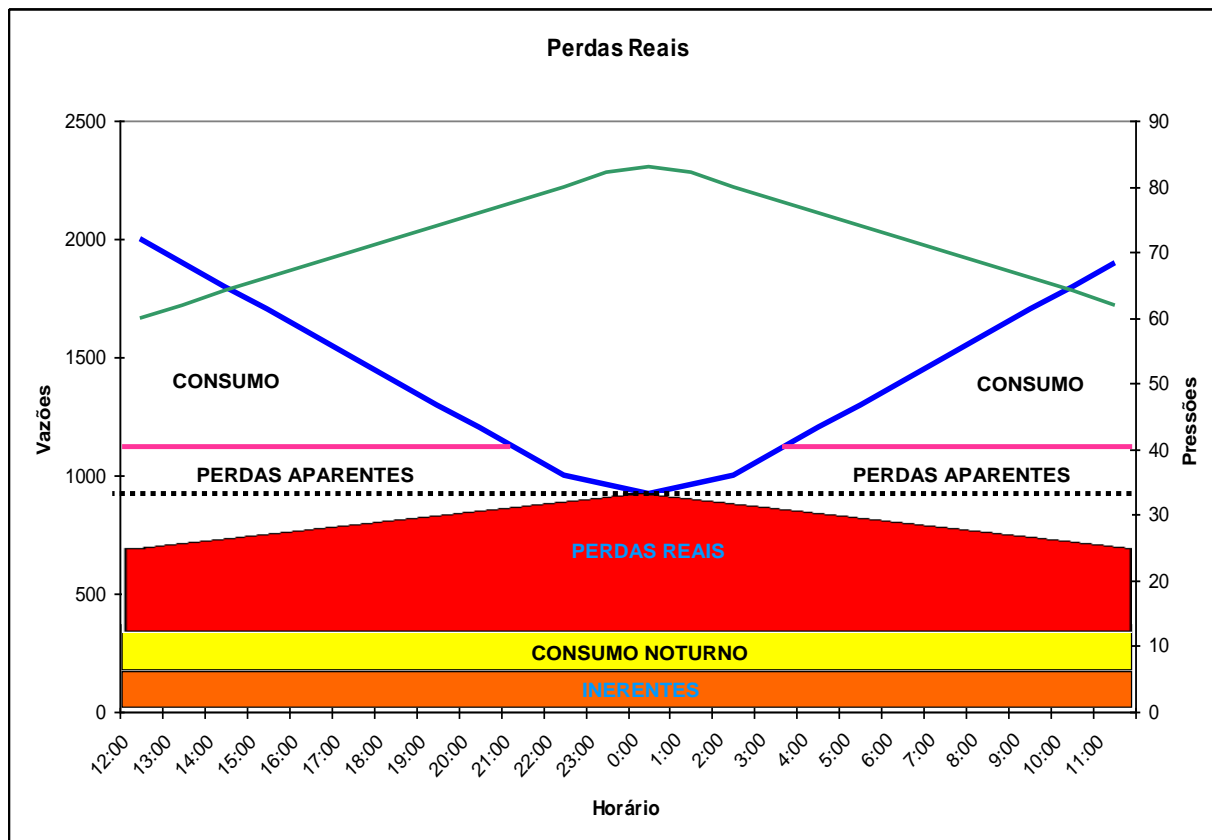


Figura 8 – Vazão mínima noturna

Fonte: Costa, 2008

As determinações do volume das perdas reais serão compostas, portanto pela subtração dos seguintes parâmetros:

- Consumo noturno: Para a sua determinação é necessário o monitoramento de grandes consumidores existentes. Os consumos noturnos serão então a subtrações dos volumes recuperados (Perdas Reais) e os volumes inerentes.
- Consumos inerentes: Aqueles não detectáveis pelos métodos acústicos e determinados empiricamente pela equação $(18 \times L_m + 0,8 \times N_l) \times P/1000$ (m^3/dia)
- Perdas Aparentes: É o volume decorrente dos vazamentos nas ligações clandestinas que tendem a aumentar seu volume com o aumento da pressão noturna. São de difícil medição sendo necessários macromedidores para seu conhecimento.

3.4.2. Perdas reais nas redes de distribuição

3.4.2.1. Ocorrência de perdas reais

Segundo Tardelli Filho (2006) as perdas físicas nas redes de distribuição de água constituem-se basicamente de:

- Extravasamento e vazamento nos reservatórios; e
- Vazamento nas paredes das tubulações, conexões e acessórios (registros, válvulas, taps etc.) das redes (primárias e secundárias) e ramais prediais.

Os estudos de perdas mais apurados levam em conta também as perdas localizadas nas instalações prediais, principalmente aquelas não detectadas pela micromedição. Teoricamente, as perdas internas ao imóvel (após o hidrômetro) estariam perfeitamente caracterizadas por variações na micromedição; entretanto, podem ser citados alguns casos onde isso não ocorre. As pequenas vazões, na sua maioria, não são contabilizadas pelos hidrômetros habitualmente instalados, que não possuem condições técnicas para medi-las adequadamente. É o caso dos vazamentos no trecho entre o hidrômetro e a caixa d'água e as baixas vazões decorrentes de falhas nos sistemas de bóia das caixas d'água (MELATO, 2010).

Segundo Thornton (2008) e Alegre (2006) os principais fatores que influenciam as perdas físicas nas redes de distribuição de água são:

- Variações de pressão/altas pressões;
- Condições físicas da infra-estrutura (material idade etc.);
- Condições de tráfego e tipo de pavimento sobre a rede;
- Recalques do subsolo;
- Qualidade dos serviços (mão-de-obra e material empregado), tanto na implantação da rede quanto na execução dos reparos;
- Agilidade na execução dos reparos; e

Condições de gerenciamento (telemetria, método de coleta e armazenamento de dados).

O quadro 4 sistematiza as principais causas de vazamentos nas redes de distribuição de água.

Quadro 4 – Causas internas e externas de vazamentos

Causas Internas	Causas Externas
<p>Estrutura e Qualidade dos Tubos, Juntas e Outros Elementos Qualidade e estruturas inadequadas dos tubos, juntas e outros materiais; Diminuição da resistência devido à corrosão; Degeração do material por envelhecimento.</p>	<p>Ambiente onde os Tubos estão Instalados Aumento da carga de tráfego; Depressões ao redor dos tubos que ocultam os vazamentos de água; Movimentos do solo; Rompimento dos encanamentos por congelamento da água; Diferenças das condições entre o projeto e a realidade; Excesso de tensões externas; Poluição do solo por vazamentos de esgotos de fábricas e de outras fontes; Corrosão potencial devido à agressividade do solo.</p>
<p>Projeto e Tecnologia de Montagem Projeto inadequado; Encaixe inadequado das juntas e outros tubos; Reaterro mal executado; Contato com outras estruturas (proteção inadequada); Métodos anti-corrosão inadequados; Corrosão por diferentes tipos de metais.</p>	
<p>Fatores Internos nos Tubos Pressão e qualidade da água (corrosão interna); Golpe de aríete; Mudanças de temperatura.</p>	<p>Movimentos de Terra e Desastres Naturais Danos decorrentes de movimentos de terra de obras realizadas por outras empresas; Alterações nas condições de assentamento das tubulações devido a movimentações de terra de obras realizadas por outras empresas; Movimento do solo e ruas devido a desastres naturais, tais como terremotos.</p>

(Fonte: Sabesp/2005)

Especificamente, para o tubo de polietileno (PE) observa-se que a incidência de vazamentos decorre da má qualidade do material, amassamento do tubo e problemas em uniões e adaptadores. Para o caso do PVC, a maior parte dos problemas é decorrente do excesso de carga, acomodação do solo e falhas nas juntas soldadas ou coladas (quando empregados em ramais); no caso das redes somam-se os problemas decorrentes da montagem da junta elástica.

3.4.3. Classificação dos vazamentos

Segundo Tardelli Filho (2006) e Tomaz (2009) os vazamentos são classificados em dois tipos: visíveis e não-visíveis.

Os vazamentos visíveis são facilmente notados pela população, que notifica a companhia de saneamento. Portanto, o reparo é normalmente feito em um curto espaço de tempo.

Os vazamentos não-visíveis não afloram à superfície, infiltram-se na terra, formando fluxos internos no solo. Portanto, leva-se um longo tempo para localizá-los e consertá-los, uma vez que são necessárias inspeções especiais através de equipamentos de pesquisa acústica para a sua detecção.

O quadro 5 apresenta as características mais importantes dos vazamentos visíveis e não-visíveis.

Quadro 5 - Características dos vazamentos visíveis e não-visíveis

Causas	Vazamentos	
	Visíveis	Não-Visíveis
Comportamento dos vazamentos	Água dos grandes vazamentos tende a aflorar à superfície.	Pequenos vazamentos tendem a permanecer subterrâneos.
Solo	Quando o solo é argiloso, os vazamentos tendem a aflorar.	Quando o solo é arenoso ou pedregulhoso, os vazamentos tendem a permanecer subterrâneos.
Pavimento e esgoto	Vazamentos tendem a aflorar à superfície nas áreas com pouca pavimentação e sem sistemas de esgoto.	Vazamentos tendem a se tornar subterrâneos em locais pavimentados e com sistema de esgoto próprio.
Vazamento	Vazamentos visíveis ocorrem com frequência. Sendo que, o volume total vazado é pequeno porque eles são detectados e reparados rapidamente.	Normalmente os vazamentos são em número menor que os visíveis, mas o volume vazado é grande porque demora-se mais para descobri-los.
Prejuízos	Arriamento das ruas, erosão, inundação de residências: prejuízos diretos.	Arriamento das ruas, danos nas fundações das casas, pouca pressão, contaminação da água e outros. Prejuízos econômicos indiretos das perdas.

(Fonte: Sabesp, 2005)

Entretanto, nem todos os vazamentos não-visíveis são detectáveis através dos equipamentos de pesquisa atualmente disponíveis. Aquelas vazões muito baixas, que geralmente ocorrem nas juntas e nos estágios iniciais dos processos de corrosão, representam o que se denomina "vazamentos inerentes" do sistema de distribuição de água.

O diagrama apresentado na Figura 9 resume a classificação anteriormente colocada.

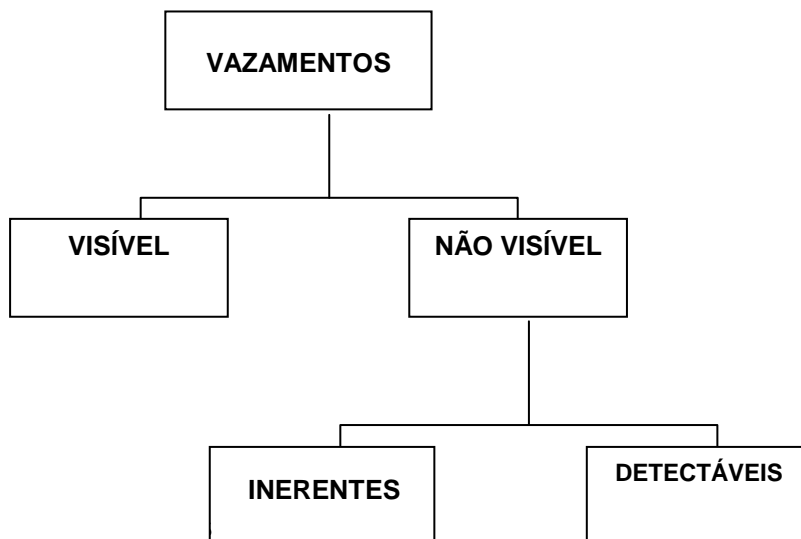


Figura 9 – Fluxograma da classificação dos vazamentos

Fonte: Sabesp, 2005

3.4.4. Duração dos vazamentos

A avaliação da duração média dos vazamentos pode ser feita a partir da consideração de três componentes sequenciais básicos:

- **Conhecimento:** tempo médio desde o início do vazamento até o instante em que a companhia de saneamento passa a saber da existência do problema, mas sem conhecer a sua localização;
- **Localização:** tempo médio que a companhia de saneamento gasta para localizar o vazamento, após tomar conhecimento do mesmo; e

- **Reparo:** tempo médio gasto pela companhia de saneamento para consertar o vazamento, a partir do instante em que tal vazamento foi devidamente localizado.

Os tempos gastos em cada componente e as vazões estão associados à característica do vazamento (visível ou não-visível) e, principalmente, definem a magnitude dos volumes perdidos. Assim:

- **Vazamentos visíveis:** são rapidamente conhecidos (evidentemente, localizados ao mesmo tempo), ficando o tempo de reparo dependente da eficiência da companhia de saneamento. Os casos em que os vazamentos não-visíveis afloram, tornando-se visíveis, o tempo de conhecimento geralmente pode ser bastante elevado.
- **Vazamentos não-visíveis:** são descobertos a partir do emprego de técnicas de pesquisa e detecção, que afetam o tempo de conhecimento ou de localização. Por exemplo, pesquisas de vazamento rotineiras diminuem o tempo para o conhecimento, que coincide com o tempo de localização (o apontamento do vazamento é feito no mesmo instante em que se toma conhecimento dele). Por sua vez, ao se realizar medições de vazão mínima noturna, toma-se consciência da existência de vazamentos, que serão posteriormente localizados e reparados.

A Figura 10 ilustra exemplos de duração de vazamentos:

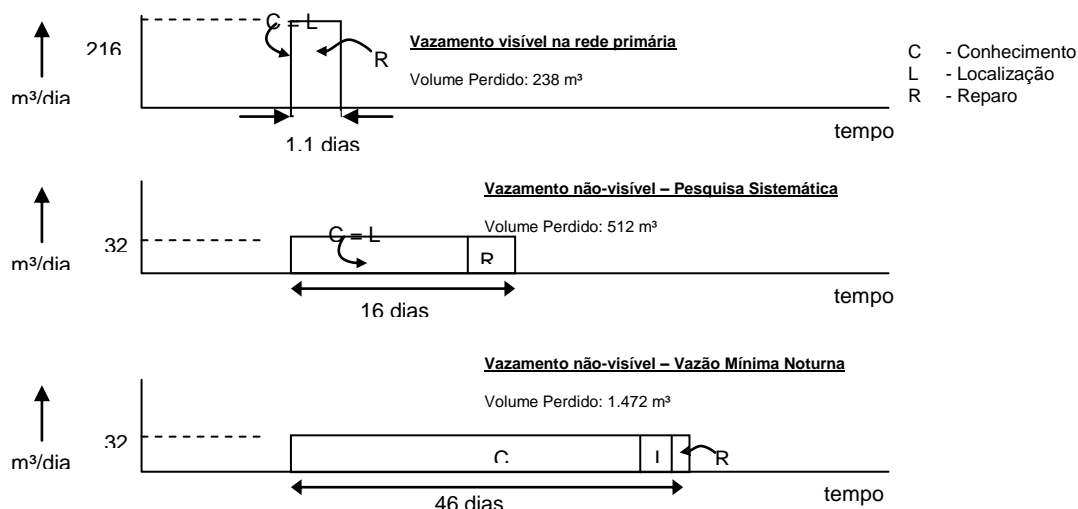


Figura 10 – Exemplos de duração de vazamentos

Fonte: Sabesp, 2005

No caso de uma política sistemática de pesquisa para detecção de vazamentos não-visíveis, o tempo médio de duração do vazamento é a metade do intervalo de tempo entre as pesquisas. Se o tempo de reparo for pequeno, isto quer dizer que dobrando-se a frequência da pesquisa (e o correspondente custo), a duração média dos vazamentos não-visíveis (e os volumes perdidos) cai pela metade. A curva mostrada na Figura 11 mostra estas relações.

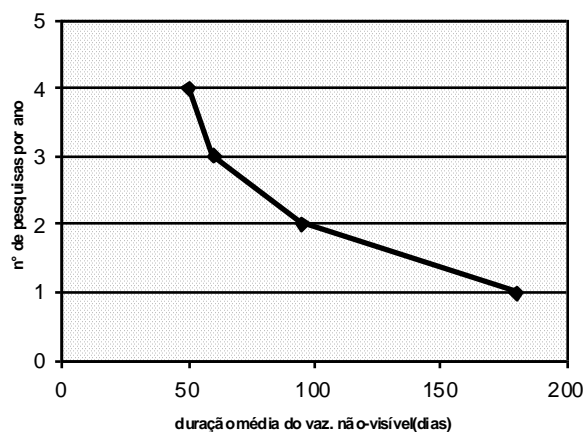


Figura 11 – Exemplos de duração de vazamentos em relação à frequência de pesquisas

Fonte: Sabesp, 2005

3.4.5. Relação entre a pressão e os vazamentos

Dentre as variáveis que interferem na frequência e no porte dos vazamentos, a pressão na rede é a mais importante (THORNTON, 2008).

Segundo Lambert, 2002, para furos com área fixa, as vazões das fugas de água obedecem à relação quadrática das pressões, ou seja:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left[\frac{p_1}{p_0} \right]^{0,5}$$

onde:

Q_0 = vazão inicial do vazamento
 Q_1 = vazão final do vazamento
 p_0 = pressão inicial no tubo
 p_1 = pressão final no tubo

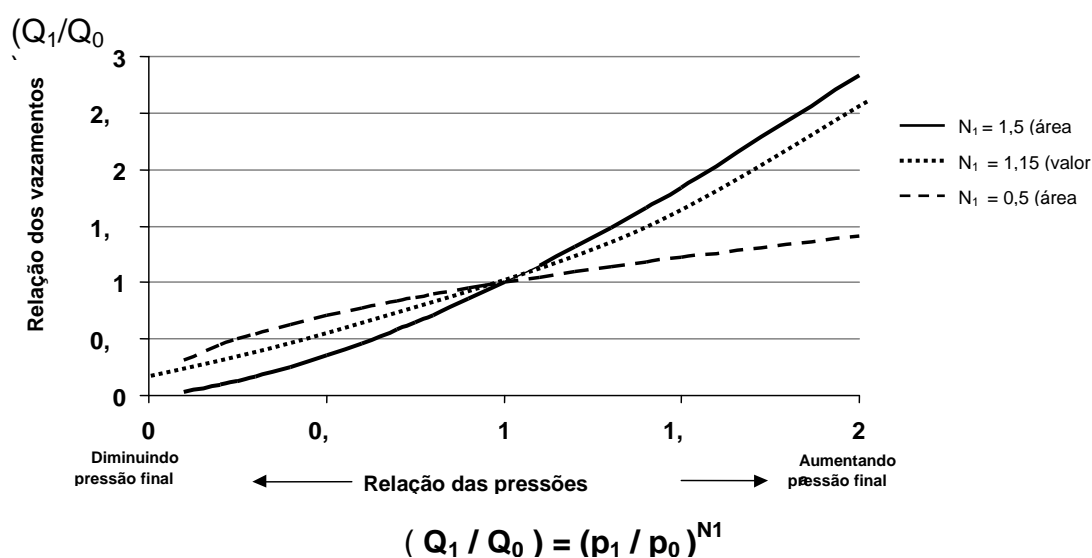
Um exemplo desta condição é um furo proveniente de corrosão localizada em um tubo de ferro fundido ou aço, cuja área não se altera qualquer que seja a pressão de trabalho da tubulação.

O mesmo não ocorre em uma trinca em tubo de PVC ou polietileno, que tem sua área expandida com o aumento da pressão, acarretando vazões muito maiores do que se a área do furo se mantivesse constante. Avaliações realizadas indicam que neste caso o expoente que incidiria sobre a relação de pressões seria da ordem de 1,5 , ou seja:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left[\frac{p_1}{p_0} \right]^{1,5}$$

Para as condições gerais da rede de distribuição, onde se misturam furos com área fixa e com área variável, estudos recentes mostram que o expoente médio da relação de pressões é da ordem de 1,15.

O gráfico da Figura 12 representa estas variações, pois quando o local possui materiais mais flexíveis com $N_1 = 1,5$ o aumento da pressão provoca uma maior perda de volume pelo aumento da área do orifício, enquanto para materiais mais rígidos esta variação diminui mesmo com o aumento da pressão.



Onde: p_0 = Pressão Inicial; p_1 = Pressão Final; Q_0 = Vazão Inicial e Q_1 =

Figura 12 – Relação entre pressão e vazão de vazamentos

Fonte: Lambert, 2002

Para avaliações gerais simplificadas, pode-se considerar que o expoente seja aproximadamente igual a 1, resultando que a vazão da fuga de água varia linearmente com a pressão. Como exemplo, ao se aumentar 10% o valor da pressão da rede, é de se esperar que, em média, a perda de água por vazamentos apresente um aumento da ordem de 10%.

3.4.6. Taxa natural de ocorrência de vazamentos

Se nenhuma medida corretiva ou preventiva de combate aos vazamentos for adotada, há uma tendência natural de crescimento do número e dos volumes perdidos relativos aos vazamentos. A Taxa Natural de Ocorrência de Vazamentos representa, então, um valor médio desse crescimento ao longo do tempo, variando em função das características próprias de cada trecho da rede de distribuição, especialmente pela condição estrutural da rede, pressão e densidade de ligações.

Com o objetivo de atingir as metas de prevenção de vazamentos de água, as intervenções na rede devem procurar reduzir essa ocorrência de novos pontos de fuga na rede. Para reduzir os índices de perdas, as ações corretivas e preventivas devem efetivamente superar o surgimento natural de novos vazamentos. O gráfico da Figura 13. ilustra essas considerações.

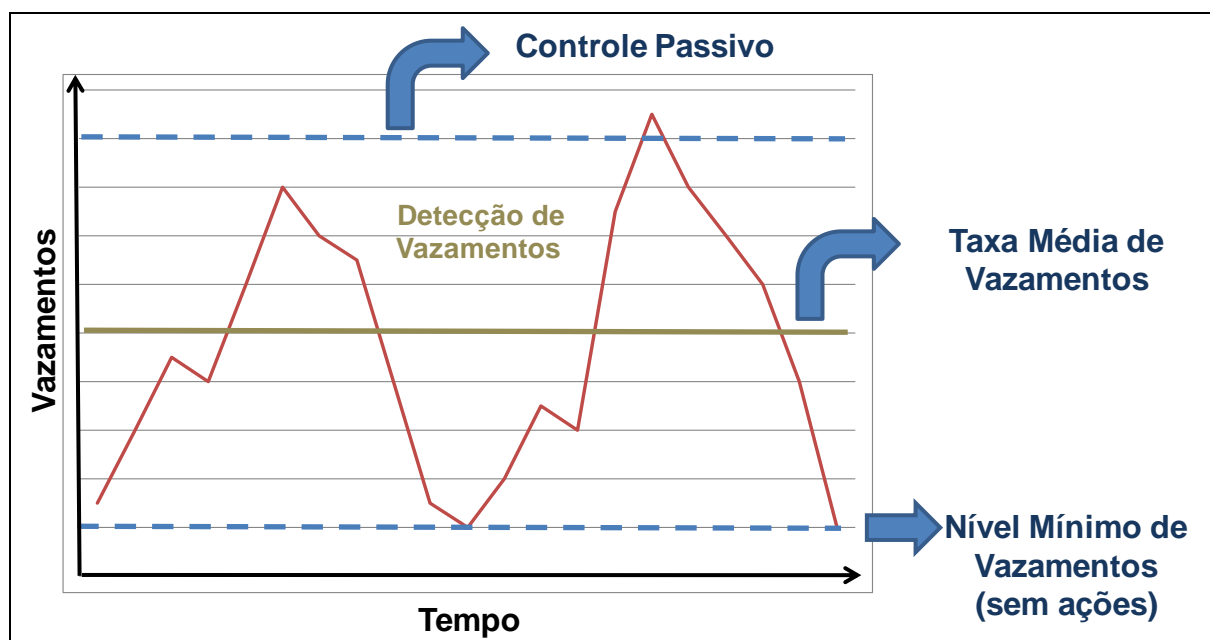


Figura 13 – Taxa de surgimento de vazamento em relação ao tempo de pesquisa e detecção

Fonte: Costa, 2010

3.5. Gerenciamento de perdas reais

3.5.1. Esquema geral

Segundo Tardelli Filho (2006) o efetivo controle de perdas físicas é feito através de quatro atividades:

- Gerenciamento de pressão;
- Controle ativo de vazamentos;
- Velocidade e qualidade dos reparos; e
- Gerenciamento da infra-estrutura.

O gerenciamento de pressões procura minimizarem as pressões do sistema e o tempo de duração de pressões máximas, enquanto assegura os padrões mínimos de serviço para os consumidores. Estes objetivos são atingidos pela setorização dos sistemas de distribuição, pelo controle de bombeamento direto na rede (boosters) ou pela instalação de válvulas redutoras de pressão (VRPs).

O Controle Ativo de vazamentos se opõe ao Controle Passivo, que é, basicamente, a atividade de reparar os vazamentos apenas quando se tornam visíveis. A metodologia mais utilizada 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 e correlacionadores de ruído). Essa atividade reduz o tempo de ocorrência dos vazamentos, ou seja, quanto maior for a frequência da pesquisa, maior será a taxa de volume anual recuperado. Uma análise de custo-benefício pode definir a melhor frequência de pesquisa a ser realizada em cada área.

Com o conhecimento da existência de um vazamento, o tempo gasto para sua efetiva localização e seu estancamento é um ponto chave do gerenciamento de perdas físicas. Entretanto, é importante assegurar que o reparo seja bem realizado. Um serviço de má qualidade resultará em uma reincidência do vazamento, horas ou dias após a repressurização da rede de distribuição.

A prática das três atividades mencionadas anteriormente já traz melhorias à infra-estrutura. Portanto, a substituição de trechos de rede deve ser executada após a realização dessas

atividades, caso ainda se detectar índices de perdas elevados na área, pois o remanejamento de tubulações é oneroso.

Pode-se representar através de um retângulo o volume de perdas reais de um sistema de distribuição num ano (Figura 14), e que seu volume está sendo mantido pela combinação das quatro atividades mencionadas. Se há um relaxamento de uma dessas atividades, as dimensões do retângulo irão aumentar naquela direção, representando o aumento do volume perdido. Inversamente, se o volume de perdas precisa ser reduzido, é necessário incrementar os esforços e o custo anual de uma ou mais atividades a fim de se reduzir as dimensões do retângulo e conseqüentemente o volume perdido anual.

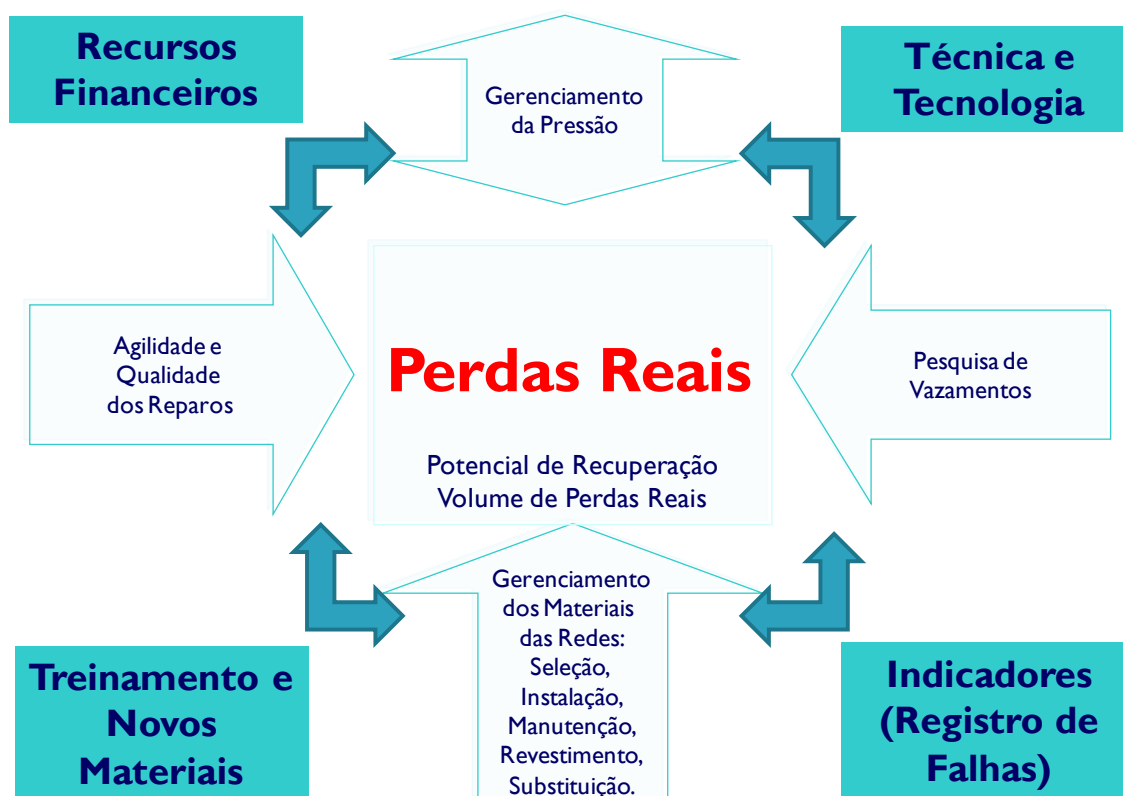


Figura 14 – Esquema geral do gerenciamento das perdas reais

Fonte: Sabesp, 20005

3.5.2. Áreas de controle

A existência de porções bem definidas da rede de distribuição de água é fundamental para o desenvolvimento dos trabalhos de detecção de vazamentos, principalmente para a avaliação dos resultados e controle geral do processo.

A rede de distribuição é dividida em setores de abastecimento e zonas de pressão, que são delimitadas pelo fechamento de registros em pontos determinados. Além dessa divisão, é possível e recomendável definir áreas ainda menores, denominadas Distritos Pitométricos ou Distritos de Medição e Controle (DMC), também perfeitamente estanques, onde se mede a vazão de entrada e, a partir dos dados obtidos, são feitas análises relativas às perdas físicas.

A seguir serão feitas considerações mais detalhadas sobre essas Áreas de Controle.

3.5.2.1. Setores e zonas de pressão

Cada setor de abastecimento é definido pela área suprida por um reservatório de distribuição (apoiado, semi-enterrado ou enterrado), destinado a regularizar as variações de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede (TSUTYA, 2006). O abastecimento de rede por derivação direta de adutora ou por recalque com bomba de rotação fixa é condenável, pois o controle de pressões torna-se praticamente impossível diante das grandes oscilações de pressão decorrentes de tal situação.

Na setorização clássica, em geral, é necessária a existência de um reservatório elevado, cuja principal função é condicionar as pressões nas áreas de cotas topográficas mais altas que não podem ser abastecidas pelo reservatório de distribuição (principal). Nesse caso, tem-se o setor dividido em zonas de pressão, na qual as pressões estáticas e dinâmicas obedecem a limites prefixados. Segundo a Norma Técnica NBR 12218/1994 a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa (50 mca), e a pressão dinâmica mínima de 100 kPa (10 mca). Valores fora dessa faixa podem ser aceitos desde que justificados técnica e economicamente.

Tubulações utilizadas no abastecimento de água, devem suportar uma pressão mínima de 1.000 kPa (100 mca).

Na implantação de um sistema de abastecimento, pela setorização clássica, a definição das zonas de pressão é feita tomando como base a limitação da pressão estática máxima em 50

mca no ponto mais baixo da zona de pressão, e a limitação da pressão dinâmica mínima em 10 mca no ponto crítico da zona de pressão. O ponto crítico é aquele, dentro da zona de pressão, onde se verifica a menor pressão dinâmica, isto é, o ponto mais elevado ou o mais distante em relação ao referencial de pressão (reservatório, “booster” ou VRP). Com o passar do tempo, o ponto crítico pode se deslocar devido ao aumento de rugosidade em função da idade da tubulação, tendendo a se localizar inicialmente no ponto mais alto da zona de pressão e, futuramente, nos pontos mais distantes em relação ao referencial de pressão. Ele é utilizado para se estimar o potencial de redução de pressão da área, além de ser um ponto de controle do abastecimento. A mínima pressão aceitável neste ponto pode variar entre as companhias de saneamento. Entretanto, em muitas áreas, a pressão mínima das redes de distribuição, de 10 a 15 mca de carga, manterá o abastecimento de forma satisfatória.

Considerando-se uma região abastecida por um reservatório apoiado e um elevado, e uma variação de pressão dinâmica máxima de 10 mca, pode-se demarcar a área de influência dos reservatórios através das curvas de nível que definam pressões estáticas de 20 mca e de 50 mca, para ambos os reservatórios.

A Figura 15 demonstra que isso irá definir uma área intermediária, que tanto pode ser abastecida pelo reservatório apoiado (pressões mais próximas de 20 mca) como pelo reservatório elevado (pressões mais próximas de 50 mca). Como, para a redução de perdas físicas, é interessante submeter a rede a baixas pressões, a maior parte dessa área deve ser abastecida pelo reservatório apoiado, o que propiciaria também a redução da vazão recalcada ao reservatório elevado, trazendo, assim, redução no consumo de energia elétrica.

