

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

**APLICAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO DE  
SIMULAÇÃO-OTIMIZAÇÃO NA GESTÃO DE PERDA  
DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO**

Carlos César Gumier

**Campinas  
2005**

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

**APLICAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO DE**  
**SIMULAÇÃO-OTIMIZAÇÃO NA GESTÃO DE PERDA**  
**DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO**

Carlos César Gumier

Orientador: Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior

Dissertação de Mestrado apresentada à  
Comissão de pós-graduação da Faculdade de  
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da  
Universidade Estadual de Campinas, como parte  
dos requisitos para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Civil, na área de concentração de  
Recursos Hídricos

**Campinas, SP**

**2005**

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

G953a      Gumier, Carlos César  
Aplicação de modelo matemático de simulação-  
otimização na gestão de perda de água em sistemas de  
abastecimento / Carlos César Gumier.--Campinas, SP:  
[s.n.], 2005.

Orientador: Edevar Luvizotto Junior.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo.

1. Abastecimento de água. 2. Simulação por  
computador. 3. Otimização matemática. I. Luvizotto  
Junior, Edevar. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo. III. Título.

Titulo em Inglês: Applying computational model to water loss management in  
supplying systems.

Palavras-chave em Inglês: Water supply, Water loss, Computer simulation,  
Computational model, Leak detection e Nelder-Mead

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Paulo Sérgio Franco Barbosa e Victor Emanuel Mello de  
Guimarães Diniz

Data da defesa: 28/02/2005

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

**APLICAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO DE  
SIMULAÇÃO-OTIMIZAÇÃO NA GESTÃO DE PERDA  
DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO**

**Carlos César Gumier**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

**Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior**

**Presidente e Orientador / Universidade Estadual de Campinas**

**Prof. Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa**

**Universidade Estadual de Campinas**

**Dr. Victor Emanuel Mello de Guimarães Diniz**

**Campinas, SP**

**2005**

## **Dedicatória**

*A todos aqueles que, fazendo bom uso da sabedoria,  
trabalham em busca de um ideal.*

## **Agradecimentos**

Ao Professor Doutor Edevar Luvizotto Jr., pela orientação, dedicação e compreensão durante o desenvolvimento dos trabalhos.

À minha família, pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

Ao Departamento de Água e Esgoto de Jundiaí, em especial ao Engenheiro Marcelo Trimboli e corpo técnico do Departamento de Perdas e Controle, pelo suporte na realização da pesquisa de campo desenvolvida.

Ao grupo de estudos sobre pesquisa e detecção de vazamentos em redes sob pressão, criado junto à Associação Brasileira de Ensaio não Destrutivos – ABENDE e aos Engenheiros e Técnicos do setor de controle de perdas da Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo – SABESP, em particular o Engenheiro Jairo Tardelli e o Tecnólogo Robson Fontes da Costa.

A todos os professores que contribuíram para meu desenvolvimento intelectual ao longo dessa jornada. Aos funcionários e amigos da Unicamp, pela amizade e colaboração.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudos fornecida durante o mestrado.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## Sumário

	<b>Página</b>
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas .....	xii
Lista de Abreviaturas e Símbolos .....	xiii
Resumo.....	xv
1     INTRODUÇÃO.....	1
2     OBJETIVO.....	7
3     PERDA DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO.....	9
3.1   O conceito de perda de água.....	9
3.2   Origem das fugas de água .....	10
3.3   Volume de água perdido por fuga.....	11
3.4   Influência da pressão nas fugas.....	15
3.5   Avaliação dos volumes de água perdidos.....	17
3.6   Indicadores de perdas de água.....	22
3.7   Aspectos econômicos da recuperação das perdas de água.....	31
3.8   Aspectos sanitários e ecológicos das perdas.....	34
4     MEDIDAS GERENCIAIS PARA CONTROLE DAS PERDAS DE ÁGUA.....	36
4.1   Ações gerenciais para redução das perdas de água.....	36
4.2   Controle ativo dos vazamentos.....	39
4.3   Análise de um sistema de abastecimento com simulação de operação.....	45
4.4   Modelos computacionais de simulação hidráulica.....	46
4.4.1 Modelos matemáticos adequados.....	47
4.4.2 Modelos computacionais para localização de fugas.....	50

4.4.3	Aspectos da modelação das fugas.....	53
4.4.4	Proposição de modelo computacional para detecção de fugas.....	60
4.4.5	Uso da modelagem como ferramenta na gestão integrada dos sistemas de abastecimento.....	62
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	66
5.1	Modelo computacional utilizado.....	67
5.1.1	Equacionamento do método elástico na análise do regime permanente ( <i>Time Marching Approach – TMA</i> ).....	68
5.1.2	Otimizador de Nelder-Mead.....	74
5.1.3	Acoplamento do simulador Time Marching Approach (TMA) com o método de busca de Nelder-Mead.....	77
5.2	Representação topológica da rede.....	80
5.3	Levantamento dos consumos nodais.....	82
5.4	Coeficiente de rugosidade.....	82
5.5	Coleta de dados de campo.....	84
5.6	Calibração do modelo.....	85
6	ESTUDO DE CASO.....	89
6.1	Levantamento de dados do setor.....	89
6.2	Topologia da rede.....	92
6.3	Levantamento de dados em campo.....	93
6.4	Consumos nodais.....	96
6.5	Calibração da rede.....	97
6.6	Simulação de uma fuga e estimativa de sua vazão.....	99
6.7	Localização da fuga.....	101
7	Resultados obtidos.....	103
	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
	BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.....	116
	ABSTRACT.....	118
	Anexo I – Planta cadastral do setor Vila Liberdade.....	119
	Anexo II – Planta de topologia da rede de distribuição do setor Vila Liberdade..	121



Anexo III – Topologia empregada na modelagem do setor Vila Libeerdade.....	123
Anexo IV – Curvas de coleta de dados dos pontos monitorados.....	129
Anexo V – Distribuição do consumo nodal conforme dados da micro-medição..	134

## Lista de Figuras

	Página
1.1 – Índice de perdas de faturamento em diferentes países.....	2
3.1 – Orifício de vazamento – rachadura no tubo de cimento amianto.....	10
3.2 e 3.3 – Desgaste na parede do tubo de cimento amianto devido à presença de fuga de água.....	10
3.4 – Ciclos de reparo em redes de água.....	13
3.5 – Relação entre a frequência de inspeção na rede e o tempo de duração do vazamento não visível.....	14
3.6 – Relação entre pressão e vazão de descarga do vazamento.....	16
3.7 – Classificação dos consumos em um sistema de abastecimento de água..	19
3.8 – Distribuição espacial do consumo em um sistema de abastecimento de água.....	19
3.9 – Balanço Hídrico - componentes do consumo autorizado e das perdas de água.....	20
3.10 – Indicadores de perdas das principais companhias de saneamento nacionais.....	23
3.11 – Variação das Perdas na Região Metropolitana de São Paulo entre 1977 e 1996 .....	24
3.12 – Classificação das perdas conforme a W 392 .....	25
3.13 – Variação da perda inevitável com a densidade dos ramais.....	27
3.14 – Perdas reais anuais atuais (PRAA) em L/ramal/dia.....	29
3.15 – Índice infra estrutural de perdas (IIE).....	30
3.16 – Relação entre perdas reais anuais inevitáveis e nível econômico de perdas reais.....	32
4.1 – Medidas de intervenção para controle de perdas reais.....	37

4.2 – Técnicas que podem ser empregadas para detecção de fugas.....	39
4.3 – Mapa com pontos de vazamentos localizados utilizado pela companhia de água do estado de São Paulo – SABESP.....	41
4.4 – Correlacionador de ruídos.....	43
4.5 – Tela gerada no correlacionador de ruídos apontando a relação entre a intensidade e a frequência do ruído de vazamento.....	44
4.6 – Pesquisa acústica com aparelho geofone eletrônico.....	44
4.7 – Modelos matemáticos de representação de escoamento em redes de água.....	47
4.8 – Índice de perdas em função da pressão.....	58
4.9 – Rede de abastecimento hipotética criada para o CASO 1.....	61
4.10 – Fluxograma do tráfego de informações do modelo de gestão integrada	65
5.1 – Malha de cálculo do Método das Características .....	69
5.2 – Malha de cálculo .....	70
5.3 – Esquema de um nó genérico .....	71
5.4 – Representação esquemática de um elemento não tubo .....	72
5.5 – Acoplamento do TMA com Nelder-Mead para detecção de fugas.....	78
6.1 – Gráficos comparativos entre os volumes macro e micro-medidos do setor Vila Liberdade nos anos 2003 e 2004.....	91
6.2 – Topologia da rede de distribuição de água do setor Vila Liberdade.....	93
6.3 – Medidor de vazão e pressão instalado na entrada do setor Vila Liberdade (nó 75) .....	94
6.4 – Instalação do medidor de pressão em cavalete no setor Vila Liberdade (nó 19).....	95
6.5 – Consumos domiciliares considerados na demanda do nó i.....	96
6.6 – Tela gerada no modelo de calibração CALIBRADOR.....	99
6.7 – Variação de carga no nó 14 e vazão de fuga simulada para o intervalo 0 e 10 l/s.....	100
6.8 – Variação de carga no nó 14 e vazão de fuga simulada para o intervalo 0 e 5 l/s.....	101
6.9 – Tela de entrada do modelo de detecção MUFFLED DETECTION.....	102

6.10 – Análise de frequência dos resultados do TESTE 1.....	104
6.11 – Análise de frequência dos resultados do TESTE 2.....	106
6.12 – Análise de frequência dos resultados do TESTE 3.....	109

## Lista de Tabelas

	Página
1.1 – Índice de perdas do faturamento médio dos prestadores de serviço participantes do Diagnóstico 2002, segundo abrangência e região geográfica.....	3
3.1 – Perda de água por vazamento a uma pressão de 40 mH <sub>2</sub> O.....	11
3.2 – Volume de vazamento conforme pressão e diâmetro do orifício.....	12
3.3 – Distribuição das perdas reais (físicas) e aparentes (não-físicas) na região metropolitana de São Paulo em 1993.....	22
4.1 – Resultados obtidos na simulação de fugas do CASO 1.....	62
5.1 – Montagem da topologia da rede.....	81
5.2 – Coeficientes C de Hazen-Williams.....	83
6.1 – Principais medidas de campo obtidas nos pontos de monitoramento.....	93
6.2 – Verificação das demandas nodais.....	97
6.3 – Carga nos nós 14 e 19.....	98
6.4 – Parâmetros utilizados na localização da fuga.....	103
6.5 – Valores obtidos no TESTE 1 para localização de fugas.....	104
6.6 – Valores obtidos no TESTE 2 para localização de fugas.....	107
6.7 – Valores obtidos no TESTE 3 para localização de fugas.....	110

## Lista de Símbolos e Abreviaturas

		Representação dimensional
$A$	– celeridade da propagação da onda de pressão	$[L]/[T]$
$A$	– área da seção transversal do conduto	$[L]^2$
$A_o$	– área do orifício	$[L]^2$
$A_c$	– área do orifício circular	$[L]^2$
$b$	– ajuste temporal	adimensional
$B$	– termo de impedância	$[T]/[L]^2$
$C$	– constante que depende das características da rede	adimensional
$C_c$	– coeficiente de contração	adimensional
$C_d$	– coeficiente de descarga da válvula	$[L]^3/[T]$
$C_v$	– coeficiente de velocidade	$[L]/[T]$
$D$	– diâmetro	$[L]$
$D(t)$	– demanda em um determinado tempo	$[L]^3/[T]$
$f$	– fator de atrito	$[L]^0[T]^0$
$FP$	– fator de pesquisa	%
$g$	– aceleração gravitacional	$[L]/[T]^2$
$H$	– carga hidráulica calculada	$[L]$
$H^*$	– carga hidráulica monitorada	$[L]$
$H_p$	– carga hidráulica em um ponto genérico	$[L]$
$IIE$	– índice infra-estrutural de perdas	adimensional
$IP$	– índice geral de perdas	%
$K$	– coeficiente de proporcionalidade ou coeficiente de ajuste	adimensional
$L$	– comprimento da tubulação	$[L]$
$L_{ij}$	– comprimento da tubulação entre os nós $i$ e $j$	$[L]$

$L_o$	– comprimento equivalente da tubulação	[L]
$L_p$	– extensão total do ramal entre a testada da propriedade e o hidrômetro	[L]
$L_r$	– extensão da rede	[L]
$M$	– número de defeitos nas tubulações no intervalo de tempo 0 e t	adimensional
$N$	– número de pontos monitorados	adimensional
$N_c$	– número de ramais	adimensional
$NT$	– número total de tubulações que se pretende distribuir as vazões de fuga	adimensional
$P$	– pressão média medida	$[F]/[L]^2$
$p_i$	– pressão no interior da tubulação	$[F]/[L]^2$
$p_e$	– pressão no exterior da tubulação	$[F]/[L]^2$
$P_{ij}$	– pressão média da tubulação entre os nós i e j	$[F]/[L]^2$
$PRAA$	– indicador de perdas reais anuais atuais	[litros/ramal.dia]
$PRAI$	– indicador de perdas reais anuais inevitáveis	[litros/ramal.dia]
$Q$	– vazão	$[L]^3/[T]$
$Q_i$	– vazão obtida no instante i	$[L]^3/[T]$
$Q_m$	– vazão média diária	$[L]^3/[T]$
$Q_p$	– vazão em um ponto genérico da tubulação	$[L]^3/[T]$
$Q_{vi}$	– volume de perda	$[L]^3/[T]$
$q_f$	– vazão de fuga	$[L]^3/[T]$
$q_{f_{ij}}$	– vazão de fuga perdida na tubulação que conecta os nós i e j	$[L]^3/[T]$
$R$	– resistência da tubulação	$[T]^2/[L]^5$
$t$	– tempo transcorrido	[T]
$x$	– distância medida ao longo do conduto	[L]
$X^2$	– função objetivo	adimensional
$\gamma$	– peso específico do fluido	$[F]/[L]^3$
$\sigma^2$	– variância	$[L]^2$
$\Delta t$	– intervalo de tempo para análise	[T]
$\Delta x$	– divisão da tubulação	[L]
$\varepsilon$	– erro admissível ou resíduo	adimensional

## RESUMO

GUMIER, Carlos César. **Aplicação de modelo matemático de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 145p. Dissertação (Mestrado).

Este trabalho apresenta, sob diversos aspectos, as perdas de água que ocorrem nas redes de distribuição dos sistemas de abastecimento e os mecanismos de controle disponíveis. Dentre os objetivos se destaca a proposição do modelo matemático-computacional como uma nova ferramenta de localização de fugas. O modelo proposto foi desenvolvido através do acoplamento de um simulador hidráulico baseado no *Time Marching Approach* – *TMA* com o algoritmo otimizador de Nelder-Mead. O trabalho visa ampliar os resultados obtidos nas investigações desenvolvidas em LUVIZOTTO (1998) e OCAMPOS (2003), aplicando o modelo em uma rede de distribuição de água real, utilizando os recursos disponibilizados pela companhia de água, propondo uma método de aplicação do modelo para tais condições.

**Palavras-Chave:** perda de água, detecção de fuga, modelo de simulação e otimização, Nelder-Mead.



## 1. INTRODUÇÃO

A progressiva deterioração dos rios e mananciais de abastecimento e o agravamento de conflitos entre os diversos setores usuários das águas forçaram o início das discussões sobre a situação e o futuro das águas em todo o mundo.

Publicado no início da década de 1990, o relatório *Water Resources Management Policy Paper* ONU (1993), elaborado pelo Banco Mundial, alertava o mundo para a eminente escassez de água em algumas regiões do planeta, principalmente nos grandes centros urbanos, prevendo que a água será o bem mais escasso no século XXI, tornando o suprimento da demanda o principal desafio para a humanidade nas décadas seguintes e recomendando um gerenciamento cuidadoso dos recursos hídricos disponíveis, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Dentre as propostas apresentadas pelo referido relatório está o gerenciamento adequado dos sistemas de abastecimento urbanos e a necessidade premente de implementação de políticas e programas voltados à conservação e uso racional da água.

Indicadores de perdas de água em sistemas de abastecimento urbanos de diversos países apontam para índices médios de 17% de perda de toda a água captada e tratada, como mostra a Figura 1.1, apresentada no Documento Técnico de Apoio A-2 do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água PNCDA (1998).

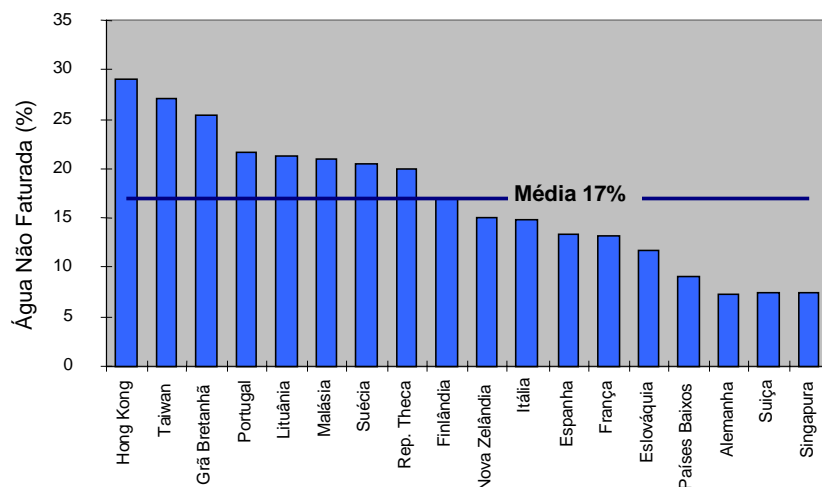


Figura 1.1: Índice de perdas de faturamento em diferentes países  
PNCDA (1998) DTA A-2

No Brasil esses índices variam bastante entre as companhias de saneamento, entretanto todos os índices apontam para a necessidade de redução destes valores, alguns bastante altos. O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS (2004) incorpora novos e mais precisos indicadores de perdas além do tradicional Índice Geral de Perdas expresso em porcentagem. A Tabela 1.1 apresenta os índices de perdas de faturamento médio das companhias de saneamento participantes do Diagnóstico 2002.

A redução destes índices de perda deve ser o principal desafio das companhias de saneamento, uma vez que sistemas de abastecimento que não operam com um bom nível de desempenho implicam, além da captação de um volume hídrico acima do previsto inicialmente, o conseqüente aumento no consumo de energia elétrica pelos componentes de bombeamento e ainda custos adicionais em insumos e mão de obra para operação do sistema.

A redução da perda de água nestes sistemas conduz a um maior equilíbrio financeiro para a companhia de saneamento, além de adiar ou mesmo evitar a necessidade de expansão da produção de água e os altos investimentos inerentes à execução de novas captações, estações de tratamento e adutoras para transporte da água localizadas, na maioria das vezes, distantes dos centros de consumo.

Tabela 1.1: Índice de perdas de faturamento médio dos prestadores de serviços participantes do Diagnóstico 2002, segundo abrangência e região.

Região	Companhias Regional (Estaduais)	Companhias Microrregionais	Companhias Locais (DAE / SAAE)	Resumo Geral Brasil
	%	%	%	%
<b>Norte</b>	52,8	-	69,0	57,6
<b>Nordeste</b>	45,5	-	43,7	45,5
<b>Sudeste</b>	38,2	40,8	40,3	38,8
<b>Sul</b>	37,9	30,7	34,1	37,3
<b>Centro-Oeste</b>	29,2	-	49,5	34,0
<b>BRASIL</b>	39,9	38,6	42,8	40,5

Fonte: SNIS (2004)

Entre as grandes companhias apenas quatro das 25 apresentam índices inferiores a 30% e, dentre estas, somente a CAESB-DF relata perdas inferiores a 25%. Por outro lado, há um número expressivo de companhias com perdas muito elevadas: oito superiores a 50%, dentre as quais quatro apresentam valores próximos a 70%.

Cabe observar que o indicador de perdas em percentual, embora seja o mais empregado para a apresentação geral de cenários, deve ser observado com certo critério. Este indicador retrata as perdas do ponto de vista financeiro e comercial, sendo fortemente influenciado pelo consumo e, por não expressar fatores importantes em relação às fugas de água da rede, tais como pressão de operação, extensão e quantidade de ligações atendidas, não é o mais adequado para a avaliação de desempenho operacional das companhias de água.

Convém destacar no panorama nacional e internacional a adoção de políticas que privilegiam a implementação de programas redução de perdas em detrimento ao aumento do volume de captação de água. Exemplo destas políticas é a Lei nº 9.433/97 que trata dos recursos hídricos nacionais que prevê a necessidade de outorga para novas concessões e a cobrança pelo uso da água. Internacionalmente, o já citado relatório elaborado pelo Banco Mundial,

regulamenta linhas de crédito ao setor de saneamento, vinculando estes ao bom desempenho das companhias, principalmente em relação ao volume de perda de água. Deste modo, a racionalização do uso da água é uma das condições fundamentais para a sustentação e sobrevivência das companhias de água.

O combate à perda de água nos sistemas de abastecimento é bastante complexo, envolvendo de início a distinção entre as perdas aparentes, de ordem econômica e que são reduzidas com ações administrativas e as perdas reais (fugas) que ocorrem em toda o sistema de abastecimento, principalmente nas redes de distribuição. Esta última, enfoque deste trabalho.

A condição da infra-estrutura das redes de distribuição de água, suas características e necessidades operacionais são os principais fatores que influenciam no volume de perdas reais de água em um sistema de abastecimento. A maioria das redes é, na prática, uma mistura de tubos de diferentes tipos de materiais, assentados ao longo de várias décadas e que, via de regra, apresentam sinais de deterioração em maior ou menor escala conforme a idade de assentamento, material do tubo, técnicas de instalação empregadas e características do solo nas proximidades. A sinergia destas características potencializa os problemas referentes ao surgimento de fugas nas redes de distribuição de água.

Há uma grande evolução e preocupação das companhias de saneamento com o levantamento de indicadores de desempenho, cada vez mais precisos e elaborados. Esses indicadores fornecem um panorama geral das condições do sistema, úteis para a definição das metas da empresa porém insuficientes aos gerentes diretos do sistema, responsáveis por conduzir no dia-a-dia os programas de redução de perdas. Estes profissionais necessitam definir com rapidez e clareza as áreas que devem ser investigadas, as técnicas de combate às perdas mais adequadas e a metodologia a ser aplicada, maximizando os recursos disponíveis.

Desta forma, faz-se essencial o estudo de novos métodos e ferramentas de trabalho que auxiliem e principalmente agilizem as tomadas de decisão gerenciais, permitindo pré-localizar áreas com fortes indícios de fugas de água, direcionando as campanhas de inspeção da rede em

determinadas áreas suspeitas, tornando os trabalhos mais ágeis e menos dispendiosos, viabilizando sua aplicação em maior escala.