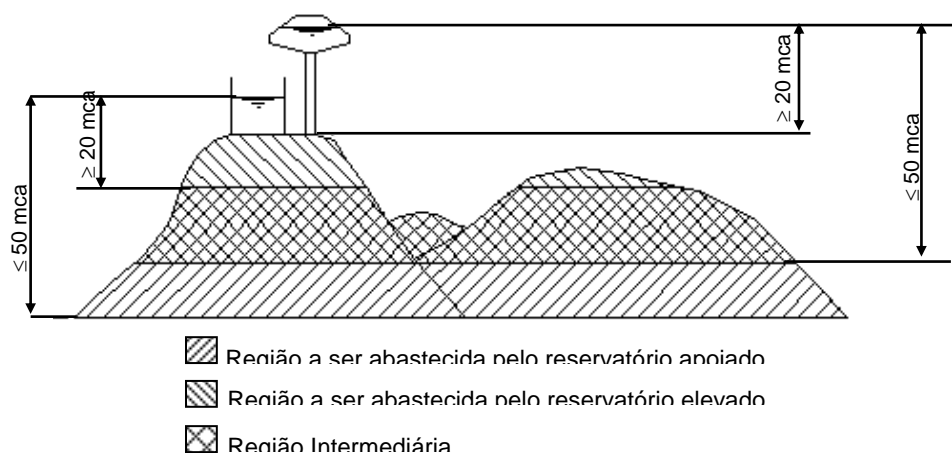


Figura 15 – Esquema de setorização clássica

Fonte: Sabesp, 2005

Na setorização clássica, o desnível geométrico máximo deve ser de 50 m. Em regiões de topografia mais acidentada seria necessária a utilização de um reservatório intermediário. Os altos custos de implantação (em áreas consolidadas o custo do terreno torna-se muito caro) e manutenção de reservatórios (principalmente das Torres) levam à utilização de equipamentos como bombas de rotação variável e válvulas redutoras de pressão - VRP, para o controle de pressão no setor, mantendo-se como função básica do reservatório de distribuição (principal) a regularização de variações horárias de demanda e reserva para combate a incêndio.

A instalação de um “booster” ou VRP define, também, uma nova zona de pressão, com todos os recursos para o acompanhamento das pressões, vazões e abastecimento nessa área, ampliando, assim, as possibilidades de controle e gerenciamento da rede de distribuição de água.

3.5.3. Distritos de medição e controle

Entende-se por Distrito de Medição e Controle (DMC) a área perfeitamente delimitada, por meio de fechamento de registros, ou naturalmente por acidentes geográficos, avenidas, linhas férreas, ou outros, cuja fonte de alimentação é conhecida e mensurável por meio de processos pitométricos.

A implantação de DMC, além de apresentar benefícios diretos, tais como a indicação de vazamentos não-visíveis e de ligações clandestinas, gera benefícios indiretos, como manutenção preventiva de peças especiais (registros, hidrantes etc.), melhor adequação da rede, permitindo o isolamento de pequenas áreas para serviços de reparos, maior flexibilidade nos fluxos d'água, advinda das interligações para eliminação de pontos mortos, e levantamentos sistemáticos de dados operacionais e de projeto (vazões e pressões).

3.5.2.1. Porte do distrito de medição e controle

O tamanho de um DMC deve levar em conta os seguintes fatores:

- Homogeneidade do consumo: tanto quanto possível, o DMC deve conter consumidores da mesma classe (residencial, comercial ou industrial).
- Linha de alimentação: a dimensão da linha ou linhas de alimentação do DMC deve ser suficiente para abastecer a área sem problemas e ter velocidades de

água compatíveis com os limites de precisão dos aparelhos de medição de vazão.

- Fechamento de registros: a quantidade de registros a serem fechados para isolar o DMC não deve ser maior do que 20.
- Número de ligações: é recomendável um número entre 1.000 ligações e 3.000 ligações, pelas dificuldades de análise das medições das vazões mínimas noturnas.
- Extensão: deve ser tal que o tempo de preparação do DMC não seja maior que o tempo que se gastaria para pesquisá-lo acusticamente. É recomendável que a extensão total da rede não ultrapasse 25 km.

3.5.4. Projeto do distrito de medição e controle

A montagem das plantas que compõem os setores de abastecimento com seus limites traçados e bem caracterizados facilita sobremaneira a execução do projeto.

Nesta fase do projeto, o objetivo é delimitar o DMC, compatibilizando-o com o setor de abastecimento e caracterizando o seu contorno. É evidente que se deve procurar utilizar os registros existentes, mas, se necessário, prever a colocação dos que venham a ser requeridos para o fechamento da área.

Com a delimitação do DMC em planta, são definidas as localizações dos pontos de medição de vazão e de pressão.

Concluído o projeto, devem ser listados os registros a serem fechados, facilitando não só o controle, mas a própria implantação no campo.

3.5.5. Implantação do distrito de medição e controle

É necessário checar todos os registros limítrofes, verificando suas condições operacionais. É comum encontrar registros defeituosos, cobertos e até mesmo não os encontrar.

É importante garantir o pleno abastecimento em todo o DMC. Portanto, deve-se verificar o comportamento do sistema e procurar identificar se em algum ponto poderá ocorrer deficiência no abastecimento. Assim, antes do fechamento de qualquer registro, devem ser

medidas as pressões dentro e fora do distrito e repetir essas medições após o fechamento do mesmo, de preferência nos mesmos locais. Também nos pontos mais elevados e nos mais distantes da rede principal de alimentação, ou nos de maior consumo, recomenda-se a instalação de registradores de pressão, que servem para espelhar o funcionamento do sistema.

Quando os registros estiverem fechados, deve-se ter certeza que nenhuma outra rede esteja abastecendo o sistema. Ao fechar o registro, o operador deve certificar-se de sua estanqueidade.

3.5.6. Pontos de medição

Considera-se como ponto de medição a instalação de uma Estação Pedométrica.

As Estações Pitométricas, são locais onde a instalação de TAP permite a medição de vazão por equipamentos de inserção ou ultra-sônicos.

Os Distritos de Medição e Controle devem preferivelmente ter apenas uma linha de abastecimento principal, bastando para a medição global à instalação de uma única Estação Pitométrica (Figura 16), que deve se localizar a uma distância equivalente a 3 (três) diâmetros a montante e a 10 (dez) diâmetros a jusante de qualquer singularidade na tubulação (curvas, válvulas).

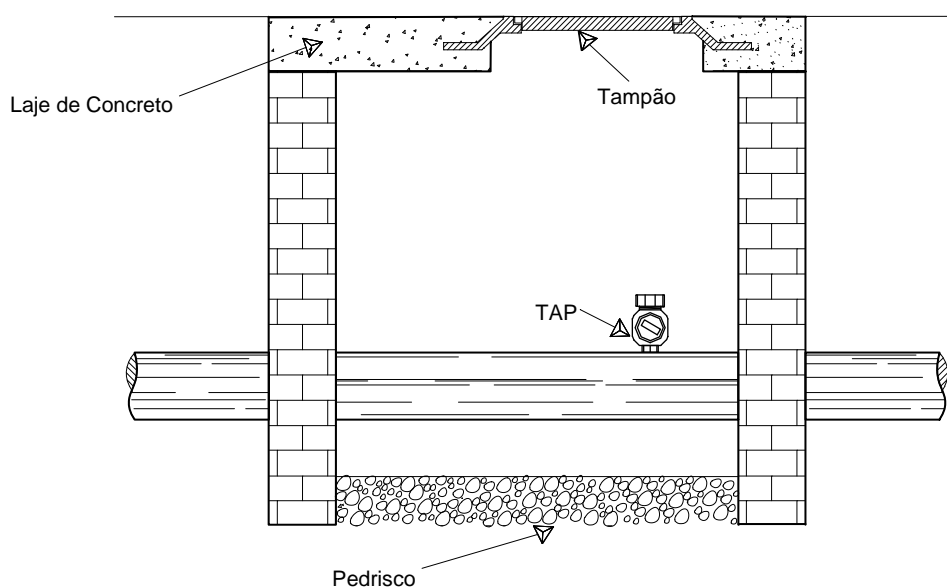


Figura 16 – Esquema de uma Estação Pitométricas

Fonte: CETRE, 2009

É possível, contudo, que o Distrito de Medição e Controle seja servido por mais de uma linha de alimentação ou que uma de suas linhas esteja abastecendo outro Distrito.

Nesses casos devem estar previstas tantas Estações Pitométricas quantas forem necessárias, para que através de medições simultâneas de vazão, se obtenha o hidrograma de consumo na área em questão.

No tocante às pressões de trabalho, podem ser instalados registradores nos pontos de medição, o que permitirá um maior conhecimento do desempenho do abastecimento.

É recomendável não posicionar as Estações Pitométricas em locais que apresentem algum risco potencial de acidentes, tais como, sob linhas de alta tensão, em pontos baixos da região (riscos de inundação) etc.

As definições e conceitos anteriores não devem ser entendidos de forma rígida, ou seja, uma zona de pressão também pode se constituir em um Distrito de Medição e Controle, desde que tenha um ponto de medição, uma área compatível e estanque. Igualmente, uma área sob atuação de VRP ou de “booster” pode ser entendida como sendo um DMC (basta ter possibilidade de medição), onde se poderá acompanhar com maior rigor os parâmetros de controle de vazões, pressões e perdas no sistema.

A Figura 17 apresenta uma planta esquemática de um setor e suas zonas de pressão e distritos pitométricos.

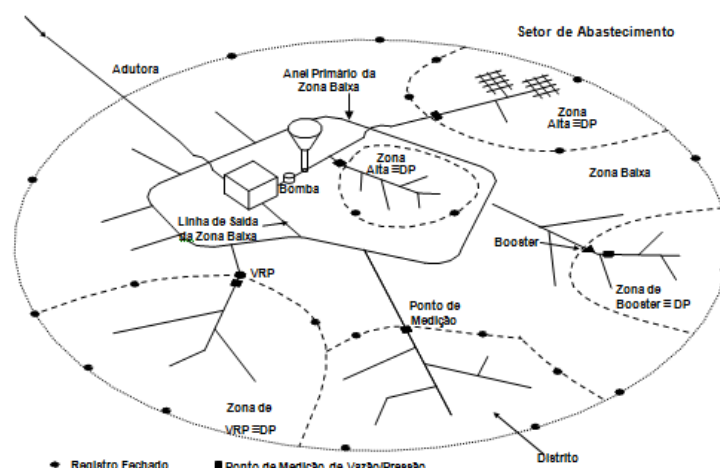


Figura 17 – Esquemático de setor de abastecimento

Fonte: Sabesp, 2005

3.5.7. Parâmetros básicos de controle

3.5.7.1. Nível mínimo de vazamentos

Segundo Thornton (2008) é impossível reduzir a zero o número de vazamentos na rede de distribuição, seja por limitações tecnológicas dos equipamentos de detecção, seja por razões econômicas, envolvendo os custos requeridos para se ter tal estrutura funcional na empresa em contrapartida aos benefícios auferidos.

O nível mínimo de vazamentos aceitável agrega os vários pontos de fuga que são muito pequenos para serem descobertos pelos métodos usuais de detecção, geralmente ocorrendo nas juntas nas redes ou nos ramais prediais. Este número engloba, portanto, o conceito de “Vazamentos Inerentes”, como definido no item 5. A este número deve ser somado um volume relativo ao tempo mínimo para o conserto dos vazamentos visíveis e um volume relativo ao tempo aceitável para a detecção e conserto dos vazamentos não-visíveis.

Estudos recentes procuram definir um padrão universalmente aceito para o nível mínimo de vazamentos entre distintas áreas ou companhias de saneamento, que apresentam diferentes densidades de ligações, comprimentos e materiais dos tubos, pressões de operação e outras condições de infra-estrutura. Este nível mínimo aceitável denomina-se “Perda Inevitável”. (THORNTON,2008)

3.5.7.2. Vazão mínima noturna

Em sistemas de abastecimento de água, as vazões consumidas pelos clientes variam ao longo do dia (e também ao longo dos meses, em função da sazonalidade). Geralmente o pico de consumo se dá entre 12h00 e 14h00, caindo gradativamente até atingir o consumo mínimo entre 3h00 e 4h00 da madrugada. A Figura 18 mostra uma curva típica de consumo de um setor de abastecimento.

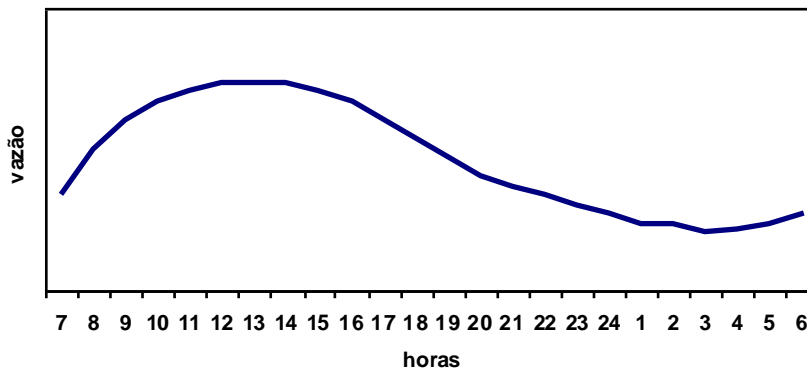


Figura 18 – Curva de consumo de um Setor de Abastecimento de Água em 24 (vinte e quatro) horas

Fonte: Sabesp, 2005

Nos horários onde ocorre a vazão mínima, há evidentemente uma correspondência com as atividades humanas que demandam água: os consumos residenciais são muito pequenos, as atividades comerciais e públicas estão paralisadas e uma grande parte das indústrias também não está funcionando. É justamente nessa hora onde se pode ter uma boa avaliação das vazões que escapam pelos vazamentos na rede de distribuição. Tais vazamentos, portanto, nesses horários, englobam parcela significativa das vazões medidas.

A análise da Vazão Mínima Noturna constitui-se em uma das ferramentas mais utilizadas para a avaliação das perdas físicas, desde que se atente para:

- A correta definição do ponto de medição;
- O emprego adequado dos equipamentos de medição;
- A segurança quanto à estanqueidade da área de análise (registros limítrofes fechados); e
- O conhecimento (medido ou estimado) dos consumos próprios da área no instante da vazão mínima noturna (indústrias, principalmente).

A Figura 19 apresenta os componentes básicos da vazão mínima noturna.

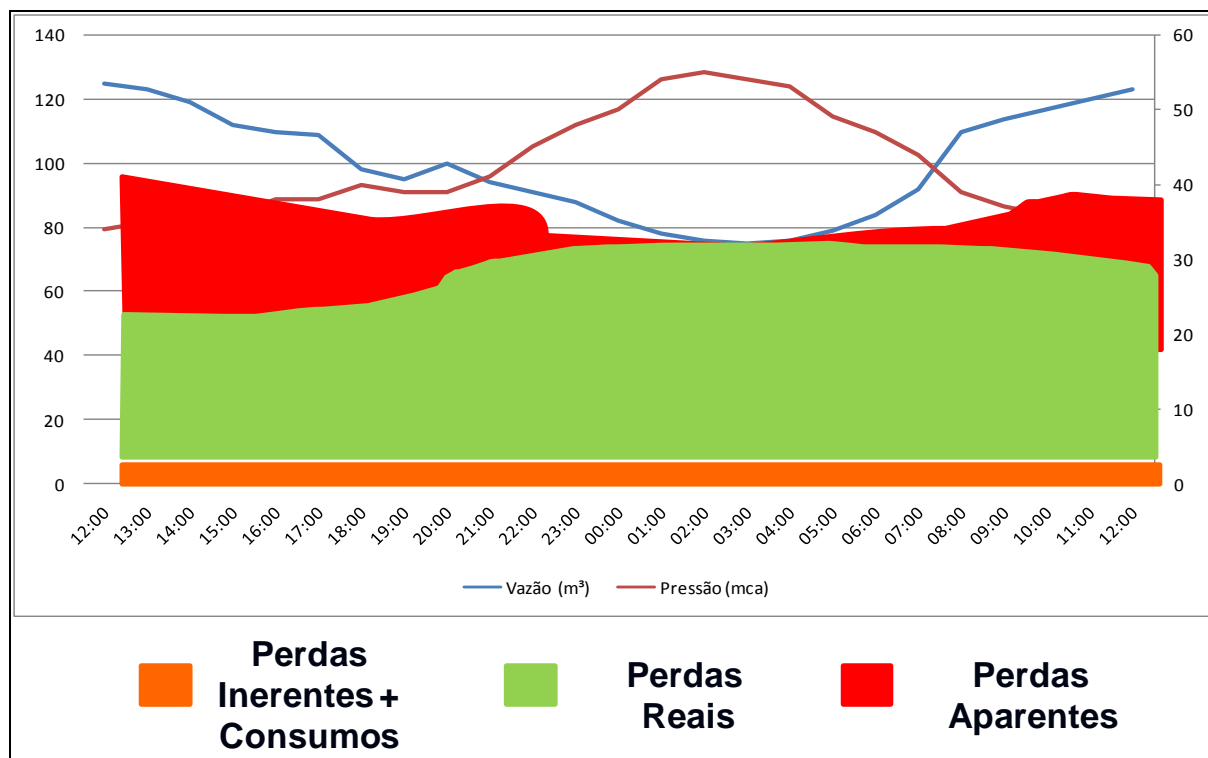


Figura 19 – Componentes da vazão mínima noturna

Fonte: Costa, 2010

3.5.7.3. Pressão média noturna

O conhecimento das pressões reinantes na área de estudo no instante em que ocorre a Vazão Mínima Noturna agrega outra ferramenta para se planejar e avaliar os vazamentos e as formas de combatê-los.

Conceitua-se AZNP (Average Zone Night Pressure – Pressão Média Noturna) como a média das pressões noturna máxima e mínima da área em estudo, devendo-se levar em conta a topografia e a concentração de ligações.

É aconselhável que os estudos adotem um ponto específico da rede (representativo da pressão média noturna) para controle da performance do sistema (medições de pressão). Outro ponto de controle a ser adotado é o Ponto Crítico, que é aquele mais distante do referencial de pressão ou de maior cota, onde ocorre a menor pressão dinâmica. É muito importante nos programas de controle de pressão, pois é um indicador do potencial de pressão a ser reduzida.

3.5.6.4. Fator de Pesquisa

Fator de Pesquisa (FP) é a relação entre a vazão mínima noturna de um DMC e a sua vazão média, dada em porcentagem:

$$FP = \frac{Q_{\text{mínima noturna}}}{Q_{\text{média}}} \times 100 (\%)$$

Por exemplo:

$$FP = \frac{6}{22} \times 100 = 27\%$$

O Fator de Pesquisa é um parâmetro que dá indicações fortes sobre a existência de vazamentos na área. Valores altos significam grande potencial de retorno nos trabalhos de pesquisa acústica para detecção dos vazamentos; valores baixos indicam comportamento das vazões que não exige a continuidade dos estudos e nem a pesquisa acústica subsequente.

A Figura 20 ilustra a definição do Fator de Pesquisa em um Distrito de Medição e Controle.

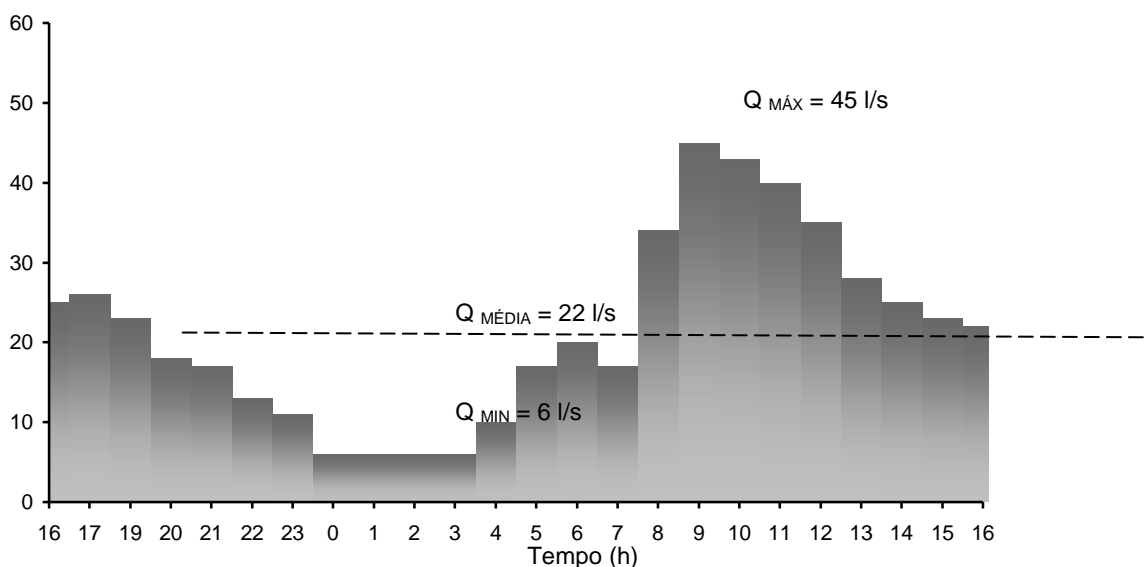


Figura 20 – Exemplo de determinação de valores para o cálculo de um fator de pesquisa

Fonte: Sabesp, 2005

3.5.8. Análise econômica

A atividade de combate aos vazamentos na rede de distribuição de água é uma intervenção operacional que envolve custos em várias etapas do processo. O levantamento e a apropriação desses custos serão importantes para a análise econômica do controle de perdas que será conduzido para a região em estudo.

As principais variáveis que devem compor os levantamentos são:

- Custos unitários referentes ao apontamento dos vazamentos visíveis através do sistema de atendimento telefônico.
- Custos referentes aos trabalhos de detecção de vazamentos não-visíveis (mão-de-obra, equipamentos, materiais, administração etc.)
- Custos referentes ao reparo dos vazamentos (mão-de-obra, equipamentos, materiais, administração etc.)
- Custo relativo ao valor da água perdida (ou recuperada) nos vazamentos.

Os custos variam de local para local, dependendo das condições de mercado e da tecnologia dos prestadores de serviço e das características do sistema de abastecimento (taxa de surgimento de vazamentos, disponibilidades hídricas etc.).

Através da análise econômica relativa aos vazamentos é possível determinar o nível aceitável de vazamentos na rede, que é definido como sendo o nível a partir do qual os custos adicionais para incrementar a detecção de vazamentos superam os custos adicionais para aumentar a produção de água. Em outras palavras, quanto menos e menores vazamentos a rede apresentar, mais difícil e cara serão a sua detecção, o que pode não compensar, em comparação com os gastos com a produção de água tratada.

3.6. Metodologia para priorização de áreas para pesquisa acústica de vazamentos

3.6.1. Sistema de prevenção e correção de vazamentos

A implementação de ações de redução de perdas físicas em uma companhia de saneamento passa pela existência de um amplo sistema de infra-estrutura e logística que extrapola, inclusive, o âmbito interno da companhia.

Esse sistema envolve linhas de comunicação direta dos clientes e concessionárias de serviços públicos com a companhia de saneamento, no sentido de avisar sobre a existência de vazamentos visíveis, infiltrações em poços de visita e prédios, baixa pressão. No Brasil este tipo de comunicação está institucionalizado através do número telefônico 195, exclusivo para as questões que estão vinculadas aos serviços de saneamento (Código Nacional de Saneamento).

Equipes próprias ou contratadas para a pesquisa e detecção de vazamentos não-visíveis, com todo o instrumental requerido para a tarefa.

Sistemas de programação e controle para a correção dos vazamentos, cujo nível de sofisticação está diretamente ligado ao porte da companhia de saneamento.

Equipes próprias ou contratadas para a correção dos vazamentos.

Sistema de gerenciamento e controle dos resultados, com vistas à redução de perdas.

A Figura 21 apresenta de forma simplificada a estruturação do sistema de prevenção e correção de vazamentos.

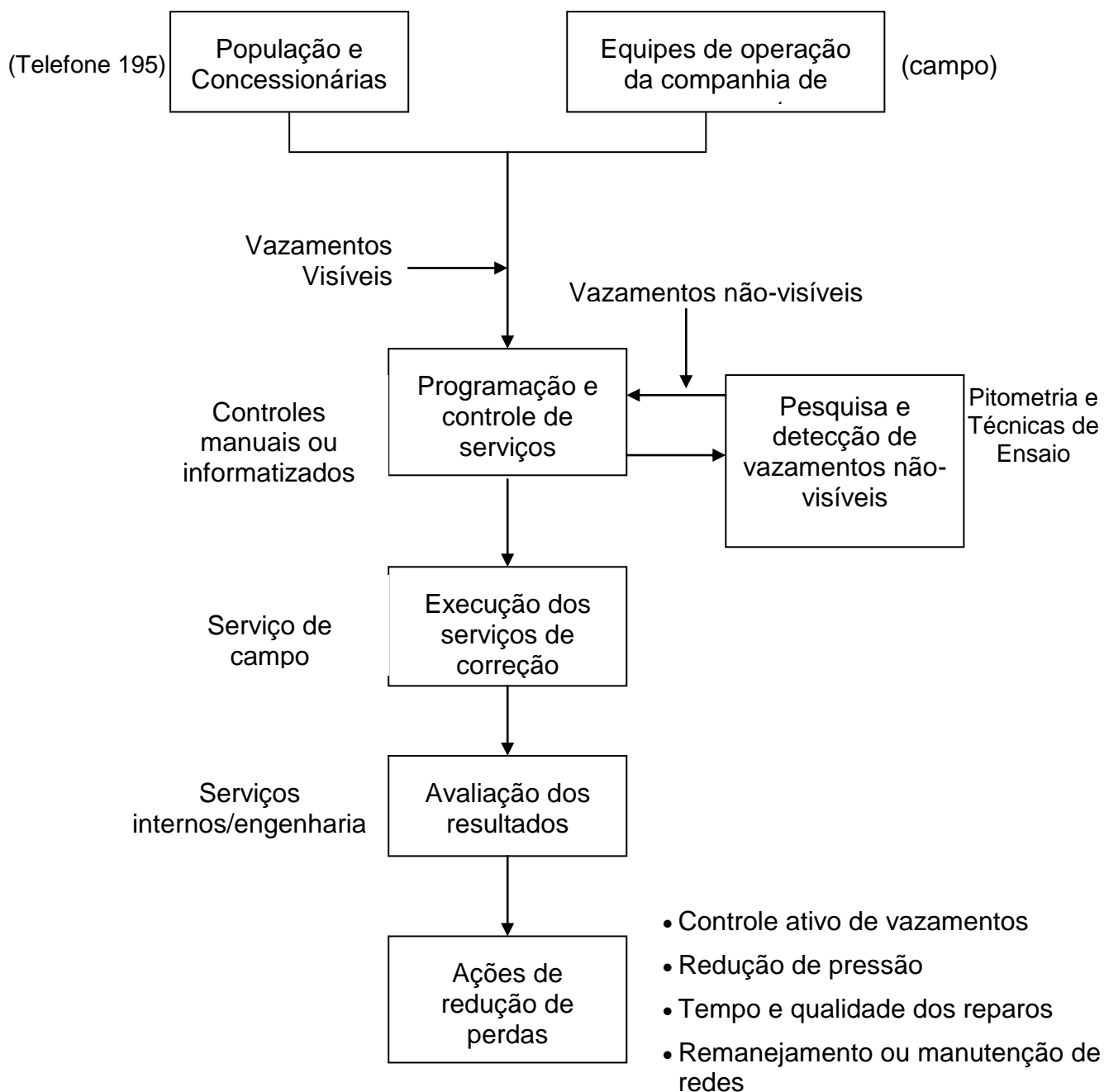


Figura 21 – Fluxograma de um sistema de prevenção e correção de vazamentos

Fonte: Sabesp, 2005

3.6.2. Disponibilização dos mapas

A disponibilidade dos mapas e a sua atualização permanente são fundamentais para a condução dos serviços em suas diversas etapas.

As escalas dos mapas dependem da etapa em que se encontram os trabalhos. Assim, na fase de planejamento, os mapas com escala maior (1:25.000, 1:10.000, 1:5.000) são úteis para o lançamento das informações básicas da área atendida e da própria rede, tais como setores, zonas de pressão, distritos de medição e controle, tipo de solo, idade e tipo de material da rede, pressões e índices específicos de perdas e vazamentos (por ex., n° de vazamentos / km.mês).

Nas fases executivas dos trabalhos de detecção de vazamentos, as plantas cadastrais da rede (ver item 3.3.) nas áreas definidas para pesquisa são ferramentas importantes para as equipes de campo. As escalas usuais das plantas cadastrais das redes são 1:2.000, 1:1.000 ou 1:500.

3.6.3. Definição das áreas de controle e verificação da estanqueidade

A correta definição dos setores de abastecimento, zonas de pressão e distritos de medição e controle é uma das ações mais importantes dos trabalhos. Se as condições operacionais e cadastrais dos registros limítrofes das áreas não garantirem a perfeita estanqueidade, as avaliações decorrentes dos serviços de detecção de vazamentos serão prejudicadas.

Esquemas de manutenção nas válvulas, e checagem da eventual passagem de água, bem como levantamentos cadastrais cuidadosos, devem ser ações sistemáticas das companhias de saneamento para garantir e validar os dados obtidos nas medições de vazão e pressão (antes e depois dos serviços de detecção e correção de vazamentos).

É importante apropriar os dados de interesse (idade e material da rede, pressões, características do solo, índices de perdas/vazamentos, locais com intermitência no abastecimento) para essas áreas de controle, de formas a se ter melhores condições de avaliação dos trabalhos de prevenção e correção dos vazamentos.

3.6.4. Definição de metas

A definição das metas a serem perseguidas no combate aos vazamentos deve ser conduzida com bastante critério. Metas demasiadamente ambiciosas, incompatíveis com a efetiva realidade da companhia, podem frustrar expectativas e desestimular as equipes responsáveis; por sua vez, metas pouco ambiciosas significam postergação de recursos, que poderiam ser equacionados com antecedência.

Alguns procedimentos básicos devem ser obedecidos para a definição ponderada de metas em uma companhia de saneamento:

- Definição de horizontes de planejamento onde serão colocadas as metas de curto prazo (1 a 2 anos), médio prazo (3 a 5 anos) e longo prazo (5 a 10 anos);
- Conhecimento da situação atual de perdas físicas da companhia, suas causas, distribuição e quantitativos (volumes);
- Conhecimento das técnicas e metodologias para atuar no combate às perdas;
- Compatibilização entre recursos previstos (humanos e financeiros) e objetivos futuros quanto aos índices de perdas;
- Determinação do nível aceitável de vazamentos; e
- Definição das metas (índices de perdas, volumes a serem recuperados).

A Figura 22 mostra, de forma esquemática, uma composição dos volumes previstos a serem recuperados, levando-se em conta a Taxa Natural de Ocorrência de Vazamentos.

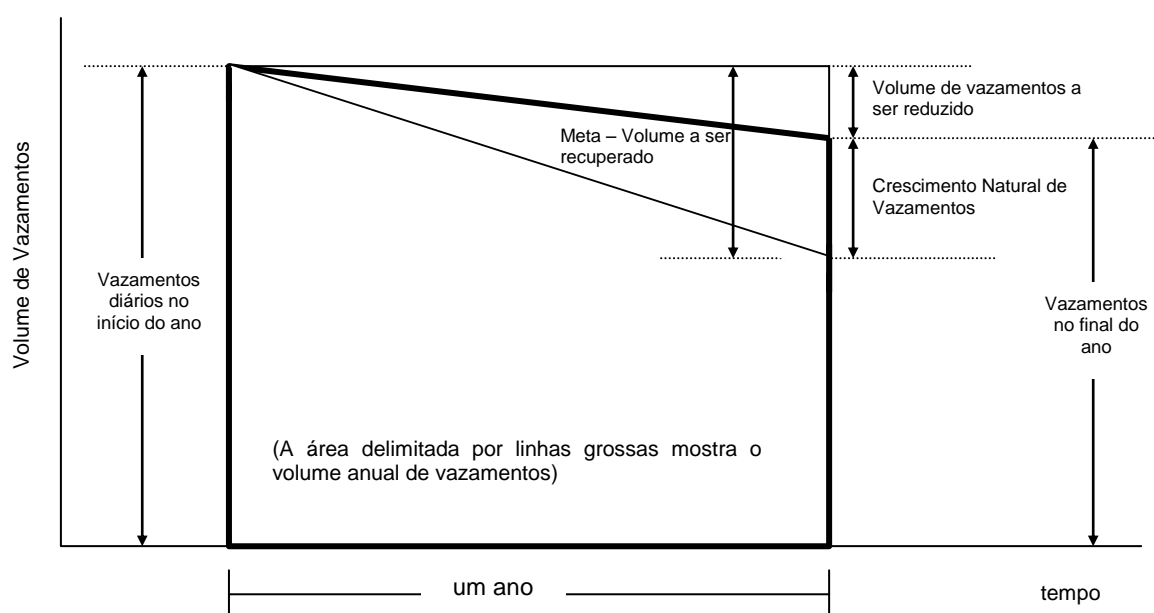


Figura 22 – Balanço de volumes de vazamentos

Fonte: Sabesp, 2005

3.7. Priorização de áreas para pesquisa de vazamentos

Existem distintos métodos para identificar as áreas onde devem ser realizados trabalhos de pesquisas acústicas para detecção de vazamentos não-visíveis. Serão descritos a seguir, de forma sucinta, os métodos mais usuais no Brasil.

3.7.1. Varredura de rede

Neste caso não são feitas quaisquer medições ou análises prévias das condições da rede, simplesmente são realizadas as pesquisas acústicas em todo o sistema de distribuição de água.

É uma metodologia que não apresenta eficiência nos resultados finais, pois são desperdiçados tempo e recursos atuando em trechos da rede em boas condições, só se justificando sua aplicação em pequenos sistemas de distribuição.

3.7.2. Pesquisa sem medição de vazão

São levantadas e mapeadas as informações pertinentes ao caso, identificando as zonas de pressão ou distritos de medição e controle mais promissores em termos de ocorrência de vazamentos não-visíveis.

Os itens que devem ser levantados e considerados para se obter uma perfeita análise para a definição de áreas críticas de ocorrência de vazamentos são:

3.7.2.1. Mapeamento da rede em função das pressões

Este mapeamento deve ser feito por faixas de pressões a serem definidas. Inicialmente podem ser utilizadas as seguintes: 0 – 30; 30 – 50 e acima de 50 mca.

3.7.2.2. Mapeamento da rede em função da idade das tubulações

Consiste em fazer um levantamento das redes de acordo com as seguintes faixas de idade dos tubos: 0 a 10; 11 a 15; 16 a 20; 21 a 25; 26 a 30 e acima de 30 anos.

3.7.2.3. Incidência de vazamentos

Deve ser feito um levantamento de todos os vazamentos visíveis e não-visíveis consertados num período mínimo de 1 ano.

3.7.2.4. Número de vazamentos por extensão de rede

Este levantamento deve ser feito por setor de abastecimento, ou seja, deve-se obter a relação do número de vazamentos consertados por extensão de rede de cada setor de abastecimento (ou zona de pressão).

3.7.2.5. Comparação entre macro e micromedição

Consiste em se obter através de comparação da macro e micromedição o Índice de Perdas por setor de abastecimento (é difícil ter micromedição por zona de pressão ou Distrito de Medição e Controle).

Outros itens que podem ajudar a identificar as áreas para pesquisa são:

- Áreas com ramais prediais em ferro galvanizado ou de PVC com mais de 10 anos de instalação;
- Áreas com ramais prediais em polietileno com incidências de retrabalho;
- Áreas com lençol freático elevado;
- Ruas com grande espessura do pavimento; e
- Áreas com solos que tendem a ocasionar mais vazamentos (solos moles) ou que dificultam o afloramento do vazamento (solos arenosos).

De posse dessas informações, é possível hierarquizar as áreas onde serão desenvolvidos os trabalhos de pesquisa acústica.

Esta é a metodologia mais utilizada pelas companhias de saneamento. Não é dispendiosa, exigindo entando um adequado sistema de banco de dados e gerenciamento de informações.

Em alguns casos podem ser direcionadas ações para tentar ajudar a resolver problemas de intermitência, pois, ao se equacionar o vazamento pode-se estar resolvendo o problema de abastecimento da área.

3.7.3. Pesquisa com medição de vazão

As áreas críticas de vazamentos são determinadas através de medições sistemáticas de vazão e pressão nos distritos de medição e controle, zonas de pressão e setores de abastecimento, definindo-se os parâmetros de controle (Fator de Pesquisa, Vazão/km de rede, etc.) que nortearão a seleção das áreas.

Os passos iniciais requeridos para se chegar a essa seleção podem ser elencados da seguinte forma:

- Realização de medições globais de vazão nas Áreas de Controle, por um período de 7 dias;
- Determinação dos Fatores de Pesquisa de cada área;
- Varredura com pesquisa acústica para detecção dos vazamentos não-visíveis;
- Implementação de uma campanha de conserto de vazamentos detectados;
- Realização de novas medições de vazão; e
- Determinação dos novos Fatores de Pesquisa, que passam a ser os valores de referência das Áreas de Controle.

As ações subseqüentes consistem em acompanhar periodicamente, através de medições, o comportamento das vazões e dos fatores de pesquisa. Alterações substanciais em relação aos valores de referência indicam incremento no número de vazamentos não-visíveis, mostrando então a oportunidade de se pesquisar acusticamente a área em busca dos vazamentos.

A grande vantagem dessa metodologia é a otimização dos recursos, ao se pesquisar somente áreas com grande potencial de recuperação de vazões, além dos aportes de conhecimento da realidade operacional das áreas analisadas. Para tanto, exigem-se equipes suficientes, bem treinadas e com instrumental adequado, o que acarreta aumento dos custos.

A combinação desta metodologia com a anterior (Pesquisa Sem Medição) é possível, agregando-se mais fatores de decisão.

Atualmente, com a maior facilidade de instrumentação e telemetria, é possível obter um acompanhamento direto das vazões afluentes às Áreas de Controle, agilizando o processo de decisão.

3.8. Princípios físicos do ensaio de detecção de vazamentos

Quando há um vazamento em uma tubulação que opera com líquidos sob pressão, como é o caso das redes de distribuição de água, um som contínuo, mas de intensidade irregular, é emitido pela abertura existente no tubo.

A água proveniente do vazamento é o elemento gerador desse som, que se propaga não apenas através da água, mas também através dos sólidos. O som, propagado internamente pela água e pelas paredes da tubulação através de ondas longitudinais e transversais, é produzido no exato momento em que a água sai da tubulação (com a pressão existente naquela seção do tubo) para o exterior, que está sob pressão atmosférica.

Como mostra a Figura 23, o som do vazamento é composto por diversos sons diferentes, tais como o som da circulação do líquido com as partículas do solo, o som do impacto do fluxo de água com o solo que circunda a tubulação, o som da fricção das partículas de água com as paredes do tubo e, finalmente, o som da vibração produzida no tubo. A este conjunto de sons denomina-se genericamente de “ruído de vazamento”.

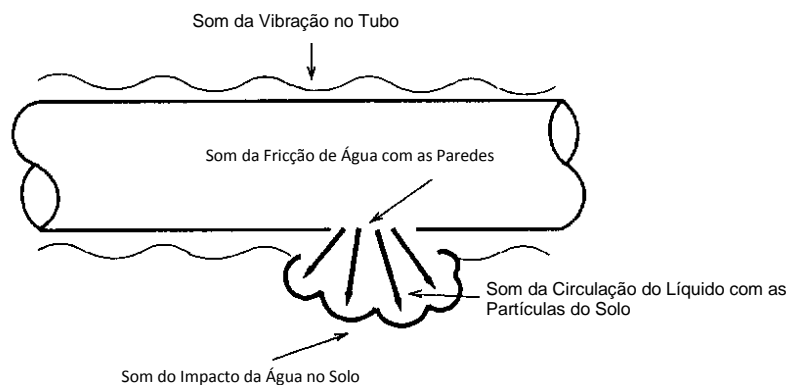


Figura 23 – Som provocado por vazamentos

Fonte: Sabesp, 2010

A intensidade dos ruídos de vazamento varia conforme o tipo de material de que é composto o tubo (ferro fundido, PVC etc.), o diâmetro do tubo, a espessura da parede do tubo, a pressão

da água, a configuração da abertura etc.. Este fato causa, portanto, diferenças significativas entre um ruído de vazamento e outro.

Como exemplo, pode-se citar que pequenos vazamentos com altas velocidades de jato produzem maior ruído do que grandes vazamentos, que provocam quedas de pressão e têm um jato com menor velocidade. Por sua vez, vazamentos imersos em meio líquido ou aqueles que já provocaram erosões consideráveis podem não produzir ruídos na superfície do solo.

A Figura 24 ilustra a produção e propagação dos ruídos de vazamento a partir de tubos de diferentes materiais.

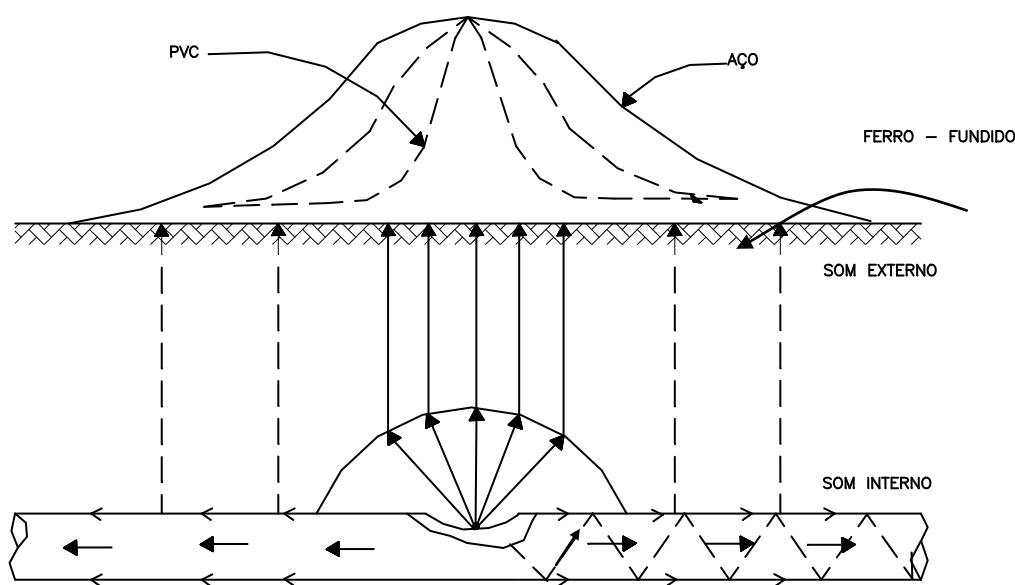


Figura 24 – Propagação do som do vazamento por tipo de material

Fonte: Sabesp, 2010

Os vazamentos produzem ruídos numa faixa de frequência que varia de 100 Hz a 8000 Hz, não possuindo uma distribuição estabelecida das frequências.

As baixas frequências (abaixo de 1.000 Hz) são, em geral, as que melhor são propagadas até a superfície, mas sofrem uma variação de intensidade conforme o tipo de solo existente ao redor do tubo. A faixa de frequência alta é gradualmente absorvida pelo solo, atenuando sua chegada até a superfície.

3.8.1. Características da vibração produzida pelo vazamento

Os ruídos de baixa frequência são pouco absorvidos pelo solo, chegando à superfície com mais facilidade sendo, portanto, mais facilmente detectados.

Ao contrário, os ruídos com faixas de frequência superiores a 1.000 Hz são bastante absorvidos pelo solo, o que dificulta sua detecção na superfície.

Os ruídos são absorvidos aproximadamente na proporção inversa do quadrado da profundidade, ou seja, para um mesmo ruído de vazamento, a intensidade que atinge a superfície será quatro vezes menor se a profundidade for duplicada.

Um terreno duro, consistente, transmite melhor o som do que um terreno menos denso. Em geral, os terrenos argilosos têm melhor propagação do que os arenosos.

Uma superfície pavimentada propaga melhor o som do que uma de terra; por sua vez, a terra é melhor transmissora de som do que uma superfície gramada.

3.8.2. Propagação do ruído na tubulação

As características do Amortecimento do som estão relacionadas aos seguintes fatores (CETRE, 2009)

a) em relação à rigidez do material

A taxa de amortecimento do ruído de vazamento é dada pela capacidade do material do tubo em absorver as ondas de propagação do som do ruído de vazamento.

Em geral, um tubo feito de material com alta rigidez tem paredes mais “duras”, fazendo com que as ondas sonoras sejam mais bem refletidas nas paredes, facilitando sua propagação.

Os tubos fabricados com material de menor rigidez têm as paredes maleáveis, que absorvem parte da onda sonora, dificultando sua propagação.

b) em relação ao diâmetro do tubo

Um tubo de grande diâmetro tem uma alta taxa de amortecimento, pois as ondas sonoras percorrem um trajeto mais longo e perdem intensidade até que sejam refletidas na parede do tubo, dificultando sua propagação. Em particular, nos tubos com diâmetro igual ou superior a 1.000 mm os ruídos de vazamento são rapidamente absorvidos.

Convém lembrar que a relação entre a taxa de amortecimento do som é inversamente proporcional à facilidade de sua propagação e, conseqüentemente, há maior dificuldade para a detecção do ruído do vazamento. Em outras palavras, quanto maior for a distância do vazamento à superfície, menor será a intensidade do ruído que atinge a superfície.

Em redes constituídas de materiais metálicos com superfícies não porosas como é o caso do ferro fundido ou aço carbono e com diâmetros pequenos, a taxa de amortecimento do som é pequena, sendo o ruído de vazamento propagado a distâncias mais longas. Então, o operador, caminhando sobre esse tipo de rede, capta o ruído, distante do ponto onde o vazamento se encontra, com uma pequena intensidade que vai aumentando progressivamente à medida que ele se aproxima do local do vazamento.

O contrário ocorre com redes de material plástico ou chumbo que, conforme foi visto têm superfícies maleáveis. Nessas tubulações o ruído começa a ser percebido próximo ao local onde o vazamento se encontra.

A taxa de amortecimento nos “tês”, nas curvas de 90° e nas cruzetas dos tubos é mais alta do que nos trechos retos.

3.8.3. Características das frequências

As faixas de frequência dos vazamentos têm diferentes características de acordo com o material do qual é constituído o tubo da rede (Quadro 6).

Quadro 6 – Propagação de frequências

Material do Tubo	Faixa de Frequência de Propagação
Ferro Fundido	Alta
Aço Carbono	Alta
Plástico / PVC	Baixa
Cimento Amianto	Baixa

Fonte: Sabesp, 2010

As faixas de frequência de propagação do ruído de vazamento em relação ao material da tubulação indicam os filtros mais adequados à operação dos equipamentos de detecção.

3.8.4. Propagação do ruído

O quadro 7 mostra a tendência de propagação do ruído do vazamento nas tubulações, de acordo com as características do tubo.

3.8.5. Detecção do ruído de vazamento

Os equipamentos normalmente utilizados nas pesquisas acústicas de vazamento detectam sons na faixa de frequência de 100 Hz a 5.000 Hz.

Os ruídos de vazamento detectados nas pesquisas são classificados em dois grupos: os sons de alta e baixa frequência. As relações desses grupos com diversas condições das tubulações são mostradas no quadro 8.

Quadro 7 – Propagação do som de vazamentos conforme material da tubulação

Características	Distância de Propagação	
	Longa	Curta
Diâmetro do Tubo	Pequeno	Grande
Tipo de Material	Ferro Fundido, Aço e Aço Inoxidável	Polietileno e Plásticos (PVC)
Idade	Tubos novos (sem incrustação ou corrosão)	Tubos velhos (com muita incrustação e alto grau de corrosão)
Juntas	Flangeada, Soldada e Junta de Chumbo	Junta de borracha

Fonte: Sabesp, 2010

Quadro 8 - Relação entre o ruído de vazamentos e as características da tubulação

Característica	Frequência	
	Alta	Baixa
Tamanho do orifício do vazamento	Pequeno	Muito Grande
Velocidade do escoamento no interior do tubo com vazamento	Muito Alta	Muito Baixa
Diâmetro do tubo	Pequeno	Grande
Material do Tubo	Aço, Aço Inoxidável e Ferro Fundido	Fibrocimento, Plástico (PVC) e Polietileno
Distância	Próxima	Muito Longe
Pressão da água	Alta	Muito Baixa

Fonte: Sabesp, 2010

A Figura 25 apresenta as faixas de detecção de alguns equipamentos, bem como as frequências de vários tipos de ruídos (CETRE, 2009).

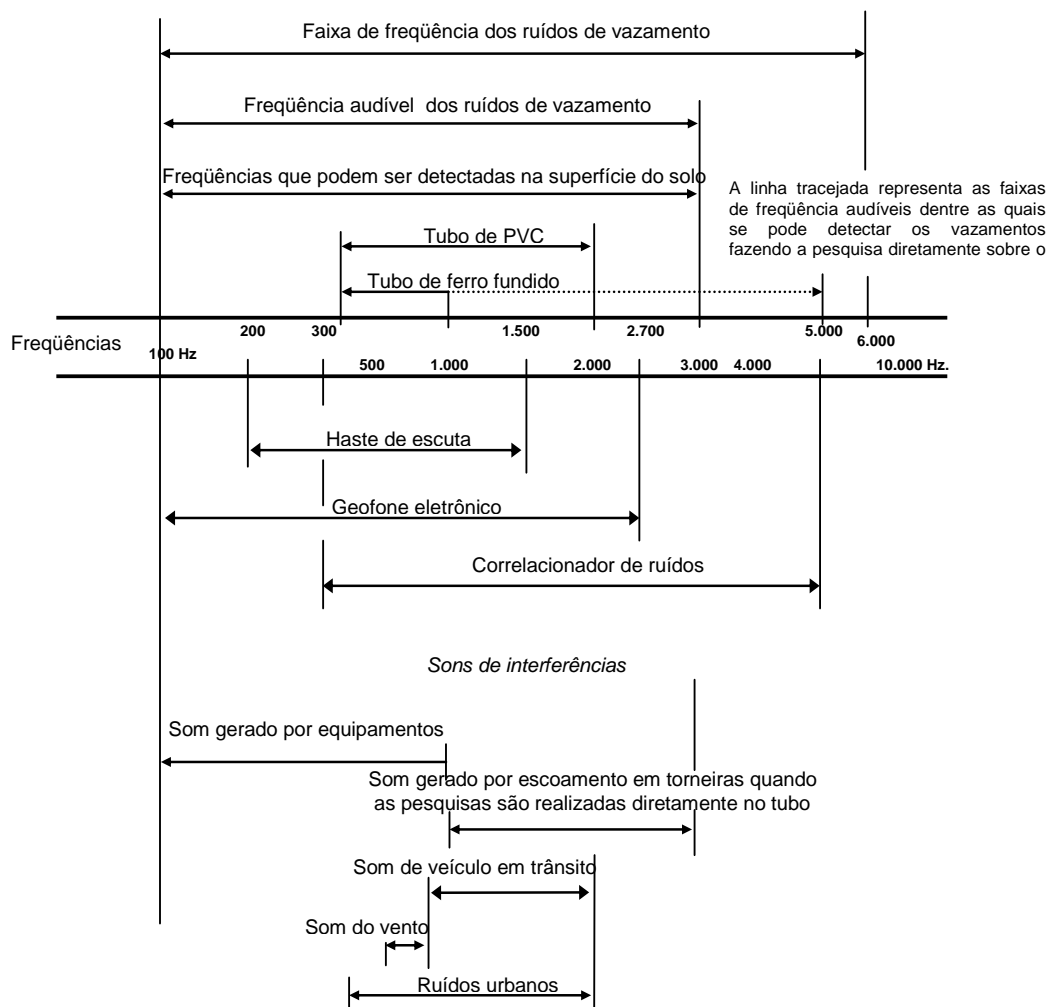


Figura 25 – Faixa de percepção dos equipamentos de detecção de vazamento e frequências de vários sons, incluindo ruídos de vazamento

Fonte: Sabesp, 2010

3.9. Equipamentos

Segundo Thornton (2008) e Tardelli Filho (2006) as técnicas de ensaio a serem empregadas para localização de vazamentos devem ser integradas às ações desenvolvidas pelas companhias de saneamento, com relação à operação dos sistemas de abastecimento de água, visando alcançar padrões de eficiência, confiabilidade, operacionalidade, segurança e economia, que possibilitem condições técnicas adequadas e satisfatórias para atender de forma cada vez melhor a população.

A pesquisa acústica de vazamentos não-visíveis consiste em detectar o ruído provocado pela passagem da água através do furo na tubulação pressurizada.

Dentro dos procedimentos estabelecidos para se atingir os objetivos anteriores, devem ser utilizados, nos serviços de Pesquisa e Detecção de Vazamentos Não-Visíveis, equipamentos atualizados tecnologicamente, juntamente com mão-de-obra treinada.(CETRE, 2009)

As técnicas de ensaio, procedimentos e equipamentos adotados para o cumprimento do escopo dos serviços são apresentadas a seguir, bem como uma breve descrição dos serviços compreendidos.

3.9.1. Haste de escuta

Este equipamento é do tipo acústico, que detecta as vibrações nas tubulações geradas pelos vazamentos. É constituída de uma barra de metal que transmite as vibrações captadas nas peças da rede de distribuição de água (cavaletes, registros) para um amplificador mecânico, localizado em uma das suas extremidades, que permite a verificação auditiva das vibrações (Figura 26). Existe também a haste de escuta eletrônica, que possui amplificador eletrônico e fone de ouvido para escutar o nível de ruído, onde a intensidade do ruído é mostrada em uma tela.

É utilizada para se obter um primeiro mapeamento indicativo de ocorrência de vazamentos, que serão apontados posteriormente através do uso de geofone, correlacionador de ruídos e barra de perfuração.

A haste de escuta mecânica compõe-se de:

a) Amplificador Mecânico

Amplificador mecânico de diâmetro 9,0 cm, onde são captadas as vibrações geradas pelos vazamentos, através de um disco de chapa metálica fina.

A sua faixa de operação situa-se entre as frequências de sons de 200 a 1.500 Hz. Em geral, detecta com mais facilidade vazamentos na faixa de 600 a 800Hz.

Não deve apresentar trincas na sua estrutura.

b) Barra

Haste metálica, apresentando comprimentos de 1,0 e 1,5 m. Possui diâmetros aproximados de 0,7 e 1,0 cm. Não deve estar torta.

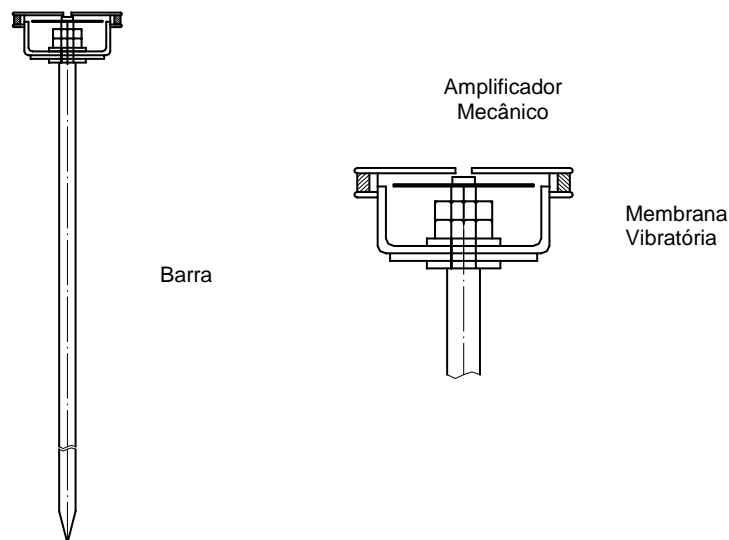


Figura 26 – Haste de escuta mecânica

Fonte: Sabesp, 2010

O técnico deve segurar a haste com a mão na parte superior (amplificador) e apenas encostar o ouvido no amplificador.

3.9.2. Geofone eletrônico

Este instrumento é um detector eletrônico acústico de vazamentos, constituído de amplificador, sensores de ruídos e fones de ouvido. Tem a função de captar as vibrações provenientes do movimento da água fora do tubo, especialmente de seu impacto contra o solo e do ruído característico da circulação de água com as partículas do solo.

O geofone eletrônico capta ruídos situados, em geral, entre as frequências de 100 e 2.700 Hz.

Existe também o geofone mecânico, que utiliza o princípio da estetoscopia na detecção de vazamentos. É composto de duas sapatas (sensores mecânicos), guias de onda e auriculares. É menos sensível que o geofone eletrônico. (CETRE, 2009)

3.9.2.1. Componentes

O geofone eletrônico apresenta os componentes básicos a seguir:

a) Amplificador

O amplificador amplia os sinais captados pelos, sensores, permitindo escutar o ruído do vazamento.

O amplificador deve possuir as seguintes características:

- Medidor de Nível de Som: o nível de som é indicado em faixas e em cores diferentes para se encontrar rapidamente a indicação de maior som do vazamento.
- Filtros: devem apresentar faixas de filtros de baixa e alta frequência, onde é possível fazer combinações que eliminam os ruídos indesejáveis do meio ambiente e selecionam as faixas de frequências típicas dos sons do vazamento.
- Controle de Volume: o volume do som do vazamento é controlado para obter o ajuste fino do ruído do vazamento no indicador de nível e nos fones de ouvido.

A energia é proveniente de uma bateria recarregável.

b) Sensor ou Transdutor

Deve possuir alta sensibilidade e botão manual de acionamento de fácil operação.

c) Fones de Ouvido

Os fones são utilizados para ouvir o ruído de vazamento.

Em alguns equipamentos existentes no mercado, os geofones possuem acessórios (hastes de contato) que possibilitam auscultar, quando acoplados ao próprio geofone, as vibrações diretamente em solos macios, cravando-se esta haste de contato diretamente nesse solo. Com a

haste de contato, o geofone poderá também executar a mesma função da haste de escuta quando existir um ponto de contato na rede de distribuição.

A Figura 27 representa o geofone e seus componentes.



Figura 27 – Geofone eletrônico

Fonte: Sabesp, 2010

3.9.3. Correlacionador de ruídos

Este instrumento é do tipo acústico, constituído por sensores de ruídos, com respectivos pré-amplificadores, que transmitem, através de ondas de rádio ou por cabos, informações para o equipamento correlacionador. A partir da posição dos sensores, instalados em dois pontos predeterminados de um trecho de tubulação, o equipamento correlacionador pode determinar a posição de um vazamento, a partir da análise da diferença de tempo que o som característico do vazamento necessita para atingir um e outro sensor (Figura 28).

A faixa de operação do correlacionador de ruídos situa-se, em geral, entre as frequências de 300 a 5.000 Hz.(Sabesp, 2010)

3.9.3.1. Componentes

a) Unidade Principal ou Processador

Na unidade principal são realizados os processamentos que permitem a determinação do ponto de vazamento, a partir de informações provindas dos sensores e de dados de entrada levantados no local (distância entre os sensores, diâmetro e material do tubo). São comparados os sinais recebidos dos sensores, filtradas as frequências e analisada a parte do ruído que é comum aos dois sensores.

A unidade principal incorpora as seguintes características:

- Possibilidade de uso de 1 ou 2 pré-amplificadores;
- Transmissão: rádio ou cabo;
- Frequência UHF;
- Faixas de filtros variadas (alta e baixa) que permitem a eliminação de ruídos externos indesejáveis;
- Faixa de tempo de retardo (em milissegundos: ms);
- Materiais dos tubos (mais comuns) na memória; e
- Variação de tubos na mesma correlação: diversos tipos de materiais e/ou tamanhos por teste.

A energia é proveniente de baterias ou pilhas.

b) Pré-Amplificador

A função do pré-amplificador é ampliar os sinais captados pelos sensores.

O pré-amplificador Incorpora as seguintes características:

- Transmissão: rádio ou cabo;
- Frequência de rádio: UHF;

- Faixa de frequência: depende do fabricante; e
- Modo monitor: Microfone ou fones.

c) Fones de Ouvido

Os fones são utilizados para ouvir o ruído do vazamento e efetuar as operações básicas de verificação dos contatos dos sensores com o trecho de tubo.

Devem ser de alta resolução, permitindo ao operador selecionar e monitorar todos os sinais sonoros.

d) Sensores-Padrão ou Transdutores

Os sensores captam os ruídos do vazamento e os transformam em sinais eletrônicos.

Os sensores devem ser leves, resistentes e à prova d'água. As bases de apoio dos sensores devem ser magnéticas.

e) Hidrofones

Em alguns correlacionadores, é possível também utilizar o hidrofone como elemento sensor. Neste caso, requer imersão do elemento sensor na água.

3.9.3.2. Correlação de ruídos

Quando ocorre a situação mais simples, de um único tipo de material e um único diâmetro no trecho pesquisado, no tempo necessário para ser captada por um dos sensores, a vibração no tubo terá percorrido, a extensão "L" (Figura 28).

A partir do momento em que o sinal atingiu o sensor mais próximo, o correlacionador determina o intervalo de tempo (T_d) até o mesmo ruído atingir o sensor oposto (tempo de retardo).

Para o cálculo da posição do vazamento, a distância "D" entre os dois sensores deve ser conhecida, assim como a velocidade (v) da propagação do som através do tubo. Esta velocidade é uma característica que varia, entre outras coisas, de acordo com os materiais e diâmetros das tubulações.

A partir do esquema apresentado, tem-se: $L = \frac{D - (v \times Td)}{2}$

2

A fórmula acima resume o cálculo básico operado pelo correlacionador.

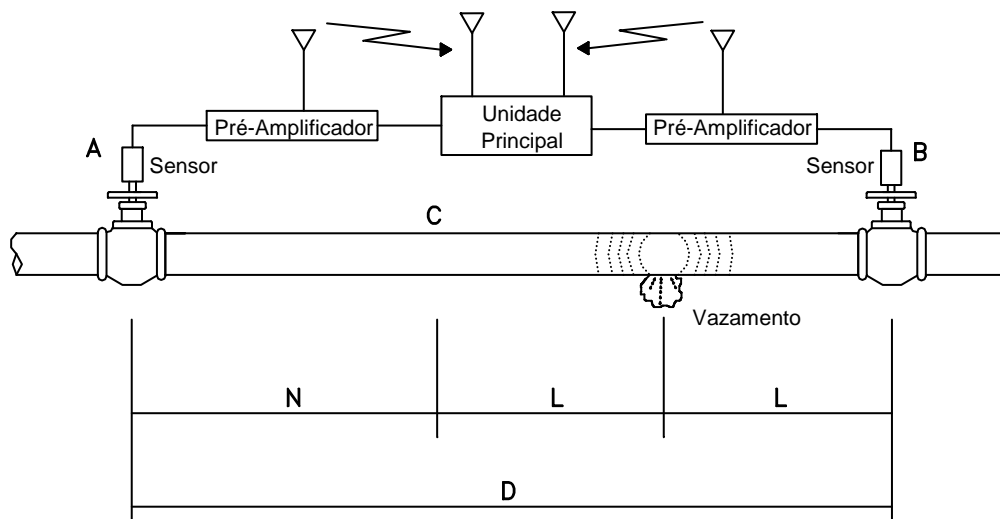


Figura 28 – Correlação de ruído com correlacionador

Fonte: Sabesp, 2010

3.9.4. Locador de massa metálica

Este aparelho é utilizado para a localização de peças metálicas, tais como tampões, caixas de registros, ferramentas etc., as quais estão enterradas ou cobertas pela pavimentação. Como regras gerais são detectáveis por esse tipo de equipamento todos os objetos enterrados que possuem condutibilidade elétrica maior do que a do meio em que se encontram.

A profundidade de detecção varia em função do tipo de solo ou material envolvente e do tamanho, forma e área do objeto metálico enterrado, bem como do modelo/fabricante do aparelho. Em geral, as profundidades usuais de detecção situam-se na faixa de até 0,5 m, podendo chegar, sob certas condições, a 0,7 m.

As verificações requeridas antes do uso do aparelho normalmente referem-se à carga da bateria ou pilha e ao teste de sensibilidade, o qual é feito com uma pequena peça metálica, confirmando a que distância é indicada a maior deflexão do ponteiro ou é emitido o som mais intenso.

Os procedimentos básicos para a operação encontram-se nos manuais respectivos. Alguns pontos a realçar são:

- Para localizar o centro de um objeto, é necessário mover a antena para a direita e para a esquerda, e depois para frente e para trás, até obter o maior volume do sinal sonoro;
- Quando o volume do sinal audível mantém-se alto por muito tempo, dificultando a locação do objeto, deve-se elevar a altura da antena e/ou diminuir a sensibilidade;
- Se existir outros objetos de menor dimensão ao lado da massa metálica a ser locada, haverá interferências nos trabalhos de locação, o que exigirá o uso da baixa sensibilidade do locador; e
- Quando o objeto é de grandes dimensões, o aparelho reage em uma grande área; nestes casos, deve-se diminuir a sensibilidade e elevar a antena em relação ao solo.

A Figura 29 apresenta um modelo de locador de massa metálica.



Figura 29 – Locador de massa n

Fonte: Sabesp, 2010

3.9.5. Locador de tubulação metálica

Para as tubulações metálicas de distribuição de água, normalmente localizadas a profundidades em torno de 1,0 m, os equipamentos mais apropriados são aqueles constituídos de uma unidade geradora que transmite uma corrente elétrica ao longo do tubo (Transmissor). Esta corrente elétrica gera um campo magnético que pode ser captado pelo outro elemento do equipamento, o Receptor.