A pré-localização das fugas de água em um sistema de abastecimento pode otimizar as campanhas de pesquisa que atualmente são realizadas em toda a extensão de rede com os equipamentos de detecção acústica. A modelagem matemática pode ser empregada com esta finalidade, com a vantagem de ser relativamente mais econômica que os equipamentos de armazenamento de dados (*data-loggers*) criados com esta finalidade.

O presente trabalho aborda, no capítulo 3, os conceitos gerais referentes às perdas de água em um sistema de abastecimento e os diversos aspectos relacionados às mesmas. O capítulo 4 trata das medidas gerenciais para controle das perdas de água, com ênfase na apresentação da modelagem das redes como ferramenta de pré-localização de fugas, visando o direcionamento dos trabalhos de inspeção em campo para as áreas suspeitas apontadas no modelo computacional de simulação e otimização.

O modelo de simulação proposto, seu equacionamento matemático e o acoplamento deste com o método de busca (otimizador de Nelder-Mead) proposto é abordado no capítulo 5. O capítulo 6 apresenta o estudo realizado junto ao Departamento de Água e Esgoto do município de Jundiaí-SP onde o método proposto foi aplicado em um setor de abastecimento do sistema de distribuição. Neste estudo uma fuga foi gerada no sistema para ser pré-localizada pelo modelo.

## **2. OBJETIVOS**

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema das perdas reais de água nos sistemas de abastecimento, bem como os métodos de controle destas perdas praticadas atualmente. A modelagem matemática de simulação e otimização é proposta como ferramenta de pré-localização de fugas de água nas redes de distribuição. Sua aplicação é avaliada em um estudo de campo para investigação de seu desempenho sob as condições reais de uma rede de distribuição de água, empregando os recursos de medição e armazenamento de informações geralmente disponíveis nas companhias de água.

### **3. PERDA DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO**

Neste capítulo serão apresentados os conceitos gerais referentes às perdas de água nos sistemas de abastecimento, bem como os diversos aspectos relacionados com sua ocorrência e forma de tratamento de modo a apresentar um panorama atual do conhecimento, recursos e técnicas empreendidas na tentativa de reduzir os volumes de água perdidos e tornar os sistemas de abastecimento mais eficientes.

#### **3.1 O Conceito de perda de água**

Convencionou-se chamar de perda o volume de água que, depois de captado do manancial e introduzido no sistema de abastecimento não é entregue aos consumidores. Entretanto, é importante compreender desde logo que as perdas de água englobam as perdas reais (físicas) e as perdas aparentes (não-físicas), afetando tanto o desempenho técnico quanto o desempenho financeiro das entidades gestoras. As primeiras resultam de fuga de água no sistema e são relevantes para a avaliação do estado geral da infra-estrutura do sistema e as segundas decorrem principalmente de erros de medição (macro e micro-medição), de fraudes e ligações clandestinas ou de falhas no sistema de cadastro da empresa e representam as perdas comerciais.

Dado o caráter de escassez e limitação dos recursos hídricos, principalmente nos grandes centros urbanos, parece conveniente refletir sobre diversas estratégias para redução da demanda

global de água. Além da redução de suas perdas (responsabilidade dos gestores dos sistemas de abastecimento), é fundamental agir sobre a demanda, empreendendo ações que busquem economia no volume de água que por mau uso, descontrole ou mau aproveitamento em geral é desperdiçado e, portanto, desnecessário nas necessidades de conforto da sociedade (responsabilidade de todos).

Embora o presente trabalho tenha enfoque no estudo das perdas reais de água ocorridas na infra-estrutura do sistema de abastecimento, é de extrema importância buscar a melhoria no aproveitamento da água em cada um dos usos a que ela se destina, remetendo assim ao uso racional da água nas edificações e sua política de implementação apresentada nos Documentos Técnicos de Apoio (DTA) das séries E e F (Conservação nos Sistemas Prediais de Água) do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água PNCD (1998), e na metodologia proposta por OLIVEIRA (1999).

### **3.2 Origem das fugas de água**

As perdas reais (físicas) de água em um sistema de abastecimento são provenientes de fugas que ocorrem nas diversas unidades operacionais da sua infra-estrutura (adutoras, estações de tratamento de água, pares e equipamentos instalados nas redes (*booster*, válvula etc), reservatórios e redes de distribuição). O *Water Research Centre* WRC (1985) caracteriza “fugas” como a parte da perda proveniente dos escoamentos ou vazamentos que ocorrem independente de ações previamente estabelecidas, não devendo ser confundida com desperdício. As fugas podem ocorrer em qualquer ponto do sistema de abastecimento, porém as encontramos basicamente nos reservatórios, devido à presença de vazamentos e extravasamentos; nas paredes das tubulações, conexões e acessórios das redes primárias e secundárias; nos ramais prediais e nas instalações domiciliares.

Para as fugas originadas nas redes de distribuição de água, a prática corrente as agrupa de maneira simplificada em dois grandes grupos: visíveis e não visíveis (ocultas), sendo visíveis



as que afloram à superfície e não-visíveis as que percolam pelo subsolo até encontrar o lençol freático ou algum canal subterrâneo ou galeria existente por onde escoarão. Além dos tipos acima citados e sobretudo devido à limitação hoje existente no método de detecção acústica das fugas é comum a classificação de um terceiro grupo de fugas: as inerentes (ou inevitáveis), que são aquelas com vazões muito pequenas, em tubulações muito profundas ou proveniente de redes executadas com material com baixa condutividade sonora, como os tubos plásticos.

As fugas visíveis geralmente possuem grandes vazões, provocam falhas no abastecimento e queda de pressão na rede. Estes vazamentos são na maioria das vezes informados à companhia de água pela população tão logo eles aflorem à superfície, sendo consertados conforme a agilidade e eficiência da companhia nos reparos.

Nas fugas não-visíveis não há o afloramento da água até a superfície, contribuindo para manter os vazamentos ocultos: o material do tubo, tipo de solo adjacente, existência de pavimento ou de redes de drenagem nas imediações.

Os solos arenosos ou com grande quantidade de pedregulho, induzem os fluxos de água a permanecerem subterrâneos, ao contrário dos solos argilosos que tem maior facilidade de conduzir a água até a superfície pelo fenômeno da capilaridade. A existência de pavimento no local e de redes de esgoto ou de drenagem de água pluvial nas proximidades também dificulta o afloramento da água proveniente das fugas. A primeira devido à dificuldade que o fluxo de água tem de romper a camada de asfalto e a segunda pelas redes estarem assentadas normalmente numa cota inferior à rede de distribuição de água, oferecendo um caminho natural para o fluxo proveniente dos vazamentos, que percolam até suas paredes e escoam pelo seu entorno ou até mesmo dentro do próprio tubo.

O mecanismo que desencadeia o surgimento de novas fugas nas redes é diverso de um sistema para outro. De maneira geral o aparecimento destas fugas está relacionado ao processo natural de envelhecimento da rede, à alteração das pressões de serviço, às características do solo, à qualidade das obras de implantação da rede (material ruim, mão de obra sem qualificação etc.), e às condições de operação (esquemas operacionais). A Figura 3.1 mostra um orifício responsável

por uma fuga de água em uma rede de cimento amianto de 100 mm de diâmetro e as Figuras 3.2 e 3.3 revela o desgaste na parede de um tubo de cimento amianto produzido por um vazamento no anel de vedação que se deteriorou com o tempo.



Figura 3.1: Orifício de vazamento – rachadura no tubo de cimento amianto  
Fonte: Secretaria Municipal de Água e Esgoto de Jaguariúna



Figuras 3.2 e 3.3: Desgaste na parede do tubo de cimento amianto devido à presença de fuga de água  
Fonte: S.M.S.B. de Jaguariúna

Outro fator indireto que interfere no aparecimento de novos pontos de vazamentos é a aplicação ou não de programas de manutenção preventiva nas tubulações (proteção catódica, campanhas de pesquisa e detecção), dispositivos de controle (controladores de pressão) e acessórios da rede (*boosters*).

### 3.3 Volume de água perdido por fuga

O volume de água perdido em uma fuga está diretamente relacionado com as características desta e sua duração (tempo até ser localizada e reparada), além de ser influenciada diretamente pela pressão de operação da rede.

SMITH (1994) apresenta a Tabela 3.1 onde estabelece a perda de água em função do tamanho do orifício a uma pressão de referência

Tabela 3.1: Perda de água por vazamento a uma pressão de 40 mH<sub>2</sub>O

<b>Tamanho do orifício</b>	<b>Perda diária (litros)</b>	<b>Perda mensal (31 dias) (m<sup>3</sup>)</b>
<b>1/16" (1,59 mm)</b>	1.362	42,22
<b>1/8" (3,18 mm)</b>	11.718	363,26
<b>3/16" (4,76 mm)</b>	31.884	988,40
<b>1/4" (6,35 mm)</b>	48.145	1.492,50

Fonte: SMITH (1994) Modificado

A Tabela 3.2 apresentada em HERPERTZ (2003) traça uma avaliação do volume de água perdido ao longo do tempo para diferentes orifícios e pressões nas redes.

Tabela 3.2: Volume de vazamento conforme pressão e diâmetro do orifício

diametro	Litro / Minuto	Litro / Hora	m3 / Dia	m3 / Mês	m3 / Ano
<b>6 , 0 bar</b>					
2 mm	5.00	300.00	7.00	216.00	2.592.00
4 mm	18.40	1.104.00	26.40	792.00	9.504.00
6 mm	40.00	2.400.00	57.60	1728.00	20.736.00
8 mm	70.20	4.212.00	100.80	3.024.00	36.288.00
<b>3 , 0 bar</b>					
2 mm	3.20	192.00	4.60	138.00	1.656.00
4 mm	12.00	720.00	17.20	516.00	6.192.00
6 mm	27.00	1.620.00	38.80	1.164.00	13.968.00
8 mm	48.00	2.880.00	69.12	2.073.00	24.876.00
<b>1 , 5 bar</b>					
2 mm	1.80	108.00	2.50	75.00	900.00
4 mm	7.00	420.00	10.00	300.00	3.600.00
6 mm	15.00	900.00	21.60	648.00	7.776.00
8 mm	27.00	1.620.00	38.00	1.164.00	13.968.00

Fonte: HERPERTZ (2003) Modificado

As tabelas 3.1 e 3.2 mostram o volume de água perdido de acordo com determinadas características do orifício (dimensões) e condições de operação do sistema (pressão), entretanto, especial atenção deve ser dada ao surgimento de novas fugas. A adoção de medidas preventivas de combate aos novos vazamentos pode reverter a tendência natural de crescimento do número de fugas e dos volumes de água perdidos ao longo do tempo, conforme demonstrado na Figura 3.4. Este gráfico, apresentado em HERPERTZ (2003) é resultado de estudos realizados após a substituição de grandes extensões de redes de distribuição de água existentes na Alemanha Oriental por novas redes plásticas (PVC), após a unificação do país ocorrida no início da década de 1990. Estas apresentam hoje a constante necessidade de reparos e manutenções.

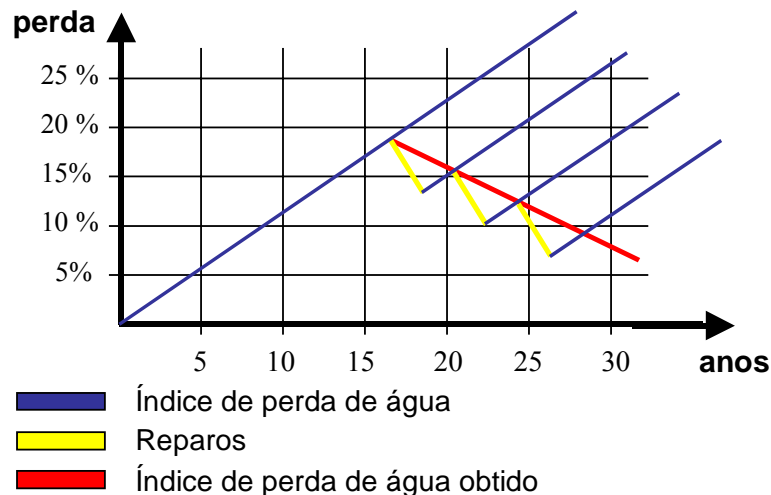


Figura 3.4: Ciclos de reparo em redes de água  
Fonte: HERPERTZ (2003)

Para a estimativa dos volumes de água perdidos é necessária a verificação do tempo médio de duração de um vazamento. LAMBERT (1998) define a duração de uma fuga visível ou não-visível como a soma de três componentes distintos: conhecimento, localização e reparo.

O conhecimento é o tempo médio desde o surgimento do vazamento até o instante em que a companhia de saneamento passa a saber da existência do problema, sem no entanto conhecer a sua localização. A localização é o tempo médio que a companhia de saneamento gasta para localizar o vazamento do mesmo e o reparo é o tempo médio gasto pela companhia de saneamento para consertar o vazamento, a partir do momento em que ele foi localizado.

LAMBERT (1998) adota como tempo médio para surgimento de uma fuga a metade do tempo entre duas coletas de dados, conforme o gráfico da Figura 3.5. Este tempo é influenciado diretamente pela existência de aparelhos de medição e pelo método de coleta de dados de campo empregado.

Estima-se que em sistemas com transmissão dos dados coletados por telemetria, o tempo de conhecimento da maioria das fugas seja menor que um dia. Em sistemas monitorados através de vazão mínima noturna, com coleta de dados a cada 28 dias, o tempo de conhecimento médio de novas fugas seja de 14 dias, mais o tempo de análise dos dados. Quando há inspeção de campo ou pesquisa acústica realizada regularmente, o tempo médio de conhecimento é a metade do intervalo entre as inspeções e o tempo de localização é zero, pois as fugas são localizadas no mesmo instante em que são conhecidas.

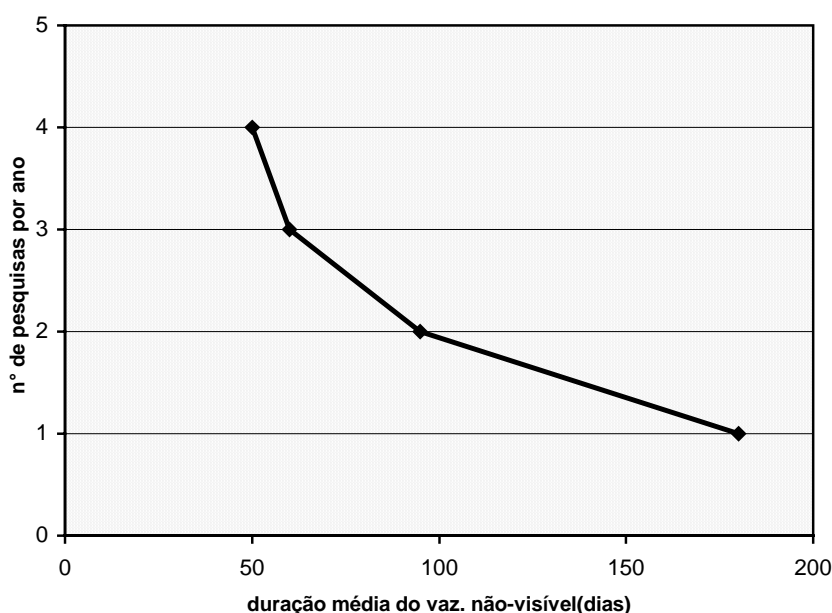


Figura 3.5: Relação entre a frequência de inspeção na rede e o tempo de duração do vazamento não visível  
Fonte: LAMBERT (1998)

A relação estabelecida entre a magnitude das fugas de um setor, seu tempo médio de duração (conhecimento + localização + reparo), além dos custos envolvidos são a base para o desenvolvimento de análises econômicas de viabilidade de implantação dos diferentes métodos de controle de perdas.

### **3.4 Influência da pressão nas fugas**

Boa parte dos problemas que ocorrem com frequência nos sistemas de abastecimento de água é consequência direta ou indireta do estado das pressões existentes na rede e de sua variação temporal. Entre os problemas decorrentes das baixas pressões destacam-se:

- impedir ou dificultar certos usuários de satisfazer adequadamente sua demanda;
- ocorrência de cavitação;
- entrada de ar e líquidos contaminados do entorno da rede;
- rompimento das tubulações

As pressões máximas devem estar limitadas de modo que se estabeleça uma faixa recomendável para cada ponto do sistema. Entre os principais problemas que ocorrem ou que podem ocorrer como consequência de pressões elevadas destacam-se:

- incremento das vazões perdidas através dos defeitos existentes nas redes;
- aumento da probabilidade de ocorrência de novos defeitos ou aumento da magnitude dos já existentes;
- incremento da probabilidade de ocorrência de rupturas nos tubos, acessórios e avarias de maneira geral em todos os demais componentes da infra-estrutura do sistema;
- aumento dos riscos de sobre-pressões causadas por bolsas de ar acumuladas no interior das tubulações.

Convém destacar ainda que a variação da pressão na rede de distribuição influencia diretamente as vazões de descarga dos vazamentos existentes nesta. Teoricamente, a vazão que atravessa um orifício de dimensões constantes é proporcional à raiz quadrada da pressão no orifício, de modo que altas pressões na rede significam grandes vazões de fuga. Contudo em tubos de material plástico (notadamente o PVC) o vazamento tem sua área expandida com o aumento da pressão, acarretando vazões muito maiores.

Avaliações realizadas por THORNTON (2002) indicam que neste caso o expoente da expressão que incidiria sobre a relação de pressões é da ordem de 1,5, conforme expressão 3.1.

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left( \frac{p_{i1}}{p_{i0}} \right)^{1,5} \quad (3.1)$$

onde:  $Q_0$  é a vazão inicial;  $Q_1$  é a vazão final;  $p_{i0}$  é a pressão inicial no interior da tubulação;  $p_{i1}$  é a pressão final no interior da tubulação

Para 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. A Figura 3.6 apresentada em CETRE (2003) mostra a relação entre incrementos de pressão e variação nas vazões de fuga.

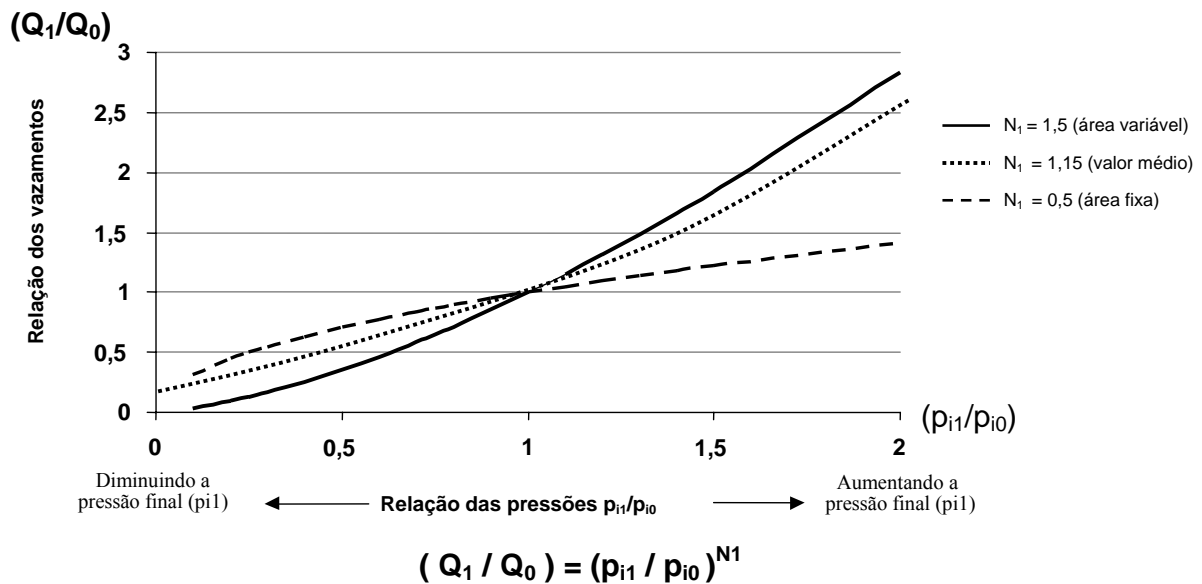


Figura 3.6: Relação entre pressão e vazão de descarga do vazamento  
 Fonte: CETRE (2003)



As altas pressões contribuem ainda para o aumento no consumo individual de água quando o consumo se dá em instalações ligadas diretamente na rede pública (sem passar por reservatórios domiciliares). Mesmo este aumento não sendo considerado desperdício, quando é faturado, há interesse na sua redução.

Tão grave quanto as altas pressões na rede é o aumento da probabilidade de ocorrência de mudanças bruscas de pressão que acarretam rupturas da tubulação. VELA (1994) observa que incrementos de pressão da ordem de 15 mH<sub>2</sub>O aumentam a probabilidade de ocorrência de fugas para 100% e que tubulações que operam com baixas pressões são mais sensíveis a esta variação de pressão.

Em sistemas com bombeamento direto (booster) recomenda-se evitar a formação de ondas de pressão quando houver alterações na vazão. Estas ondas, causadas pelo acionamento de bombas e abertura ou fechamento muito rápido de válvulas, aceleram o processo natural de deterioração da infra-estrutura, incrementando significativamente o surgimento de novos vazamentos. Nestes sistemas, a variação do fluxo de bombeamento deveria seguir, aproximadamente, a variação de consumo nas vinte e quatro horas do dia. Como isto não ocorre, a variação na demanda é compensada naturalmente com o incremento da vazão dos vazamentos.

A modelagem matemática aliada à simulação computacional do sistema pode contribuir no estudo de implantação de zonas de controle de pressão e instalação de válvulas reguladoras de pressão, na medida em que possibilitam um estudo global do mesmo, permitindo que sejam realizadas simulações de sua operação sob diferentes condições impostas, de maneira a verificar seu comportamento hidráulico completo e não apenas em uma suposta área de influência.

### **3.5 Avaliação dos volumes de água perdidos**

No gerenciamento de um sistema de abastecimento é fundamental o conhecimento dos volumes de água introduzidos no sistema (medidos através de macro medidores) e dos volumes consumidos (medidos através de micro medidores - hidrômetros), daí a importância da instalação dos medidores na entrada dos setores e hidrômetros em todas as ligações de modo que sejam medidos todos os volumes consumidos.

O volume total de água perdido é de difícil quantificação, sendo obtido indiretamente por diferença entre o volume introduzido no sistema e os volumes realmente utilizados. A diferença entre o volume de água fornecido ao sistema e a parcela referente ao consumo autorizado, num determinado tempo, constitui o chamado balanço hídrico do sistema.