Os dois principais métodos de locação de tubulações metálicas são: por indução e por condução (também chamado de método direto). Outros métodos aplicáveis são o de bobina de indução e o de detecção de cabo energizado.

O método de locação por indução é recomendado para local tubulação numa distância curta (até 150 m) e quando não há pontos de contato na rede de distribuição para conectar diretamente o Transmissor.

Nesse método de locação, o Transmissor vai sendo posicionado perpendicularmente à tubulação enquanto a unidade receptora é também deslocada lentamente na direção mais provável da perpendicular ao caminhamento da tubulação. Em outras palavras, a eficiência é maior quando o Transmissor e o Receptor estão posicionados paralelamente à tubulação. O operador faz as leituras de intensidade do campo magnético que será máxima no ponto exato sobre a tubulação (Figura 30). Cuidado especial deve ser tomado em relação à distância entre os aparelhos, de forma que não haja interferência do Transmissor diretamente no Receptor (em geral, essa distância deve ser superior a 10 m).

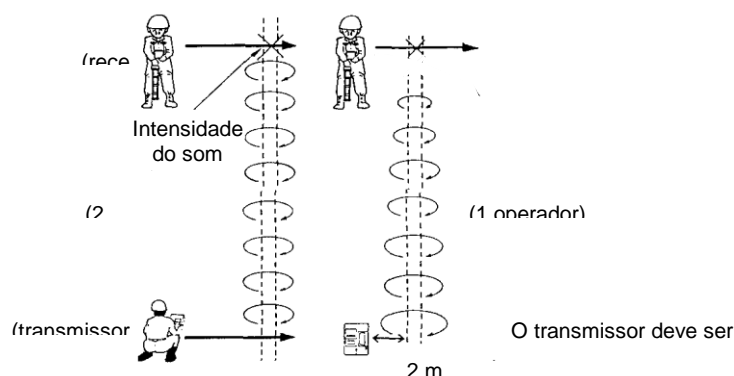


Figura 30 – Localização de rede metálica por indução indireta

Fonte: Sabesp, 2010

Para o método de locação por condução (ou método direto), o Transmissor é conectado diretamente ao objeto metálico a ser locado ou a alguma peça ligada a ele (no caso de tubulações de água podem ser usadas ventosas, torneiras ligadas ao ramal domiciliar, registros, válvulas de incêndio ou a própria tubulação), como pode ser visto na Figura 31. Esse

método reduz as interferências causadas por cercas metálicas e é indicado para a locação de trechos longos de tubulação e para a detecção de tubulações paralelas.

É importante efetuar o adequado “aterramento” do transmissor, de forma a não prejudicar a correta determinação da posição da tubulação.

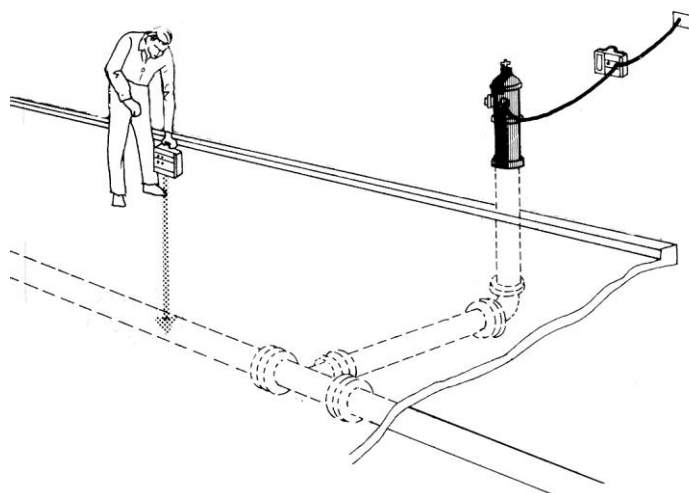


Figura 31 – Localização de rede metálica por condução direta

Fonte: Sabesp, 2010

O método da bobina de indução é indicado para as seguintes condições:

- Localização de trecho curto de tubulação;
- Dificuldade na obtenção de um “terra” eficiente;
- Dificuldade de conectar diretamente cabo ou tubulação, e
- Quando existir pontos de contato expostos.

A operação do Transmissor e do Receptor é semelhante à efetuada no método por condução. No caso, a bobina é conectada aos terminais do Transmissor e a um trecho exposto do tubo onde se quer provocar a indução. A Figura 32 apresenta um esquema da aplicação do método da bobina de indução.

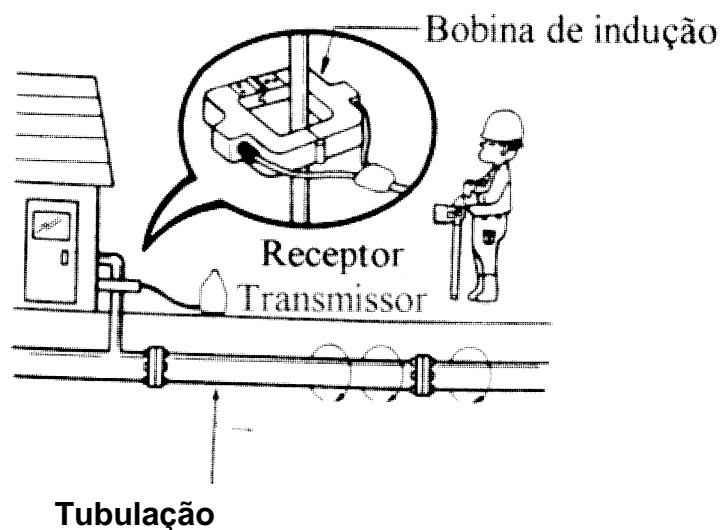


Figura 32 – Localização de rede metálica por bobina de indução

Fonte: Sabesp, 2010

O método de detecção de cabo energizado é também chamado de modo passivo, pois somente o Receptor é utilizado para detectar cabos de 50/60 Hz energizados (não detecta cabos de corrente contínua). O Receptor é movimentado acima da superfície e quando passar sobre o cabo energizado, os ponteiros mostrarão a deflexão máxima e o sinal sonoro atingirá sua intensidade máxima.

Alguns equipamentos dispõem de recursos técnicos para a leitura da profundidade da tubulação ou cabo pesquisado, informação que contribuirá para os trabalhos de atualização dos cadastros dos sistemas de distribuição de água.

Para locação de singularidades da rede de distribuição (curvas, tês, cotovelos), qualquer dos 3 métodos de detecção poderá ser usado (Indução, Direto ou Bobina de Indução). A escolha do método a utilizar dependerá das condições encontradas em campo.

3.9.6. Localizador de tubulação não-metálica

Para as tubulações não-metálicas o método de localização a ser utilizado se baseia no princípio da capacidade da água sob pressão transmitir vibrações sonoras. As frequências de ressonância da tubulação dependem do material e do tamanho do tubo.

O equipamento é constituído de elementos transmissores, receptores e acessórios (Figura 33). Um oscilador gera um sinal que é transmitido à água sob pressão, por um vibrador instalado sobre uma peça metálica do sistema de água (hidrante, por exemplo). Um sensor de solo capta este sinal, que é passado para um amplificador que registra a sua intensidade através de sons (fones de ouvido) ou através de indicadores visuais. Sobre a tubulação a ser localizada a intensidade do som deverá ser máxima. O elemento de recepção possui filtros que interceptam e elimina os ruídos externos indesejáveis, como o tráfego.

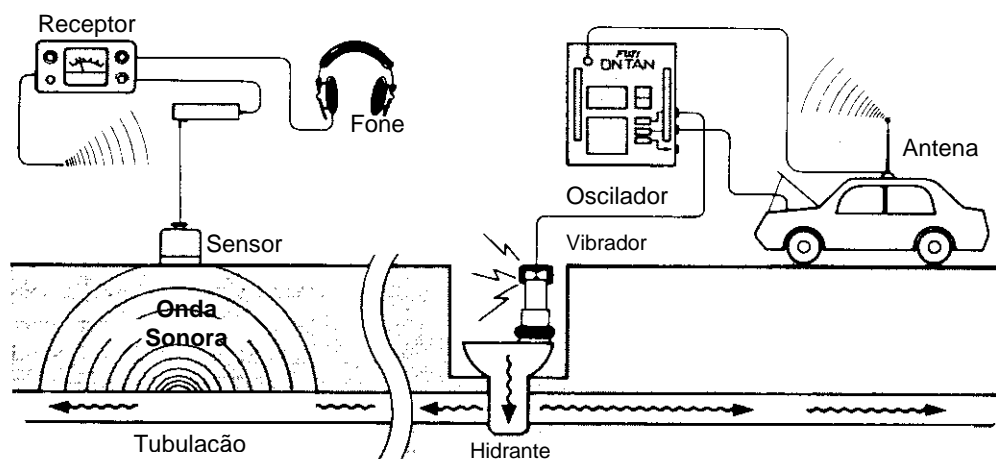


Figura 33 – Localização de rede não metálica

Fonte: Sabesp, 2010

Recentemente foram desenvolvidos equipamentos com princípios de funcionamento mais simples, eficazes e de fácil aplicação.

Trata-se da VGO (Válvula Geradora de Ondas), de fabricação nacional, que utiliza a pressão da água para criar um pulso ou golpe, gerando então um sinal que pode ser detectado com os geofones comuns (Figura 34). É normalmente instalada nas torneiras dos ramais domiciliares, de modo muito simples (através do rosqueamento da mesma à torneira). O tamanho e o peso são pequenos, e não requer ferramentas especiais. Seu princípio de funcionamento é o de

abertura e fechamento de uma válvula de esfera, com mola de tensão variável, que se abre quando a pressão da água atinge seu ponto de máxima tensão, escoando pelo aparelho permitindo a diminuição da pressão que conseqüentemente leva ao fechamento novamente da válvula.

Essa variação é o que cria os golpes na tubulação, que são transmitidos a grandes distâncias, permitindo a localização das tubulações pelo ruído e vibração produzidos, com a utilização do geofone eletrônico.



Figura 34 – Válvula geradora de ondas

Fonte: Sabesp, 2010

3.9.7. Roda de medição

Conhecida também como “trena eletrônica”, é utilizada para as seguintes funções:

- Medição de comprimento;
- Medição de raio;
- Medição de velocidade; e
- Conversão de Unidades.

A Figura 35 mostra os componentes básicos da roda de medição.

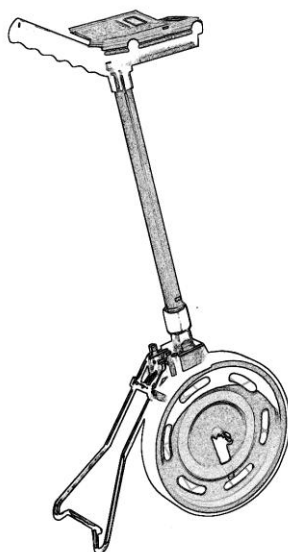


Figura 35 – Roda de medição eletrônica

Fonte: Sabesp, 2010

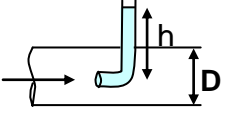
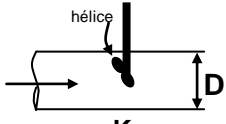
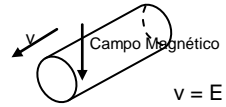
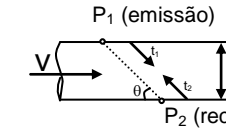
3.9.8. Medidores de vazão

A determinação das vazões nos tubos é uma das atividades mais importantes na condução dos trabalhos que envolvem o gerenciamento das perdas de água na rede de distribuição.

Existem diversos tipos de medidores de vazão, com princípios físicos distintos e amplos gama de aplicação. O quadro 9 apresenta um resumo das características dos medidores de vazão mais utilizados nos trabalhos associados à pesquisa de vazamentos não-visíveis.

Em todos os medidores de vazão, quanto menor o fluxo, maiores se tornam os erros de medição. A boa condição de localização do ponto de medição, obedecendo às distâncias mínimas especificadas em relação a curvas e válvulas, é fator dos mais importantes para garantir a confiabilidade das medições efetuadas.

Quadro 9 - Equipamentos de medição de vazão

Tipo de Medidor	Descrição do Princípio de Funcionamento	Representação Esquemática (1)	Características Principais			
			Instalação: Trecho Reto Requerido		Precisão ⁽²⁾	Operação/ Aplicação
			Montante	Jusante		
Tubo de Pitot	A velocidade é determinada através do diferencial de pressão entre dois pontos do Pitot, um deles no sentido oposto ao fluxo (impacto) e outro no sentido do fluxo.	 $v = \sqrt{2gh}$	10 a 20 D	5 a 10 D	± 2%	Portátil, prático, para tubos sob pressão com $D \geq 100$ mm
Turbina ou Fluxímetro	A velocidade é determinada como uma proporção do número de rotações de uma hélice inserida no fluxo.	 $v = K \cdot n$	10 D	5 D	± 2%	Portátil, prático, para tubos sob pressão com $D > 50$ mm. A inserção da haste e da hélice modifica a velocidade, que deve ser corrigida (bloqueio).
Eletromagnético	A lei de indução eletromagnética de Faraday rege a obtenção da velocidade do fluxo. Quando um campo magnético é aplicado perpendicularmente à direção do fluxo, é gerada uma força eletromotriz proporcional à velocidade média do fluxo.	 $v = E / (B \times D)$ <p>v = velocidade média F = força eletromotriz B = densidade do fluxo magnético D = diâmetro interno</p>	5 D	0 D	± 0 a 1,2%	Não inserido no fluxo, não há perda de carga. Mede fluxos em grandes diâmetros com boa precisão. Normalmente é mais caro que os demais medidores. Para toda a faixa de diâmetros.
Ultrassônico	A velocidade é calculada através da emissão de pulsos ultrassônicos no fluxo d'água e os correspondentes tempos de trânsito. Com estes valores, comparados com o tempo no líquido estacionário, determina-se a velocidade média do fluxo.	 $v = \frac{L}{2 \cdot \cos \theta} \times \left[\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right]$	10 D	5 D	± 1 a 2%	Não inserido, podendo ser facilmente instalado sem interromper o fluxo. Para toda a faixa de diâmetros.

Fonte: Tardelli Filho, 2006)

3.9.9. Medidores de pressão

O controle das pressões na rede de distribuição de água é parte integrante da operação cotidiana do sistema, tanto para garantia da continuidade do abastecimento, quanto pela implicação na questão dos vazamentos. Os medidores de pressão, denominados manômetros, são largamente utilizados pelas equipes operacionais para se efetuar o acompanhamento do abastecimento, além de serem necessários também para determinar as medições de vazão.

Os manômetros mais comuns são:

- Piezômetro: é o mais simples dos manômetros, representado apenas pelo tubo transparente ligado à tubulação onde se quer medir. O líquido sobe no tubo até alcançar o equilíbrio (Figura 36). O piezômetro é impraticável para altas pressões (altura elevada) ou quando ocorrem pressões negativas (entrada de ar).

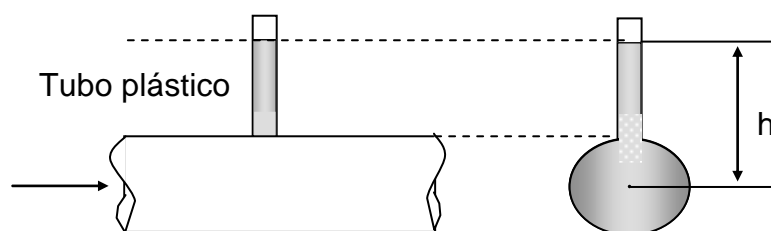


Figura 36 – Piezômetro

Fonte: Sabesp, 2010

- Manômetro Bourdon: o seu princípio de funcionamento é mecânico, através da ação da pressão interna sobre um tubo arqueado, cuja expansão ou retração movimenta o ponteiro sobre uma escala graduada. É largamente utilizado para médias e altas pressões (erros da ordem de 0,5 a 1%). É muito vulnerável às variações de temperatura. A Figura 37 mostra o esquema interno e um manômetro semelhante ao tipo normalmente utilizado pelas equipes operacionais (manômetro de grifo).



Figura 37 – Manômetro

Fonte: Sabesp, 2010

- Manômetro Diferencial: mede a diferença de pressões entre dois pontos, valor básico para o cálculo de velocidades e vazões. Antigamente eram utilizados os tubos em “U” com líquidos manométricos mais densos que a água (em geral, mercúrio), que foram abandonados devido aos efeitos maléficos à saúde dos operadores ocasionados pelo manuseio do mercúrio. Atualmente são empregadas células capacitivas para o diferencial de pressão, com leitura digital, facilitando muito o trabalho das equipes de campo.

3.9.10. Armazenador de dados (“data logger”)

O armazenador de dados é um dispositivo eletrônico que pode ser acoplado às tubulações ou medidores de vazão e registrar as seguintes informações da rede de distribuição de água:

- Pressão;
- Vazão; e
- Pressão diferencial.

Os intervalos de tempo entre as medidas podem ser configurados em função do interesse específico, podendo variar de alguns segundos até aproximadamente 1 hora.

Os dados armazenados posteriormente são descarregados em microcomputadores, gerando tabelas e gráficos para as análises requeridas. Outra possibilidade é essa transferência de dados ser feita à distância, através de telemetria.

Os armazenadores de dados atualmente disponíveis são estruturalmente resistentes e encapsulados (IP 68), com ampla faixa de temperatura de operação (-20°C a 60°C).

3.9.11. Armazenador de dados de ruídos

Este equipamento é o que de mais moderno existe em detecção de vazamentos não-visíveis, com aplicação ainda restrita a poucos países, sendo utilizada no Reino Unido, Estados Unidos, África do Sul e, mais recentemente, no Brasil.

Os armazenadores de dados de ruídos são equipamentos que têm seu princípio de funcionamento baseado no correlacionador de ruídos, sendo necessário que os sensores fiquem em contato direto com as redes de abastecimento, onde são programados a ligarem em horas e intervalos determinados, normalmente a noite, aproveitando o aumento de pressão, quando então “escutam” as frequências do sistema, à procura daquelas que possam ser vazamentos.

Quando são localizados, dentro do raio de ação do sensor, o mesmo registra a hora, a intensidade e a continuidade do sinal, eliminando aqueles que possam ser oriundos de consumos legítimos (pela sua descontinuidade). Caso o sinal persista, a possibilidade de existir um vazamento na área de influência daquele sensor é grande, e a informação fica armazenada na memória do aparelho. Essa memória é resgatada por um equipamento instalado dentro de um veículo, que passa nas proximidades do sensor, emitindo um sinal que faz com que o mesmo se identifique e seja registrado neste equipamento. A existência do

provável vazamento é indicada através de um sinal sonoro ou gráfico, que pode então ser locado através dos equipamentos e procedimentos já descritos.

Para facilitar a localização dos vazamentos, são colocados sensores em espaços que variam entre 50 a 150 m, que permitem sobrepor a faixa de operação de cada um deles, de modo a sempre ter a indicação da existência de um vazamento em, no mínimo, dois sensores.

Há também no mercado registradores de ruídos que inclusive efetuam correlação, chegando a indicar o local do vazamento com razoável precisão, facilitando sobremaneira o trabalho das equipes de detecção de vazamentos não-visíveis.

A Figura 38 ilustra a aplicação desses equipamentos em uma área da rede de distribuição de água.

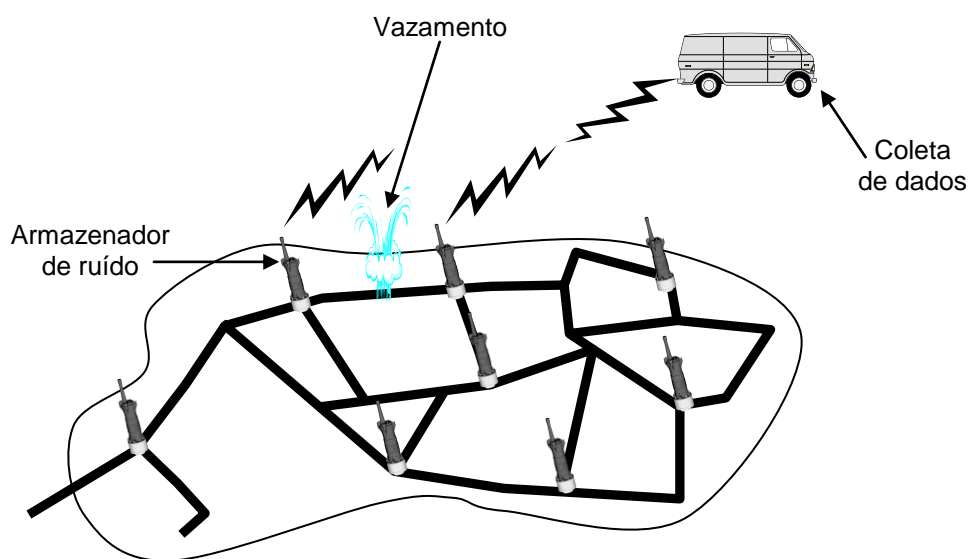


Figura 38 – Exemplo de utilização de armazenadores de ruídos

Fonte: Sabesp, 2010

4. MATERIAL E METODOS

Foi realizada, para a elaboração deste trabalho a revisão da bibliografia e a aplicação das metodologias de trabalho para priorizações de pesquisas de vazamentos mais utilizadas no Brasil:

- Varredura de Rede;
- Pesquisa sem medição de vazão e;
- Pesquisa com medição de vazão.

A metodologia de Varredura de redes foi utilizada no setor de abastecimento Suzano no extremo Leste de São Paulo, e sua escolha se deu pelo elevado número de ocorrência de vazamentos apontamentos pelas equipes de campo e solicitações dos clientes.

As ações foram realizadas na área denominada ZB2 (Booster da Divisa e entorno), no período de Fevereiro a Abril de 2006, através da análise das ações de perdas reais (geofonamento), bem como a aplicação dos formulários de “registro de falha” e medições de pressão e vazão.

A escolha do setor Jaraguá, para a realização da metodologia de Pesquisa sem Medição decorreu de sua grande extensão e grandes faixas de áreas sem a implantação de Distritos de Medição e Controle (DMC) e de pontos de medição de vazão.

Portanto, para a priorização das pesquisas de varreduras, foram utilizados dados históricos de vazamentos e sub-divisão do setor em quadrículas de manobra.

Foram efetuadas medições de pressão e o preenchimento do formulário de “registro de falhas”.

As metodologias, de pesquisa de vazamento, utilizadas foram às pesquisas com haste de escuta e geofones eletrônicos.

A área escolhida para a aplicação da metodologia de pesquisa de medição deveria ser e foi um Distrito de Medição e Controle (DMC) onde fosse possível realizar medições de vazão para acompanhamento do resultado antes e após as atividades de pesquisa de vazamentos.

As técnicas de pesquisa adotada foram a utilização de haste de escuta, geofones e correlacionador de ruído de forma a utilizar todo o procedimento recomendado na NBR 15183.

Houve o acompanhamento através do formulário de “registro de falhas” e acompanhamento fotográfico dos consertos dos vazamentos apontados.

A aplicação de cada metodologia foi executada no sistema de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo, nas áreas atendidas pelas Unidades de Negócio Leste e Norte. Comparou-se também para cada tipo de metodologia aplicada as técnicas de detecção utilizadas, equipamentos e procedimentos.

4.1. Procedimentos para execução do ensaio

Para a execução das atividades de pesquisa nas áreas estudadas foram aplicadas as técnicas e procedimentos de detecção de vazamentos, conforme a NBR 15183.

4.1.1. Inspeção de campo para avaliação preliminar do trabalho

A inspeção inicial, em cada um dos setores de abastecimento, permite o estabelecimento de uma visão geral do trabalho com relação às características de ocupação da área, níveis de interferências decorrentes de trânsito e outros ruídos, disposição de válvulas e hidrantes, interferências com instalações de outras concessionárias de serviços públicos etc.

Essa atividade propicia condições para a identificação das áreas de atuação e dos métodos de pesquisa a serem empregados em cada caso.

4.1.2. Avaliação em campo dos dados cadastrais da rede de distribuição de água

A partir das plantas cadastrais, no caso de dúvidas ou falta de informações, é verificado em campo, para cada uma das áreas de atuação, o grau de exatidão das informações disponíveis e corrigidas as imperfeições constatadas. Para esses serviços são utilizados equipamentos especiais (detector de massa metálica, detector de tubulação metálica e detector de tubulação não-metálica) para localização de tubulações e peças especiais como, por exemplo, registros e válvulas encobertos. Desse trabalho resultam elementos para a atualização dos cadastros.

Esses serviços são de fundamental importância para a confiabilidade dos resultados, principalmente com relação à precisão da localização dos vazamentos através de equipamento correlacionador.

4.1.3. Pesquisa acústica em pontos acessíveis

Determinadas as condições de campo, é iniciada a fase de localização de vazamentos com a utilização de equipamentos especializados. Neste procedimento, em primeiro lugar são verificados, através da haste de escuta, os cavaletes, registros e hidrantes.

As hastes de escuta detectam vibrações geradas pelos vazamentos nas tubulações. Essas vibrações são transmitidas ao longo das tubulações, causam vibrações nos dispositivos acessíveis do sistema de distribuição de água e, assim, podem ser constatados vazamentos para posterior localização. É importante frisar que a haste de escuta não aponta o local do vazamento, apenas revela a sua existência nas proximidades do ponto auscultado.

Como a aplicação da haste de escuta exige o contato com alguma parte da rede de distribuição, isto caracteriza o que se denomina Pesquisa Direta de Detecção.

Essa operação, por sua eficiência e simplicidade, deve ser repetida em todos os pontos possíveis do sistema, para se obter um primeiro mapeamento das indicações de ocorrências de vazamentos. Para os trechos de redes superiores a 20 m, que não são acessados por quaisquer meios a partir da superfície com o uso da haste, é obrigatório o uso do geofone ou correlacionador de ruídos.

A Figura 39 apresenta as situações mais comuns de aplicação da haste de escuta na fase inicial dos trabalhos de pesquisa de vazamentos.



Figura 39 – Exemplo de utilização de haste de escuta

Fonte: Sabesp, 2010

4.1.3.1. Pesquisa de redes e ramais com geofone eletrônico

Os trechos onde se constatar, através do procedimento anterior, evidências de ocorrência de possíveis vazamentos, devem ser investigados com a utilização de detector acústico de vazamentos (geofone eletrônico), que capta e amplifica as vibrações provenientes das fugas de água das tubulações sob pressão.

Este instrumento, constituído de amplificador, sensores de ruídos e fones de ouvido, é utilizado percorrendo-se as linhas de distribuição de água e ligações, vagarosamente, procurando-se captar registros de vibrações anormais que revelem a presença de vazamentos. Essas vibrações causam alterações nas leituras do medidor do aparelho detector e aumentam o volume do som nos fones de ouvido. O ponto onde o som atinge o seu nível máximo corresponde ao local de maior probabilidade de localização do vazamento (Figura 40).

Por não exigir o contato com a rede de distribuição, a aplicação do geofone eletrônico se enquadra no caso da Pesquisa Indireta de Detecção.

O princípio básico de funcionamento desse aparelho consiste na seleção de faixas de frequências típicas dos vazamentos em sistemas de água, constatadas ao longo de anos de serviços de campo. Cabe-se aos operadores, através do uso contínuo do equipamento, o aperfeiçoamento auditivo que permite uma maior sensibilidade acústica para a identificação dos sons característicos dos vazamentos detectados.

Em áreas de grande ocorrência de interferências, com ruídos externos que podem ser captados através do contato dos sensores com a superfície do solo, os serviços podem ser prejudicados na sua execução diurna, optando-se, muitas vezes, pela sua realização em período noturno, sob melhores condições para a pesquisa.

Outro caso que leva a interpretações errôneas na indicação do vazamento com geofone é quando a tubulação (especialmente ramais) possui profundidade variável. Se o vazamento ocorrer em uma parte mais profunda, o ruído será mais intenso sobre o ponto onde a tubulação for mais rasa, confundindo o operador.

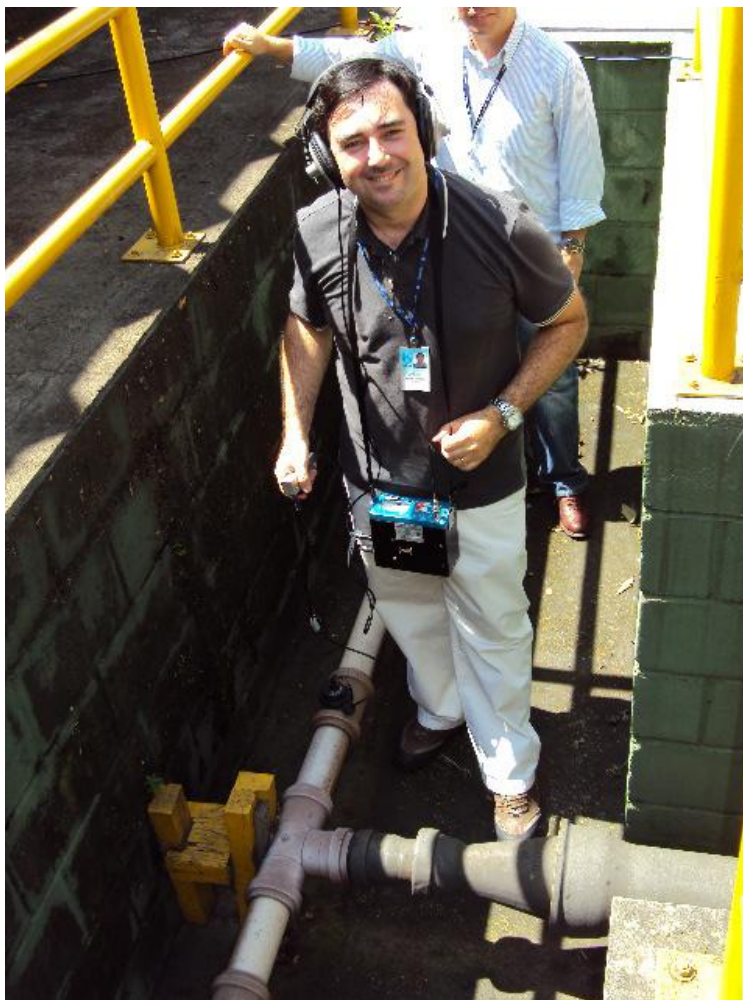


Figura 40 – Exemplo de utilização de geofone eletrônico

Fonte: Costa, 2009

4.1.3.2. Pesquisa de redes e ramais com equipamento correlacionador

No gráfico gerado no correlacionador, o pico corresponde a um provável local de existência de vazamento.

O correlacionador apresenta na tela as distâncias entre o ponto de vazamento e os sensores. Os resultados também podem ser impressos fornecendo, além dos resultados, a síntese dos dados de entrada relativos ao posicionamento dos sensores, tipo e diâmetro das tubulações etc..

Os resultados da correlação são mais precisos à medida que o Tempo de Retardo (Td) é reduzido.

A aplicação do correlacionador de ruídos enquadra-se no caso de Pesquisa Direta de Detecção, pois há contato do equipamento com a rede de distribuição (cavaletes, hidrantes, registros etc.).

4.1.4. Confirmação em campo da localização de vazamentos

Para os locais onde se exige a máxima precisão de informações acerca da localização dos vazamentos, dispõe-se, ainda, de um acessório de bastante utilidade e simplicidade (barra de perfuração), constituído de haste metálica que, cravada no local assinalado pelo equipamento acústico ou correlacionador, permite avaliar a condição de umidade do solo que envolve as tubulações e confirmar a existência do vazamento.

4.1.5. Registro dos resultados

Definindo-se o ponto de vazamento, a locação do ponto é feita através de croqui de amarração ou o local é circunscrito por quadrado pintado com tinta não-solúvel em água. O vazamento também deve ser identificado na planta cadastral de rede de água utilizada nas pesquisas. Em seguida o operador deve elaborar, diariamente, um relatório por vazamento encontrado, conforme modelo apresentado adiante.

Na localização do ponto de vazamento, deve-se construir um croqui (desenho sem escala) que represente a rua principal onde se localiza o vazamento e, pelo menos, uma das duas travessas desta rua localizadas próximas ao vazamento. Deve-se identificar o número da casa defronte à qual está localizado o ponto de vazamento.

A amarração do ponto é realizada através da medida de três linhas retas que partem do ponto de vazamento até as divisas laterais do terreno defronte ao qual o vazamento está localizado, além da medida frontal do lote.

Foi utilizado para a coleta dos dados o formulário do quadro 10.