VELA (1994) apresenta nas Figuras 3.7 e 3.8 sua concepção dos componentes de um balanço hídrico e a expressão 3.2 para determinação dos volumes pertinentes a cada parcela. O volume total e o volume registrado são obtidos a partir das medições realizadas.

$$V_{total} = V_{registrado} + V_{não\ registrado} \quad (3.2)$$

O período utilizado no levantamento do balanço hídrico é proporcional às ferramentas de medição e coleta de dados disponível. Tanto menor será o período quanto mais veloz for a aquisição e a transmissão dos dados para sua análise. Hoje a análise do balanço hídrico é realizada geralmente em um período mensal e anual.

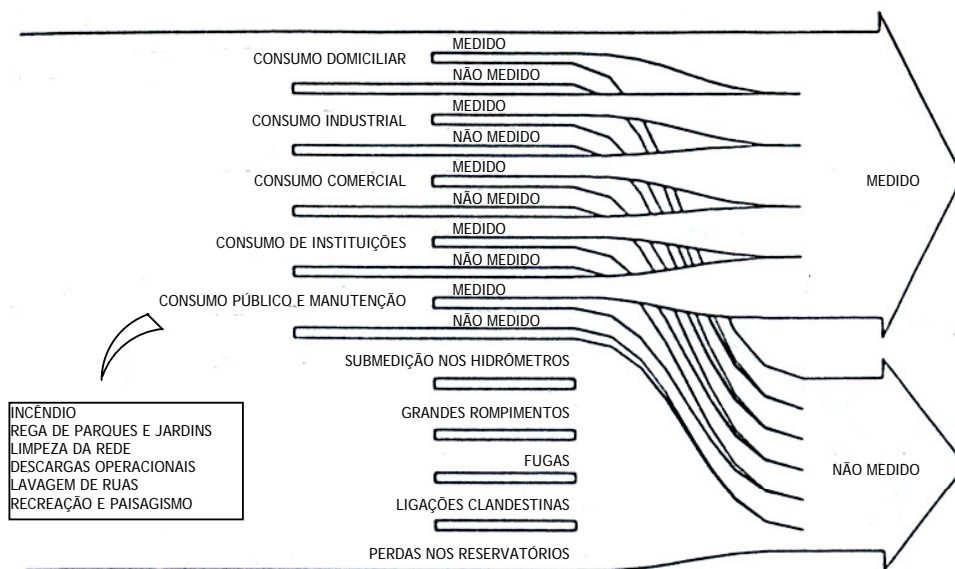


Figura 3.7: Classificação dos consumos em um sistema de abastecimento de água.  
Fonte: VELA (1994)

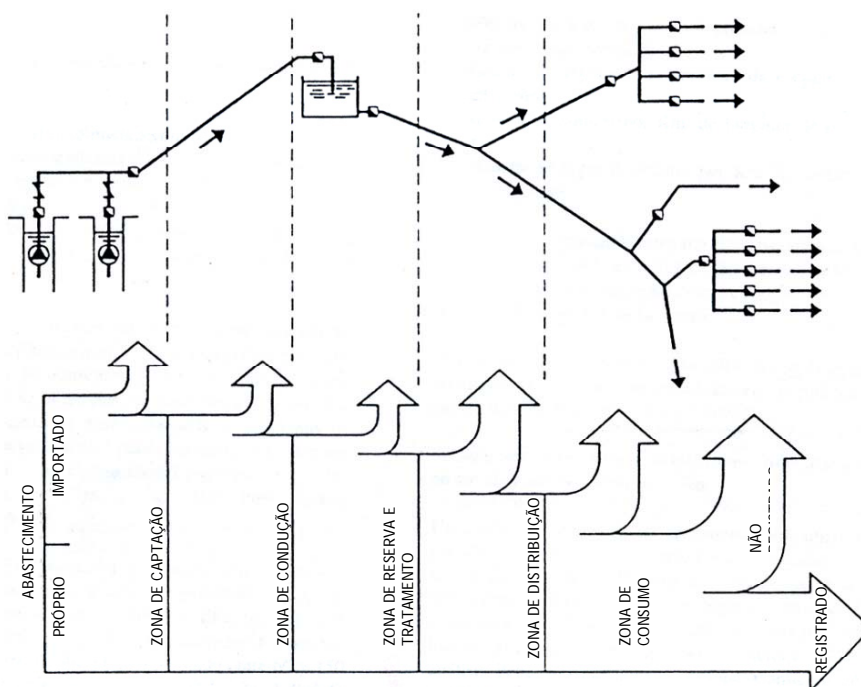


Figura 3.8: Distribuição espacial do consumo em um sistema de abastecimento de água.  
Fonte: VELA (1994)

Embora o conceito de balanço hídrico estivesse bastante difundido carecia, em nível mundial, de uma padronização das diversas parcelas que compõem seus consumos e suas perdas. Desta forma a International Water Supply Association – IWSA propôs em 1999 como prática mundial na elaboração de balanços hídricos a classificação dos componentes de consumo e perda de água em cada parte do sistema, conforme mostrado na figura 3.9 apresentado por HIRNER (2000). Assim, usos próprios (como instalações administrativas, etc.), operacionais (lavagem de redes e reservatórios, etc.) e especiais (suprimento social, combate a incêndio, etc.) não são considerados perdas e sim consumos autorizados não faturados.

Volume Fornecido ao Sistema	Consumo autorizado total (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo autorizado faturado	Água medida e faturada (incluindo água exportada)	Água faturada (m <sup>3</sup> /ano)
			Água não medida e faturada	
		Consumo autorizado não faturado	Água medida e não faturada	Água não faturada (perdas comerciais) (m <sup>3</sup> /ano)
			Água não medida e não faturada	
	Perdas de água totais (m <sup>3</sup> /ano)	Perdas aparentes	Erros de Medição / Erros de sistema de leitura	
			Usos ilícitos	
		Perdas reais	Fugas na adução e distribuição	
			Fugas e extravasamentos nos reservatórios	
			Fugas nos ramais (a montante do hidrômetro)	

Figura 3.9: Balanço Hídrico – componentes do consumo autorizado e das perdas de água.  
Fonte: HIRNER (2000)

O volume das perdas reais consiste na soma de todos os volumes de água que são fornecidos ao sistema porém não são efetivamente utilizados, como os provenientes de vazamentos ou extravasamentos em reservatórios, mau funcionamento dos controles do subsistema de distribuição, vazamentos nas redes de adução e distribuição e nos ramais das ligações prediais de água, descargas sanitárias e operacionais, manutenção das redes e desperdícios nos processos e usos operacionais.

Importante ressaltar que o conceito apresentado considera como perdas reais somente aquelas ocorridas até o ponto sob responsabilidade da companhia de saneamento (geralmente o hidrômetro), não sendo considerado como perda real no balanço hídrico o volume perdido a partir deste ponto e no interior da edificação – para estas perdas sugere-se a adoção de métodos de uso racional da água em edificações. A perda real tem relação direta com as características físicas e operacionais do sistema de abastecimento de água, cujo mau desempenho acarreta o aumento significativo do número de vazamentos e, portanto do volume de água perdido.

As perdas aparentes referem-se a toda água que, mesmo sendo consumida, não é faturada pela empresa. As perdas aparentes são decorrentes da soma das imprecisões associadas às medições e faturamentos do volume de água fornecido ao sistema ou consumido, e dos consumos não autorizados. Podemos citar como exemplo deste tipo de perda, os erros ou imprecisões na macro-medição e micro-medições (hidrômetros), ligações não autorizadas, fraudes ou furto de água e falhas no processo comercial (erros de leitura de hidrômetro e cadastros comerciais desatualizados).

Embora ligada ao desempenho do sistema de abastecimento quando analisada sob a perspectiva do funcionamento adequado dos medidores, a perda aparente implica principalmente em perdas financeiras para a companhia de saneamento e requer ações administrativas e comerciais que minimizem este custo, já que a água é consumida, porém não é faturada pela empresa. Estas ações administrativas estão relacionadas principalmente com a atualização do cadastro comercial da empresa.

Portanto, em sistemas onde existam hidrômetros operando adequadamente em todas as edificações, as ligações clandestinas tenham pouca importância e existam contínuos programas de combate a fraudes e às ligações clandestinas, as perdas medidas tendem a refletir as perdas reais de água.

Estudo realizado pela companhia de saneamento básico de São Paulo (SABESP) no ano de 1993 na região metropolitana de São Paulo e publicado no Documento Técnico de Apoio A-2

do PNCDA (1998) indicou que o total de perdas em seus sistemas divide-se eqüitativamente em perdas reais e aparentes, conforme Tabela 3.3, podendo, entretanto, esta distribuição variar bastante em função das condições específicas de cada local.

Tabela 3.3: Distribuição entre perdas reais (físicas) e perdas aparentes (não físicas) na Região Metropolitana de São Paulo em 1993.

Tipo de perda	Vazão do vazamento (m <sup>3</sup> /s)	Perdas ( % )		
		Físicas	Não Físicas	Totais
Vazamentos	8,9	47,6	-	47,6
Macromedicação	1,0	-	5,3	5,3
Micromedicação	3,8	-	20,3	20,3
Habitações sub-normais	1,8	3,4	6,3	9,7
Gestão comercial	3,2	-	17,1	17,1
TOTAL	18,7	51,0	49,0	100,0

Fonte: PNCDA (1998) – DTA-A2

### 3.6 Indicadores de perdas de água

Os indicadores de perdas são ferramentas que auxiliam na gestão dos sistemas de abastecimento na medida em que definem seu desempenho em relação ao problema das perdas. A forma mais abrangente de estabelecer o estado deste abastecimento em relação a outros ou entre setores de um mesmo sistema é determinar o seu rendimento volumétrico ou Índice Geral de Perdas (IP) como é comumente denominado.

O indicador geral de perdas, expresso em porcentagem, é basicamente um indicador financeiro expressando apenas o grau de eficiência financeira da companhia de água. Usualmente empregado pelas companhias de água devido à relativa facilidade na obtenção de suas variáveis, o índice geral de perdas é obtido a partir da relação entre o volume de água fornecido ao sistema, ou seja, tratado e disponibilizado para consumo e o volume de água faturado pela empresa de

acordo com os volumes de consumo registrados nos hidrômetros, conforme expresso na equação 3.3.

$$IP = \frac{Volume\ Faturado}{Volume\ Total} \times 100 \quad (\%) \quad (3.3)$$

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS (2002) calcula, dentre diversos indicadores, o indicador de perdas na distribuição, tanto em valores percentuais como em volume associado à extensão de rede e à quantidade de ligações. Estes indicadores utilizam no cálculo a relação entre o volume consumido e o disponibilizado para distribuição, sendo portanto, os mais adequados à análise de desempenho das companhias, embora sejam uma composição das perdas reais (fugas) e aparentes. A Figura 3.10 apresenta as perdas em valores percentuais e em volume associado à quantidade de ligações das principais companhias de saneamento do país.

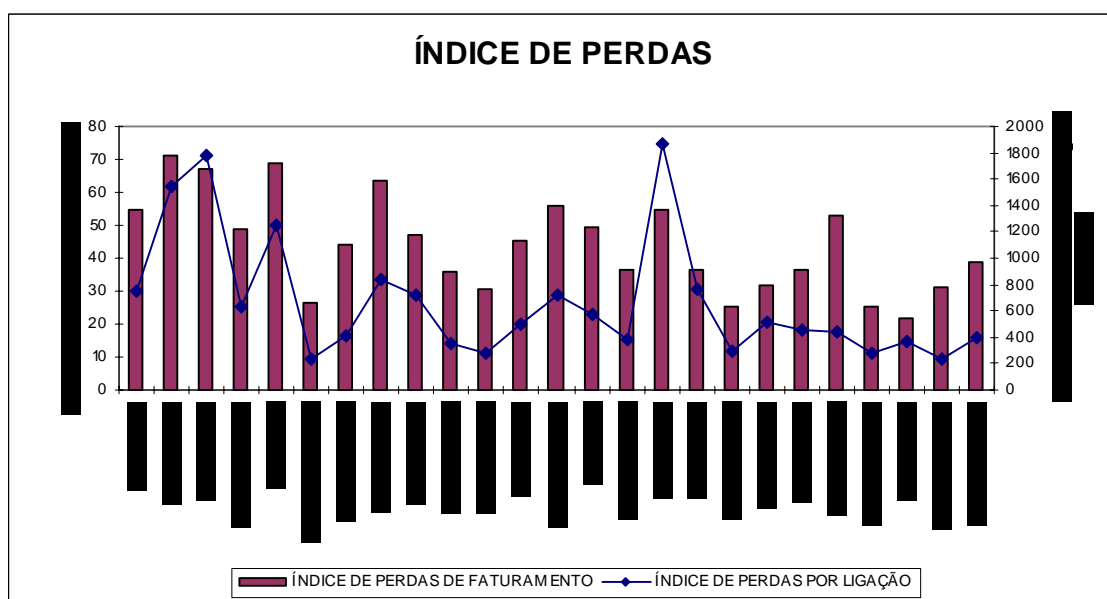


Figura 3.10: Indicadores de Perdas das principais companhias de saneamento nacionais.  
Fonte: SNIS (2002)

Embora este indicador expresso em porcentagem seja eminentemente de ordem financeira e não deva ser tomado como único parâmetro de avaliação de desempenho, ele pode ser utilizado como indicativo do momento em que se deve implementar programas de redução de perdas e controle ativo dos vazamentos (pesquisa e detecção de fugas).

Bastante interessante é a análise dos indicadores ao longo do tempo, conforme ilustra a Figura 3.11, de maneira a identificar a variação temporal dos índices de perdas, advertindo para necessidade contínua de comprometimento com os esforços de combate às perdas de água, especialmente quando se verifica uma tendência crescente em tais índices.

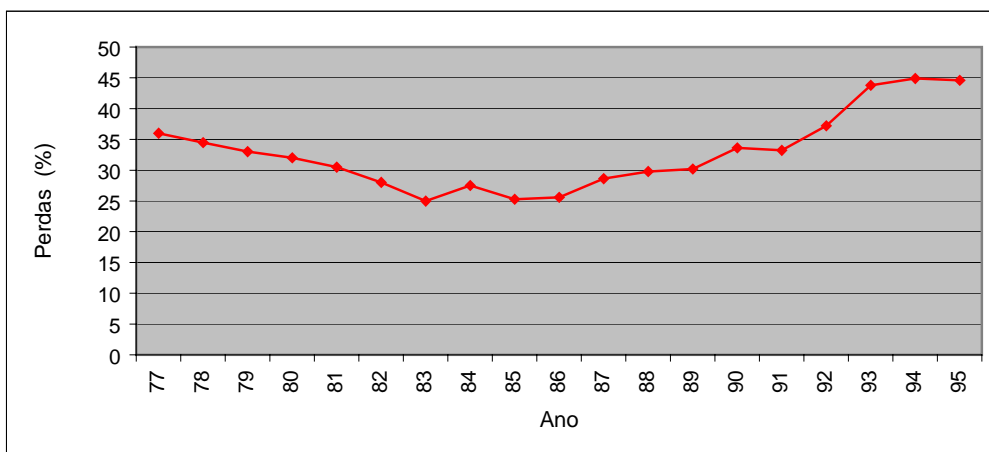


Figura 3.11: Variação das Perdas na Região Metropolitana de São Paulo entre 1977 e 1996  
Fonte: PNCDA (1998) – DTA-A2

Embora o indicador de perdas expresso em porcentagem seja o mais utilizado nas companhias de água e, portanto, os mais verificados na literatura, seus valores não distinguem as características locais diversas entre os diferentes sistemas de abastecimento, como o consumo *per capita* e a pressão de operação, além de carecerem de um método padronizado para o seu cálculo.

Estudos realizados por comitês técnicos de diversos países sugerem substituir o indicador geral de perdas em porcentagem por indicadores de desempenho que possam padronizar a comparação entre diferentes sistemas. HERPERTZ (2003) apresenta o indicador proposto pelo



Comitê de Água Alemão DVGW na norma W 391 *Water loss analysis in water networks*. De acordo com a última revisão da norma o índice de fugas deve ser calculado conforme a expressão 3.4.

$$q_{vl} = \frac{Q_{vl}}{8760 * L_{rl}} \quad (3.4)$$

onde  $q_{vl}$  é o indicador de perda dado em  $\text{m}^3/\text{hxkm}$ ;  $Q_{vl}$  é o volume de perdas em  $\text{m}^3/\text{ano}$  e  $L_{rl}$  é a extensão de rede em km (não considerando as extensões de ligações domiciliares).

A classificação das perdas é dada conforme a norma W 392 *Monitoring of water networks and water losses* remetendo a três níveis de perda de água – alto, médio e baixo – para sistemas com diferentes magnitudes (consumo anual), conforme mostrado na Figura 3.12.

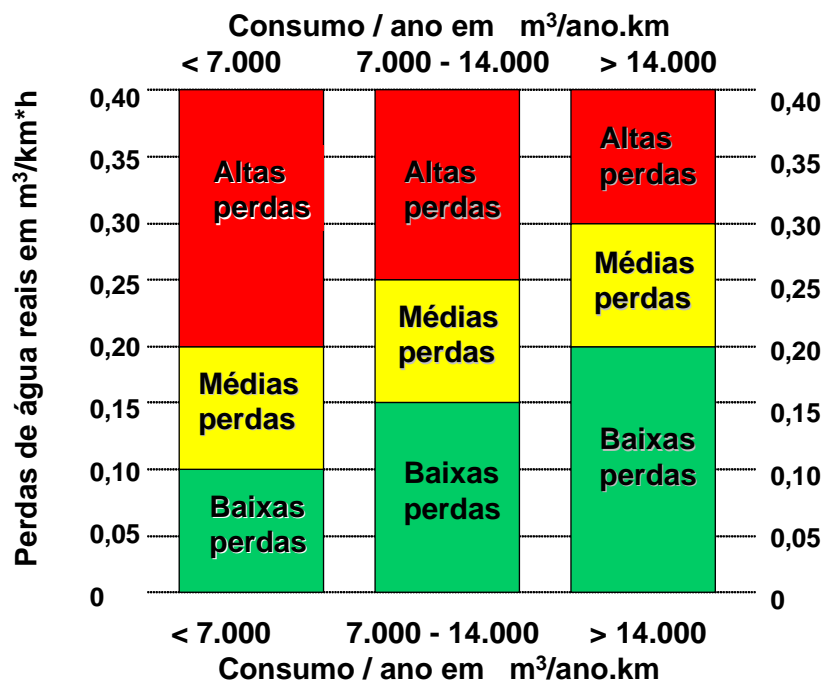


Figura 3.12: Classificação das perdas conforme a W 392  
Fonte: HERPERTZ (2003)

Recentemente o Grupo de Trabalho criado pela *International Water Association* IWA propôs uma série de novos indicadores de desempenho que pretendem traduzir com maior clareza a realidade dos sistemas de abastecimento sob diversos aspectos: qualidade da infra-estrutura, recursos hídricos, operacionais, qualidade dos serviços, financeiros e de recursos humanos e em diferentes níveis de aplicação: básico, intermediário e detalhado. LAMBERT *et al* (2000)

Dentre os indicadores tradicionais, dois tipos foram recomendados para inferir o desempenho técnico do sistema os que exprimem as perdas por unidade de comprimento de rede (l/km/dia) ou por número de ligações domiciliares (l/ramal/dia). A experiência internacional demonstra que, devido às perdas ocorrerem geralmente nas ligações domiciliares (em São Paulo elas chegam a 90% do total), o indicador de perdas deve ser expresso em termos do número de ligações domiciliares para os centros urbanos, onde a densidade de ramais é alta. O indicador de perdas reais anuais atuais (PRAA) será dado pela expressão 3.5.

$$\text{PRAA (l/ramal/dia)} = \frac{\text{Volume anual de perdas reais (m}^3\text{/ano)} \times 1000}{\% \text{ ano sistema pressurizado} \times \text{n}^\circ \text{ de ramais} \times 365} \quad (3.5)$$

Nos casos em que o indicador expresso pelo número de ligações domiciliares não for adequado, como nos sistemas exclusivamente de adução e armazenamento ou em caso de baixa densidade de ramais, é recomendada a utilização do indicador expresso pela extensão de rede conforme expressão 3.6.

$$\text{PRAA (l/km/dia)} = \frac{\text{Volume anual de perdas reais (m}^3\text{/ano)} \times 1000}{\% \text{ ano sistema pressurizado} \times \text{extensão da rede (km)} \times 365} \quad (3.6)$$

Como é praticamente impossível reduzir a zero o número de fugas na rede de distribuição, seja por limitações tecnológicas dos equipamentos de detecção ou devido a razões econômicas (custo de localização e reparo das fugas maior que o valor recuperado com tal detecção), torna-se admissível um nível mínimo aceitável de fugas, chamado de vazamentos inerentes.

O nível mínimo de perdas varia entre diferentes sistemas ou mesmo setores de um mesmo sistema por estar diretamente relacionado com as características construtivas e operacionais da rede como densidade de ligações, comprimento e materiais dos tubos, pressão de operação etc. THORNTON (2002) denomina este nível mínimo de perdas aceitáveis como perda inevitável ou Perdas Reais Anuais Inevitáveis (PRAI) e estabelece a equação 3.7 para sua determinação.

$$PRAI = (18 * Lri + 0,8 * Nc + 25 * Lp) * P \quad (3.7)$$

onde:  $PRAI$  é a perda inevitável, em  $m^3/dia$ ;  $Lri$  é a extensão da rede, em km;  $Nc$  é o número de ramais;  $Lp$  é a extensão total do ramal domiciliar enterrado entre a testada da propriedade e o hidrômetro, em km; e  $P$  é a pressão média do sistema, em  $mH_2O$ .

A Figura 3.13 demonstra aspectos importantes da relação entre as perdas inevitáveis (PRAI) com uma de suas principais componentes: o número de ramais por km de rede.

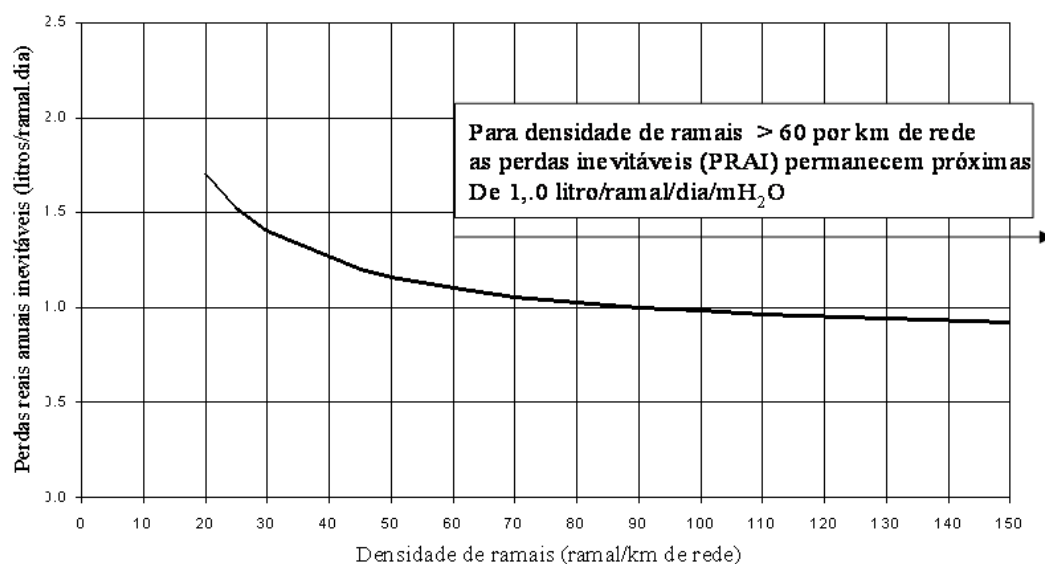


Figura 3.13: Variação da perda inevitável com a densidade dos ramais  
Fonte: LAMBERT *et al* (2000)

Analisando o gráfico da Figura 3.13 e considerando as características das redes de distribuição de água da maioria dos centros urbanos brasileiros, que geralmente apresentam uma densidade superior a 60 ramais por km de rede e os hidrômetros instalados junto à testada da propriedade, é possível simplificar o cálculo das perdas inevitáveis para 1,0 litro/ramal/dia/mH<sub>2</sub>O.

Conforme relatado, parte das perdas reais anuais é composta pelas perdas inevitáveis do sistema, ou seja, aquelas consideradas difíceis de serem detectadas ou economicamente aceitáveis em um sistema. Desta forma torna-se de fundamental importância comparar o volume de perdas reais de água (PRAA) do sistema com uma estimativa das perdas inevitáveis (PRAI).

Para tanto, foi criado um indicador adimensional denominado Índice Infra-Estrutural de Perdas (IIE), calculado conforme a expressão 3.8, que permite avaliar o desempenho geral da gestão da infra-estrutura, independente da atual pressão operacional e da continuidade de abastecimento. Sabe-se que em igualdade de circunstâncias, um sistema obrigado a operar com pressões de serviço mais elevadas tenderá também a ter um volume de perdas reais (PRAA) mais elevado, sem que tal situação se traduza em menor eficácia no controle de perdas. Ao ser dividido pelas perdas inevitáveis (PRAI) este efeito atenua-se podendo se considerar que a avaliação dos níveis de perda é menos dependente das pressões de serviço.

$$IIE = \frac{PRAA}{PRAI} \quad (3.8)$$

O Índice Infra-Estrutural de Perdas (IIE) é portanto um indicador de desempenho adimensional de gestão da infra-estrutura do sistema de abastecimento para o controle de perdas, permitindo que este desempenho geral seja avaliado independentemente da influência da pressão operacional do sistema. Quanto mais o IIE ultrapassar o valor adimensional 1, maiores serão as necessidades de gestão das perdas reais.

A principal qualidade deste indicador é fornecer uma base aperfeiçoada para comparações técnicas entre diferentes sistemas, separando aspectos do desempenho da gestão da infra-estrutura

(seleção, instalação, manutenção, renovação, substituição da tubulação, rapidez e qualidade dos reparos e eficácia do programa de controle e detecção de vazamentos) dos aspectos de controle de pressão.

A Figura 3.14 e 3.15 mostram os valores de perdas reais (PRAA) em l/ramal/dia e do índice infra-estrutural de perdas (IIE) respectivamente, em 27 diferentes sistemas de distribuição de água de 20 países – Austrália, Brasil, Dinamarca, França, Finlândia, Alemanha, Gibraltar, Grécia, Islândia, Japão, Malta, Holanda, Nova Zelândia, Singapura, Espanha, Suíça, Suécia, Reino Unido, EUA e Cisjordânia (Palestina), levantados para estudo realizado pelo Grupo de Estudos da IWA.

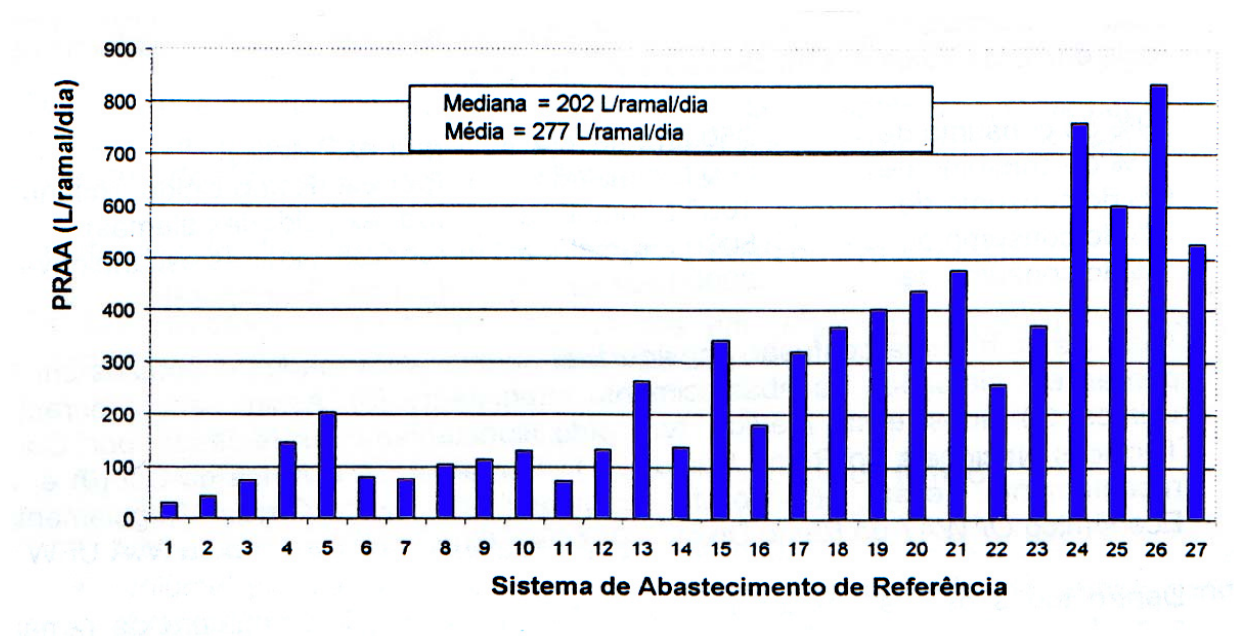


Figura 3.14: Perdas reais anuais atuais (PRAA) em l/ramal/dia.  
Fonte: LAMBERT *et al* (2000)

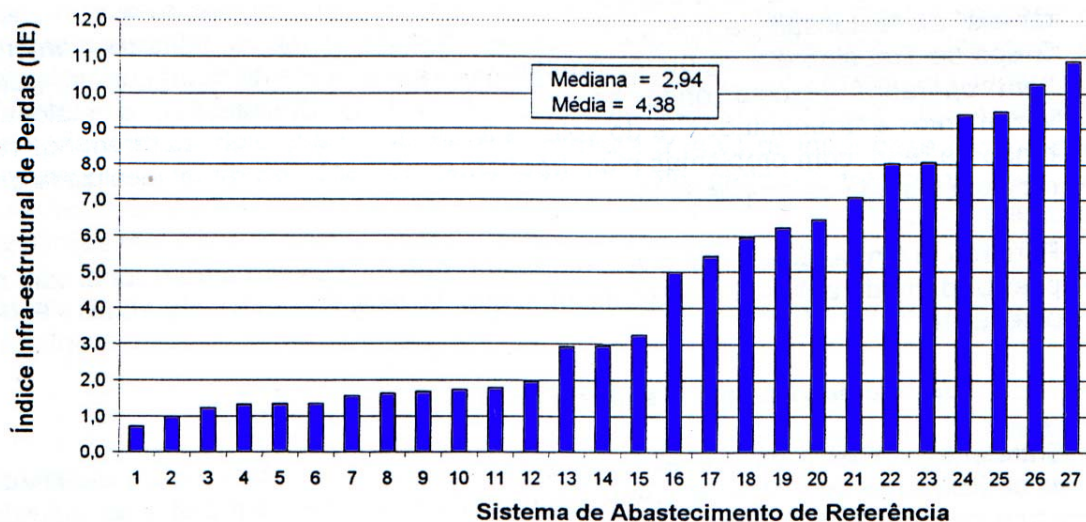


Figura 3.15: Índice infra estrutural de perdas (IIE)  
Fonte: LAMBERT *et al* (2000)

Em estudo realizado pela companhia de saneamento da cidade de São Paulo SABESP e apresentado por LAMBERT e THORNTON (2002) foram determinados os seguintes índices para as redes de distribuição da Região Metropolitana de São Paulo:

- Pressão média adotada: 45 mH<sub>2</sub>O
- Número de ligações domiciliares: 3.000.000
- Extensão da rede de distribuição: 24.500 km
- Lp = 0 (hidrômetro junto à testada da propriedade)
- Perdas Reais Anuais Atuais (PRAA): 274 l/ramal/dia
- Perdas Reais Anuais Inevitáveis (PRAI):  $(18 \times 24.500 + 0,8 \times 3.000.000) \times 45 / 1000$   
= 127. 845 m<sup>3</sup>/dia = 42,62 l/ramal/dia
- Índice Infra-Estrutural (IIE):  $PRAA / PRAI = 274 / 42,62 = 6,4$

Um sistema é considerado adequado em termos de perdas quando o IIE se aproxima do valor 1,0.

### **3.7 Aspectos econômicos da recuperação das perdas de água**

Quando se depara com um sistema de abastecimento que, de um lado não consegue suprir a demanda e de outro perde parte de sua produção em vazamentos, fica estabelecida uma situação de conflito em que deverão pesar os custos de detecção e reparo dos vazamentos existentes e os de projeto e execução de novas obras, além de questões operacionais e estratégicas e de disponibilidade hídrica que possam ser importantes.

O nível econômico de perdas em um sistema de abastecimento pode ser obtido pelo levantamento e análise dos custos do volume de água perdido e dos custos oriundos dos programas de controle e detecção dos vazamentos. Idealmente o ponto ótimo de perdas é onde o custo da água é igual ao custo do controle ativo das perdas.

De maneira simplista, um programa de redução de perdas deve ser empreendido quando os custos de detecção e reparo das causas destas perdas forem inferiores aos custos de produção e transporte desta água não faturada para um dado período, muito embora este enfoque traduza de forma objetiva o aspecto econômico da recuperação das perdas.

A análise econômica da recuperação das perdas de água em sistemas de abastecimento é, ainda hoje, bastante limitada, não considerando aspectos importantes decorrentes das perdas como o aspecto ambiental, o fato de estar deixando de atender a uma quantidade de usuários ou estar comprometendo, de alguma forma, a qualidade do serviço prestado.

LUVIZOTTO (1998) analisa o problema e observa que nos custos operacionais do sistema devem ser acrescidas as despesas “extras” referentes aos custos adicionais de energia elétrica, produtos químicos, mão-de-obra etc., além dos gastos no tratamento e transporte desta água que não chega ao consumidor.

LAMBERT *et al* (2000) propõe uma abordagem simplificada de avaliação econômica relacionando o custo por ano com o nível de perda. Conforme se observa na Figura 3.16 à medida

que os programas de controle de perdas se tornam mais complexos e detalhados, portanto mais precisos, tendem a atingir o nível mínimo de perda no sistema (limite das perdas inevitáveis) tendo no entanto seus custos aumentados conforme a curva ABC (Custo do Programa de Controle e Detecção de Vazamentos). A curva A'B'C' (Curva de Custos Totais) é a soma do custo da água perdida mais o custo do programa de controle e detecção de vazamentos. O ponto mínimo desta curva – ponto B' – estabelece o nível econômico de perdas que pode ser traduzido como o ponto onde o custo da água perdida é igual ao custo do controle desta perda.

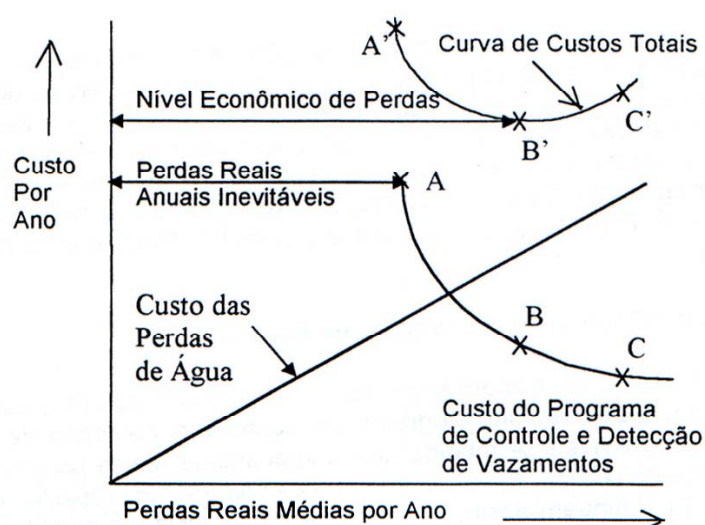


Figura 3.16: Relação entre perdas reais anuais inevitáveis (PRAI) e o nível econômico das perdas reais  
Fonte: LAMBERT *et al* (2000)

Mesmo a elaboração desta abordagem simplificada torna-se difícil à medida que o levantamento dos custos anuais dos programas de controle de perdas (curva ABC) e dos custos anuais totais (curva A'B'C') é bastante complexa, exigindo o levantamento de dados de custo de controle de perdas anuais em função do nível de perdas do sistema.

Além da dificuldade natural do levantamento destes custos a estimativa das perdas inevitáveis ainda é imprecisa, uma vez que o real e imediato consumo na rede é desconhecido, já que as leituras de consumo são realizadas mensalmente, não havendo portanto uma forma de



comparar, em pequenos intervalos de tempo, a diferença entre o volume de água entregue no setor e o volume realmente consumido.

Considerando que a infra-estrutura do sistema esteja em boas condições, que todos os vazamentos e arrebentados detectáveis da rede são identificados e consertados de maneira rápida e eficaz e que o ponto A da curva ABC representa um programa intensivo de controle de fugas, pode-se considerar que as perdas reais no ponto A correspondem às perdas inevitáveis do sistema, estando os níveis reais ou econômicos das perdas situados no ponto A ou à sua direita. Não é necessariamente econômico atingir estas perdas inevitáveis.

Outro problema verificado na construção do gráfico econômico da Figura 3.16 refere-se à curva de Custo da Perda de Água, representada de forma linear não levando em consideração eventuais custos extras com ampliação das instalações e o fato sugerido em IGLESIAS *et al* (1997) *apud* LUVIZOTTO (1998) de que “o objetivo dos programas de redução de fugas não é eliminar as fugas por completo, senão localizar aqueles pontos onde a fuga apresenta um volume de água perdida maior”. Estes autores fixam como valores orientativos que 20% das fugas de uma rede de distribuição representam 80% do volume de água perdido.

Diante do exposto fica claro que os sistemas terão de conviver com uma quantidade de perda aceitável, proveniente de pequenas fugas difíceis de serem detectadas com as técnicas e aparelhos hoje disponíveis. O volume de fugas aceitável está diretamente ligado ao custo dos serviços envolvidos na recuperação destas perdas em relação ao preço de fornecimento da água ao consumidor.

À medida que esta relação se aproxima de 1 (custo da água perdida igual ao custo de recuperação das fugas) as empresas naturalmente começam a reduzir o interesse em efetuar investimentos nesta área, exceto se possuírem metas de redução e desempenho pré-estabelecidas. LAMBERT *et al* (2000) relata diferentes valores de perdas consideradas “admissíveis” em sistemas de abastecimento de água em diversos países:

- EUA: 2,4 a 7,1 m<sup>3</sup>/km/dia (44,4 a 131,5 litros/ramal/dia, considerando a estimativa média de 54 ramais/km);

- Alemanha: 1,0 a 5,0 m<sup>3</sup>/km/dia (22,2 a 111,1 litros/ramal/dia, dependendo do tipo de solo e considerando 45 ramais/km);
- França: 1,5 a 7,0 m<sup>3</sup>/km/dia em áreas rurais ou urbanas.

No Brasil não há histórico de levantamento de valores mínimos de perda admissível, entretanto a companhia de água de São Paulo SABESP, realizou estimativa de perdas inevitáveis para a Região Metropolitana de São Paulo, apontado em LAMBERT e THORNTON (2002), encontrando o valor de 274,0 litros/ramal/dia. Levantamento de campo mais recente realizado pela unidade de Negócios Leste da Sabesp no setor Jd. Popular no ano de 2004 mostra que as perdas inerentes admissíveis podem se situar em um patamar abaixo da estimativa inicial. A investigação compreendeu o levantamento das perdas antes e após a realização de campanha de controle de vazamentos envolvendo pesquisa, localização, reparo das fugas existentes e dos medidores do setor (macro-medidores e hidrômetros). O valor alcançado pelo programa foi de 218 litros/ramal/dia, portanto abaixo do estimado inicialmente como perdas inevitáveis, porém acima das metas internacionais apontadas acima.

### **3.8 Aspectos sanitários e ecológicos das perdas de água**

Um vazamento é um ponto de descarga na rede que produz uma diminuição nos níveis de pressão do sistema gerando uma série de consequências indesejáveis no atendimento das demandas e na qualidade do serviço prestado, comprometendo ainda a potabilidade da água entregue aos consumidores.

A água que escapa dos vazamentos pode também causar corrosão nas paredes da tubulação e erosão no solo de assentamento. As corrosões podem comprometer a estrutura da tubulação facilitando a ampliação do nível das fugas e rupturas. As erosões podem produzir solapamentos que venham a comprometer as vias públicas e até mesmo as edificações próximas.

Um importante aspecto das perdas de água está relacionado com a preservação dos recursos naturais, em especial dos recursos hídricos. Sem dúvida, o volume adicional retirado dos mananciais que acaba suprimindo a presença das fugas no sistema constitui um desrespeito às regras de utilização do meio ambiente. Os volumes adicionais retirados dos mananciais podem comprometer seu manejo sustentável dificultando sua capacidade de autodepuração, transporte de sedimentos, etc.

## **4. MEDIDAS GERENCIAIS PARA CONTROLE DAS PERDAS DE ÁGUA**

Este capítulo tem por objetivo discorrer sobre as medidas gerenciais para controle de perdas, em especial aquelas destinadas ao controle ativo dos vazamentos. Historicamente vêm sendo empregadas, quase que exclusivamente na localização das fugas, as técnicas acústicas de detecção. O presente trabalho vem, entretanto, analisar o uso destas ferramentas e apresentar a modelagem computacional como uma nova ferramenta, suplementar às técnicas hoje empregadas, principalmente devido à sua agilidade de resposta. Esta ferramenta é destinada principalmente aos gestores diretos do sistema e em especial aos responsáveis diretos pelos programas de redução de perdas, auxiliando-os a identificar com maior precisão e rapidez as áreas onde estão ocorrendo as fugas no sistema, direcionando e melhor selecionando as intervenções ou manobras de operação para estancar estes vazamentos. Será demonstrado ainda como esta nova ferramenta pode ser integrada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de forma a possibilitar um sistema de gestão mais amplo e dinâmico.

### **4.1 Ações gerais para redução das perdas de água**

De maneira geral cabe à alta gerência decidir quais estratégias de combate às perdas devem ser empreendidas após realizar o diagnóstico inicial do sistema por levantamento dos indicadores de perdas ou a partir de inferência das vazões mínimas noturnas, realizando uma análise econômica de cada medida alternativa. LAMBERT (1998) sugere quatro alternativas de intervenção no sistema com o objetivo de minimizar as perdas de água reais:

- controle da pressão de operação;
- controle ativo dos vazamentos;
- rapidez e qualidade dos reparos dos vazamentos
- intervenção na infra-estrutura.

A Figura 4.1 ilustra a importância destas medidas e sua interdependência. A adoção de uma delas frequentemente afeta as demais requerendo uma nova análise do sistema sob influência das novas condições impostas. A intensidade atribuída a cada uma das quatro componentes pode variar para cada sistema de abastecimento em particular, e em um mesmo sistema em mesmo em diferentes épocas.

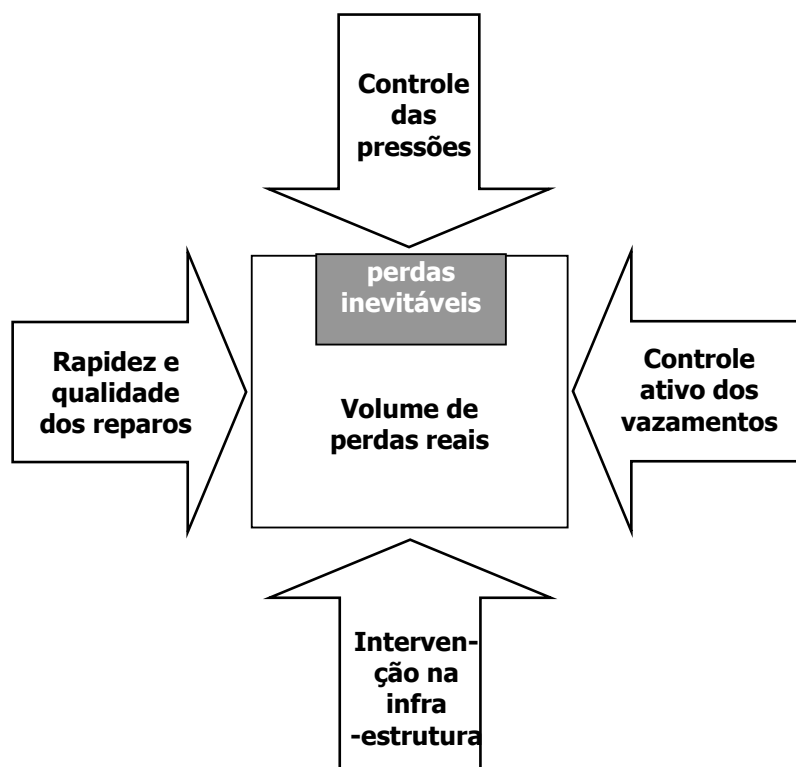


Figura 4.1: Medidas de intervenção para controle de perdas reais  
Fonte: LAMBERT (1998)

O controle das pressões da rede é, na maioria dos casos, a redução da pressão de operação no período noturno em determinados pontos do sistema onde estas pressões atingem picos muito altos, geralmente devido à configuração geográfica do local. Dentre as medidas citadas, o controle das pressões da rede é a que produz respostas mais rápidas no volume geral de perdas, pois sabe-se que o volume de água produzido por uma fuga está diretamente relacionado com a pressão de operação da rede.

Entretanto, a simples redução da pressão não significa necessariamente o sucesso na redução do volume das perdas em longo prazo. O volume de água perdida será reduzido, porém, não havendo campanhas de localização e reparo das fugas, a tendência ao longo do tempo é o aumento deste volume devido ao aumento natural da área de descarga (orifícios) destas fugas e o surgimento de novas.