Quadro 10 – Formulário de preenchimento de resultado de pesquisa de vazamento

NOME EMPRESA: ⁽¹⁾		RELATÓRIO DE VAZAMENTO	Nº VAZ.: ⁽²⁾
CLIENTE: ⁽³⁾		CONTRATO: ⁽⁴⁾	
SETOR DE ABASTECIMENTO: ⁽⁵⁾		ZONA: ⁽⁶⁾	
DATA CONFIRMAÇÃO: __/__/__(⁷)		PLANTA CADASTRAL Nº: ⁽⁸⁾	
ENDEREÇO / LOCALIZAÇÃO: ⁽⁹⁾			
TIPO DE VAZAMENTO ⁽¹⁰⁾		POSIÇÃO DO VAZAMENTO ⁽¹²⁾	
<input type="checkbox"/> NÃO-VISÍVEL <input type="checkbox"/> INFILTRAÇÃO		<input type="checkbox"/> REDE <input type="checkbox"/> FERRULE <input type="checkbox"/> CAVALETE <input type="checkbox"/> REGISTRO <input type="checkbox"/> RAMAL <input type="checkbox"/>	
TIPO DE TUBULAÇÃO DA REDE ⁽¹²⁾		TIPO DE PAVIMENTAÇÃO ⁽¹³⁾	
DIÂMETRO: _____mm MATERIAL: _____.		<input type="checkbox"/> ASFALTO <input type="checkbox"/> TERRA <input type="checkbox"/> CIMENTO <input type="checkbox"/>	
EQUIPAMENTOS: ⁽¹⁴⁾			PRESSÃO: ⁽¹⁵⁾
<input type="checkbox"/> HASTE DE ESCUTA <input type="checkbox"/> HASTE DE PERFURAÇÃO <input type="checkbox"/> GEOFONE MECÂNICO <input type="checkbox"/> PERFURATRIZ <input type="checkbox"/> GEOFONE ELETRÔNICO <input type="checkbox"/> LOCADOR TUBUL. METÁLICA <input type="checkbox"/> CORRELACIONADOR <input type="checkbox"/> LOCADOR TUBUL. NÃO-METÁLICA			<input type="checkbox"/> mca
			HORÁRIO ⁽¹⁶⁾
CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DO VAZAMENTO: ⁽¹⁷⁾			
OBS.:			
PESQUISADO POR: ⁽¹⁸⁾	RESPONSÁVEL: ⁽¹⁹⁾	DATA: ⁽²⁰⁾	

4.2. Acompanhamento dos reparos

Para a correlação dos vazamentos apontados nas áreas de estudo foi utilizado o formulário denominado “Registro de Falhas” durante a execução de uma amostragem de vazamentos apontados nas áreas de estudo (Quadro 11).

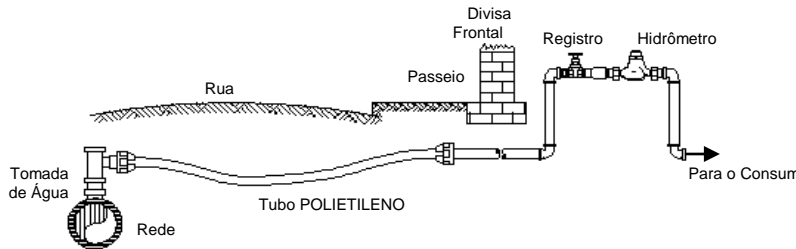
Este acompanhamento foi a oportunidade de se efetuar um levantamento de dados de grande utilidade para subsidiar o Programa de Redução de Perdas, bem como avaliar o resultado da pesquisa de vazamento na relação custo x benefício e subsidiar os trabalhos de pesquisa posteriores.

Por ocasião do acompanhamento do reparo, deve ser dada ênfase aos seguintes pontos:

- a) Localização exata do vazamento;
- b) Possíveis causas de vazamento, tais como:
 - Corrosão;
 - Trinca;
 - Amassamento.
- c) Estado geral da tubulação;
- d) Confirmação de dados da planta cadastral, atentando para:
 - Localização da rede;
 - Localização do ramal;
 - Material;
 - Diâmetro da tubulação.
 - Qualidade de execução da obra.
- e) Pressão da água na rede de distribuição, efetuando medições antes e após os reparos;

Quadro 11 – Formulário de registro de falha

RELATÓRIO DE REPARO DE VAZAMENTO		
LOCALIZAÇÃO		
NÚMERO DO VAZAMENTO: _____	DADOS DA REDE	
PRANCHA CADASTRO: _____	DISTÂNCIA DO ALINHAMENTO :_ _____m	
	PROFUNDIDADE: _____m	
REPARO DE VAZAMENTO EM REDES		
CARACTERÍSTICAS DA TUBULAÇÃO	TIPO DE JUNTA	MATERIAL
DIÂMETRO NOMINAL (DN) <input style="width: 40px;" type="text"/> ESPESSURA DA PAREDE (mm) <input style="width: 40px;" type="text"/>	ELÁSTICA <input type="checkbox"/>	FERRO FUNDIDO <input type="checkbox"/>
HÁ INDÍCIOS DE REPAROS ANTERIORES ? _____	CHUMBO <input type="checkbox"/>	FERRO DÚCTIL <input type="checkbox"/>
HÁ NECESSIDADE DE SUBSTITUIÇÃO ? _____	FLANGEADA <input type="checkbox"/>	AÇO GALVANIZADO <input type="checkbox"/>
TIPO DE SOLO: _____	SOLDADA <input type="checkbox"/>	AÇO <input type="checkbox"/>
TIPO DE PAVIMENTO: _____	ROSCADA <input type="checkbox"/>	PVC <input type="checkbox"/>
	OUTRO: _____	POLIETILENO <input type="checkbox"/>
		OUTRO: _____
REDE	TIPO DO DANO	LOCAL
TUBO <input type="checkbox"/>	ORIFÍCIO <input type="checkbox"/>	
BOLSA <input type="checkbox"/>	QUEBRA LONGITUDINAL <input type="checkbox"/>	
VÁLVULA <input type="checkbox"/>	QUEBRA TRANSVERSAL <input type="checkbox"/>	
CONEXÃO <input type="checkbox"/>	CISÃO TOTAL <input type="checkbox"/>	
OUTRO: _____	ESMAGAMENTO <input type="checkbox"/>	
	JUNTA <input type="checkbox"/>	
VAZÃO DO VAZAMENTO _____ I/s	CAUSA PROVÁVEL:	DIMENSÕES:
	CORROSÃO <input type="checkbox"/>	LARGURA: _____mm
	FALHA MECÂNICA <input type="checkbox"/>	COMPRIMENTO: _____mm

REPARO DE VAZAMENTO EM LIGAÇÕES RAMAL PREDIAL	
CARACTERÍSTICAS DO VAZAMENTO	OCORRÊNCIA
LOCALIZAÇÃO DO VAZAMENTO	TROCA DE FERRULE <input type="checkbox"/>
apontar no desenho onde o serviço foi executado	TROCA DE ADAPTADOR <input type="checkbox"/>
	TROCA DO RAMAL <input type="checkbox"/>
	TROCA DE PEÇAS DO "CAVALETE" <input type="checkbox"/>
	OUTRO _____
	MATERIAL DO RAMAL
	Aço Galvanizado <input type="checkbox"/>
	POLIETILENO <input type="checkbox"/>
	PVC <input type="checkbox"/>
	Outro: _____

4.3. Elaboração de mapas temáticos

Elaboraram-se também mapas temáticos para a escolha e acompanhamento dos parâmetros a serem adotados nas áreas a serem estudadas.

A plotagem destes dados ajuda a visualizar não somente a concentração dos vazamentos, mas a análise dos resultados e principalmente na análise final dos resultados comparativos entre as metodologias adotadas.

As pressões registradas não somente nos “registros de falhas”, como as medidas pelas equipes de campo conforme o procedimento de ensaio já descrito serviu de base para as análises e conclusões do trabalho.

A Figura 41 representa as pressões por faixa no setor de abastecimento Jaraguá e a Figura 42 os vazamentos executados no período de 2009 no mesmo setor.

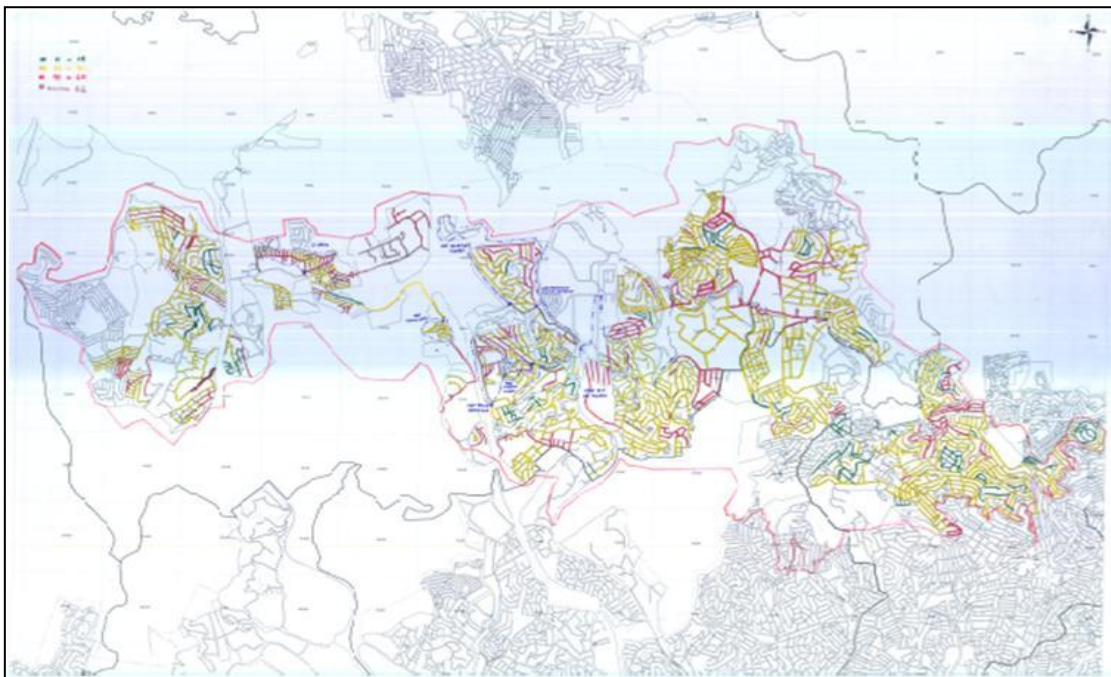


Figura 41 – Mapa de pressão dinâmica – Setor Jaraguá

(Fonte: Costa,2010)

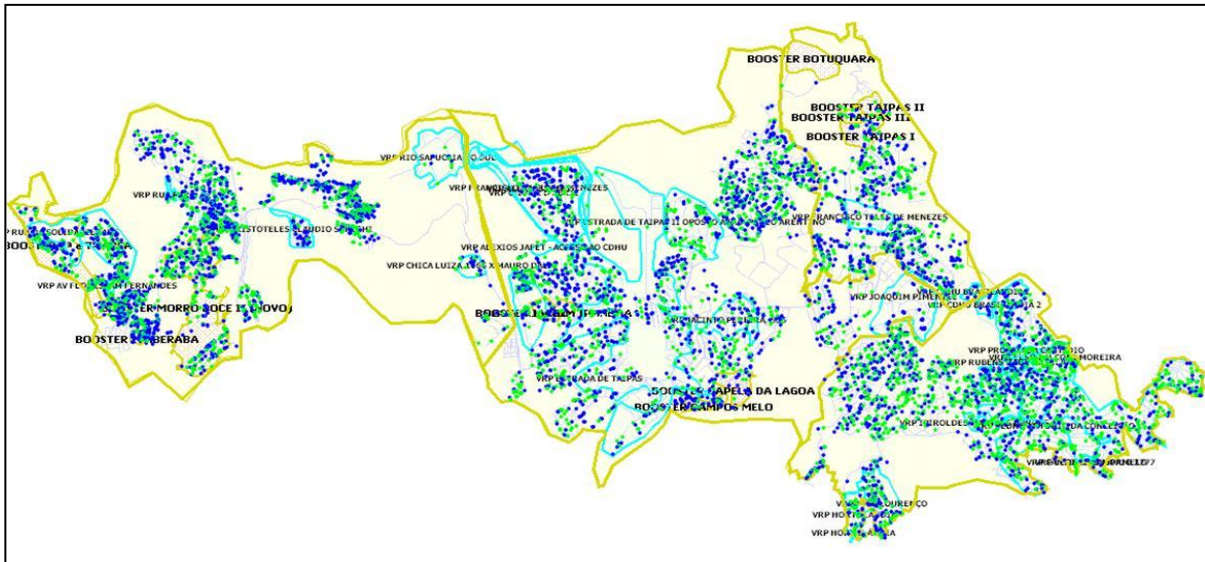


Figura 42 - Mapa temático de vazamentos em ramais – Setor Jaraguá

Fonte: Costa, 2010

4.4. Medições de pressões

As medições de pressão foram efetuadas através da utilização de manômetros calibrados nos em torneiras nos cavaletes das ruas pesquisas e registrados nos formulários apresentados.

4.5. Medições de vazões

As medições de vazão foram realizadas utilizando-se medidores de tubo Pitot, associados a armazenadores de dados, instalados em tap's nas áreas das Válvulas Redutoras de Pressão estudadas.

4.6. Metodologias aplicadas as priorizações de áreas para pesquisa de vazamento

4.6.1. Metodologia aplicada a varredura de rede

A metodologia aplicada e este setor foi a de se executar a varredura com haste de escuta e geofonamento, em toda a sua extensão, sem priorização de ações de re-varredura ou medições de vazão.

O registro de falha foi utilizado para o fornecimento de um diagnóstico das falhas existentes, bem como as medições de pressões efetuadas.

4.6.2. Metodologia aplicada a pesquisa sem medição de vazão

Para o acompanhamento e direcionamento das ações de pesquisa de vazamentos no setor de abastecimento Jaraguá, localizado no extremo norte da cidade de São Paulo, se utilizou dos seguintes critérios:

- Divisão do setor de abastecimento por quadrícula;
- Acompanhamento das pesquisas por quadricula;
- Levantamento de dados de pressão e ocorrências por quadrícula;
- Elaboração de mapa de pressão;
- Levantamento histórico das pesquisas de vazamentos por método acústico de fevereiro/07 a fevereiro/08.

4.6.2.1. Quadriculas

Por se tratar de um grande setor de abastecimento com aproximadamente, 455 km de rede e possuir apenas macromedição na entrada do seu reservatório, adotou-se para o acompanhamento e direcionamento das ações de pesquisa de vazamentos não visíveis à divisão do setor por quadrículas. Estas quadriculas, são a representação gráfica das redes fornecidas através do geo-referenciamento de suas redes de abastecimento fornecido pelo sistema SIGNOS da Sabesp, conforme a Figura 43.

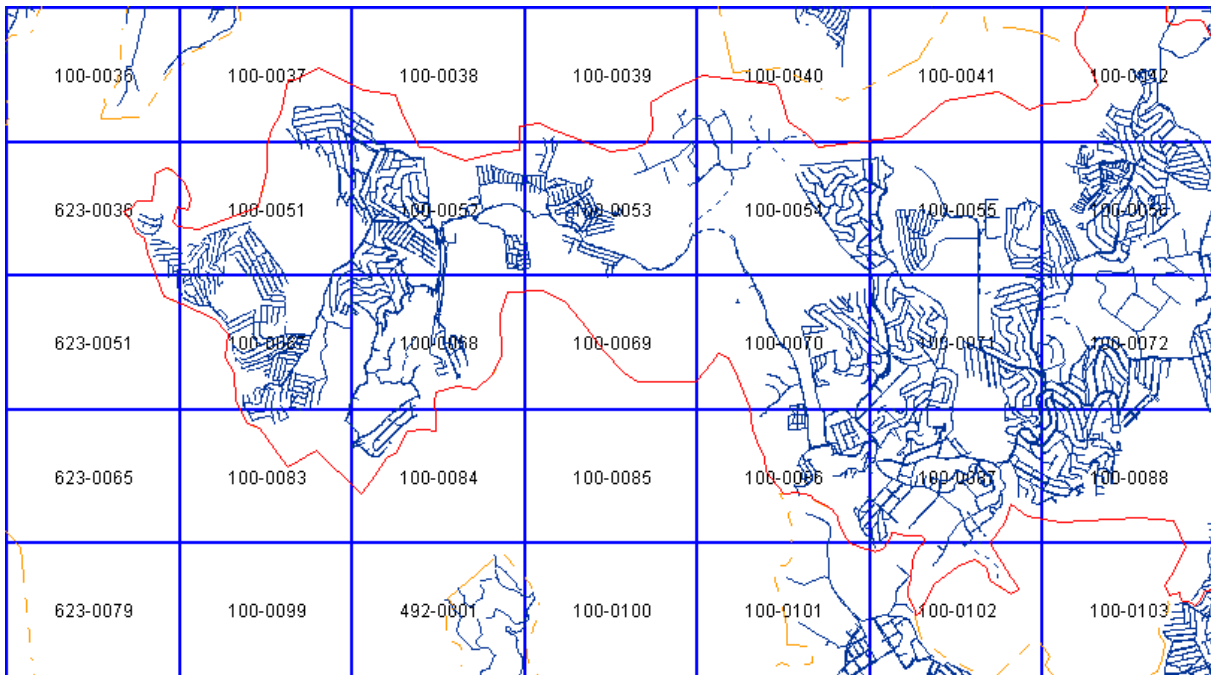


Figura 43 - Quadricula de manobra - Setor Jaraguá

Fonte: Costa, 2010

Após a divisão do setor verificou-se, através dos históricos de apontamentos de pesquisas anteriores a quantidade de vazamentos por quilometro (vaz/km), por quadricula, o que determinou a prioridade de geofonamento.

O acompanhamento diário destes apontamentos facilitou não somente este direcionamento, bem como a confecção de mapas temáticos como os das pressões dinâmicas medidas durante a campanha de pesquisas. A figura 44 representa um destes mapas com o destaque para as quadriculas que apresentaram maior concentração de vazamentos não visíveis apontados e confirmados na execução.

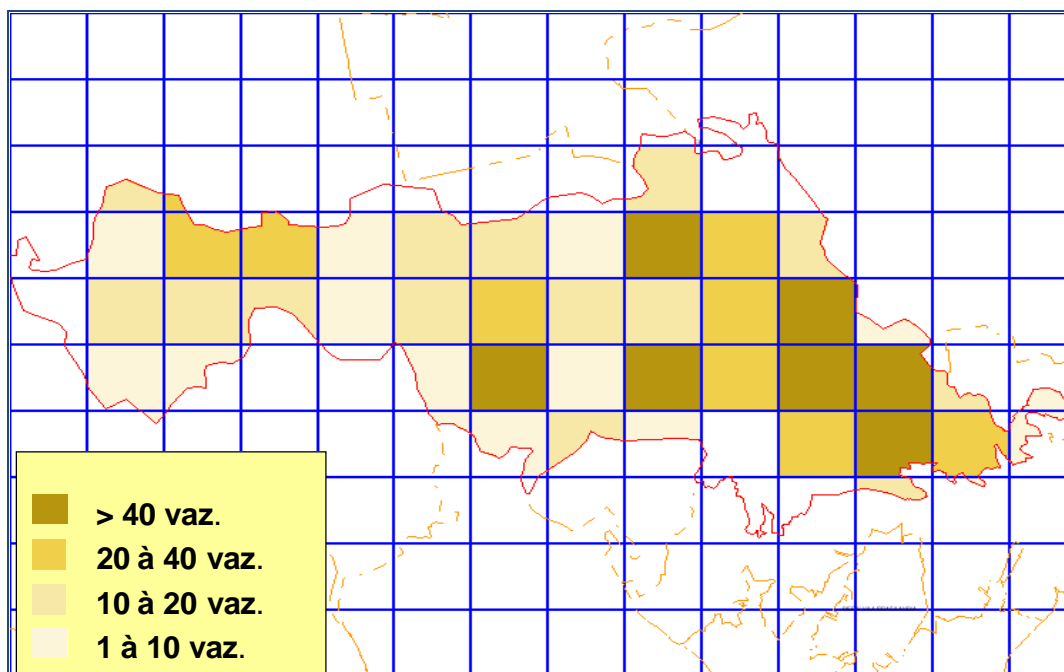


Figura 44 – Mapa temático de vazamentos não visíveis executados - Setor Jaraguá

Fonte: Costa, 2010

As análises destes mapas devem levar em conta o fato da quilometragem de rede de cada quadricula associada à densidade de ligações, ou seja, uma quadricula com uma concentração de vazamentos muito elevada não significa que seja prioritária em comparação com outra de menor quilometragem, visto que a quantidade de vazamentos por quilometro desta segunda será maior que a da primeira. Com isso se pode então associar a estas informações classificar por Pareto, as quadriculas prioritárias. O gráfico 1 representa um destes gráficos, no qual se pode notar que apesar de algumas quadriculas possuírem uma maior quantidade de vazamentos não foi classificado com maior relevância.

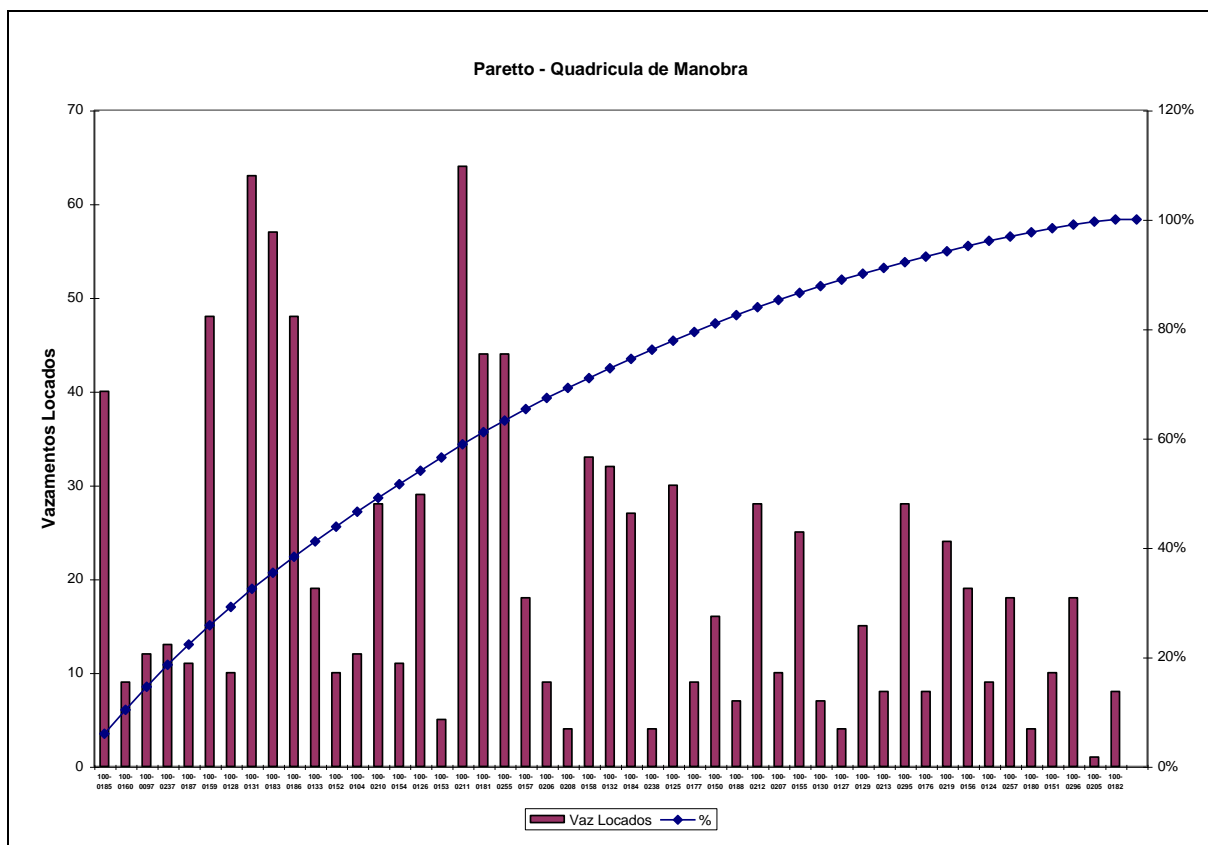


Gráfico 1 - Pareto por quadricula - Setor Jaraguá

Fonte: Costa, 2010

4.6.3. Metodologia aplicada a pesquisa com medição de vazão

Para a pesquisa com medição de vazão, defino uma área onde houvesse a possibilidade de ser realizada a medição de vazão aplicando-se a seguinte metodologia:

- Levantamento/Recebimento de informações cadastrais;
- Verificação da estanqueidade;
- Descobrimto/locação de válvulas de bloqueio;
- Medição inicial de vazão e pressão por 7 (sete) dias;
- Medição inicial de pressão no ponto médio por 7 (sete) dias;
- Pesquisa e detecção de vazamentos não visíveis em redes de distribuição;
- Identificação de ligações irregulares;
- Inspeção de ligações inativas;
- Medição final de vazão e pressão por 7 (sete) dias;
- Medição final de pressão no ponto médio por 7 (sete) dias;

4.6.3.1. Levantamentos de informações cadastrais e comerciais

Para viabilizar a execução dos trabalhos, foram coletadas as seguintes informações:

- a) Plantas cadastrais da rede de água do DMC (Distrito de Medição e Controle) ou Quadrícula de Manobra;
- b) Overlay das quadras e lotes do DMC (Distrito de Medição e Controle) ou Quadrícula de Manobra, contendo todas as ligações de água ativas e inativas plotadas.

4.6.3.2. Verificações da estanqueidade

Para que seja garantido que as medições de vazão representem somente os volumes das áreas das DMC (Distrito de Medição e Controle), há a necessidade de execução do teste de estanqueidade da mesma. Para isso, deve-se ser percorrido todo o perímetro da área, verificando-se possíveis aberturas das válvulas limítrofes, através de medições de pressão efetuadas. Deve-se ser verificada nos limites naturais destas áreas, a presença de áreas invadidas, que possam, através de ligações clandestinas, estarem propiciando a “mistura” do setor, ou seja, não tornando a área estanque como desejado.

4.6.3.2.1. Procedimentos

- a) Efetuar inspeção em todas as válvulas que limitam o abastecimento entre as zonas de pressão, identificando junto às plantas fornecidas do cadastro técnico com a letra F (fechado), confirmando esta condição;
- b) Caso as válvulas com a indicação de fechado na planta do cadastro não atendam esta condição em campo, ou existir outra divergência, deverá ser acionado a fiscalização dos serviços para as providências necessárias. Estas ocorrências devem ser registradas em relatório específico;
- c) As áreas limítrofes que possuem ocupações irregulares, que possam através de ligações clandestinas estarem comprometendo a estanqueidade devem ser registradas;

- d) Confirmada a condição de válvulas fechadas, efetuarem a pintura deste e do tampão com tinta epóxi;
- e) Certificado que todas as válvulas limítrofes encontram-se fechadas, e que as providências necessárias para o isolamento das áreas foram implementadas, deverá ser procedido o teste de estanqueidade propriamente dito;
- f) O teste de estanqueidade consiste na medição de pressão em todos os trechos que definem o limite de zona de pressão ou DMC, em ambos os lados da rua;
- g) Nos testes, onde a equipe de manobra realizar o fechamento da entrada ou entradas do setor, as pressões internas medidas devem ser iguais a zero;
- h) Nos testes, onde não for fechada a entrada ou entradas do setor, deverão ser também realizadas medições de pressão. Caso em algum trecho a diferença entre os valores das pressões medidas forem inferiores a 15 (quinze) mca, deverá ser verificado se a válvula nos esta estanque e acionar a manutenção. Anotar as ocorrências e os resultados dos testes nos relatórios específicos;
- i) Poderá ser dada a continuidade aos serviços mesmo quando a diferença entre as pressões forem inferiores a 15 mca de forma que todos os trechos duvidosos sejam selecionados e os testes sejam executados simultaneamente, possibilitando maior otimização dos trabalhos;
- j) Alguns locais como pontos de redes capeadas e locais perfeitamente caracterizados, não existindo possibilidade de interferência entre zonas adjacentes, não foram verificados.

4.6.3.3. Medições de vazão e pressão

Esta medida visa confirmar em área definida como DMC (Distrito de Medição e Controle), a realidade de consumo, avaliar as condições operacionais e mensurar o resultado do trabalho, tendo, como subproduto, uma peça gráfica com acompanhamento de vazão mínima noturna, e a pressão ao longo do período da medição.

Tem também objetivo de avaliar o desempenho da diminuição da “Vazão Mínima Noturna” (QMN).

Para o acompanhamento do desempenho das atividades desenvolvidas é necessário o registro das vazões dos Distritos de Medição e Controle (DMC). Para isso utilizou medições através da instalação de equipamentos de medição de vazão nas linhas ou instalação de equipamentos secundários nos hidrômetros existentes.

Entre as alternativas para levantamento de perfil estão:

- Utilização de um medidor portátil de vazão do tipo ultrassônico: Definir o ponto de medição, e prosseguir com a limpeza (lixamento) da tubulação para instalação do equipamento. Medir o diâmetro externo (mínimo 2 polegadas), verificar a espessura, material e fluido da rede e instalar o equipamento, para obtenção de vazões. Se necessário acoplar datalogger de vazão.

Considerar os resultados desde que não haja perda de sinal. Caso o registrador apresente anomalias, refazer a medição completa por 7 dias. Efetuar comparação com a operação do sistema de abastecimento, pois, pode haver interferências (vazamento, arrebentado, mudança de setor) em conjunto com a fiscalização que estabelecerá o critério a ser adotado. Caso haja valores de medição zerados em períodos dos dias medidos, também serão analisados pela fiscalização que poderá optar pela média dos valores registrados, caso não prejudiquem a veracidade do acompanhamento das vazões.

- Utilização de um medidor de vazão do tipo de inserção: Definir o ponto de medição, adentrar ao PV (obedecendo às normas de segurança vigentes), medir o diâmetro interno através de calibre, instalar o pitot, efetuar leitura de pressão diferencial, checar a igualdade do diferencial de pressão do negativo e positivo e colocar em ponto de trabalho (velocidade central).

Manter acoplado um armazenador de dados do início ao fim do processo. Caso ocorra anomalia nas medições, checar as condições do equipamento. Se necessário verificar a operação do sistema de abastecimento, pois pode haver interferências (vazamento, arrebentado, mudança de setor) em conjunto com a fiscalização que estabelecerá o critério a ser adotado. Caso o registrador apresente anomalias, refazer a medição completa por 7 dias

- Utilização de um conversor de sinal magnético ou sensor de pulso em hidrômetros existentes na entrada das áreas definidas associado a um armazenador de dados portátil. O período de medição será de no mínimo 7 (sete) dias consecutivos com intervalo de registro de dados a cada 5 a 15 minutos.

Se necessário verificar a operação do sistema de abastecimento, pois pode haver interferências (vazamento, arrebentado, mudança de setor). Caso haja valores de medição zerados em períodos dos dias medidos, poderá optar pela média dos valores registrados, caso não prejudiquem a veracidade do acompanhamento das vazões. Em caso de falhas repetir por 7 dias consecutivos.

4.6.3.3.1. Medição inicial da vazão

O objetivo desta medição inicial é avaliar as possíveis perdas da área onde será efetuada a pesquisa e detecção de vazamentos não visíveis, através do armazenamento e acompanhamento das variações das vazões mínimas noturnas, com o seguinte procedimento.

- a) Efetuar a instalação dos equipamentos de medição de vazão, com pelo menos 7 dias de antecedência ao geofonamento da área de DMC estudada, ou de acordo com o estabelecido pela fiscalização da Sabesp.
- b) A QMN (vazão mínima noturna) será considerada aquela registrada entre as 02:00h e 04:00h da madrugada,
- c) Com os dados obtidos calcular o volume diário, o volume da vazão mínima noturna, anotados em planilhas e disponibilizados em forma de gráficos e dados em planilha eletrônica,

4.6.3.3.2 – Medição final da vazão

O objetivo desta medição final é avaliar o resultado obtido com os consertos dos vazamentos locados e a diminuição da vazão mínima noturna, tendo como procedimento:

- a) Efetuar a instalação dos equipamentos de medição de vazão, com pelo menos um dia de antecedência ao final do geofonamento da área de DMC estuda.

- b) A vazão mínima noturna será considerada aquela registrada ente as 02:00h e 04:00h da madrugada, sendo este horário alterado de acordo com análise e informações da fiscalização da Sabesp.
- c) Com os dados obtidos calcular o volume diário, o volume da vazão mínima noturna, anotados em planilhas e disponibilizados em forma de gráficos e dados em planilha eletrônica.

4.6.3.4. Medição de pressão

Seu objetivo é o levantamento global de pressões em um determinado ponto do sistema de distribuição num período mínimo de 7 dias.