A medida de rapidez e qualidade na execução dos reparos está diretamente relacionada com as campanhas de pesquisa e localização das fugas. O tempo de reparo de uma fuga é o período que transcorre desde seu conhecimento até seu reparo (conhecimento + localização + reparo). Quanto mais ágeis forem as equipes de reparo, menor será o tempo entre a localização e conserto da fuga, reduzindo o volume de água perdido. Da mesma forma, a qualidade na execução destes reparos evita o reaparecimento de novas fugas no mesmo local, fato bastante comum de ocorrer já que nem sempre é possível encontrar peças de reposição com as mesmas características das redes existentes, como é o caso de redes de cimento amianto que, necessariamente, são reparadas com outro tipo de material, por terem sua fabricação suspensa.

A associação de problemas de pressão de operação alta e redes com grande ocorrência de reparos conduzem a uma situação extrema onde os problemas de rompimento nas redes se tornam frequentes e o conserto de uma fuga acaba por elevar ainda mais a pressão na rede e conseqüentemente induzir a um novo rompimento. Neste caso, faz-se necessária uma intervenção na infra-estrutura do sistema, que é a troca da rede de água do setor ou dos trechos mais críticos. Hoje já é possível substituir estas redes com técnicas não destrutivas que minimizam o impacto nas áreas urbanas, reduzindo os transtornos à população causados por este tipo de obra. Esta medida é uma solução dispendiosa e portanto recomendada para casos extremos. Convém

ressaltar que, ao longo do tempo, estas redes também apresentarão um desgaste natural e por consequência, poderão apresentar vazamentos.

Por fim, a medida com maior impacto na redução geral do volume de água perdido é o controle ativo dos vazamentos. Este controle é a implementação de uma política que, de tempos em tempos, realiza uma pesquisa nas redes de distribuição do sistema com o objetivo de localizar e reparar as fugas que permanecem ocultas. Embora existam diversos métodos de detecção de fugas, conforme mostra a Figura 4.2 apresentada por LUVIZOTTO (1998), o principal e mais tradicional método utilizado é a inspeção periódica com equipamentos acústicos de toda a extensão de tubulações e conexões da rede

<b>Característica de referência</b>	<b>Técnica baseada no uso de:</b>
SOM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de escuta simples</li> <li>• Correlação acústica</li> <li>• Detecção de vibrações</li> </ul>
TEMPERATURA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infravermelho (espectroscopia)</li> <li>• Prova térmica</li> </ul>
COR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensaios de coloração</li> <li>• Prova de fibra óptica</li> </ul>
UMIDADE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle de umidades locais</li> </ul>
RADIOATIVIDADE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traçadores</li> <li>• Micro esferas radioativas</li> </ul>
CONDUTIVIDADE / RESISTÊNCIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prova de mudança de condutividade</li> <li>• Prova de resistência elétrica de terra</li> <li>• Radar sub-superficial</li> </ul>
PROPRIEDADES QUÍMICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle de qualidade da água</li> </ul>

Figura 4.2: Técnicas que podem ser empregadas para detecção de fugas  
Fonte: LUVIZOTTO (1998)

## 4.2 Controle ativo de vazamentos

O controle ativo dos vazamentos está associado à realização de campanhas de inspeção das redes, chamadas de “varredura”, por literalmente varrer a totalidade das redes com equipamentos de detecção acústica. Trazida ao Brasil na década de 1970, esta metodologia de pesquisa de fugas vem sendo empregada até os nossos dias praticamente da mesma forma, muito embora os fabricantes tenham modernizado os aparelhos de detecção e criado novos equipamentos. Estas campanhas sofrem com os vícios adquiridos, ou seja, mesmo com a evolução dos equipamentos, elas são planejadas e praticadas da mesma forma, carecendo de estudos, métodos de trabalho e mesmo ferramentas que as tornem mais ágeis e menos dispendiosas.

A metodologia empregada hoje no Brasil para captura do ruído do vazamento é a realização de uma pesquisa de campo investigando toda a extensão da rede de água do setor, inicialmente em seus pontos de contato (basicamente os cavaletes de entrada), utilizando as hastes de escuta e em seguida na superfície sobre a qual se encontra instalada a tubulação de água empregando aparelhos de geofonamento. Somente nos trechos muito longos ou com poucos pontos de contato é empregado o aparelho de correlação (*leak noise correlator*). Este aparelho é composto de dois sensores que captam o ruído de uma fuga transmitem o sinal por rádio-frequência para um processador que localiza o ponto de vazamento pelo tempo de transmissão do sinal.

Quando há alguma tentativa de direcionamento destas campanhas de varredura, a seleção das áreas críticas ou prioritárias ainda é realizada de modo empírico através de análise de dados históricos dos últimos anos dos vazamentos consertados e posteriormente cadastrados em algum *software* de mapeamento, conforme Figura 4.5, o que não esclarece muito, dado o grande número de fugas geralmente cadastrado. Outro critério, ainda mais empírico, tenta revelar áreas suspeitas através de condições desfavoráveis às quais a infra-estrutura possa estar submetida, tais como: locais de pressão elevada, locais de solo com má qualidade, redes antigas, redes executadas com materiais inadequados ou de baixa qualidade etc.



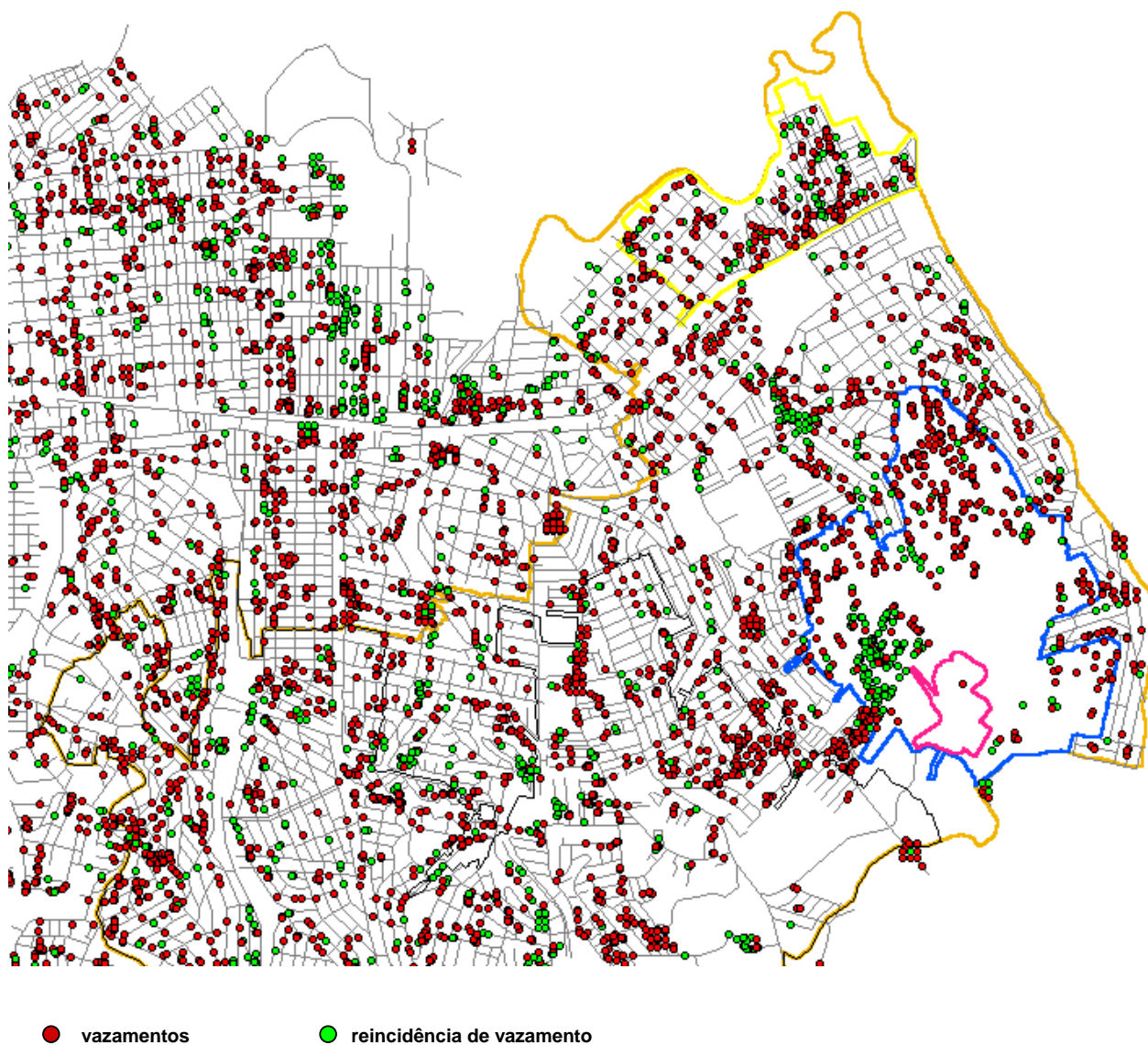


Figura 4.3: Mapa com pontos de vazamentos localizados utilizado pela companhia de água do estado de São Paulo – SABESP  
Fonte: SABESP

HERPETZ (2003) apresenta sua concepção metodológica para realização dos serviços de investigação de fugas em campo dividindo os trabalhos em três etapas: levantamento da área, pré-localização e detecção da fuga.

O levantamento da área é uma primeira investigação da rede de distribuição, sendo realizada inicialmente uma avaliação das perdas do setor através de medição das vazões e em seguida o levantamento dos trechos suspeitos utilizando ferramentas de coleta e armazenamento de dados.

A avaliação das perdas mais conhecida e praticada é conhecida como fator de pesquisa, dada pela expressão 4.1, que relaciona a vazão mínima noturna do setor e sua vazão média. O levantamento das vazões pode ser realizado nos macro-medidores instalados no setor ou mesmo em medidores móveis instalados especialmente para a realização de campanhas de medição.

$$FP = \frac{\text{vazão mínima noturna}}{\text{vazão média diária}} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (4.1)$$

Na prática, um valor superior a 30% do fator de pesquisa revela a probabilidade de um volume de perdas alto e a necessidade de prosseguimento dos trabalhos de localização destas fugas. Desta forma, deve ser empreendida uma análise do setor para levantamento dos trechos de rede suspeitos de conterem fugas.

Revelados indícios de grande volume de perdas no setor, iniciam-se os trabalhos de levantamento das regiões suspeitas, que pode ser um ou mais trechos de rede. A busca destas regiões suspeitas de conter fugas podem ser realizada hoje de duas maneiras: com equipamentos acústicos que coletam e armazenam ruídos e através da simulação hidráulica da rede por modelagem computacional.

Após o levantamento inicial, inicia-se a segunda etapa dos trabalhos nas áreas apontadas como suspeitas. Esta etapa consiste na pré-localização dos pontos de fuga com auxílio de um aparelho de correlação de ruídos mostrado na Figura 4.4. Este aparelho permite a localização bastante próxima do ponto da fuga, pois seu mecanismo de funcionamento, calcula o tempo em que a onda de propagação do ruído leva até chegar aos sensores instalados em pontos distintos da rede. A precisão dos resultados obtidos depende da exatidão das informações sobre as características da rede adicionadas no aparelho para que seja feita a correlação dos dados.

Nesta etapa, uma grande precisão não é fundamental e mesmo sem os dados necessários da rede é possível realizar uma pré-localização da fuga, já que o aparelho permite que se analise o pico de ruído em conjunto com a frequência obtida, para que se possa avaliar se o ponto é mesmo uma fuga, conforme demonstrado na Figura 4.5.

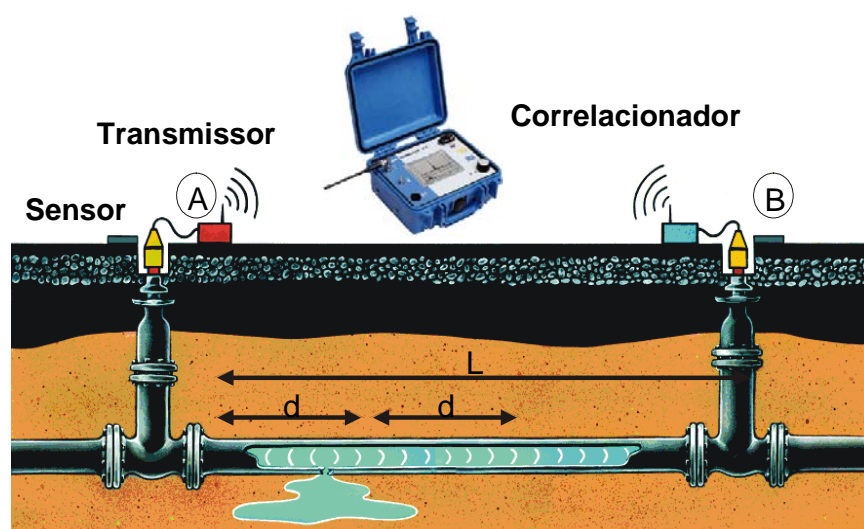


Figura 4.4: Correlacionador de ruídos  
Fonte: HERPERTZ (2003)

A detecção da fuga ou *pinpoint*, terceira etapa da realização dos trabalhos, é a localização exata do local da fuga, com auxílio dos aparelhos de geofone, Figura 4.6. Desta forma o trabalho mais árduo, lento e minucioso – caminhar sobre a linha da rede e a cada metro posicionar o aparelho e avaliar as leituras apontadas no aparelho – fica resumido a pequenos trechos suspeitos, não necessitando mais ser aplicado em toda a extensão de rede existente.

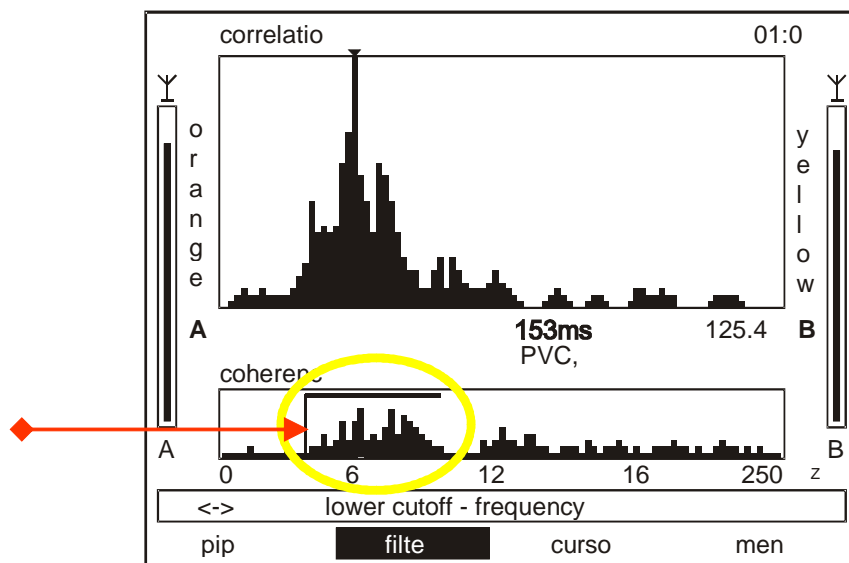


Figura 4.5: Tela gerada no correlacionador de ruídos apontando a relação entre a intensidade e a frequência do ruído de vazamento  
 Fonte: HERPERTZ (2003)



Figura 4.6: Pesquisa acústica com aparelho geofone eletrônico

Este método de trabalho, proposto em HERPERTZ (2003), se tornou possível devido à evolução e modernização dos aparelhos acústicos de localização de fugas que incorporaram ao registro do nível (intensidade) do ruído do vazamento o registro de sua frequência. Esses aparelhos deixaram de funcionar apenas como simples ferramentas de detecção dos ruídos, passando a funcionar também com a finalidade de otimizar os trabalhos de investigação de campo.

Outras ferramentas podem, entretanto, agregar-se a este método, como é o caso da utilização da simulação hidráulica da rede por modelagem computacional, na fase de levantamento da área para busca de trechos suspeitos, ou mesmo nas fases seguintes de localização das fugas, necessitando para tanto apenas do aperfeiçoamento dos modelos existentes.

#### **4.3 Análise de um sistema de abastecimento com simulações de operação**

Para se efetuar um diagnóstico completo de um sistema de abastecimento convém, além de levantar seus indicadores de desempenho, avaliar alguns parâmetros que permitam conhecer o estado atual do sistema e seu real grau de eficiência. Este diagnóstico exige um conhecimento detalhado e preciso dos elementos que compõe o sistema, suas características e comportamento, bem como requer um conjunto de medições obtidas, ao longo do tempo e em pontos estratégicos, de suas variáveis de estado – pressões, vazões e potências.

Segundo VELA (1994), o correto diagnóstico de um sistema hidráulico sob pressão pressupõe detectar situações e estados de funcionamento deste sistema que não satisfazem às necessidades previstas em seu projeto original e que hoje são efetivamente requeridas, além de avaliar os riscos que representam tais situações. Esta análise deve prever tanto o funcionamento do sistema em operação normal quanto em situações acidentais ou inesperadas que podem ocorrer nas instalações. Neste sentido, a análise não deve ficar limitada ao regime de escoamento permanente, mas, sobretudo, deve contemplar os diferentes transitórios hidráulicos que ocorrem

como consequência de intervenções previstas ou imprevistas, acidentais ou provocadas nas tubulações.

A análise de possíveis falhas ou do mau funcionamento dos elementos de um sistema hidráulico assim como suas causas e consequências são fundamentais, tanto para o correto projeto destes elementos e seus dispositivos de proteção quanto para sua manutenção preventiva. Dentre as várias situações indesejadas que ocorrem durante o funcionamento de um sistema de abastecimento de água, observam-se:

- pressões inadequadas, demasiadamente baixas ou muito altas;
- velocidades baixas ou muito altas;
- fluxo invertido;
- vibrações prejudiciais;
- interrupções no abastecimento; e
- valores inadequados nos parâmetros de qualidade.

#### **4.4 Modelos computacionais de simulação hidráulica**

Os modelos computacionais de simulação hidráulica de sistemas de abastecimento são ferramentas cujo objetivo é reproduzir, através de um equacionamento matemático, com maior exatidão possível, o comportamento real do sistema físico que representa. A este equacionamento matemático é associado um método numérico de solução e então transformados em uma sequência ordenada de comandos.

Não é necessário que o modelo reproduza todos os componentes físicos do sistema, mas talvez somente aqueles significativos, dependendo da confiabilidade exigida e do uso a que se destina o modelo. Na prática, a modelação de uma rede se reduz ao estudo de um esquema simplificado da mesma, a cujas tubulações se associam os parâmetros adequados para reproduzir, o mais fielmente possível, seu comportamento efetivo.

#### 4.4.1 Modelos matemáticos adequados

O número e o caráter não linear das equações que regem o escoamento fluido através das redes de condutos forçados impossibilitam, na maioria das vezes uma solução analítica direta para a obtenção das variáveis de estado, carga e vazão, ou de parâmetros de interesse (calibração e detecção de fugas). Por esta razão diversos modelos matemáticos têm sido propostos na tentativa de melhor representar os fenômenos físicos ocorridos durante os escoamentos. Para tanto estes modelos procuram obter, da maneira mais aproximada possível, estas variáveis e parâmetros.

Estes modelos podem ser divididos de acordo com sua concepção em modelos dinâmicos e estáticos. O esquema da Figura 4.7 mostra os diversos modelos propostos agrupados conforme sua concepção.

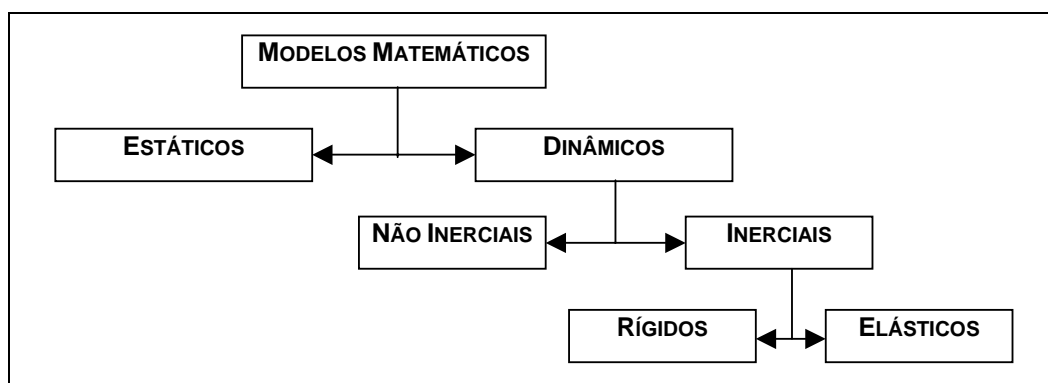


Figura 4.7: Modelos matemáticos de representação de escoamento em redes de água

Os modelos estáticos modelam o fluxo considerando que os valores das variáveis de estado não mudam com o tempo. O modelo estático só pode analisar estados de carga bem definidos de uma rede.

Os modelos dinâmicos permitem que as variáveis de interesse sejam avaliadas ao longo do tempo. Os modelos dinâmicos não inerciais, ou quasi-estáticos, são empregados em análise de período extensivo, ou seja, representam apenas uma sobreposição no tempo de várias situações estáticas, com diferentes contornos (níveis dos reservatórios), da mesma maneira que uma imagem em movimento pode ser obtida da sobreposição temporal de imagens estáticas. Estes modelos quasi-estáticos podem ser utilizados quando os efeitos de inércia tornam-se desprezíveis como na variação do consumo ao longo de um dia, onde as vazões nas tubulações se alteram lentamente.

Diferente da situação anterior, quando observamos uma variação significativa das condições de trabalho da rede, como um aumento brusco de consumo, é necessário haver um modelo dinâmico inercial rígido já que este modelo leva em consideração a aceleração da água, obtendo uma solução mais correta do problema.

O modelo dinâmico inercial elástico, diferentemente do rígido, leva em consideração os efeitos elásticos da água e da tubulação e pode analisar uma variação extremamente brusca da condição de trabalho da rede, como uma partida ou parada de uma bomba, ruptura de uma tubulação ou o fechamento muito rápido de uma válvula.

VELA (1994) ressalta que a simplificação freqüente de analisar o funcionamento das redes de distribuição de água mediante o simples cálculo em regime permanente de escoamento, impede que sejam detectadas as depressões (incluindo as cavitações) e sobre-pressões que podem colocar em risco a integridade física do sistema, acarretando mais falhas após um sucesso inicial, o que se denomina “cascata de falhas”, e ocorre com relativa freqüência.