- a) Diagnóstico inicial: Coleta e análise dos dados do ponto de instalação.
- b) Inspeção do ponto do sistema: Verificação das condições físicas do ponto para a instalação do sensor armazenador de pressão (datalogger);
- c) Deixar instalado o sensor armazenador de dados de pressão.

O período de medição será de no mínimo 7 (sete) dias consecutivos com intervalo de registro de dados a cada 5 a 15 minutos.

Se houver a necessidade verifica-se com a operação do sistema de abastecimento, pois pode haver interferências (vazamento, arrebentado, mudança de setor).

Os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios foram:

- a) Equipamentos portáteis de medição de vazão por inserção em condutos forçados: Deverão ser usados equipamentos de medição de vazão por inserção com compatibilidade dimensional com o TAP, padrão adotado na Sabesp = 1” com rosca tais como: tubo pitot, turbina, eletromagnético, capazes de medir

velocidades na faixa de 0,15m/s à 6m/s, calibrados e com certificado de calibração rastreável.

- b) Equipamento digital para leitura e armazenamento de diferencial de pressão: Deverão ser usados equipamentos calibrados e com certificado de calibração rastreável com fundo de escala de 1300 mmH₂O e resolução de 0,1mmH₂O
- c) Equipamento digital para leitura e armazenamento de dados de pressão: Deverão ser usados equipamentos calibrados e com certificado de calibração rastreável com fundo de escala de 200 mca e resolução de 0,1mca.

4.6.3.5. Pesquisa e detecção dos vazamentos não visíveis

O procedimento de execução das pesquisas e detecção de vazamentos seguiu a NBR 15183, ressaltando os seguintes aspectos:

- a) Esta atividade deverá ser iniciada após a execução do teste de estanqueidade da área e instalação dos equipamentos de medição de vazão e pressão, nos Distritos de Medição e Controle (DMC);
- b) Em cada trecho deverá ser tomada pelo menos uma medida de pressão em cada lado da rua, anotando-se o valor obtido e a hora da medição, verificando se a mesma não esta consumindo no momento da medida.;
- c) Os dados de pressão deverão ser utilizados para a confecção de mapas temáticos de pressão;

Não se executou pesquisas sobre adutoras e sub-adutoras.

4.6.3.6. Acompanhamentos de reparos

Os vazamentos foram encaminhados para reparo às áreas de manutenção de redes que se responsabilizarão pelo conserto.

Para o acompanhamento dos reparos utilizou-se a seguinte metodologia:

- a) Confirmar que a rede esteja em carga para permitir a perfeita localização dos pontos locados. Se houver a necessidade de manobra para o fechamento do setor, esta deve ser executada após a visualização exata do ponto de vazamento;
- b) Anotar sempre antes do início dos reparos as pressões. Se o ponto a reparar for uma ligação a medição se fará na própria ligação com suspeita de vazamento, se na rede devesse ser efetuada na ligação mais próxima ao ponto locado;
- c) Durante a escavação, reparo e reaterro, o responsável pela contrata deverá preencher o relatório de acompanhamento do “Registro de Falhas”;
- d) O preenchimento deverá ser finalizado simultaneamente com a conclusão do reparo do vazamento;
- e) Após o reparo e confirmação de não haver novo ponto de vazamento, deverá ser efetuada a medição de pressão no mesmo ponto anteriormente registrado;

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Varredura de Rede

5.1.1. Limite e área do setor de abastecimento

O setor Suzano abastece toda a malha urbana do município de Suzano e mais o Bairro dos Fernandes localizado no município de Itaquaquecetuba, com acesso pela Estrada do Marengo, através de uma rede com diâmetro de 150 mm.

O setor de abastecimento Suzano faz limite com o setor Itaquaquecetuba ao norte através do fechamento de dois registros, um na Av. Gonçalves Dias com diâmetro de 150 mm e outro na Av. Mario de Andrade com diâmetro de 50 mm.

O limite com os demais setores de abastecimento obedece a limites naturais e zonas rurais não existindo rede de água ultrapassando fronteiras. Esses limites são:

- Município de Mogi das Cruzes, Ribeirão Pires, Santo André e Rio grande da Serra que são municípios com serviço autônomo de água e esgoto;
- Município de Poá, Ferraz de Vasconcellos e Itaquaquecetuba operados pela Sabesp, mas com setores de abastecimento independentes.

5.1.2. Área de atuação do estudo

A zona baixa compreende a região remanescente, constituída pela região central e a zonas norte, oeste e leste do setor. O bairro Casa Branca atualmente é abastecido por uma interligação da rede de 400 mm com outra de 300 mm no mesmo ponto da antiga derivação do SAM na Estrada dos Fernandes parte integrante da zona baixa, a outra parte é abastecido pela zona alta.

Para abastecer a zona baixa, existe uma linha de 1050 mm que sai do reservatório, e na esquina da Rua General Francisco Glicério com Av. Luiz Bianconi derivam duas linhas de 600 mm. Uma desce a Rua General Francisco Glicério, a outra caminha pela Av. Luiz Bianconi e adentra a Rua Carmo Inácio da Silva. Ambas percorrem o centro da cidade distribuindo até atravessar o Rio Tietê onde abastecem todo o Bairro do Sesc.

Dividi-se como zona baixa e através do Booster Divisa abastece as áreas dos antigos Booster's São José, Sesc, e Aracaré instalado logo após o Rio Tietê.

A área do estudo compreende, portanto toda a extensão de rede denominada Zona Baixa 2 com aproximadamente 161,55 km. Neste local foram realizadas as ações de perdas.

5.1.2.1 Booster Divisa:

- Localização: Rua Francisco Marengo,135 - Jd. Revista
- Dois conjuntos moto bomba (M. Peerles)
- Potência: 175 cv
- Vazão de placa: 300 m³/h
- Altura manométrica: 88,60 mca
- Um conjunto moto bomba (modelo não informado)
- Potência: 150 cv
- Vazão de placa: 300 m³/h
- Altura manométrica: 88,60 mca

A medição de vazão realizada no setor não corresponde a vazão de entrada do Booster da Divisa, devido a uma derivação de 600 mm que se encontra a montante do mesmo.

5.1.3. Válvulas redutoras de pressão existentes

A zona baixa conta ainda com três VRPs instadas na área do Booster Divisa, denominadas:

- VRP Rosa Umehara Manabe
- VRP Jardim Margareth
- VRP Washington Luiz

5.1.4. Idade da rede

Utiliza-se nas empresas de Saneamento, para descrever do período de assentamento das redes e ramais de abastecimento a data que se quer pesquisar o termo “Idade da rede”.

A tabela 1 representa as extensões das redes de distribuição existentes na ZB2 e o gráfico 2 sua distribuição. O gráfico 03 representa o maior percentual por tipo de material que constituem as redes de abastecimento assentadas.

Tabela 1 – Extensões percentuais por material de rede

Diâmetro (mm)	Extensão em 2006 (m)	%
32	147,92	0,09
50	101.061,01	62,57
60	3,08	0,00
75	16.925,95	10,48
100	13.099,91	8,11
125	553,77	0,34
150	9.855,10	6,10
200	5.534,49	3,43
250	3.564,37	2,21
300	3.146,38	1,95
350	4.272,75	2,65
400	2.416,12	1,50
500	6,84	0,00
600	937,31	0,58
TOTAL	161.525,50	100

Fonte: Costa, 2006

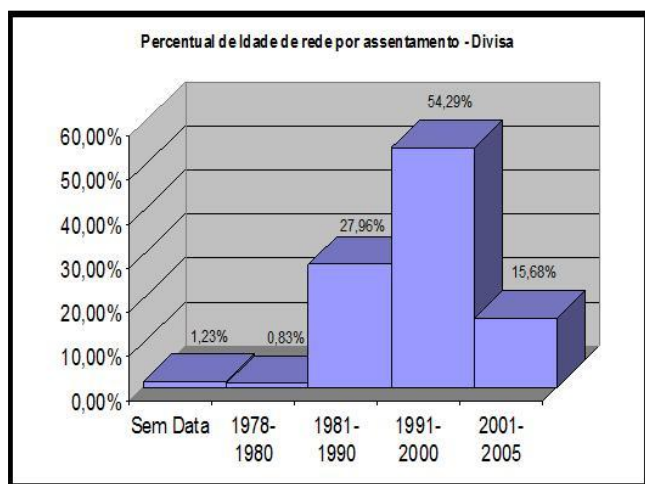


Gráfico 2- Percentual de idade de rede por data de assentamento

Fonte: Costa, 2006

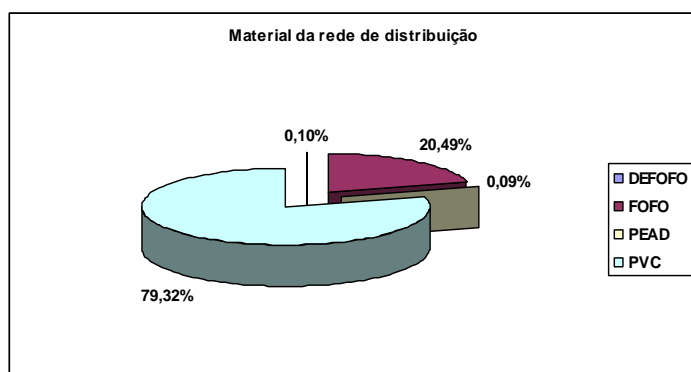


Gráfico 3 – Material da rede de distribuição.

Fonte: Costa, 2006

5.1.5. Resultados obtidos na varredura

Os trabalhos foram realizados entre os dias 01/02/2006 à 11/04/2006, perfazendo um total de 126,56 km de rede de distribuição pesquisada (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultado do geofonamento realizado

Varredura	
Período	Fev à Abr/2006
Extensão (km)	126,56
Vaz. Não Visíveis	127
Vaz/km	1,00
Ramal	127
Rede	0
Vaz. Visíveis	102
Vaz/km	0,81
Cavalete	21
Ramal	78
Rede	3
Reg. Manobra	0
Total Vaz.	229
Vaz/km	1,81

Fonte: Costa, 2006

5.1.6. Análise das pressões dinâmicas

O gráfico 4 representa as pressões médias registradas no período do geofonamento, efetuadas nos cavaletes dos imóveis. Não se pode adotá-las como sendo as pressões médias, por se

tratarem de medidas instantâneas em diversos horários. Servem como indicadores das pressões dinâmicas médias encontradas no setor.

A faixa de pressão de 46 a 60 mca (13% do setor) concentra-se nas cotas mais baixas tornando-se importantes fontes de estudo de redução de pressão, visto que estão na área próxima a jusante do Booster e local de várias ocorrências de vazamento.

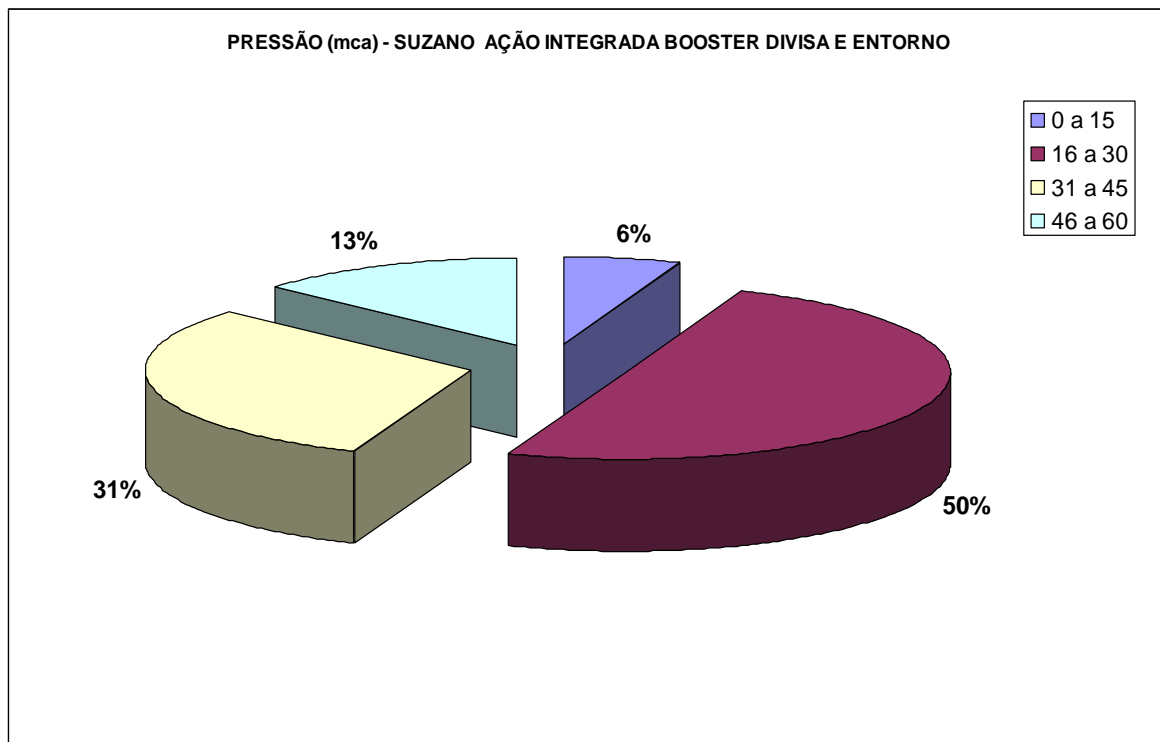


Gráfico 4 - Valores de pressões registradas por faixa durante as varreduras

Fonte: Costa, 2006

5.1.7. Análise do registro de falhas

Nos trabalhos desenvolvidos na área de estudo foi implantado o acompanhamento das execuções pelo Registro de Falhas seus resultados tabulados e apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados percentuais dos registros de falhas

Ramal	
Furo no tubo	77%
Corte no tubo	2%
Desgaste junto ao adaptador	21%
Trinca no adaptador	75%
Trinca no registro broca	9%
Trinca no ferrule	55%
Vazamento junta do colar/tubo	36%
Trinca na conexão	25%

Fonte: Costa, 2006

A Figura 45 representa o resumo das ocorrências encontradas durante a varredura executada no setor.

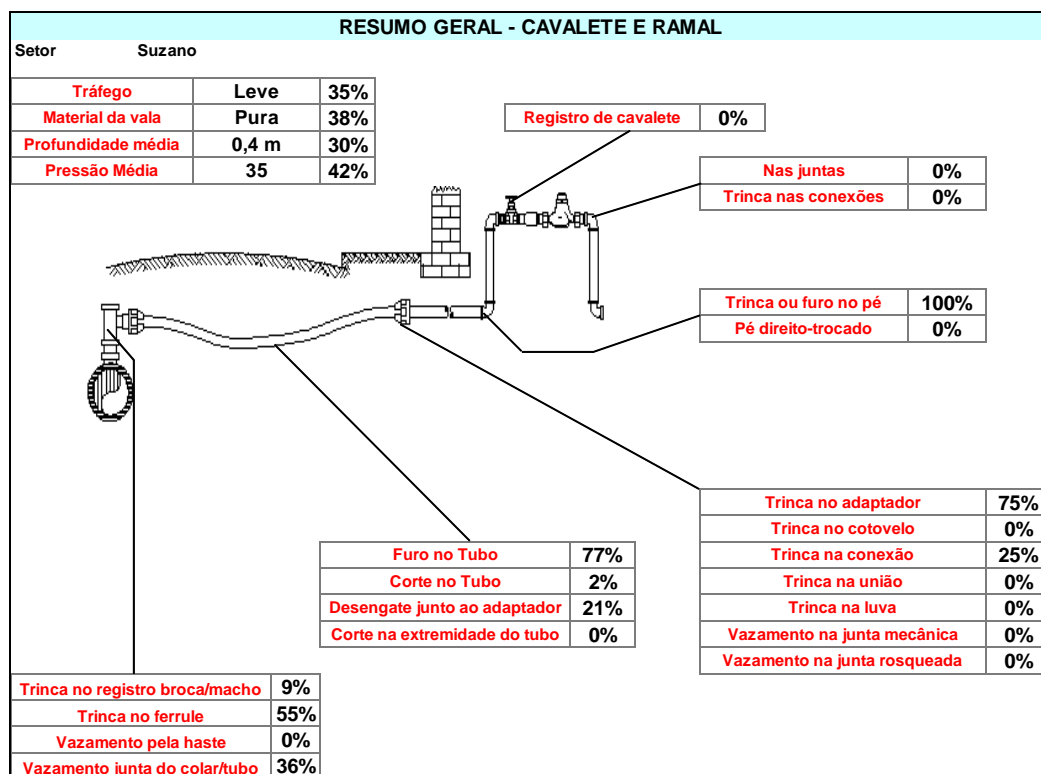


Figura 45 – Resumo das falhas encontradas nos ramais executados.

Fonte: Costa/2006

5.2. Pesquisa sem medição de vazão

5.2.1. Caracterização do setor de abastecimento

O Setor de Abastecimento Jaraguá localiza-se na Região Norte do Município de São Paulo:

- Ao Norte com o setor Perus e Serra da Cantareira;
- Ao Sul com os setores Vila Brasilândia e Pirituba;
- Ao Leste com os setores Guaraú e Vila Nova Cachoeirinha;
- Ao Oeste com a rodovia Anhanguera.

5.2.2. Infra estrutura existente

A área caracteriza-se por ocupação predominante residencial do tipo uni familiar, exceto áreas que foram implantados conjuntos de prédios residenciais.

As áreas não urbanizadas localizam-se nos extremos, leste e oeste do setor.

A área comercial, com maior expressão do setor desenvolve-se principalmente ao longo da Avenida Raimundo Pereira de Magalhães.

5.2.2.1. Rede de abastecimento de água

Todas as ruas do setor são atendidas rede de abastecimento de água, totalizando o atendimento de 100%, da área.

As redes de abastecimento estão distribuídas conforme a Tabela 4:

Tabela 4 – Características das redes de abastecimento

Setor	Extensão (km)	Diâmetros (mm)				Material (%)				
		Até 75	80 à 100	125 à 200	> 200	Aço	CA	FoFo	PVC	PEAD
Jaraguá	455,45	325,75	26,42	56,94	46,33	0,24	1,09	40,86	54,36	3,45

Fonte: Costa/2010

5.2.2.2. Topografia

Quanto aos aspectos de relevos, o setor Jaraguá, com cerca de 2.500 hectares, abastece uma região muito acidentada, constituída de diversos morros e com encostas íngremes, formadores da Serra da Cantareira.

A drenagem da área é feita por cursos d'água, destacando-se à leste os córregos Bananal, da Onça e Carumbé (afluentes do córrego Congo na Av. General Edgar Facó); e a oeste, o Ribeirão Perus e o córrego Ajuá (sentido Perus).

A variação altimétrica da área é de cerca de 160m, situada entre as cotas mínimas de 750m no córrego Bananal na parte baixa do Jd Damasceno; e 910m na região do reservatório Jaraguá.

5.2.2.3. Adução

A água produzida na ETA Guaraú, reservada na própria área da estação, é aduzida por duas tubulações de diâmetros 2100 e 2500 mm até a adutora SAM – Norte, que por sua vez liga com a linha Alça Leste de 1800 mm de diâmetro para alimentação do Centro e Zona Leste e também liga com as duas adutoras, Alças Oeste e reforço da Alça Oeste.

Das adutoras da Alça Oeste, faz derivação com tubulação de 800 e 1000 mm até o Reservatório de Vila Brasilândia. Para aumentar a capacidade de adução, instalou-se no trecho o “booster Vila Brasilândia”.

A transferência da água dos Reservatórios Vila Brasilândia para os Reservatórios Jaraguá é feita por uma linha de 1050 mm, recalçada pela EEA Vila Brasilândia, localizada na mesma área dos reservatórios.

Das duas câmaras do reservatório Vila Jaraguá, além da alimentação ao setor com tubulação de 750 mm, saem duas linhas de 750 e 900 mm de diâmetro para alimentação dos setores da região norte como Perus, Caieiras, Franco da Rocha e Francisco Morato.

5.2.2.4. Reservação

O centro de reservação da Vila Brasilândia é constituído de um reservatório retangular apoiado com 2 (duas) câmaras de 5.000m³ cada e outro circular de 10.000m³ totalizando um volume de 20.000m³. O setor é constituído apenas de uma Zona Baixa.

Já o centro de reservação da Vila Jaraguá é constituído por 2 (dois) reservatórios circulares apoiados de 10.000m³ cada, totalizando 20.000m³.

O primeiro sistema de abastecimento de água implantado no setor, atendendo as áreas até então urbanizadas dos Jd Santa Fé, Jd Britânia, Jd Anhanguera, Pq Morro Doce, Jd Jaraguá e VI Sulina, consistia de um sistema isolado. O manancial utilizado era o do aquífero feito através de poços. Atualmente os mesmo encontram-se desativados e seus reservatórios abastecidos pelo centro de reservação do Jaraguá.

5.2.2.5. Rede de distribuição

As redes do setor Jaraguá são abastecidas por um único centro de reservação, com capacidade total de 20.000m³, situado na Rua Xilita, no Jardim José Maria. A partir desse centro de reservação, faz-se a distribuição às redes do setor que abrange uma área de cerca de 25km². A região do Parque Anhanguera também é abastecida por este centro de reservação. A tabela 5 apresenta o resumo das extensões.

Tabela 5 - Tabela resumo de extensões de rede primária material e comprimento

Diâmetro (mm)	Material não Cadastrado	Aço	CA	FoFo	PEAD	PVC	Extensão (m)
Não definido	542,01	-	-	-	114,20	-	656,21
20	-	-	-	-	44,70	-	44,70
25	-	-	-	18,60	-	-	18,60
32	-	-	-	-	14607,17	42,17	14649,34
40	-	-	-	-	-	22,76	22,76
50	-	-	140,93	911,59	-	44117,31	45169,83
75	616,9	3,43	2,20	78624,44	843,46	185381,94	265472,37
80	-	28,96	-	1552,24	-	-	1581,20
100	0,60	-	1277,67	12122,35	-	11466,44	24867,06
150	-	-	2710,06	27375,18	-	1075,56	31160,80

200	-	-	574,52	23702,83	-	1477,01	25754,36
250	-	-	253,03	16391,21	-	1801,81	18446,05
300	-	-	-	10286,22	-	1331,98	11618,20
320	-	-	-	-	93,70	-	93,70
400	-	-	-	6333,26	-	-	6333,26
500	-	-	-	6446,13	-	-	6446,13
600	-	-	-	878,94	-	-	878,94
700	-	-	-	968,53	-	-	968,53
750	-	1054,18	-	-	-	-	1054,18
800	-	-	-	210,78	-	-	210,78
1050	-	-	-	7,45	-	-	7,45
Total	1159,51	1086,58	4958,41	186108,13	15703,23	246438,98	455176

Fonte: Costa, 2010

O gráfico 5 representa a extensão de rede por material aplicado. O setor Jaraguá caracteriza-se por possuir 54,11% de suas redes de tubulação de PVC.

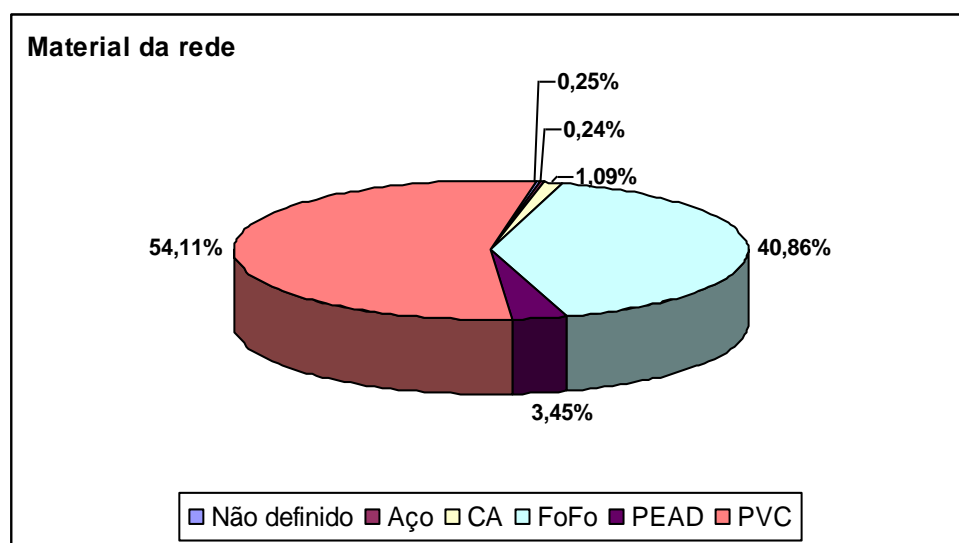


Gráfico 5 – Material da rede do Setor Jaraguá.

Fonte: Costa/2010

Para uma melhor análise dos resultados entre os registros de falhas e pressões medidas, foi pesquisada nos cadastros do sistema de informações da Sabesp a idade média das redes do setor estudado (Tabela 6).

Tabela 6 - Idade das redes de abastecimento do Setor Jaraguá

ANO DE IMPLANTAÇÃO	EXTENSÃO (k m) - APROXIMADA	%
de 1960 à 1970	183,77	40,37
de 1970 à 1980	59,13	13,00
de 1980 à 1990	89,00	19,55
de 1990 à 2000	68,54	15,06
Depois de 2000	54,72	12,02

Fonte: Costa/2010

5.2.2.6. Válvulas redutoras de pressão existentes

O setor possui 26 válvulas instaladas. Foi realizado vistoria em todos os equipamentos, sendo levantadas às necessidades de manutenções e obras para seu melhor desempenho. Muitas delas não possuem medidores de vazão.

5.2.3. Análise de recorrências de vazamentos no Setor Jaraguá

Para a determinação do estudo de recorrências no setor, buscou-se o histórico de varredura realizado no período de fevereiro a abril de 2007, conforme a tabela 7.

Tabela 7 – Primeiro ciclo de pesquisa

Recorrência de Vazamentos					
Período	km Pesquisada	Ramal	Ferrule	Rede	Total
Fev/07	48,71	113	33	6	152
Mar/07	92,30	161	56	10	227
Abr/07	55,77	116	50	16	182
Total	196,78	390	139	32	561
Vaz/km	2,85				

O segundo ciclo ocorreu cinco meses depois do primeiro ciclo e suas ações já foram direcionadas as quadriculas já classificadas anteriormente pelo gráfico de Pareto. A tabela 8 demonstra os resultados deste segundo ciclo de pesquisas.

Tabela 8 – Segundo ciclo de pesquisa

Recorrência de Vazamentos					
Período	km Pesquisada	Ramal	Ferrule	Rede	Total
Out/07	84,95	55	69	-	124
Nov/07	89,90	93	63	7	163
Dez/07	40,57	20	13	-	33
Total	215,42	168	145	7	320
Vaz/km	1,5				

Fonte: Costa, 2010

Pode-se perceber uma diminuição da quantidade de vazamentos apontados entre a primeira e a segunda varredura, mesmo tendo sido pesquisado 9% a mais em extensão de rede.

O gráfico 6 demonstra estas diferenças.

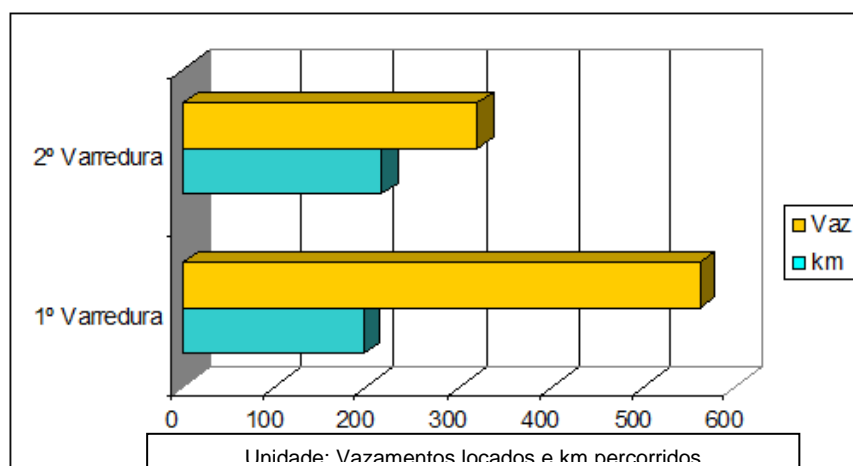


Gráfico 6 – Ciclos de pesquisas no Setor Jaraguá

Fonte: Costa, 2010

Para um efetivo acompanhamento das recorrências de vazamentos, ao final do segundo ciclo diminuiu-se o período de retorno realizando re-pesquisas nas áreas, com intervalos de apenas um mês entre as mesmas. Repetiu-se o processo em uma segunda re-pesquisa, direcionando para as áreas prioritárias. As tabelas 9 e 10 demonstram respectivamente os resultados apontados, sendo que durante o primeiro ciclo a relação de vazamentos por quilometro apontados (vaz/km) foi de 1,4 e durante o segundo ciclo de re-pesquisas o mesmo indicador foi de 1,2.

Tabela 9 – Primeiro ciclo de re-pesquisa

Recorrência de Vazamentos					
Período	km Pesquisada	Ramal	Ferrule	Rede	Total
Jan/08	118,80	87	92	5	184
Fev/08	143,40	106	53	8	167
Total	262,20	193	145	13	351
Vaz/km	1,4				

Fonte: Costa, 2010

Tabela 10 – Segundo ciclo de re-pesquisa

Recorrência de Vazamentos					
Período	km Pesquisada	Ramal	Ferrule	Rede	Total
Fev/08	153,23	182	-	2	184
Total	153,23	182	-	2	184
Vaz/km	1,2				

Fonte: Costa, 2010

Dentre os vazamentos apontados na segunda varredura e na primeira re-varredura, observou-se que os apontamentos na segunda não eram coincidentes, ou seja, eram novas ocorrências em muitos dos casos nos ramais vizinhos ao segundo ciclo de pesquisa. O mesmo fato ocorreu na segunda re-pesquisa.

Foram verificados através de planilhas dos vazamentos apontados todos os casos coincidentes em torno de apenas 15% de todos os novos apontamentos. Isto significa que os 85% dos vazamentos apontados entre as pesquisas tratavam-se realmente de novas ocorrências.

Apesar de ser re-pesquisado apenas 58,4% das redes no segundo ciclo de re-pesquisa, priorizaram-se as áreas com maior incidência de vazamentos. O gráfico 7 representa estas pesquisas e demonstram a proporcionalidade entre a quantidade de quilometragem varrida e os vazamentos apontados que diferiu em apenas 0,2 no indicador de vaz/km.

Isso representa que apesar da menor quantidade de extensão em quilômetros de ruas pesquisadas em relação a primeira pesquisa, o direcionamento das ações nas áreas de maior concentração de vazamentos representou no indicador de vazamentos por quilometro apenas uma pequena variação.

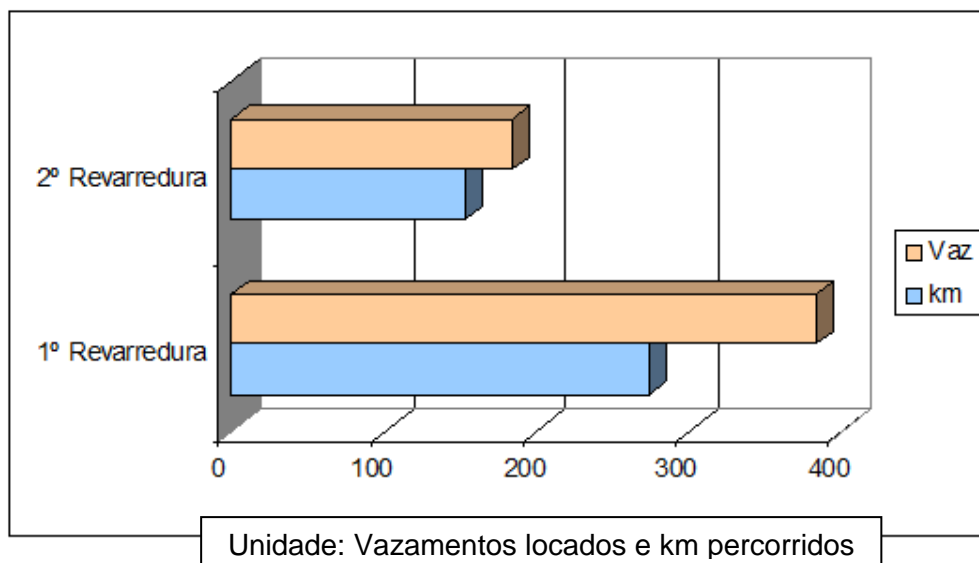


Gráfico 7 – Ciclo de re-pesquisas no Setor Jaraguá

Fonte: Costa, 2010

Pode-se verificar que houve uma significativa diminuição do indicador de vaz/km no intervalo dos cinco meses entre o primeiro ciclo de pesquisa e o segundo, com uma diminuição de 1,34 vaz/km. Ao diminuir-se ainda mais estes ciclos encontrou-se uma média neste indicador de 1,4 vaz/km, mesmo executando varreduras com intervalos de uma semana entre as quadriculas priorizadas. Este fato se deve, portanto a denominada de taxa de recorrência de vazamentos, ou seja, e a taxa natural de surgimentos de novas ocorrências.