Entretanto, o modelo dinâmico inercial elástico, ou simplesmente modelo elástico, permite que o modelo originalmente proposto para a análise de um regime transitório em um escoamento se preste também à análise do regime permanente deste escoamento. Desta forma, o emprego do modelo elástico contempla todas as situações operacionais possíveis do sistema.



A abordagem do modelo elástico baseia-se no emprego de equações de conservação de massa e da quantidade de movimento, generalizadas de tal forma a caracterizar os escoamentos em regime permanente e em regime variável (transitório ou oscilatório). Embora as bases do emprego desta técnica na análise do regime permanente tenham sido propostas já há alguns anos, só recentemente, em função de novas pesquisas e dos avanços computacionais, passou a ser considerada como uma ferramenta extremamente poderosa para este tipo de análise.

A modelação dos escoamentos utilizando o modelo elástico é feita através de um par de equações diferenciais, obtidas a partir da aplicação da equação da continuidade e da quantidade de movimento ao escoamento das tubulações de transporte. Este equacionamento é geral e contempla todas as características físicas do fenômeno de propagação de perturbação da pressão originadas por manobras nos elementos da instalação. A solução das equações é obtida usualmente através do Método das Características, que transforma o par original de equações hiperbólicas em dois pares de equações diferenciais ordinárias de simples integração.

Este conjunto de equações permite descrever as variações de vazão e de pressão ao longo das tubulações no transcorrer do tempo, permitindo a representação de situações originárias decorrentes de regimes transitórios ou oscilatórios. Não havendo manobras na instalação elas permitem descrever o regime permanente.

É de fundamental importância a escolha e a aplicação do modelo de acordo com o tipo de evento que se esteja avaliando, tendo em conta os principais parâmetros que predominam em cada um. Os modelos de detecção de fugas podem, em princípio, ser concebidos dentro de qualquer das categorias anteriormente descritas, devendo, no entanto, serem adequados às condições de operação do sistema, o que exige um extensivo levantamento de dados de campo e informações operacionais.

#### 4.4.2 Modelos computacionais para localização de fugas

LUVIZOTTO (1998) coloca a questão: em que podem os modelos computacionais auxiliar em programas de detecção de fugas? Para iniciar as considerações acerca do tema é necessário dividir estes modelos em duas categorias:

- Modelos para simular o comportamento do sistema em função de fugas conhecidas ou com posicionamento e valor arbitrado.
- Modelos para a detecção da posição e valor das fugas, propriamente ditos.

Os modelos classificados dentro da primeira categoria são chamados de métodos diretos e neles se conhecem todas as causas que produzem o escoamento, ou seja, características das tubulações (comprimento, diâmetro e rugosidade), níveis dos reservatórios, características das estações de bombeamento e demais acessórios, vazões injetadas e demandas na rede. O que se busca é determinar os efeitos, ou seja, as vazões que circulam pelas tubulações e as pressões nos nós. Nos modelos classificados na segunda categoria, chamados de métodos inversos, a proposição é dirigida em sentido contrário (inverso), ou seja, se conhecem os efeitos, vazões e pressões em determinadas tubulações e nós e se busca encontrar as causas, configuração e características das instalação que a produziram.

Embora os modelos apresentem limitações em sua aplicação prática, devidas sobretudo às dificuldades na obtenção de dados de entrada e da precisão dos equipamentos de medição, não deixam de ser uma valiosa ferramenta a ser explorada nos programas de detecção e controle de fugas, pois poderão direcionar as campanhas de campo de investigação de fugas para as áreas suspeitas apontadas nas simulações hidráulicas da rede realizadas.

### **a) Modelos baseados no Método Direto**

Os modelos que simulam o comportamento do sistema em função de fugas e se baseiam no Método Direto são aqueles em que o resultado obtido das análises são as cargas nos nós e as vazões nos trechos de tubulação. Nesse método são conhecidas as características das tubulações (diâmetros, extensões, rugosidade interna das paredes etc) e demais acessórios, além dos valores de vazão de consumo (demandas dos consumidores) e de aporte ao sistema analisado (demanda geral). São estimados e arbitrados ainda os valores e posicionamentos de eventuais fugas.

Com o emprego desses modelos é possível simular o comportamento da instalação diante da presença ou da simples suposição da ocorrência de fugas. A ocorrência ou não de fugas pode ser observada através da análise do nível de pressões do sistema, consumo de energia, e operação dos equipamentos.

Estes modelos podem também ser empregados na avaliação dos benefícios relativos ao reparo de cada uma das fugas existentes, auxiliando na escolha da atividade de intervenção mais adequada (instalação de válvulas redutoras de pressão, campanhas de pesquisa e detecção de vazamentos, substituição ou recuperação de trechos da rede etc.), fornecendo subsídios para que se estabeleça um eficiente programa de redução das perdas reais do sistema.

Segundo LUVIZOTTO (1998), o Método Direto deve ser aplicado dentro do programa de detecção de fugas para as seguintes finalidades:

- estudos de sensibilidade do sistema às variáveis intervenientes (cargas, vazões etc.);
- estudos de sensibilidade para posicionamento dos pontos de medição e monitoramento (pontos críticos, médios etc.);
- avaliação de soluções encontradas pelo método inverso (possíveis pontos de fuga).

Além das aplicações citadas, os métodos diretos podem ser aplicados em situações em que se conhece a fuga, como nos casos de rompimento da rede, para:

- estudos de isolamento emergencial do trecho e/ou realização de obras provisórias;

- estudos de abastecimentos alternativos emergenciais.

Os métodos diretos também desempenham um papel fundamental no controle das perdas, na medida em que auxiliam o controle operacional do sistema buscando:

- manter as pressões dentro de níveis adequados;
- minimizar o número de manobras e de flutuações de pressão;
- definir adequadamente o “status” operacional de elementos como válvulas de controle e bombas de rotação variável que venham a interferir nos níveis e flutuações de pressão;
- simplesmente avaliar o “status” operacional do sistema.

Dentro deste último conjunto deve estar contemplada a busca pela melhoria contínua da qualidade do serviço prestado e a redução do custo operacional, um dos pontos fundamentais no estabelecimento de um programa de redução de perdas mais abrangente envolvendo, por exemplo, a redução de consumo de energia elétrica.

## **b) Modelos baseados no Método Inverso**

Os modelos de detecção da posição e valor das fugas, propriamente ditos, são baseados nos chamados Métodos Inversos. Nestes, as pressões e/ou vazões são conhecidas (valores monitorados) em vários pontos da instalação e as demais cargas, vazões e características incógnitas são obtidas na simulação. Esses modelos podem ser concebidos dentro de uma formulação estática de regime permanente ou de uma formulação dinâmica de regime transitório. Em princípio, com estes modelos é possível calibrar a instalação e também localizar fugas (posição e vazão em volume).

Sob o ponto de vista da sua aplicação em sistemas de abastecimento de água os métodos inversos se propõem, a partir de um conjunto de medições de vazão e/ou pressão, a encontrar as características do sistema que produziram os valores destas medições, ou seja, o Método Inverso tem a mesma proposição dos métodos de calibração, pois em princípio a idéia é a mesma, se

aplicando tanto ao ajuste da rugosidade de uma tubulação quanto à determinação da posição e valor de uma fuga.

#### **4.4.3 Aspectos da modelação das fugas**

LUVIZOTTO (1998) apresenta a caracterização da rede hidráulica, a calibração do modelo e a forma de modelação das fugas como alguns dos aspectos mais importantes a serem considerados na modelagem dos sistemas, além é claro da escolha adequada do modelo hidráulico. A observação destes aspectos é fundamental para o sucesso do resultado obtido.

##### **a) Caracterização da rede hidráulica**

Na modelação de um escoamento, além de se ter um conjunto de equações que representem o estado do fluxo, é necessário uma adequada descrição da configuração da rede. O grau de detalhes que se deve utilizar para descrever a topologia da rede é uma questão muito importante, ou seja, a modelação das tubulações e acessórios deve representar a realidade da melhor maneira possível. Para tanto, mesmo possuindo indicações na literatura, deverá haver investigações para cada elemento modelado.

Depois de descrita a topologia da rede de forma adequada, a etapa posterior e decisiva para o êxito do modelo é caracterizá-lo de forma adequada através de parâmetros de cada um de seus elementos, devendo ser conhecidos os diâmetros das tubulações, seus comprimentos e rugosidades, cotas dos nós e cargas nos pontos de injeção, interligações e modos de operação de válvulas e bombas, localização de reservatórios e suas principais características, as vazões injetadas ao sistema e suas variações ao longo do tempo e os consumos identificados através de sua posição, valor médio e curva de modelação.

## **b) Calibração do modelo**

Os modelos utilizados nos estudos de fugas guardam as mesmas características dos modelos normais de simulação e como nestes, as maiores dificuldades de determinação correta dos parâmetros de entrada são: a rugosidade das tubulações e os consumos demandados, que ao certo produzem as maiores discrepâncias entre os modelos matemáticos e a realidade física. Os demais parâmetros também estão sujeitos aos erros de avaliação, porém são mais fáceis de medir e identificar.

A calibração ou ajuste do modelo consiste na correção dos parâmetros de entrada de maneira que os resultados de saída coincidam com o funcionamento real da rede. Em uma primeira etapa de calibração se detectam as grandes discrepâncias geradas pela inadequada modelação dos elementos ativos, tal como válvulas, que podem estar instaladas na realidade em uma posição diferente da modelada. Em uma segunda etapa, de adequação mais fina, se passa ao ajuste das rugosidades e consumos. A presença de fugas ou de consumos desconhecidos (fraudes) pode levar a uma calibração incorreta do modelo, na medida em que a adoção de valores incorretos de vazões circulando pelas tubulações conduzirá a valores impróprios das rugosidades, já que a calibração é feita a partir destes dois parâmetros. Desta forma a busca atual é por modelos que permitam a calibração com a simultânea detecção de fugas.

LUVIZOTTO (1998) cita que as interfaces mais amigáveis de entrada e saída de dados aliada à simplicidade de operação têm contribuído para a difusão dos modelos computacionais no meio técnico e gerar o armazenamento de cada vez mais detalhes das redes, criando o hábito salutar de manter os bancos de dados atualizados, colaborando na convergência dos problemas de calibração dos modelos. Por outro lado, as novas redes já concebidas desde o princípio com esta filosofia de monitoramento de seus parâmetros permitem a conservação de um estado de calibração adequado.

### c) Modelação das fugas

A principal diferença entre a modelação tradicionalmente empregada nas tarefas de projeto e simulação operacional de um sistema e um modelo que contempla a existência de fugas é a introdução de um elemento que consome um certo volume de água ao longo do tempo, devendo para tanto ser considerado na equação de continuidade nos pontos onde ocorre. Este elemento (fuga) representa os consumos não registrados que não foram considerados em princípio nas análises de projetos e de operação. Em projetos de ampliação do sistema e nas avaliações operacionais é fundamental que estes elementos sejam considerados, principalmente naqueles que apresentam grandes índices de perdas.

Do ponto de vista hidráulico, as fugas são vazões que fluem através de uma determinada seção, produzidas por uma diferença de pressão. Este diferencial de pressão é representado pela pressão interna de escoamento, menos a pressão exercida pelo exterior. Assim, teoricamente, pode-se empregar uma lei de orifício do tipo:

$$q_f = C_v C_c A_o \sqrt{2g \frac{(p_i - p_e)}{\gamma}} \quad (4.2)$$

onde:  $q_f$  é a vazão de fuga;  $C_v$  é o coeficiente de velocidade,  $C_c$  o coeficiente de contração, definidos em função das características da seção do orifício de área  $A_o$ , cuja forma pode ser a mais variada possível, dependendo do local e causa da fuga;  $p_i$  é a pressão no interior do tubo e  $p_e$  a pressão exterior;  $g$  é a aceleração gravitacional e  $\gamma$  o peso específico do fluido.

Na modelagem é usual tratar a seção de fuga como a de um orifício circular de área  $A_c$  e aproximar os coeficientes  $C_v$  e  $C_c$  a unidade. Como a pressão externa normalmente é a pressão atmosférica resulta:

$$q_f = A_c \sqrt{2g \frac{p_i}{\gamma}} \quad (4.3)$$

Assim, um modelo de detecção de fuga (método inverso) se propõe a determinar a seção  $A_0$  da fuga. Para simulações diretas é usual simular o comportamento hidráulico descrito através de uma válvula descarregando na atmosfera (uma vez que é raro o *software* comercial que disponha de um elemento específico “fuga”). A vazão por uma válvula nesta condição pode ser expressa como:

$$q_f = C_d A_o \sqrt{2g \frac{P_i}{\gamma}} \quad (4.4)$$

onde:  $C_d$  é o coeficiente de descarga da válvula;  $A_o$  é a seção de descarga.

A expressão pode representar adequadamente a vazão de fuga  $q_f$ , desde que:

$$C_d A_o = A_c \quad (4.5)$$

Alguns autores descrevem ainda a vazão de fuga como uma dependência direta da raiz quadrada da pressão através do coeficiente K, de proporcionalidade, ou seja:

$$q_f = K \sqrt{P} \quad \text{onde:} \quad K = A_c \sqrt{2g} = C_d A_o \sqrt{2g} \quad \text{e} \quad P = \frac{P}{\gamma} \quad (4.6)$$

Dentro do esquema topológico da rede é comum representar uma fuga como ocorrência “nodal”. Desta forma, quando se pretende modelar uma fuga ocorrendo em uma dada posição de uma tubulação, pode-se criar um nó adicional nesta posição e conectar neste nó o elemento fuga ou, de uma forma simplista, dividir a fuga entre os nós de montante e jusante desta tubulação, de forma que as diversas fugas pertencentes à área de influência de um nó possam ser somadas a este, independentemente da vazão de consumo associada a este nó.

A modelação proposta é empregada tanto para a determinação da seção de fuga (detecção) como para a simulação de seu efeito, quando já se conhece o valor da fuga para um estado de



pressão. Neste caso, determina-se o valor de K, que será posteriormente utilizado nas demais condições operacionais investigadas.

A grande dificuldade encontrada na modelação das fugas é a falta de informações relativas às mesmas, sendo geralmente conhecida somente uma estimativa de seu valor global, tornando a questão da distribuição das fugas bastante complexa. Assim, não dispondo de dados suficientes sobre elas, sua distribuição é baseada em alguns dos seguintes critérios:

- repartir o volume total de fugas proporcional às demandas de consumo.
- de acordo com níveis de pressão.
- de acordo com as características das tubulações.

O primeiro critério é o mais simples de todos e de mais fácil aplicação, fazendo a distribuição das fugas da mesma maneira que se faz com as demandas de consumo. É um critério simplista por não levar em consideração particularidades importantes que distinguem os setores como as pressões, idade das tubulações etc. Recomenda-se que neste tipo de distribuição estes efeitos sejam ponderados.

No segundo critério, alguns autores empregam a modelação de fugas mantendo sua dependência com a pressão. Esta modelação é particularmente empregada quando não se conhece a posição ou o valor da fuga, porém se deseja fazer estudos dos efeitos da fuga com base na regulação das pressões, como para implantação de válvulas redutoras de pressão. Assim em observação ao comportamento noturno das fugas em relação à pressão, conforme mostrado no gráfico da Figura 4.8. Segundo GERMANOPOULOS (1994) *apud* LUVIZOTTO (1998) conforme este critério, as fugas nas tubulações entre um nó i e um nó j são estimadas conforme a expressão 4.7.

$$q_{f_{ij}} = CL_{ij} P_{ij}^{1,18} \quad (4.7)$$

onde:  $qf_{ij}$  é a vazão de fuga perdida na tubulação que conecta os nós  $i$  e  $j$ ;  $C$  é uma constante que depende das características da rede;  $L_{ij}$  é o comprimento da tubulação entre os nós  $i$  e  $j$ ; e  $P_{ij}$  é a pressão média da tubulação entre os nós  $i$  e  $j$ .

O valor total da vazão de fuga é dividido igualmente entre cada um dos nós  $i$  e  $j$ , como perdas no nó.

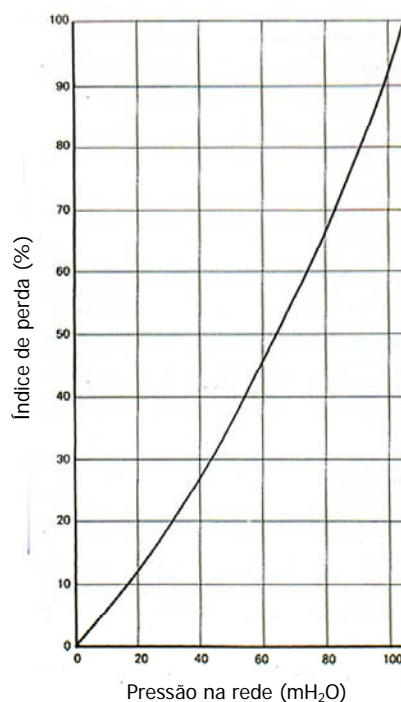


Figura 4.8: Índice de perdas em função da pressão  
Fonte: WATER RESEARCH CENTRE (1985)

O terceiro critério necessita de algum conhecimento prévio da rede para estabelecer critérios de repartição, com base em probabilidades, em função dos materiais, idade das tubulações, diâmetros e de suas condições. VELA e ALAMY *apud* LUVIZOTTO (1998) apresenta as equações 4.8 que, baseadas neste princípio, relacionam o número de defeitos esperado de uma tubulação com seu comprimento, diâmetro e idade. A diferença de forma com relação ao diâmetro nas duas equações se deve entre outros fatores à maior profundidade de instalação e da melhor qualidade na instalação dos tubos com diâmetros maiores.

$$M = KLD e^{bt} \text{ (para os diâmetros menores que 125 mm); e} \quad (4.8a)$$

$$M = K \frac{L}{D} e^{bt} \text{ (para os diâmetros maiores que 125 mm)} \quad (4.8b)$$

onde:  $M$  é o número de defeitos nas tubulações no intervalo de tempo  $[0,t]$ ;  $K$  é o coeficiente de ajuste, que caracteriza o material;  $L$  é o comprimento da tubulação;  $D$  é o diâmetro;  $b$  é um parâmetro de ajuste temporal e  $t$  o tempo transcorrido.

A partir das equações 4.5 e 4.6 a vazão total de fugas  $qf$  estimada pode ser distribuída para cada tubulação ( $j$ ) e depois para cada um de seus nós, de acordo com a expressão 4.9.

$$q = \frac{1}{2} \frac{qf}{\sum_{j=1}^{NT} N_k} N_j \quad (4.9)$$

onde:  $q$  é a vazão de fuga em cada um dos nós extremos da tubulação;  $NT$  é o número total de tubulações que se pretende distribuir a vazão de fugas total com este critério.

Como se observa, nenhuma das equações anteriores atende plenamente a todos os aspectos referentes às fugas, assim é recomendado utilizar para cada caso a que mais se adapte à realidade avaliada ou tentar utilizar uma ponderação entre elas.

No caso de simulação de rupturas, pode-se modelar a fuga como uma válvula descarregando para a atmosfera. Nestes casos se conhece a posição e a seção da ruptura, com o que se pode simular o comportamento do sistema, entretanto algumas considerações são particularmente importantes para este tipo de simulação.

Nos instantes posteriores à ocorrência da ruptura os efeitos de inércia podem ser bastante importantes e, pretendendo modelar este evento, deve-se empregar um modelo inercial. Outro fato importante é que nos *softwares* existentes no mercado, as demandas de consumo são

normalmente modeladas independente da pressão. Para efeito de projeto ou mesmo nas condições normais de operação, onde não se espera que as pressões se distanciem muito das de projeto, isto não chega a se caracterizar como um problema. Entretanto, em condições operacionais anômalas a demanda nos nós pode não ser satisfeita se a pressão não for adequada. Neste caso a avaliação deste efeito fica comprometida caso a demanda e a pressão do nó sejam modeladas de forma independente. Particularmente no caso de rupturas, este fato é muito importante, já que o objetivo da modelação neste caso é exatamente minimizar as deficiências no atendimento das demandas.

A incorporação da dependência da demanda de consumo com a pressão obriga um processo de solução iterativo para a obtenção simultânea das pressões, consumos e vazões nas tubulações, porém este é um procedimento necessário para a correta modelação do efeito de uma ruptura.

#### **4.4.4 Proposição de modelo computacional para detecção de fugas**

OCAMPOS (2003) avaliou a localização de fugas em um modelo baseado no método elástico de análise do regime permanente (*Time Marching Approach - TMA*) que aplica o algoritmo de busca de Nelder-Mead na sua construção. O modelo teve seu comportamento analisado em quatro diferentes redes hipotéticas, sendo a primeira rede com 23 tubos, a segunda com 32 tubos, a terceira com 71 tubos e a quarta com 110 tubos. O objetivo da avaliação foi testar a eficiência do modelo proposto em diferentes tamanhos de rede.

A título de ilustração será apresentada uma rede explorada nos testes realizados por OCAMPOS (2003) denominada como CASO 1. A Figura 4.9 ilustra a rede onde foram considerados como pontos de monitoramento os nós 3, 5, 11, 15 e 17 e como pontos suspeitos de fuga os nós 7, 8 e 13. Inicialmente foi atribuída uma vazão de fuga de 10 l/s em cada nó com suspeita de fuga, sendo reduzidas gradativamente para 5 l/s e 2 l/s. As vazões de fuga foram adicionadas aos consumos nodais para obtenção dos valores de carga monitorados.

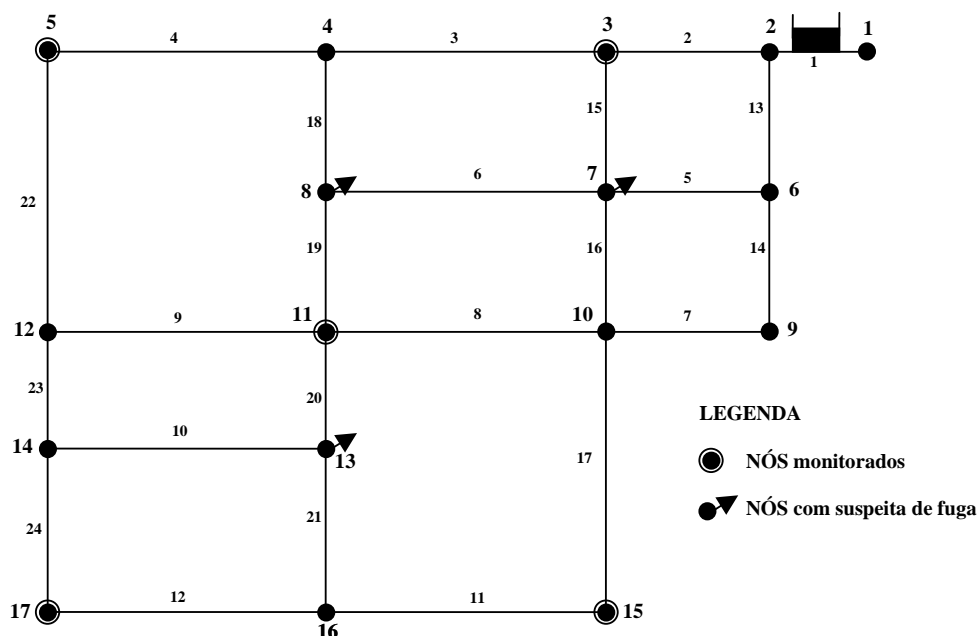


Figura 4.9: Rede de abastecimento hipotética criada por OCAMPOS para o CASO 1  
Fonte: OCAMPOS (2003)

O resultado das simulações da rede da figura 4.9 é apresentado na Tabela 4.1. Em uma primeira série de simulações os nós 3, 5, 11, 15 e 17 foram monitorados. Nesta série, com simulação de uma fuga de 5 l/s (5% da demanda) não foram detectadas fugas em nenhum dos nós suspeitos. Na segunda série de simulações, mantiveram-se os nós com suspeita de fuga, variando os nós de monitoramento. Observou-se nesta segunda série de simulações que o modelo localizou as fugas, apresentando divergências nos nós 7 e 8 quando atribuída uma fuga de 2 l/s (2% da demanda). O nó 13 foi detectado com precisão, o que indica que a precisão da detecção de fugas depende da sensibilidade dos nós monitorados, indicando que se deve buscar sempre os nós que apresentem maior  $dqf/dH$ , ou seja os nós mais sensíveis à fuga.

De modo geral, os testes mostraram que os objetivos foram alcançados, atestando o funcionamento do método, embora algumas simulações não tenham produzido resultados satisfatórios, principalmente devido a algumas considerações admitidas, como a escolha aleatória

dos pontos de carga monitorados. Por isto uma das principais recomendações sugeridas na aplicação do modelo é quanto ao posicionamento dos nós monitorados em relação aos nós com suspeita de fuga, devido à sensibilidade da resposta obtida, ou seja, deve-se buscar o monitoramento dos nós que apresentem maior variação de carga em relação à vazão de fuga.

Tabela 4.1: Resultados obtidos por OCAMPOS na simulação de fugas do CASO 1

Nós monitorados	Fugas arbitradas nos nós (l/s)			Valor da fuga obtido na simulação (l/s)		
	Nó 7	Nó 8	Nó 13	Nó 7	Nó 8	Nó 13
<b>1ª série</b>	10	-	-	10	0	0
	-	10	-	0	10	0
	-	-	10	0	0	10
	5	-	-	0	0	0
	-	5	-	0	0	0
	-	-	5	0	0	0
<b>2ª série</b>	5	-	-	5	0	0
	-	5	-	0	5	0
	-	-	5	0	0	5
	2	-	-	1	1	0
	-	2	-	2	2	0
	-	-	2	0	0	2

Fonte: OCAMPOS (2003)

#### 4.4.5 Uso da modelagem como ferramenta na gestão integrada dos sistemas de abastecimento de água.

A gestão eficiente de sistemas urbanos de abastecimento de água fundamenta-se no manuseio de grande quantidade de informações provenientes de fontes de natureza distinta, disponibilizadas ao gestor sob diversas formas como: planilhas, banco de dados, mapas cartográficos, plantas de projeto, etc. O conjunto geral destas informações adequadamente tratadas e disponibilizadas ao gestor permite que sejam tomadas ações locais e globais de

gerência do sistema. Por informações tratadas, compreende-se que estas estejam interligadas de forma eficaz tendo como referência uma base espacial através dos chamados Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e com suas regras operacionais devidamente estabelecidas a partir de simulação e otimização da operação em modelos computacionais.

Hoje, via de regra, o SIG e a simulação em modelo computacional trabalham de forma quase independente, gerando uma duplicidade de informações e de alocação de recursos que dificulta o gerenciamento do sistema.

BUZOLIN (2001) propõe uma sistematização para o acoplamento das duas ferramentas, permitindo a elaboração de um “pacote” que permita a gestão global do sistema. tratando estas diversas informações através da combinação de uso do SIG (Sistema de Informações Geográficas) e da Modelagem Computacional.

O modelo de gestão integrada proposto permite uma relação direta entre as informações geo-referenciadas de forma que seja possível tomar decisões na operação da rede com o auxílio de telemetrias e da simulação computacional, sendo as manobras exercidas por telecomando. Desta forma, pode-se antever através da exportação dos resultados de simulação para a base do SIG, quais seriam as conseqüências e a melhor opção operacional a se adotar dentre as várias possíveis.

Os resultados das simulações geram um diagnóstico operacional do sistema, ou seja, o conjunto de operações pré-definidas da “prática do cotidiano” são avaliadas continuamente fornecendo subsídios necessários ao módulo de detecção de fugas para a determinação destas e os prováveis locais onde poderiam estar ocorrendo, reduzindo assim a área de pesquisa com métodos acústicos tradicionais.

O modelo de gestão foi estruturado em cinco áreas, sendo três delas bastante conhecidas nas empresas de abastecimento de água: Administrativa, Financeira e Técnica. A partir da área Técnica foram criadas duas outras áreas, o que diferencia este modelo em muito dos hoje existentes: Simulação e Automação; que englobam características específicas como os resultados

obtidos após a simulação do funcionamento do sistema hidráulico com o auxílio dos modelos computacionais e os comandos de operação (telecontrole) de válvulas e bombas, e também as medidas de vazão e cargas (telemedidas) obtidas em alguns pontos da rede.

Especificamente com relação ao controle de perdas, as áreas de Simulação e Automação são particularmente interessantes, embora o inter-relacionamento entre todas as áreas seja fundamental.

O modelo computacional de simulação busca informações na Área Técnica para efetuar os cálculos de vazão nos trechos e cargas nos nós que, depois de concluídos, são armazenados na Área de Simulação. Os resultados dos cálculos são comparados com os valores reais obtidos na rede pelas telemedidas. Caso os resultados sejam muito discrepantes, o calibrador recalcula com pequenas alterações as características dos elementos da rede para que se aproximem ao máximo da realidade. Somente após a calibração é realizada a simulação correta do funcionamento da rede.

Caso os resultados obtidos sejam muito diferentes dos medidos, o Módulo Detecção de Fugas, através de técnicas específicas isola alguns prováveis setores da rede onde possa haver perdas por fugas, ativando imediatamente o arquivo de reclamação da área administrativa para que as providências de reparo dos vazamentos sejam tomadas.

O fluxograma do tráfego de informações entre as cinco áreas do modelo integrado de gestão proposto pode ser visto na Figura 4.10.





Fonte: BUZOLIN JR (2001)

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Os modelos de simulação hidráulica são ferramentas cujo objetivo é reproduzir, em um computador, o comportamento físico de um sistema com a maior exatidão possível. A modelação matemático-computacional destas redes requer, em princípio, que os parâmetros inerentes a cada equação sejam conhecidos ou estimados de maneira a atender o grau de confiabilidade exigido e o propósito de aplicação do modelo.

Portanto, a obtenção da maior quantidade possível de informações acerca da rede a ser modelada é condição fundamental para a aplicação de um modelo. Estas informações são obtidas diretamente junto às companhias de água, sendo mais ou menos precisas, conforme seu grau de organização e a existência de uma sistemática de atualização rotineira de seus cadastros.

Devem ser analisados a topologia da rede, os materiais das tubulações, a idade e o traçado da mesma. Uma visita ao local para se familiarizar com o sistema é recomendada, de modo a constatar *in loco* as informações existentes nas plantas cadastrais, bem como proceder a uma investigação mais detalhada da rede junto aos operadores do sistema e encarregados de manutenção das redes acerca do estado de conservação da mesma e de seus diversos componentes (bombas, válvulas etc.), eventuais fugas existentes, informar-se sobre os fatores importantes para se prever o estado das tubulações (tipo de água que circula, sua dureza etc.), principalmente as mais antigas, e qualquer outro dado adicional.

É necessário ainda conhecer com a maior exatidão possível a topografia do terreno, afim de determinar as cotas dos nós da rede para, posteriormente, obter a carga em cada um destes pontos. Geralmente as plantas cadastrais trazem levantamento planialtimétrico com curvas de

nível a cada cinco metros, não sendo recomendado seu emprego para a obtenção da cota de nível do nó. É sempre preferível a realização de um levantamento topográfico na área para a obtenção mais precisa destas cotas de nível para cada um dos nós.

Por fim, deve-se ter um conhecimento exaustivo dos pontos de produção e seu regime de funcionamento, assim como os consumos da rede e a quantidade total de água introduzida no sistema (demanda).

## **5.1 Modelo computacional utilizado**

O modelo computacional proposto para detecção de fugas foi desenvolvido por LUVIZOTTO (1998) com simulação hidráulica baseada na análise do regime permanente pelo método elástico (*Time Marching Approach – TMA*) e localização de fugas através da minimização de erros entre cargas monitoradas em campo e as obtidas nas simulações pelo processo de busca do ótimo da função dos quadrados das diferenças (a ser minimizada) pelo método de Nelder-Mead. O modelo adota a hipótese do método elástico propondo a análise das variáveis de estado “carga” e “vazão” no espaço e no tempo, permitindo assim descrever as condições estáticas (regime permanente). Embora não utilizadas no presente trabalho, o modelo permite ainda determinar as condições dinâmicas (transitórios) dos escoamentos. O modelo de simulação hidráulica é denominado SPERTS e a ferramenta de localização de fugas MUFFLED DETECTION.

O acoplamento do método elástico com o método de Nelder-Mead é feito de maneira natural, uma vez que este otimizador se baseia em avaliações da função objetivo, para um conjunto de pontos, que irão convergir para a solução ótima com a aplicação do método.

A aplicação deste modelo possibilita a análise de sistemas complexos de forma não-matricial, permitindo uma melhor estabilização dos sistemas e soluções mais rápidas.

### 5.1.1 Equacionamento do método elástico na análise do regime permanente (*Time Marching Approach – TMA*)

As equações gerais que regem o escoamento líquido em condutos sob pressão são equações diferenciais hiperbólicas. Usando a hipótese do método elástico (deformidade da tubulação e compressibilidade do fluido), podem ser escritas as equações de continuidade e quantidade de movimento:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{g \cdot A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g \cdot A \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f \cdot Q \cdot |Q|}{2DA} = 0 \quad (5.2)$$

onde as variáveis independentes  $t$  e  $x$  representam respectivamente o tempo e a distância medida ao longo do conduto,  $Q$  e  $H$  são as variáveis dependentes, vazão e carga hidráulica. A variável  $f$  representa o fator de atrito da fórmula universal de perda de carga,  $g$  a aceleração da gravidade,  $A$  a área da seção transversal do conduto,  $D$  o diâmetro do tubo e  $a$  a celeridade de propagação da onda de pressão.

Com a utilização destas equações é possível representar as variações de carga e vazão ao longo do conduto com o transcorrer do tempo em situações originadas de regimes variados. Por outro lado, não havendo variações de carga e vazão ao longo do tempo, nas várias seções do conduto estas equações se simplificam e permitem descrever o regime permanente.

As equações 5.1 e 5.2 formam um sistema de equações diferenciais do tipo hiperbólico, sem solução analítica. Uma das técnicas mais utilizadas para a solução destas equações é o Método das Características, que permite transformar estas equações em um par de equações

diferenciais ordinárias, válidas ao longo das chamadas retas características  $C^+$  e  $C^-$  como mostrado nas equações 5.3a, 5.3b, 5.4a e 5.4b.

$$C^+ \left\{ \begin{array}{l} \frac{gAdH}{adt} + \frac{dQ}{dt} + \frac{fQ|Q|}{2DA} = 0 \\ \frac{dx}{dt} = +a \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (5.3a) \\ (5.3b) \end{array}$$

$$C^- \left\{ \begin{array}{l} \frac{gAdH}{adt} + \frac{dQ}{dt} + \frac{fQ|Q|}{2DA} = 0 \\ \frac{dx}{dt} = -a \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (5.4a) \\ (5.4b) \end{array}$$

Estas equações são válidas aos pares, ou seja, a equação 5.3a é válida desde que a equação 5.3b seja satisfeita, da mesma forma, a equação 5.4a é válida desde que a equação 5.4b seja satisfeita, o que significa que, adotando em um plano  $(x,t)$ , retas de inclinação  $+a$  (5.3b) e  $-a$  (5.4b), as equações 5.1 e 5.2 são transformadas em equações diferenciais ordinárias em termos da variável independente  $t$  (5.3a e 5.3b), conforme ilustra a Figura 5.1.

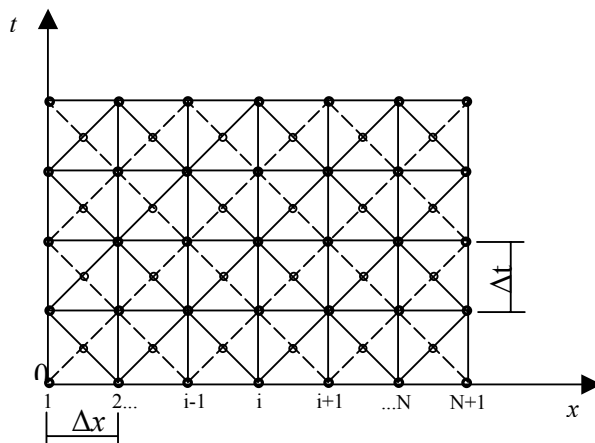


Figura 5.1: Malha de cálculo do Método das Características

Nas redes hidráulicas a transmissão de informações em um conduto é obtida pela mudança de carga ( $H$ ) e da vazão ( $Q$ ) em cada ponto P, ao longo de seu comprimento, que se processa a cada instante  $t$ , conforme figura 5.2. Essa transmissão mobiliza a característica de inércia, resistência e estabilidade do fluido em escoamento e da própria tubulação, de tal forma que as informações transmitidas à posição P, a cada instante, podem ser obtidas dos valores de carga e vazão, das posições A e B, num instante anterior, conforme o Método das Características.

$$H_P = H_A - B(Q_P - Q_A) - R \cdot Q_P \cdot |Q_A| \quad (5.5)$$

$$H_P = H_B + B(Q_P - Q_B) - R \cdot Q_P \cdot |Q_B| \quad (5.6)$$

sendo  $R$  a resistência da tubulação e  $B$  o termo de impedância:

$$R = \frac{f \cdot \Delta x}{2gDA^2} \quad (5.7)$$

$$B = \frac{a}{gA} \quad (5.8)$$

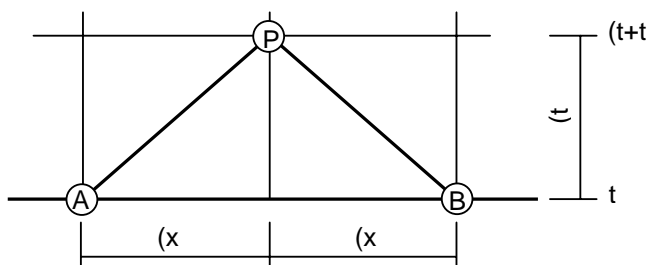


Figura 5.2: Malha de cálculo  
Fonte: LUVIZOTTO (1998)

A decodificação das informações enviadas por A (equação 5.5) e por B (equação 5.6) é feita no ponto P no instante  $t+\Delta t$ , na forma de  $Q_P$ :

$$Q_P = \left( \frac{C_B - C_A}{B_B + B_A} \right) \quad (5.9)$$

onde  $B_A$ ,  $B_B$ ,  $C_A$  e  $C_B$  representam os valores

$$B_A = (B + R|Q_A|) \quad (5.10)$$

$$B_B = (B + R|Q_B|) \quad (5.11)$$

$$C_A = (H_A + B_A Q_A) \quad (5.12)$$

$$C_B = (H_B + B_B Q_B) \quad (5.13)$$

As informações assim propagadas de um instante para outro passam das extremidades dos tubos para os nós, genericamente representado na Figura 5.3, em que TC é o número de tubos que “convergem” para o nó e TD é o número de tubos que “divergem” do nó. Pode-se considerar que a um dado nó seja possível vincular uma demanda e uma vazão de fuga  $Q_{PE}$  de um elemento não tubo, associado a esse nó.

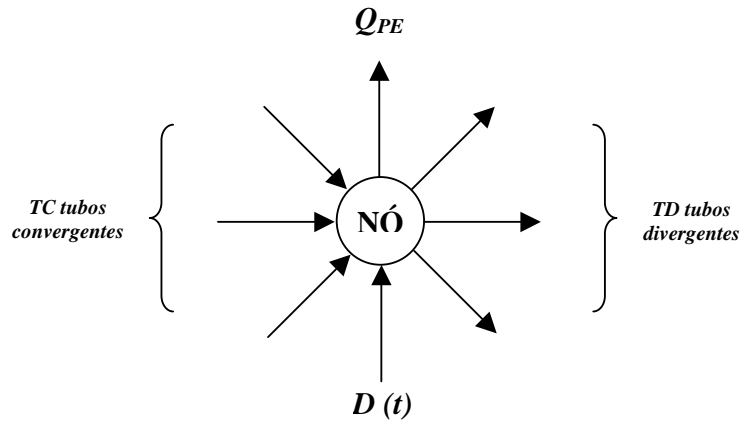


Figura 5.3: Esquema de um nó genérico  
Fonte: LUVIZOTTO (1998)

Da condição de continuidade no nó pode-se chegar facilmente a equação denominada equação do nó.

$$Q_{PE} = E_N - B_N \cdot H_P \quad (5.14)$$

onde  $E_N$  e  $B_N$  totalizam as informações recebidas pelo nó, na forma:

$$E_N = \sum_{j=1}^{TC} \frac{C_A(j)}{B_A(j)} + \sum_{k=1}^{TD} \frac{C_B(k)}{B_B(k)} - D(t) \quad (5.15)$$

$$B_N = \sum_{j=1}^{TC} \frac{1}{B_A(j)} + \sum_{k=1}^{TD} \frac{1}{B_B(k)} \quad (5.16)$$

A demanda  $D(t)$  é acrescentada em  $E_N$  como uma informação externa, que foi adicionada ao conjunto de informações internas recebidas pelo nó.

A vazão  $Q_{PE}$  representa uma resposta do elemento não tubo aos estímulos recebidos em seus nós de montante e de jusante. Esta resposta irá depender das características funcionais deste elemento, genericamente esquematizado na figura 5.4

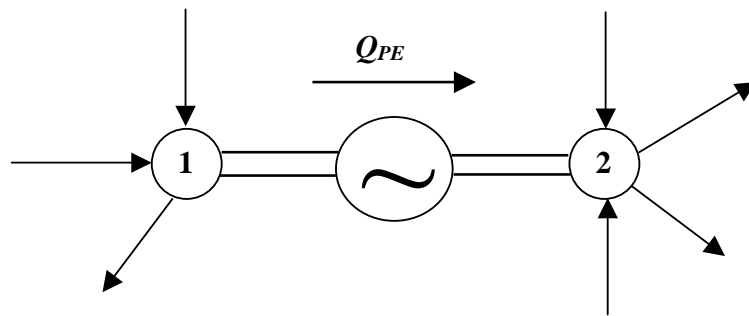


Figura 5.4: Representação esquemática de um elemento não tubo  
Fonte: LUVIZOTTO (1998)



As informações recebidas dos nós podem ser escritas na forma dos parâmetros  $E_E$  e  $B_E$ , que mobilizam a resposta do elemento não tubo, na forma:

$$H_{PE} = E_E - B_E Q_{PE} \quad (5.17)$$

onde  $H_{PE}$  é a diferença de carga entre os nós de montante e jusante e:

$$E_E = \frac{E_{N1}}{B_{N1}} - \frac{E_{N2}}{B_{N2}} \quad \text{e} \quad B_E = \frac{1}{B_1} - \frac{1}{B_2} \quad (5.18) \text{ e } (5.19)$$

Observando a equação 5.17 nota-se que à resposta aos estímulos que chegam ao nó devem ser combinadas as características funcionais do elemento não tubo para que se possa obter a resposta ao estímulo. Estas características podem ser expressas de forma genérica como:

$$H_{PE} = H_{P1} - H_{P2} = \varphi(Q_{PE}) \quad (5.20)$$

Desta forma, pode-se dizer que os estímulos recebidos pelo nó (equação 5.16), em conjunto com a característica funcional do elemento não tubo (equação 5.20), fornecerá a resposta:

$$F(Q_{PE}) = \varphi(Q_{PE}) + B_E Q_{PE} - E_E = 0 \quad (5.21)$$

Para um elemento não tubo genérico que não acumule massa, a equação particular  $\varphi Q_{PE}$  é conhecida (normalmente como uma forma quadrática do tipo  $H_{PE} = aQ_{PE}^2 + bQ_{PE} + c$ ) e pode ser substituída na equação (5.21) resultando em:

$$Q_{PE}|Q_{PE}| + FQ_{PE} + G = 0 \quad (5.22)$$

onde os valores de F e G são determinados para cada instante de cálculo para cada um dos elementos, segundo sua característica (coeficientes  $a$ ,  $b$  e  $c$ ). A solução desta equação é dada por:

$$Q_{PE} = \frac{2G}{F + \sqrt{F^2 + 4|G|}} \quad (5.23)$$

Esta resposta é passada ao sistema através dos nós de montante e de jusante através da equação (5.17), que realimenta o processo.

Quando a análise é focada na obtenção do regime permanente, no período extensivo ou no monitoramento de perdas, pode-se valer do fato de que a impedância ( $B=a/gA$ ) não tem significância e pode ser substituída pela celeridade ( $a=L/\Delta t$ ), em que  $L$  é o comprimento do tubo. Desta forma a impedância pode ser descrita como:

$$B = \frac{L}{gA\Delta t} \quad (5.24)$$

Segundo SHIMADA (1992) *apud* LUVIZOTTO (1998), para acelerar a convergência ao regime permanente pode-se substituir os tubos da rede de comprimento  $L$  e coeficiente de atrito  $f_i$  por tubos equivalentes com iguais comprimentos  $L_0$  (usualmente 100 metros) e um correspondente coeficiente de atrito  $f_i^*$  dado por:

$$f_i^* = \frac{f_i \cdot L}{L_0} \quad (5.25)$$

### 5.1.2 Otimizador de Nelder-Mead

A proposição de modelos para localização de fugas com base em valores monitorados seguem a mesma essência: Minimização dos erros entre as cargas (e/ou vazões) monitoradas  $H^*$  e as cargas (e/ou vazões) obtidas durante os cálculos  $H$ , minimizando a função objetivo  $x^2$ , conforme a equação:

$$\min x^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(H_i^* - H_i)^2}{\sigma^2} \quad (5.26)$$

onde  $N$  é o número de pontos monitorados e  $\sigma$  o desvio padrão.