O gráfico 8 representa o indicador de vaz/km apontado nas diversas pesquisas realizadas.

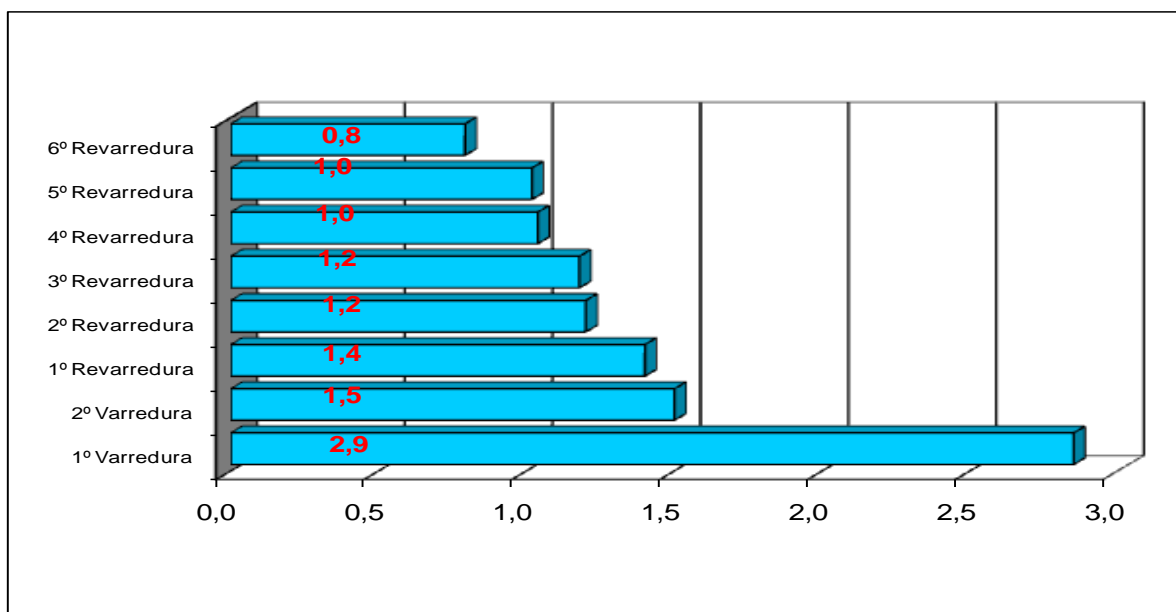


Gráfico 8 – Vazamentos por quilometro entre os ciclos de pesquisas no Setor Jaraguá

Fonte: Costa, 2010

Assim pode-se demonstrar de forma gráfica a taxa de recorrência de vazamentos para o setor Jaraguá. Isto é possível ao assumir-se que cada apontamento conhecido não tivesse sido executado e acumulado aos vazamentos locados do próximo mês. A variação do coeficiente angular desta reta será portanto a representação da diminuição da recorrência de vazamentos quando estiver diminuindo em relação ao período analisado.

O gráfico 9 representa a taxa de recorrência de vazamentos no setor Jaraguá nos diversos ciclos de pesquisa e re-pesquisa.

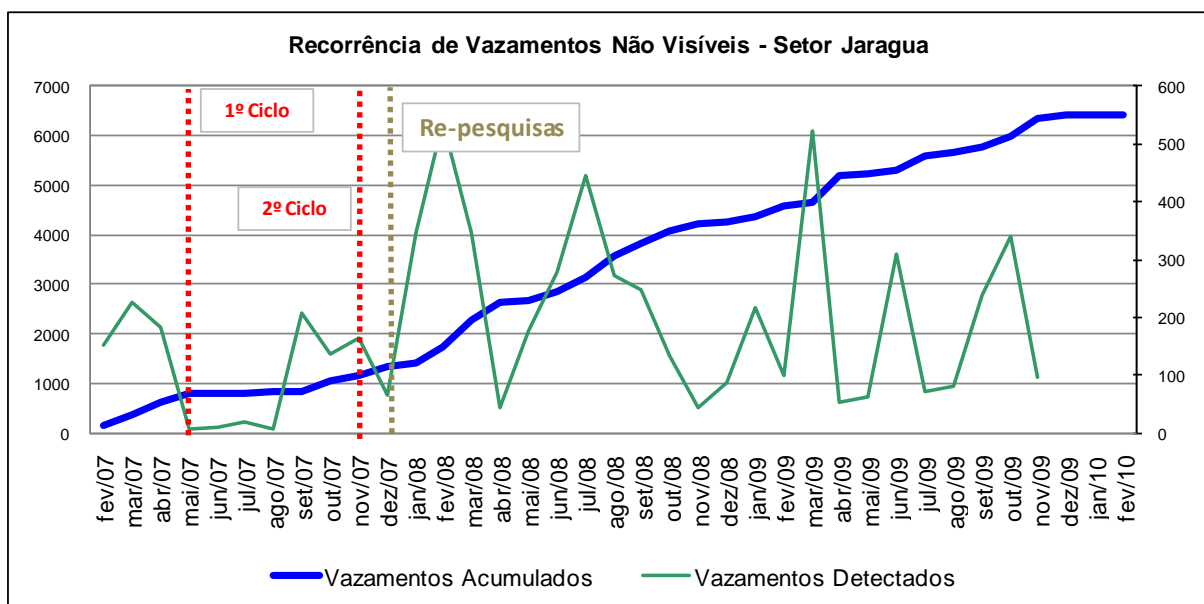


Gráfico 9 – Gráfico de recorrência de vazamentos no Setor Jaraguá

Fonte: Costa, 2010

O gráfico 10 representa a diminuição destas taxas, ao se alinhar seu coeficiente angular da reta para as mudanças de patamares, ou seja, demonstra-se a diminuição da taxa de surgimento dos vazamentos

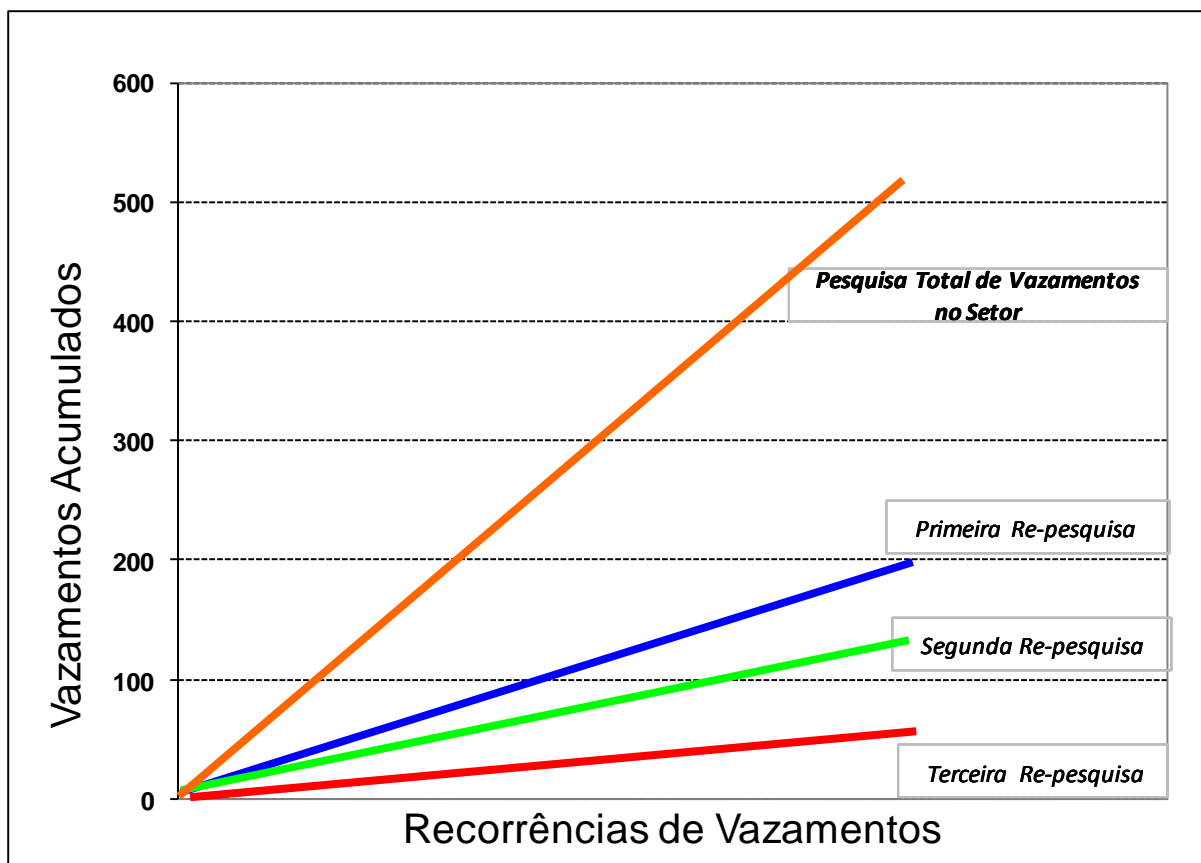


Gráfico 10 – Gráfico das retas de recorrência de vazamentos no Setor Jaraguá

Fonte: Costa, 2010

5.2.4. Análise dos formulários de Registro de Falha

Os formulários de registro de falhas foram tabulados e lançados em um programa desenvolvido em Excel de forma a produzirem gráficos de acompanhamento e resultados.

O gráfico 11 representa a quantidade ou tipo de vazamentos ocorridos nas ligações domiciliares, denominadas cavaletes, onde 52% das ocorrências foram causadas por trincas e furos nas bases dos cavaletes.

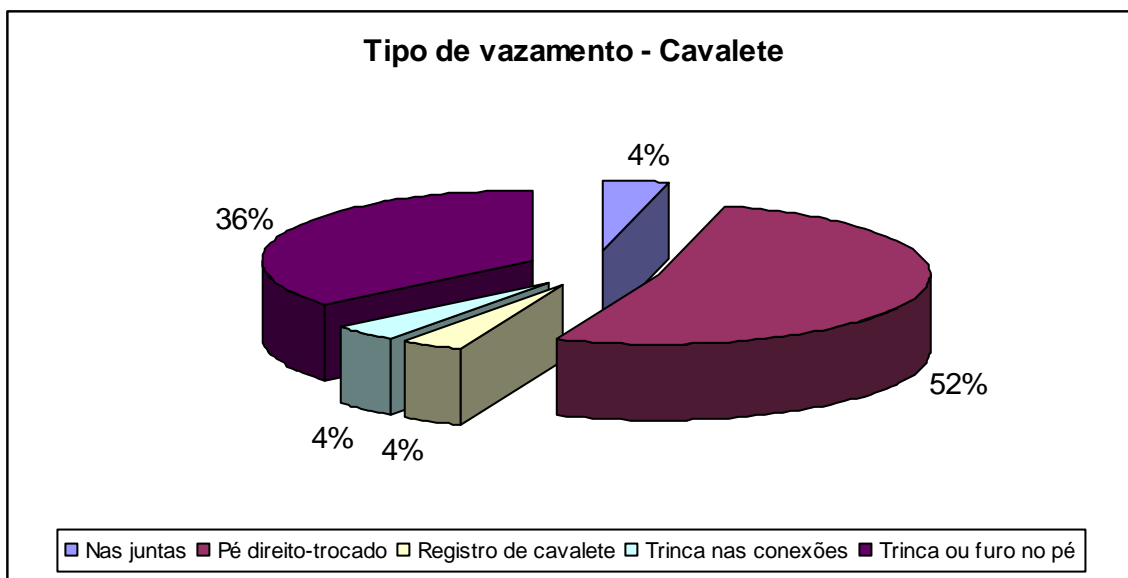


Gráfico 11 - Tipos de vazamentos localizados em cavaletes

Fonte: Costa, 2009

O gráfico 12 representa a distribuição dos tipos de vazamentos em redes localizados, sendo que 50% das ocorrências acontecem por furos ou trincas nas tubulações.

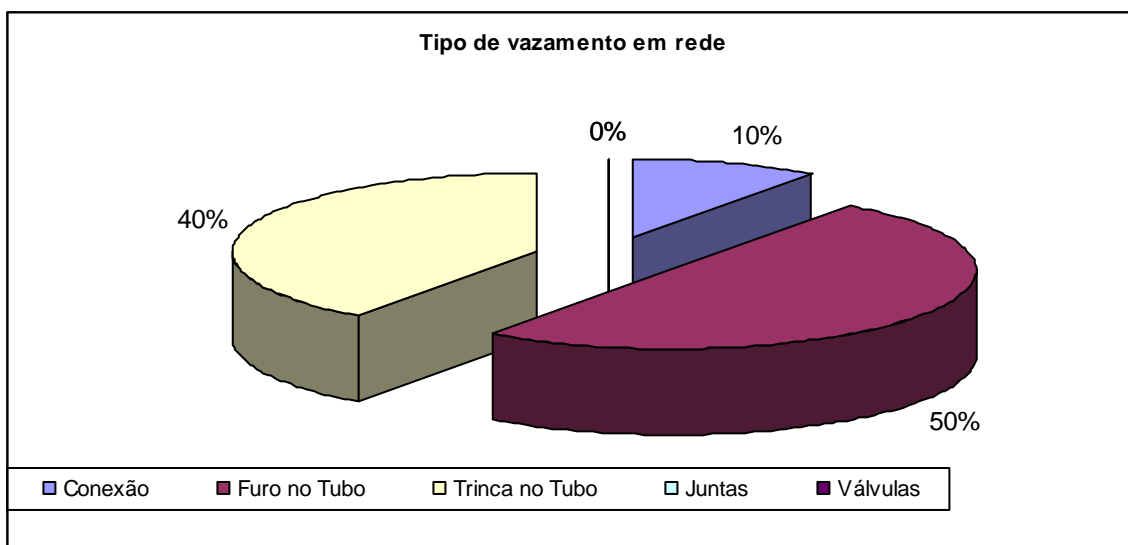


Gráfico 12 - Tipos de vazamentos localizados em redes

Fonte: Costa, 2009

O gráfico 13 demonstra que 71% das ocorrências identificadas nos ramais domiciliares forma trocadas após a identificação das ocorrências.

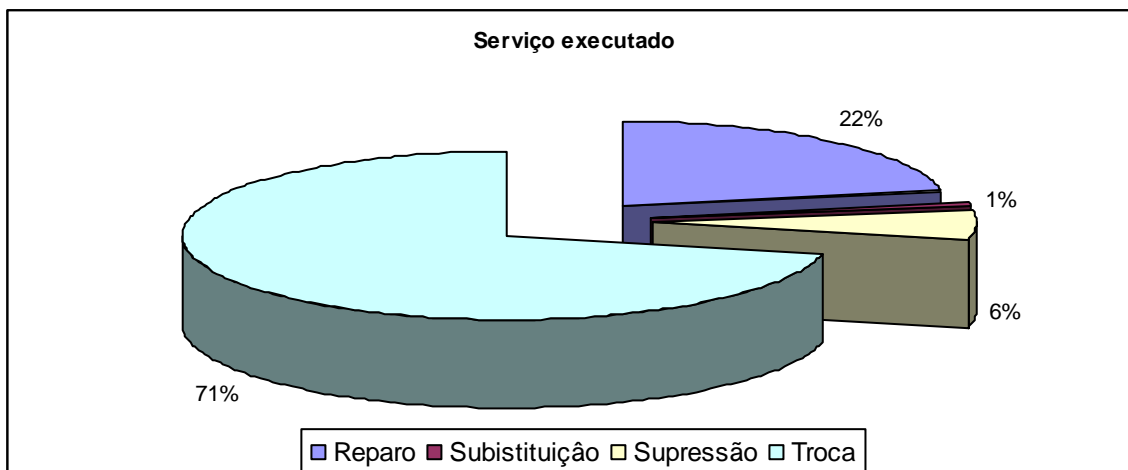


Gráfico 13 – Serviços de manutenção realizados nos ramais locados

Fonte: Costa, 2009

Os reparos dos vazamentos se localizavam na no trecho entre a tomada de água e a rua em 53% das ocorrências, conforme o gráfico 14.

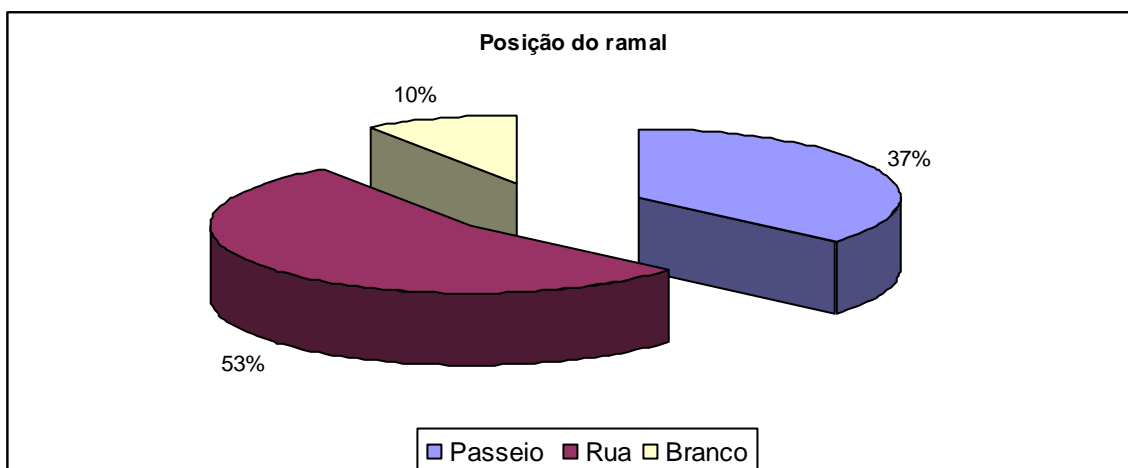


Gráfico 14 – Posição dos ramais locados

Fonte: Costa, 2009

A profundidade dos ramais medida após a abertura das valas para identificação e reparo dos vazamentos e apresentada no gráfico 15.

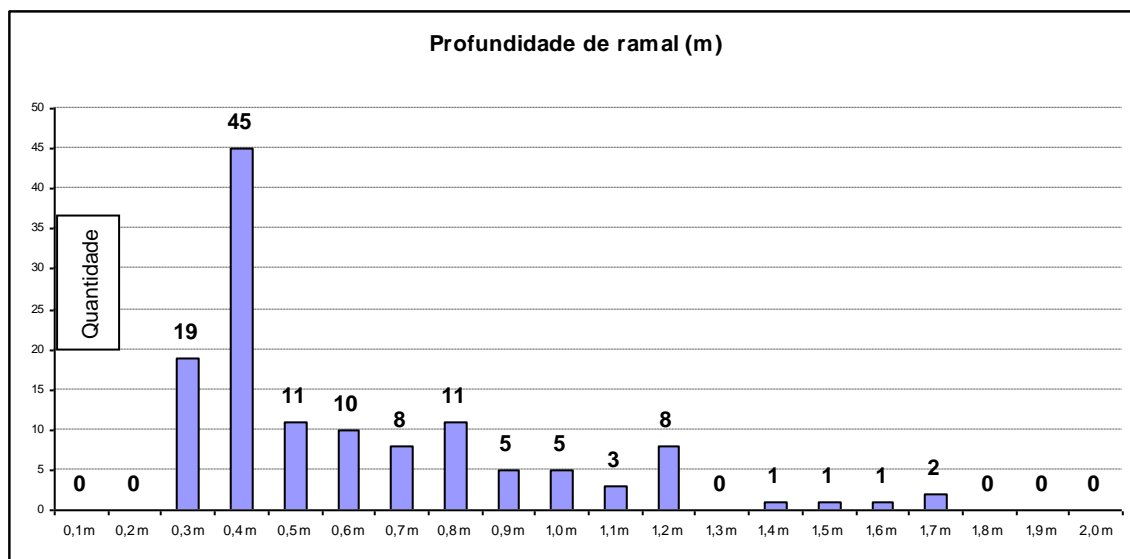


Gráfico 15 – Profundidade média dos ramais locados

Fonte: Costa, 2009

A maior causa encontrada nos reparos das ligações domiciliares ou ramais foi à ocorrência de furos no tubo, conforme apresentado no gráfico 16.

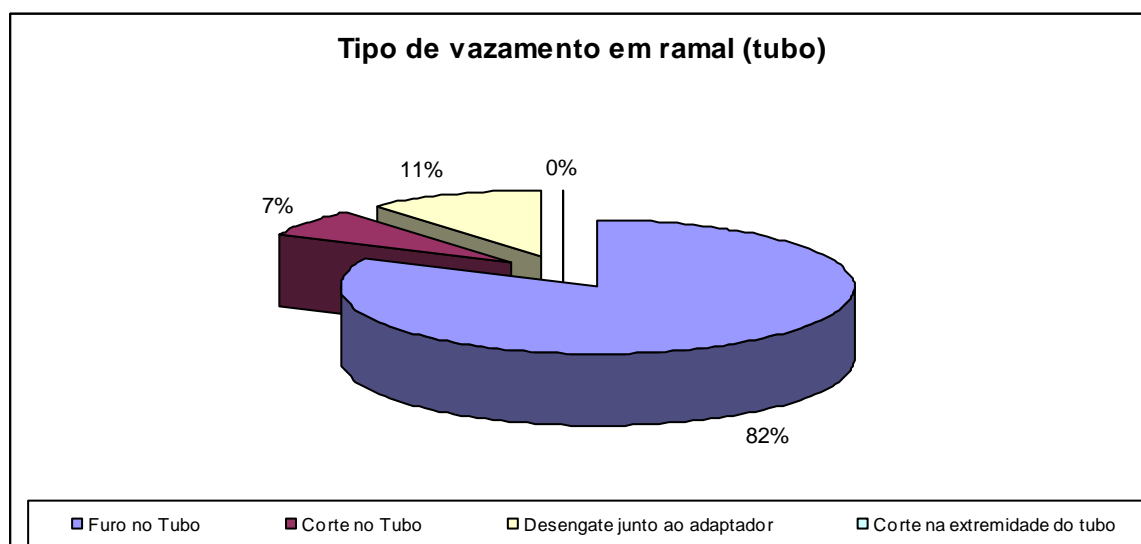


Gráfico 16 – Tipos de vazamentos executados nos ramais locados

Fonte: Costa, 2009

Nas conexões que interligam a tomada de água ao ramal, cerca de 76% das causas encontradas de vazamentos forma decorrentes de vazamentos no adaptador, conforme o gráfico 17.

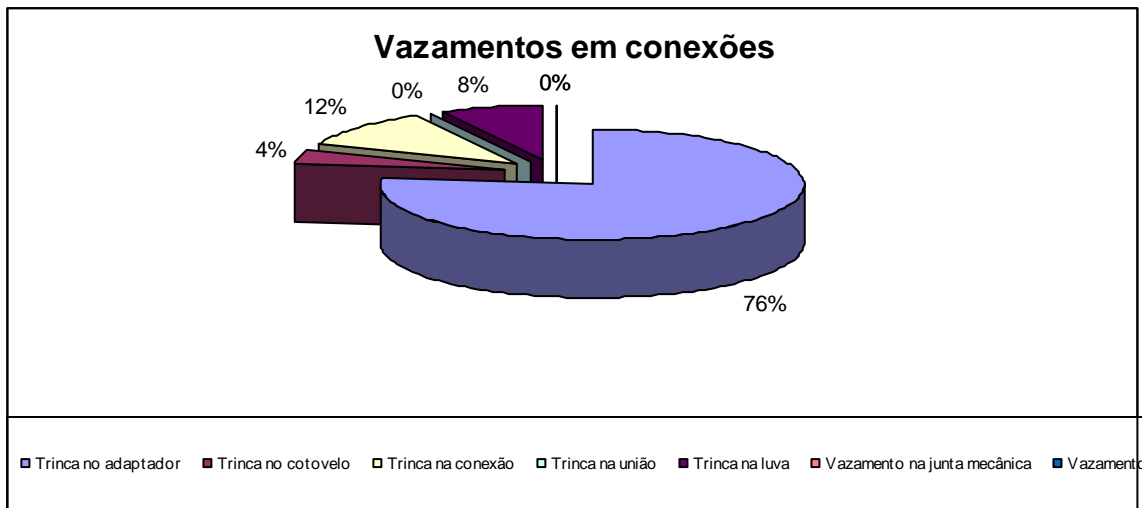


Gráfico 17 – Tipos de vazamentos nas conexões dos ramais locados

Fonte: Costa, 2009

Nas conexões entre a tomada de água e as redes de abastecimento ou redes secundárias as maiores incidências de causas encontram-se nos ferrules, que compõem as tomadas de água, conforme o gráfico 18.

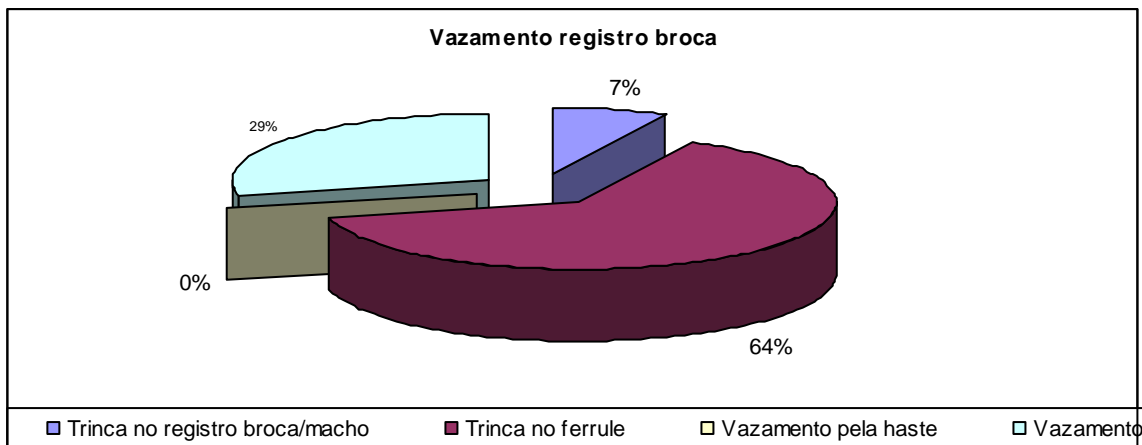


Gráfico 18 – Tipos de vazamentos nas conexões de rede dos ramais locados

Fonte: Costa, 2009

Antes dos reparos serem executados pelas equipes de manutenção, realizou-se medição de pressão nas ligações domiciliares marcadas com suspeita de vazamento. Após o conserto ou troca do mesmo realizou-se novamente o registro da pressão. O gráfico 19 representa a variação destas pressões antes e após estas atividades.

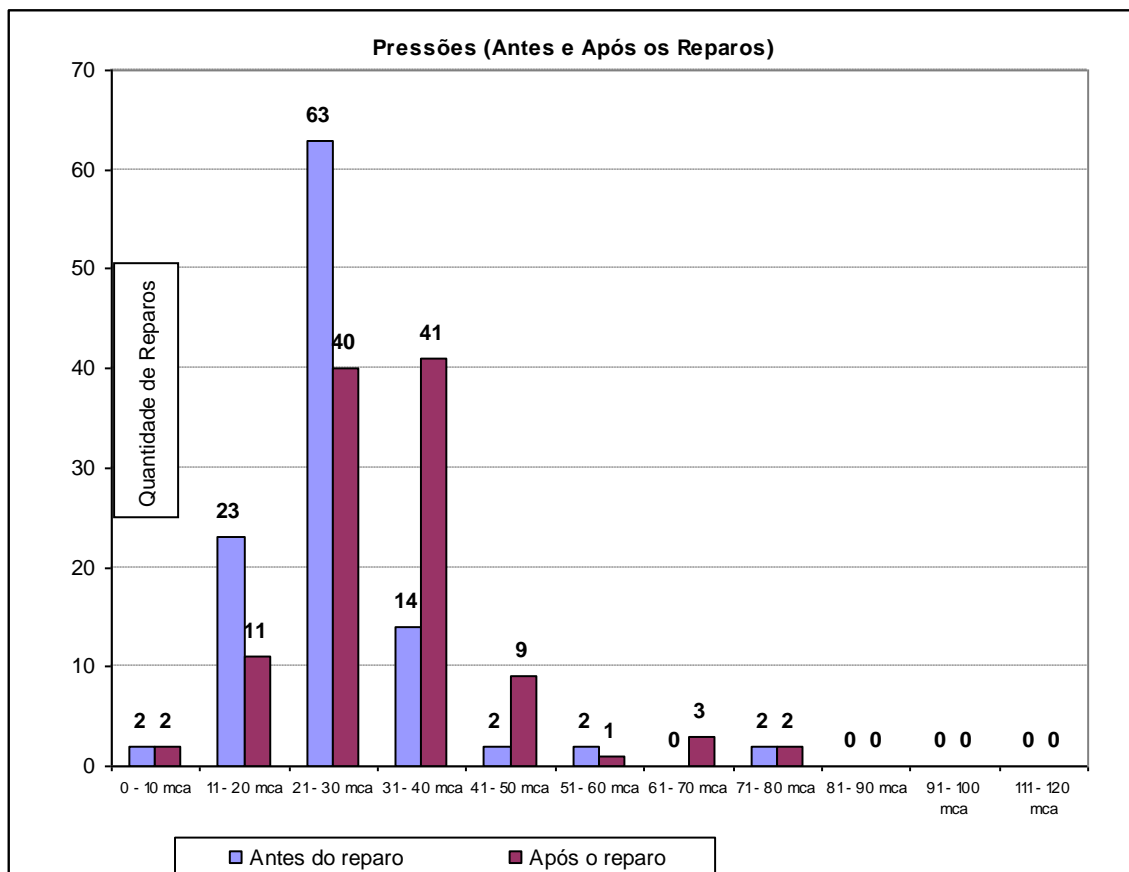


Gráfico 19 – Acompanhamento das pressões antes e após os reparos de redes

Fonte: Costa, 2009

O gráfico 20 representa a mesma metodologia descrita anteriormente, com os resultados medidos após o conserto ou troca de vazamentos em ramais.

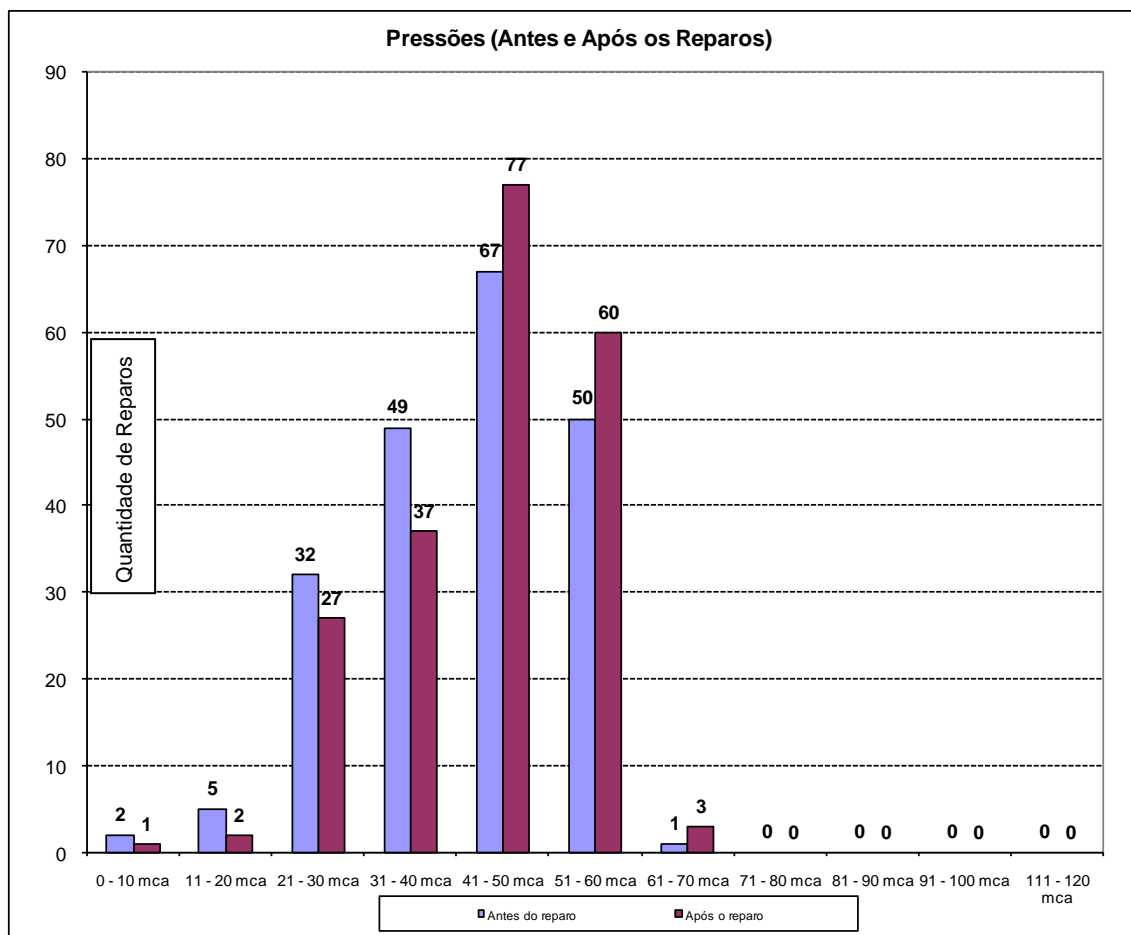


Gráfico 20 – Acompanhamento das pressões antes e após os reparos de ramais

Fonte: Costa, 2009

5.3. Pesquisa com medição de vazão

5.3.1. Medições

A avaliação dos resultados das pesquisas acústicas em uma área de controle (setor de abastecimento, zona de pressão ou Distrito de Medição e Controle) passa necessariamente pela realização de campanhas de medição de vazão e pressão, com durações que vão de 1 a 7 dias.

A primeira campanha é feita antes da realização dos reparos dos vazamentos, tornando-se, portanto, a referência prévia da situação da área. Após a execução dos consertos dos vazamentos, novas medições devem ser realizadas, comparando-se os números encontrados.

Em certos casos, o levantamento das cotas piezométricas (pressão dinâmica + cota geométrica), dentro do Distrito de Medição e Controle, facilita o trabalho de localização da região onde se encontra o vazamento propriamente dito.

5.3.2. Parâmetros

Os parâmetros básicos que devem ser levantados e comparados a partir das medições de vazão e pressão realizadas são:

- Vazão total média da área (l/s);
- Vazão mínima noturna (l/s);
- Fator de pesquisa (%);
- Vazão total média por comprimento da rede (l/s.km); e
- Vazão total média por ligação (l/s.ligação); e
- Análise dos registros de pressões (mínima pressão diurna e máxima pressão noturna).

5.3.3. Caracterização da área de estudo

A DMC Arthur Siqueira se encontra no município de Bragança Paulista no Estado de São Paulo (Figura 47), possuindo:

- Extensão de redes: 21,00 km
- Cota entrada do abastecimento: 825m
- Cota ponto Alto: 916m
- Cota ponto Baixo: 822m
- Cota ponto Médio: 869m



Figura 46 – Área abastecida pela DMC Artur Siqueira

Fonte: Costa, 2010

5.3.4. Performance na área DMC Artur Siqueira

Os dados das medições de vazão desta área foram coletados através de data logger instalados no macromedidor existente na rede de entrada do abastecimento da DMC Artur Siqueira. Foram feitas as análises gráficas para obtenção das vazões mínimas noturnas e o fator de pesquisa. (B&B Engenharia, 2010)

5.3.4.1. Medição de vazão inicial

Para a determinação do vazão inicial de trabalho os dados coletados através dos data logger foram descritos em um gráfico do perfil de consumo de sete dias onde foi estabelecido a vazão mínima noturna inicial.

O gráfico 21 representa os valores obtidos:

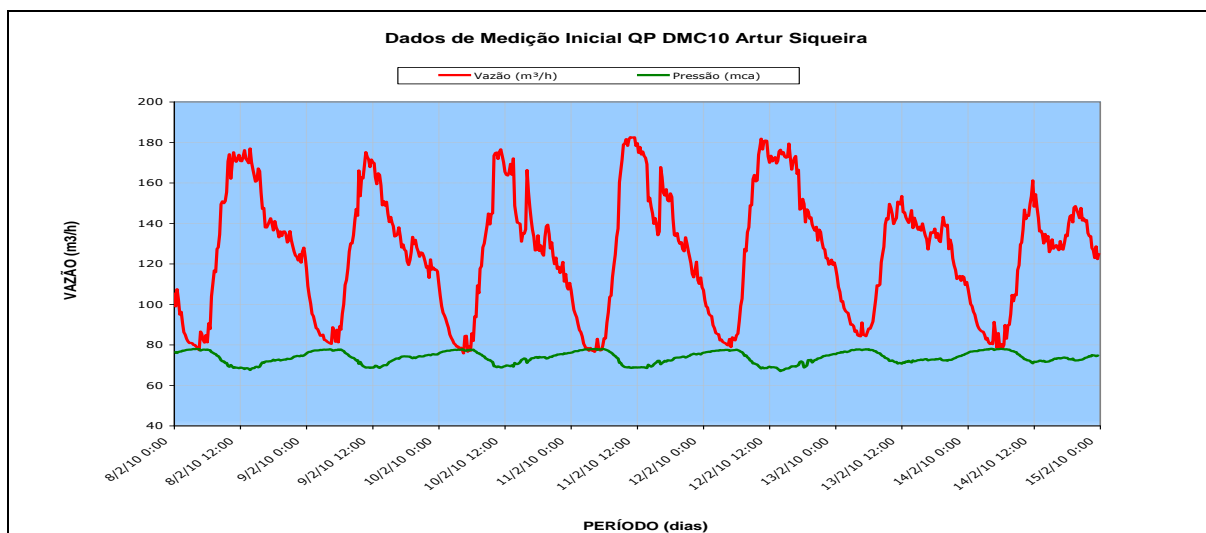


Gráfico 21 - Vazão inicial da DMC Artur Siqueira.

Fonte: B&B Engenharia, 2010

Os dados foram tabulados em planilha de cálculos nas quais resultaram as seguintes resultados conforme a tabela 11.

Tabela 11 – Vazão e fator de pesquisa da DMC Artur Siqueira

DMC10	Dados da medição de vazão Inicial DMC 10 Artur Siqueira							Médias
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM	
Data	08/fev	09/fev	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	
Qmin (m³/h)	77,35	80,47	75,78	76,54	78,87	84,20	78,41	78,80
Qmáx (m³/h)	176,98	175,19	176,55	182,62	181,82	153,49	161,22	172,55
Qmédia (m³/h)	129,66	124,33	123,59	128,55	134,03	120,89	118,87	125,70
Volume (m³)	3111,83	2983,95	2966,06	3085,09	3216,67	2901,38	2852,76	3016,82
VMN m³/h (2:00h as 4:00h)	77,35	80,47	75,78	76,54	79,72	84,2	80,34	79,20
Volume VMN (m³)	243,49	251,39	240,96	237,12	248,94	267,93	253,45	249,04
Fator Pesquisa (%)	59,66	64,72	61,32	59,54	59,48	69,65	67,59	63,14

Fonte: B&B Engenharia, 2010

Pode-se, destacar da tabela acima os seguintes dados:

- Volume médio disponibilizado = 3016,82 m³/dia
- QMN média = 79,20 m³/h
- Volume QMN = 249,04 m³
- Fator de Pesquisa = 63,14 %

5.3.5. Pesquisa de vazamentos na DMC Artur Siqueira

A pesquisa de vazamentos foi realizada em uma etapa:

Início do trabalho em 12/02/2010 e concluído em 19/02/2010.

A extensão pesquisada foi de 21,39 Km, e foram encontrados 15 vazamentos somando os vazamentos visíveis e não visíveis, utilizando-se as técnicas de vazamentos da NBR 15183.

O uso do correlacionador foi aplicado às principais vias de acesso e ruas movimentadas, mostrando-se eficaz na locação de vazamentos que não eram detectados pelos geofones eletrônicos, possibilitando a locação de um vazamento de ramal não detectado com o mesmo.

A tabela 12 apresenta o resumo analítico das varreduras efetuadas por dia.

A tabela 13 apresenta o detalhamento dos vazamentos localizados, por local (ramal ou rede) e por tipo (vazamentos visíveis e não visíveis).

Tabela 12 – Resumo analítico da varredura efetuada por dia

Dia	Varredura	Relatório	Extensão	Km Acum	Nº Vaz	Média	Vaz Acum	Média acum	Planta	Subsetor	DMC
12/fev	1	0024	7,41	90,87	0	0,00	62	0,68	78/107-41	ARTUR SIQUEIRA	10
12/fev	1	0025	2,47	93,34	8	3,24	70	0,75	77/107-15	ARTUR SIQUEIRA	10
12/fev	1	0026	4,99	98,33	6	1,20	76	0,77	77/107-15	ARTUR SIQUEIRA	10
12/fev	1	0027	1,58	99,91	1	0,63	77	0,77	78/107-33	ARTUR SIQUEIRA	10
19/fev	1	0028	4,94	104,85	0	0,00	77	0,73	78/107-21	ARTUR SIQUEIRA	10

Fonte: B&B Engenharia, 2010

Tabela 13 - Detalhamento dos vazamentos localizados na DMC Artur Siqueira

Rel nº	Dia	SEQ PS	Endereços	Nº do imóvel	Local	Tipo	Posição	DMC
0025	12-fev	0063	Alameda Turquia	108	RA	VNV	PASSEIO	10
		0064	Alameda Belgica	83	RE	VISIVEL	PASSEIO	10
		0065	Alameda Belgica	90	RA	VNV	PASSEIO	10
		0066	Alameda Belgica	50	RA	VNV	PASSEIO	10
		0067	Alameda Noruega	26	RA	VNV	PASSEIO	10
		0068	Alameda Grécia	58	RA	VNV	PASSEIO	10
		0069	Rua 19 de Maio	297	RA	VNV	PASSEIO	10
		0070	Rua 19 de Maio	283	RA	VNV	PASSEIO	10
0026	12-fev	0071	Alameda San Marino	144	##	VISIVEL	CAVALETE	10
		0072	Alameda San Marino	95	RA	VNV	PASSEIO	10
		0073	Alameda Alemanha	54	##	VISIVEL	CAVALETE	10
		0074	Alameda Alemanha	35	RA	VNV	PASSEIO	10
		0075	Alameda Austria	41	RA	VNV	PASSEIO	10
		0076	Alameda Suécia	35	RA	VNV	PASSEIO	10
0027	12-fev	0077	Rua Alexandre de Simoni	281	RA	VNV	PASSEIO	10

Fonte: B&B Engenharia, 2010

Conforme tabela 25 apresentada dos vazamentos localizados, foram pesquisados 21,39 quilômetros de redes e apontados 15 vazamentos, portanto tem-se uma relação de 0,70 Vaz/km

5.3.6. Medição de vazão final

Após o final dos consertos dos vazamentos apontados foram re-instalados os medidores de vazão para a obtenção do resultado do perfil da vazão mínima noturna recuperada. Segue o gráfico 22 de medição de vazão final.

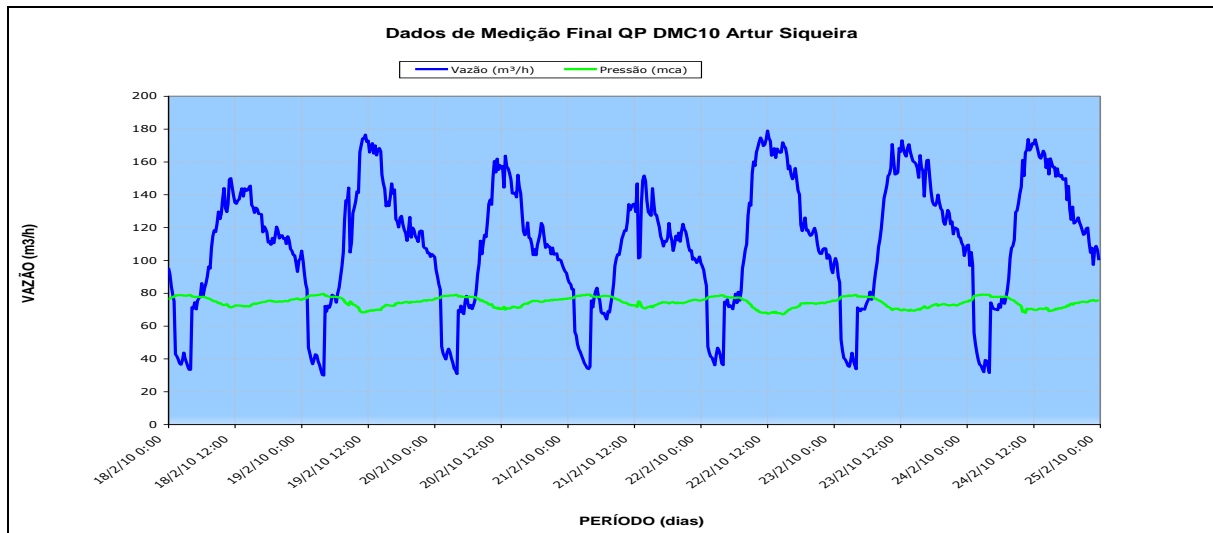


Gráfico 22 – Vazão final da DMC Artur Siqueira.

Fonte: B&B Engenharia, 2010

Da mesma forma anteriormente descrita foi feita a análise gráfica da medição final DMC Artur Siqueira, conforme a tabela 14:

Tabela 14 - Vazão e fator de pesquisa finais da DMC Artur Siqueira

DMC10	Dados da medição de vazão Final DMC10 Artur Siqueira							Médias
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM	
Data	22/fev	23/fev	24/fev	18/fev	19/fev	20/fev	21/fev	
Qmin (m³/h)	36,09	33,71	31,39	33,37	29,88	30,84	33,82	32,73
Qmáx (m³/h)	179,04	173,08	173,88	150,10	176,60	163,72	151,60	166,86
Qmédia (m³/h)	115,91	116,46	115,97	104,94	112,83	104,04	99,19	109,91
Volume (m³)	2781,74	2795,02	2783,215	2518,608	2707,92	2496,905	2380,68	2637,73
VMN m³/h (2:00h as 4:00h)	36,09	33,71	31,39	33,37	29,88	30,84	33,82	32,73
Volume VMN (m³)	147,18	137,53	134,93	138,13	135,62	140,11	143,25	139,54
Fator Pesquisa (%)	31,14	28,95	27,07	31,80	26,48	29,64	34,09	29,88

Fonte: B&B Engenharia, 2010

Pode-se, destacar da tabela 14 os seguintes dados:

- Volume médio disponibilizado = 2637,73 m³/dia
- QMN média = 32,73 m³/h
- Volume QMN = 139,54 m³
- Fator de Pesquisa = 29,88 %

5.3.7. Avaliação da redução da vazão mínima noturna

O gráfico 23 mostra as medições iniciais (antes da pesquisa de vazamentos) e finais (após os reparos dos vazamentos apontados)

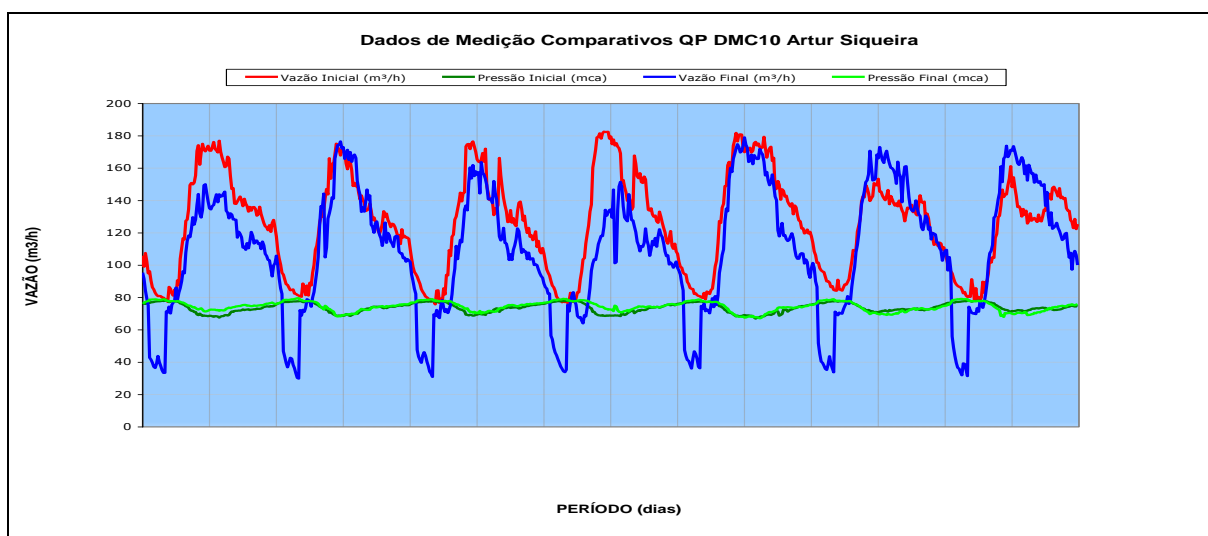


Gráfico 23 – Medição inicial e final da DMC Artur Siqueira.

Fonte: B&B Engenharia, 2010

A partir dos dados apresentados comparou-se a média da Vazão Mínima Noturna (QMN) inicial e final, para a obtenção da redução obtida pelos trabalhos de pesquisa de vazamento executados.

- QMN inicial = 79,20 m³/h
- QMN final = 32,73 m³/h

Foi utilizada para cálculo da Redução da QMN a seguinte expressão:

Diferença entre a QMN inicial e a QMN final, dividido pela QMN inicial e multiplicado por 100% para obter-se a porcentagem de redução da Vazão Mínima Noturna.

$$\text{Redução do percentual QMN} = \frac{(79,20\text{m}^3/\text{h} - 32,73\text{m}^3/\text{h})}{79,20\text{m}^3/\text{h}} \times 100\%$$

79,20m³/h

Redução do percentual QMN = 58,67% para DMC Artur Siqueira

Portanto a redução do percentual da Vazão Mínima Noturna na DMC Artur Siqueira foi de 58,67% avaliada no período de 18 a 24 de fevereiro em comparação a medição inicial.

6. CONCLUSÕES

6.1. Varredura de rede

Apesar do direcionamento a uma área conhecida como de alta recorrência de vazamentos por ser abastecido por um sistema de bombeamento denominado Booster São José, este tipo de método de ações não produz dados suficientes para a elaboração de um melhor diagnóstico de ações ou locais de maior relevância ou retorno de pesquisas, resultando apenas no indicador de vazamentos por quilometro pesquisado de 1,81 vaz/km, conforme a Tabela 2.

Nesta metodologia, a aplicação de técnicas mais sofisticadas de pesquisa de vazamentos como a utilização de correlacionadores ou armazenadores de ruídos, não é aplicada, sendo mais produtivo o uso de pesquisas diretas através de hastes de escuta e confirmações com geofone.

O formulário de registro de falhas forneceu parâmetros dos reparos realizados que ajudam a qualificar as causas destas ocorrências. Conforme a Tabela 3 a maior incidência de falhas encontrada foram furos no tubo (77%).

Pode-se atribuir estas ocorrências além da alta pressão já mencionada à execuções realizadas fora do padrão estabelecido pela Sabesp. Muitas delas encontravam-se durante as escavações de forma totalmente irregular quanto a sua instalação.

O fato de haver sido encontrado a tubulação com este tipo de ocorrência se deve ao material da mesma (PVC) e seu diâmetro de 50 mm, associado a um trafego leve que pode ter contribuído para seu surgimento.

O bairro de Miguel Badra possui muito rachão, o que torna este tipo de vazamento mais propício, pois o solo se torna permeável a água que não consegue aflorar a superfície.

A profundidade média encontrada nos ramais foi de 0,40 m, que esta em não conformidade com a norma técnica NTS 164 – Sabesp, que recomenda 0,50m de recobrimento sobre o tubo do ramal. Por sua vez a rede encontra-se em profundidades médias variando de 1,20 a 1,50 m que não estão em conformidade com a NTS 167.

6.2. Pesquisa sem medição de vazão

Os resultados apresentados no Setor de abastecimento do Jaraguá, onde se adotou o método de pesquisa sem medição, mostrou-se eficiente, não somente pela diminuição da taxa de ocorrência de vazamentos conforme o Gráfico 9 e o Gráfico 10 apresentam ou pela diminuição do indicador de vazamentos por quilometro conforme o Gráfico 8, o que possibilitou o cálculo da recorrência de vazamentos do setor.

A determinação da taxa de surgimento de vazamentos e de fundamental importância para os planejamentos e dimensionamentos dos períodos de pesquisa de cada setor, conforme o Gráfico 9 e 10. Características como desnível acentuado, que pode provocar áreas com altas pressões. Instalações de bombas de recalque (booster), associados à má qualidade dos materiais empregados nas ligações e a idade da rede potencializam seu surgimento em períodos cada vez menores, que, se não equacionados de maneira rápida, elevam significativamente os indicadores de perdas nos mesmo.

A subdivisão dos setores de abastecimento em áreas de controle, onde o acompanhamento dos resultados e das ações empregadas se dá de forma mais clara e rápida, conforme a Figura 43 e o direcionamento nas quadriculas com maior incidência de vazamentos, conforme a Figura 44 contribuiu para os resultados apresentados direcionando as pesquisas para aquelas porções prioritárias que seriam diluídas nas campanhas globais de pesquisa de vazamento.

Foram observados os seguintes valores, conforme a Tabela 9:

- Taxa mínima de vazamentos por quilometro por re-pesquisa = 1,4 vaz/km
- Extensão do setor = 455 km (Tabela 5)
- Surgimento de vazamentos/mês = $1,4 \times 455 = 637$ vaz/km/mês
- Surgimento de vazamentos/ano = $637 \times 12 = 7644$ vaz/km/ano

Considerando-se que cada vazamento visível foi em seu surgimento um vazamento não visível pode-se então afirmar que a taxa de vaz/km não visíveis apontadas em uma campanha de detecção é a taxa natural de vazamentos do setor, desde que o a diferença entre as pesquisa não apontem a diminuição do mesmo.

Desta forma ainda verificou-se que:

- Extensão de rede do setor: 455 km (Tabela 5)
- Extensão de rede pesquisada: 839 km
- Frequência de pesquisa por ano = $455 / 839 = 0,542$

Multiplicando-se esta frequência de pesquisa, por ano, chega-se a uma taxa média de surgimento de vazamentos. Se a capacidade de pesquisa for de duas campanhas no ano, então se obtém o tempo médio para o conhecimento dos vazamentos no setor.

- $0,542 \times 365 \text{ dias} = 197 \text{ dias}$ (aproximadamente, duas vezes por ano).
- $197 / 2 = 98 \text{ dias}$

Assim o tempo de conhecimento de novos vazamentos será superior a três meses.

Para aferição destes dados verificou-se a quantidade de vazamentos totais reparados no ano de 2007 no setor Jaraguá, que foi de 7505 ocorrências, validando o modelo proposto.

Portanto para que se possa efetuar um controle ativo de vazamentos, precisar-se-ia aumentar ainda mais o período de pesquisa entre os ciclos, conforme o Gráfico 8. Deve-se perceber que a não diminuição deste indicador poderá estar associada a outras ações como:

- Diminuição da pressão;
- Troca da infra-estrutura existente (troca de ramais);
- Agilidade nos reparos

Verifica-se que com a utilização do registro de falhas, ou visitas aos locais com maior recorrência de vazamentos, a análise as causas dos mesmos. Os Gráficos 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, e 18 espelham os tipos de falhas encontradas durante as campanhas de pesquisa e reparo de vazamentos.

Muitas novas ocorrências se dão pelo fato do aumento da pressão (Gráfico 19 e 20) após o conserto da fuga. O Gráfico 24 representa o aumento desta pressão em uma das quadrículas priorizadas.

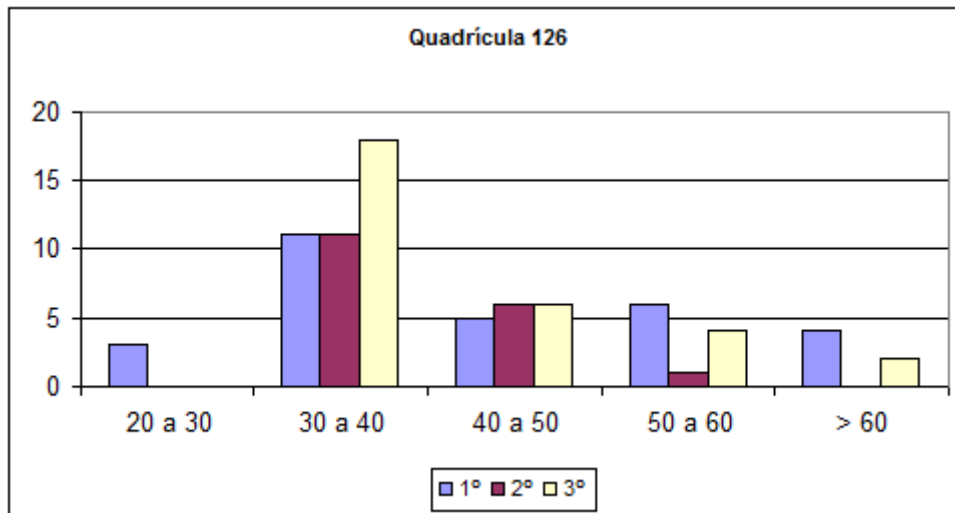


Gráfico 24 – Aumento da pressão após reparo do vazamento apontado

Nota-se que a ocorrência dos vazamentos está relacionada a problemas nas infra-estruturas existentes. O monitoramento e acompanhamento dos reparos são importantes ferramentas na tomada de decisão das ações corretivas necessárias.

A Figura 47 representa alguns dos problemas encontrados nos setores estudados.

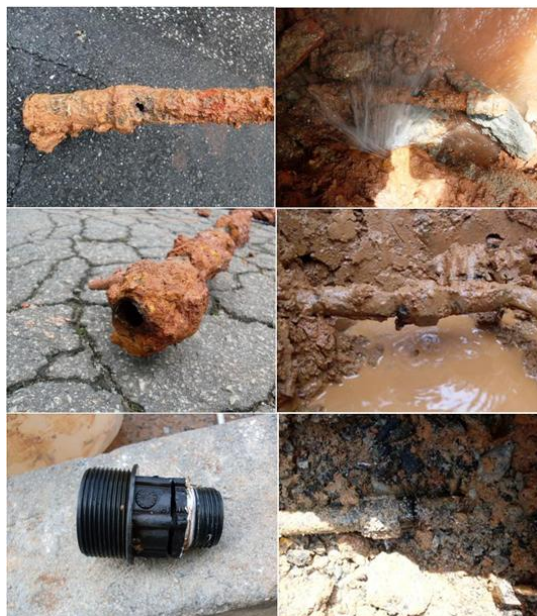


Figura 47– Problemas de infra-estrutura encontrados

Estas análises reforçam a necessidade de associarem-se as campanhas de pesquisa de vazamentos não somente a simples execução após a sua locação, mas sim, em um amplo planejamento e pesquisa dos resultados apresentados.

Somente desta forma, associando estas execuções à diminuição da pressão, análise de infraestrutura com trocas de ramais e maior agilidade no reparo pode-se evitar situações com a da Figura 48. Pode-se ver claramente pelas diversas marcas de reparos anteriores que a real necessidade do local é a troca de suas ligações.



Figura 48 – Exemplo de recorrência de vazamentos

6.3. Pesquisa com medição de vazão

Os resultados apresentados no Distrito de Medição e Controle Artur Siqueira, representam uma análise mais apurada das atividades de pesquisa de vazamentos, pois o método aplicado possibilita não somente o resultado do volume recuperado após o conserto dos vazamentos locados nas pesquisas de detecção, mas indicadores de performance e históricos do comportamento da curva de consumo da vazão no período de estudado, conforme apresentado no Gráfico 21 do perfil da vazão inicial.

A aplicação deste método demonstrou-se ser a mais completa dentre as aplicadas, mas para a sua utilização são necessários Distritos de Medição e Controle (DMC), instalados com a possibilidade de medição de vazão nas estações pitométricas, reduzindo-se a viabilidade de sua aplicação.

A comparação entre o perfil de consumo anterior as pesquisas de vazamentos, conforme a Tabela 11 e após os reparos dos vazamentos, conforme Tabela 14, determina não somente o volume recuperado, mas o indicador de Fator de Pesquisa diário e médio antes a após as atividades de pesquisa de vazamento.

O Gráfico 23, apresenta a economia média na diferença da vazão entre a campanha de pesquisa de vazamentos que resultou na diminuição de 58,67% da vazão mínima noturna (QMN).

6.4. Resumo das conclusões

O quadro 12 apresenta os resultados comparativos obtidos neste trabalho

Quadro 12 - Comparativo entre Métodos, Setores de Aplicação, Técnicas Acústicas, Infra-estrutura, Vantagens, Desvantagens e Indicadores das Técnicas de Locação de Vazamentos Não Visíveis.

Método	Setores de Aplicação	Técnica Acústica	Infra-estrutura necessária	Vantagens	Desvantagens	Indicadores
Varredura de Rede	Pequenos setores de abastecimento	Haste de escuta e Geofone	Cadastro das redes de abastecimento	Baixo custo	Fornecer somente a quantidade de vazamentos por quilometro pesquisado.	Vaz/km
Pesquisa sem Medição de Vazão	Grandes setores de abastecimento	Haste de escuta, Geofone, Correlacionador de Ruídos	Cadastro das redes de abastecimento, Dados históricos de ocorrências de vazamentos e pressões	Elaboração de mapas temáticos e direcionamento das ações em locais críticos, Análise dos consertos e diagnóstico de causas de vazamentos e Mapas de Pressão	Não fornece os volumes recuperados, Não fornece o perfil de Vazão de Consumo e Vazão Mínima Noturna (QMN) e nem o Cálculo do Fator de Pesquisa	Vaz/km Vaz/rede/100 km Vaz/densidade de ligações Recorrência de Vazamentos
Pesquisa com Medição de Vazão	Áreas de Controle e Distritos de Medição e Controle (DMC)	Haste de Escuta, Geofone, Correlacionador de Ruídos e Armazenadores de Dados de Ruídos	Cadastro das redes de abastecimento, Dados históricos de ocorrência de vazamentos e pressões e Estações Pitométrica para medição de vazão	Elaboração de mapas temáticos e direcionamento das ações em locais críticos, Registro das medições de Vazão e perfil de consumo e Vazão Mínima Noturna (QMN), Cálculo do Fator de Pesquisa e Volume recuperado pela ação	Necessita de áreas de controle delimitadas e estaques, possibilitando a Medição da Vazão	Vaz/km Vaz/rede/100 km Vaz/densidade de ligações Recorrência de Vazamentos Volume recuperado (m ³) Fator de Pesquisa

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público**. NBR 12218/1994 1ª ed. São Paulo, 1994.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Ensaio não Destrutivo – Estanqueidade para Saneamento Básico – Procedimento para Tubulações Pressurizadas**. NBR 15183/2010 1ª ed. São Paulo, 2010.

ALEGRE, H. et al. **Performance Indicator for Water Supply Services** - 3ª Ed. U.K: IWA Publishing., 2006

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** - São Paulo, 200 p. Dissertação (Mestrado em Obras Hidráulicas) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

B&B Engenharia – **Relatório de Performance da Região Bragantina – Medição 05**. B&B Engenharia, São Paulo, 2010.

CANDESSUS, MICHAEL, et. Al. **Água**: Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2005.

COSTA, R. F. **Análise de Varreduras no Setor de Abastecimento Suzano**, São Paulo – SP, 2006.

COSTA, R. F. **Balanço Hídrico em Gestão de Controle de Perdas**, FENASAN – Feira Nacional do Saneamento, São Paulo – SP, 2008.

COSTA, R. F. **Análise de Infra-Estrutura em Redes de Abastecimento - Gestão de Combate as Perdas Reais**, 25º Congresso Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, ABES, Recife – Pernambuco, 2009

COSTA, R. F. **Áreas de Controle e Recorrência de Vazamentos em Redes de Abastecimento de Água**, SILUBESA 14º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto – Portugal, 2010.

CETRE. Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos. **Apostila do Curso de Detecção de Vazamentos Não Visíveis: Métodos Acústicos**. 5ª Edição. ABENDE, São Paulo, 2009.

GOMES, H. P. – Sistemas de Abastecimento de Água – 2º Edição. Universidade Federal da Paraíba, 2004

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 (Saneamento). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

SABESP – **Diagnóstica do Andamento das ações do programa de redução de perdas no período 1999 – 2000**. Sabesp, São Paulo, 2001.

SABESP – **Apostila do Curso de Perdas Operacionais para Gerentes**. São Paulo: Sabesp, 2005.

SABESP – **Apostila do Curso de Pesquisa de Vazamentos - MNEP**. Sabesp, São Paulo, 2010.

TARDELLI FILHO, J. Controle e Redução de Perdas. In: TSUTYIA, M. T. (org.). **Abastecimento de Água**. 3ª Ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

THORNTON, J., STURM R. and KUNKEL, G. **Water Loss Control**. 2nd ed. The MacGraw-Hill. United State of America, 2008

TOMAZ, P. **Poluição Difusa**. 1º Ed. Navegar, São Paulo, 2009.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água**. 3ª Ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.