O método de busca do mínimo da função objetivo (5.26) é o procedimento de Nelder-Mead, escolhido por ser um método que não utiliza derivadas no processo de busca da solução, uma vez que a avaliação destas derivadas é de difícil implementação. Uma técnica alternativa e bastante em moda na atualidade são os algoritmos genéticos, entretanto a técnica de busca baseada no procedimento de Nelder-Mead se mostra mais rápida e bastante “robusta” para solução do problema conforme apresentado em LUVIZOTTO *et al* (2000) e LUVIZOTTO e OCAMPOS (2002).

O algoritmo de Nelder-Mead mantém um conjunto de  $N+1$  pontos para guiar a busca do ótimo, onde  $N$  representa o número de variáveis de busca (no caso  $N$  fugas). Na otimização sobre  $N$  variáveis de decisão, o algoritmo de Nelder-Mead constrói e mantém um conjunto de  $N+1$  vetores de variáveis de busca ordenados  $a^1, \dots, a^{N+1}$  com soluções distintas  $x^{2(1)}, \dots, x^{2(N+1)}$ , com  $x^{2(1)}$  apresentando o melhor valor da função objetivo,  $x^{2(2)}$  o segundo melhor valor e assim por diante. Cada iteração durante a pesquisa tenta substituir a solução mais inadequada  $x^{2(N+1)}$  por uma melhor.

A direção de busca do algoritmo na iteração  $t$  é dada pela expressão 5.27 que move a pior das soluções correntes, representadas por  $a^{(N+1)}$  em direção ao centróide das  $N$  melhores soluções, conforme a expressão 5.28. A idéia é mover a pior solução do conjunto para uma direção construída a partir das restantes.

$$\Delta x \cong x^t - a^{(N+1)} \quad (5.27)$$

$$x^t \cong \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a^{(i)} \quad (5.28)$$

O centróide  $x^{(t)}$  e o deslocamento  $\Delta x$  fornecem uma regra para o movimento do conjunto de parâmetros  $a^{(N+1)}$ , mas não atribui o tamanho do passo  $\lambda$  a ser aplicado na direção dada.

O algoritmo explora novos pontos  $(x^{(t)} + \lambda \Delta x)$  primeiro refletindo sobre o centróide, com  $\lambda=1$ . Substituindo o valor de  $a^{(N+1)}$  pelo obtido através deste novo conjunto poder-se á obter um melhor ou pior conjunto, que será adotado no processo. Se o ponto de reflexão é o “novo melhor” vetor  $[x^2(x^{(t)}) > x^2(a^{(l)})]$ , o algoritmo expande tentando  $\lambda=2$ . Se o novo ponto for pior que o melhor ponto anterior o procedimento contraí, tentando outro valor de  $\lambda$ ,  $\lambda = +\frac{1}{2}$  ou  $\lambda = -\frac{1}{2}$ .

Quando a reflexão e a subsequente contração falham na melhoria do conjunto de vetores do algoritmo é aplicado um procedimento de encurtamento de todo o conjunto de vetores através do vetor melhor adequado  $a^{(l)}$ , onde:

$$a^{(i)} \leftarrow \frac{1}{2}(a^{(l)} + a^{(i)}) \text{ para todo } i = 2, \dots, n+1 \quad (5.29)$$

A pesquisa do procedimento de Nelder-Mead se encerra quando os valores da função objetivo para o conjunto de pontos tornam-se essencialmente iguais. Essa condição pode ser estabelecida quando:

$$\sqrt{\frac{1}{N+1} \cdot \sum_{i=1}^{N+1} [x^2(a^{(i)}) - x^2(x^{(t)})]^2} \leq \epsilon \quad (5.30)$$

onde  $\epsilon$  é o erro (ou resíduo) admitido como aceitável entre o conjunto de medidas de campo e correspondentes valores simulados.

Com a rotina indicada se processa a convergência dos  $N+1$  vetores de variáveis de busca para o ótimo da função, segundo o critério de parada estabelecido.

### 5.1.3 Acoplamento do simulador *Time Marching Approach* (TMA) com o método de busca de Nelder-Mead

O acoplamento dos dois módulos, um caracterizado pelo simulador hidráulico, baseado no *Time Marching Approach* e outro pelo método de busca sem derivadas de Nelder-Mead, descritos anteriormente, é descrito por LUVIZOTTO (1998) que construiu um modelo computacional de detecção de fugas a partir deste acoplamento, denominado MUFFLED DETECTION, utilizado no presente trabalho.

Este acoplamento é feito de forma direta sem maiores interferências nos códigos padrão individuais de cada modelo, conforme mostrado na Figura 5.5. São acrescentadas apenas uma rotina de leitura de dados de monitoramento e de fugas a serem avaliadas, uma rotina com a função objetivo e uma rotina de interface que faz a chamada do simulador para cada opção de vetor de valores de fugas nodais.

O conceito do modelo proposto é manter os princípios da função objetivo descrita na equação (5.26), considerando a evolução da carga  $H_i$  como uma dependência direta da vazão de fuga nos nós considerados suspeitos  $H_i = f(q_f)$ .

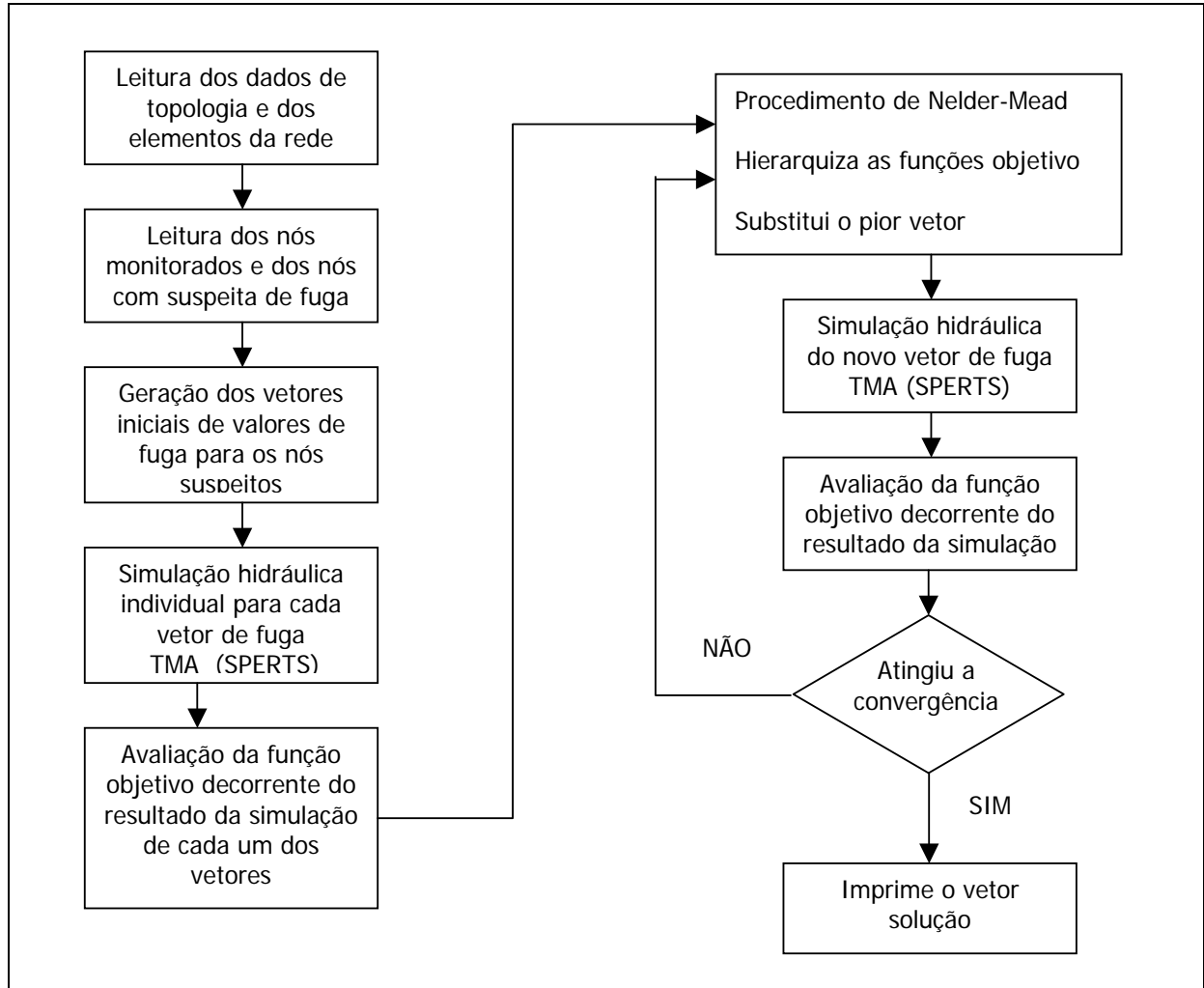


Figura 5.5: Acoplamento do TMA com Nelder-Mead para detecção de fugas

A equação da continuidade do nó para o *Time Marching Approach* (TMA) se mantém da mesma forma mostrada nas equações (5.14) e (5.15)

$$Q_{PE} = E_N - B_N \cdot H_P \quad (5.14)$$

$$E_N = \sum_{j=1}^{TC} \frac{C_A(j)}{B_A(j)} + \sum_{k=1}^{TD} \frac{C_B(k)}{B_B(k)} - D(t) \quad (5.15)$$

Sendo  $q_f$  uma vazão de fuga acrescentada na equação 5.15, tem-se:

$$E_N = \sum_{j=1}^{TC} \frac{C_A(j)}{B_A(j)} + \sum_{k=1}^{TD} \frac{C_B(k)}{B_B(k)} - D(t) - q_f \quad (5.31)$$

A expressão (5.16), que determina o valor de  $B_N$ , mantém-se inalterada.

O procedimento de solução integrado consiste em eleger os  $N$  nós com suspeita de fuga e adotar  $N+1$  combinações de fugas  $q_f^1, \dots, q_f^{n+1}$  onde o vetor  $q_f^i$  representa o vetor  $i$  de valores de fuga para  $N$  possíveis nós ( $q_f^i_1, \dots, q_f^i_n$ ). Para todas estas situações é avaliada a função objetivo em relação aos  $N$  nós monitorados.

O princípio de funcionamento do modelo é o seguinte: o simulador lê os dados referentes à rede (dados de topologia) e os dados específicos de cada um dos elementos e nós, como em uma simulação hidráulica convencional em regime permanente. Neste ponto é acrescentada uma rotina de leitura adicional de informações para o procedimento de detecção. É lido o número total de nós monitorados (NNMO), o número de cada nó  $i$  monitorado ( $NM_{(i)}$ ) e o valor da carga monitorada neste nó ( $HM_{(i)}$ ). Além destas informações a rotina lê o número total de nós com suspeita de fuga (NNF), o número do nó  $j$  com suspeita de fuga ( $NF_{(j)}$ ) e um valor de fuga arbitrado para cada nó ( $SNF_{(j)}$ ) que servirá de “semente” para gerar o vetor inicial de fuga, utilizado no procedimento de Nelder-Mead.

Com base nestas “sementes”, são gerados pelo procedimento de Nelder-Mead, (NNF+1) vetores de (NFF) valores, correspondente ao valor da fuga atribuído a cada nó suspeito. Cabe lembrar que estes vetores são modificados ao longo do procedimento de busca resultando ao final em vetores iguais, com a suposta solução do problema.

Uma vez gerado os vetores iniciais, passa-se ao procedimento de ajuste destes vetores onde o simulador é acionado para resolução do problema hidráulico da rede utilizando os valores de cada vetor com um caso possível da solução. Após o processamento, o simulador retorna as cargas calculadas para os nós que estão sendo monitorados. Estas cargas nodais obtidas permitem

a avaliação da função objetivo, descrita em termos da somatória das diferenças quadráticas entre cargas monitoradas e calculadas, cujo mínimo é almejado.

As funções objetivo, calculadas para cada um dos (NNF+1) vetores, são hierarquizadas da melhor para a pior solução. O vetor de coeficientes que levou a pior solução (maior valor da função objetivo) é substituído pelo procedimento de busca, como descrito anteriormente e reavaliado em conjunto com outros vetores, sendo assim sucessivamente melhorados os piores vetores até que se atinja uma detecção dentro do padrão de erro desejado.

## **5.2 Representação topológica da rede**

A modelagem topológica proposta neste trabalho foi empregada por LUVIZOTTO (1998) no modelo computacional proposto. Nela, cada elemento do sistema (tubos, reservatórios, bombas e válvulas) recebe quatro identificadores: número, tipo, nó de jusante e nó de montante.

A modelagem da topologia é construída no quadro de Relatórios, disponível no modelo computacional MUFFLED DETECTION atribuindo um nome e uma extensão (.TOP). A criação ou edição do arquivo deve ser composta necessariamente de:

- Uma linha contendo a descrição do arquivo com o máximo de 235 caracteres.
- Uma linha contendo nesta seqüência: número de nós, número de elementos, número de tubos, número de reservatórios e o número de nós com demanda.
- Um número de linhas igual ao número de tubos contendo as informações de cada tubo na seqüência: número do elemento, número do nó de montante, número do nó de jusante, diâmetro (em metro), comprimento (em metro), coeficiente de Hazen-Willian (adimensional) ou rugosidade (em mm) e soma dos coeficientes de perda de carga localizada.
- Um número de linhas igual ao número de reservatórios, contendo informações de cada reservatório na seqüência: número do elemento, número do nó de montante, número do nó de jusante, nível do reservatório (em metros).



- Um número de linhas igual ao número de nós com demandas, contendo as informações de cada nó com demanda na sequência: número do nó, vazão de demanda (em m<sup>3</sup>/s).

A Tabela 5.1 ilustra a sequência de montagem da topologia da rede, a partir das características da rede.

Tabela 5.1: Montagem da topologia da rede

Nome do arquivo						
Número de nós	Número de elementos (tubos/reservatórios/etc)		Número de tubos	Número de reservatórios	Número de nós com demanda	
Número do elemento tubo	Número do nó de montante	Número do nó de jusante	Diâmetro (em metro)	Comprimento (em metro)	Coeficiente de Hazen-Williams (adimensional) ou Rugosidade (em mm)	Soma dos coeficientes de perda de carga localizada
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
Número do elemento tubo	Número do nó de montante	Número do nó de jusante	Diâmetro (em metro)	Comprimento (em metro)	Coeficiente de Hazen-Williams (adimensional) ou Rugosidade (em mm)	Soma dos coeficientes de perda de carga localizada
Número do elemento reservatório	Número do nó de montante	Número do nó de jusante	Nível do reservatório (em metro)			
.	.	.	.			
.	.	.	.			
.	.	.	.			
Número do elemento reservatório	Número do nó de montante	Número do nó de jusante	Nível do reservatório (em metro)			
Número do nó	Demanda nodal (em m <sup>3</sup> )					

Como alternativa e para simplificar a criação da topologia pode-se utilizar o software EPANET da Agência Americana de Proteção Ambiental, onde é possível importar um mapa ou mesmo uma imagem eletrônica e construir sobre este cenário a rede de distribuição de água. Este programa permite que, a partir do lançamento de elementos gráficos, o software cria o código fonte da topologia e exporte para outro aplicativo em forma de texto. Para lançamento desta

topologia no MUFFLED DETECTION é preciso que haja um tratamento no código fonte gerado pelo EPANET, devido a diferenças de concepção entre os mesmos.

É importante que a área a ser modelada possua um levantamento topográfico confiável, na medida em que é necessária a cota dos nós para verificação das cargas nodais.

### **5.3 Levantamento dos consumos nodais**

Caso se conhecesse o consumo de cada usuário do sistema ao longo do período teríamos as demandas de cada nó para cada instante de tempo. Em tal caso, a distribuição de vazões na rede, salvo fugas e consumos não registrados pelos hidrômetros, estaria perfeitamente definida. Porém, isto é praticamente impossível de se obter, devendo-se então recorrer a estimativas feitas com base em algum critério. GARCIA-SERRA (1988) *apud* PIZZO (2004) sugere que as estimativas das demandas nodais sejam realizadas em função do faturamento da companhia de água para os locais onde a rede já é existente e possuem dados de medição de volume consumido (micro-medição).

Com os dados de consumo coletados em cada ponto de consumo, o processo a seguir é atribuir a cada nó do modelo o consumo das medições mais próximas ao mesmo, tendo em conta que estas devem estar posicionadas em linhas que confluam ao nó. É essencial construir uma base de dados e associar uma zona de influência da rede a cada nó, de maneira que o consumo de todas as medições da mesma fique associado a esse nó.

### **5.4 Coeficiente de rugosidade**

O coeficiente de rugosidade é um parâmetro de certa forma indefinido que responde pelas perdas de energia distribuídas que ocorrem durante o transporte dos fluídos nas redes. Além

destas, somam-se ainda as perdas de energia localizadas, ocorridas nas conexões, ajustes, válvulas e desvios de alinhamento de um sistema de distribuição. PORTO (2004) cita que, dentre as fórmulas empíricas mais utilizadas, principalmente na prática da Engenharia Sanitária americana, encontra-se a de Hazen-Williams, ressaltando entretanto que seu uso deve ser feito com reserva, principalmente quando se exige a avaliação das perdas de carga com bastante rigor.

Como valor inicial desta variável de calibração, a adoção dos coeficientes C de Hazen-Williams, disponíveis na literatura, torna-se viável. LAMONT (1981) *apud* PIZZO (2004) afirma que, quando utilizados corretamente, os valores deste coeficiente fornecem resultados suficientemente precisos para os fins práticos, apesar de também indicar a fórmula universal como a mais abrangente.

AZEVEDO NETTO (1998) traz os valores usuais do coeficiente C de Hazen-Williams para redes em função do tipo de material e da idade do tubo, conforme mostrado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Coeficientes C de Hazen-Williams

MATERIAL	Coeficiente C de Hazen-Williams		
	Novos	Usados ± 10 anos	Usados ± 20 anos
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	-	-
Aço galvanizado roscado	125	100	-
Aço rebitado (novos)	110	90	80
Aço soldado comum (revestimento betuminoso)	125	110	90
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Chumbo	130	120	120
Cimento amianto	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto, bom acabamento	130	-	-
Concreto, acabamento comum	130	120	110
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130	120
Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento	130	120	105
Plástico (PVC)	140	135	130

Fonte: AZEVEDO NETTO (1998)

A uniformidade do coeficiente de rugosidade da rede de distribuição de água da Vila Liberdade, resultado da recente troca das tubulações, foi o principal motivo de escolha do setor para realização das pesquisas de campo.

## **5.5 Coleta de dados de campo**

A coleta de dados de campo em pontos de monitoramento é fundamental para o sucesso da simulação do modelo hidráulico. A escolha adequada destes pontos permite uma melhor resposta do modelo na correta localização das fugas.

Todos os nós da rede serão sensibilizados de alguma forma pela existência de uma fuga em algum trecho da rede, portanto a criação de uma matriz de sensibilidade que relacione as cargas dos nós com um valor de fuga proposto para cada um dos trechos da rede é recomendada. Assim pode-se avaliar de que forma uma fuga existente em um determinado trecho da rede sensibiliza a carga de cada um dos nós.

Deste modo a escolha dos pontos de monitoramento é feita de forma aleatória, priorizando a escolha dos pontos dentre os nós que se apresentarem mais sensíveis à variação de carga em relação à vazão de fuga  $dH/dq_f$ . Neste estudo, a escolha dos pontos de monitoramento foi propositalmente de um nó nas imediações da região da ocorrência de fuga e outro nó bem distante desta região, de forma a investigar o comportamento dos dados monitorados nas duas situações, já que a companhia de água dispunha de poucos aparelhos disponíveis para as medições. A escolha se revelou bastante instigante, como será demonstrado mais adiante.

Dependendo do nível de instrumentação e telemetria do sistema, os dados podem ser coletados como parte normal da operação. Leituras de medidores de vazão em estações de

bombeamento ou de redução de pressão e a leitura de variações no nível de reservatórios são dados bastante comuns e freqüentemente controlados.

É importante ainda que os dados das condições de contorno associadas sejam registrados antes que cada teste seja executado. Isto inclui informações dos níveis dos reservatórios, condições das bombas etc.

## 5.6 Calibração do modelo

LUVIZOTTO (1998) relata que, sob o ponto de vista da aplicação em sistemas de abastecimento de água, os métodos inversos para detecção de fugas tem a mesma proposição dos métodos de calibração de rede, pois em princípio a idéia é a mesma e se aplica tanto ao ajuste da rugosidade de uma determinada tubulação quanto à determinação da posição e valor de uma fuga.

O modelo de calibração utilizado segue o mesmo princípio do modelo de detecção de fugas proposto, ou seja, acopla o modelo elástico com o otimizador de Nelder-Mead, resultando em um método de busca direto que não utiliza derivadas em sua busca de otimização da função objetivo. Este método é proposto e detalhado em PIZZO (2004).

Na maioria dos modelos o grau de incerteza está associado, mais notadamente, aos coeficientes de rugosidade e as demandas a serem atribuídas a cada nó, por isso são geralmente as variáveis de ajuste durante o processo de calibração do modelo da rede.

Desta forma, para a adequada calibração de um modelo, é fundamental que as fugas existentes no setor investigado sejam reduzidas ao mínimo possível, de maneira a não interferir no processo de ajuste das demais variáveis (rugosidade e demandas nodais). Para tanto, antes da realização dos levantamentos em campo dos dados de vazão e pressão, uma campanha de pesquisa acústica para detecção de fugas, bem como o reparo das mesmas, deve ser empreendida.

PIZZO (2004) apresenta um método de construção da matriz de sensibilidade para escolha dos pontos de monitoramento das cargas de maneira a gerar uma matriz de sensibilidade que relaciona o valor da carga ao da rugosidade, permitindo o cálculo analítico das derivadas. Arbitrando a variação unitária  $C$  como sendo um incremento de 10 unidades no seu valor, sendo verificadas as diferenças de carga no nó obtidas com o  $C$  real e o  $C$  alterado, gerando um  $dH/dC$ . Esta matriz, entretanto, poderá indicar como melhores pontos de monitoramento locais diferentes dos indicados como pontos mais sensíveis à presença de fugas.

### **a) Macro-calibração**

A macro-calibração do modelo consiste em uma fase de detecção e correção de erros mais grosseiros. Quando na macro-calibração se verifica um desequilíbrio supostamente excessivo (por exemplo trinta por cento) entre os valores obtidos na modelagem e os medidos em campo, de um (ou mais) parâmetro do modelo, a causa da diferença provavelmente se estende além dos erros de estimativa para cada rugosidade de tubo e demanda nodal. São muitas as causas possíveis para tais diferenças: válvulas fechadas ou parcialmente fechadas, curvas de bombas inadequadas, dados de medição com erros, incorreção de diâmetros e comprimentos de tubos; geometria errada da rede, delimitação incorreta de zonas de pressão etc.

O objetivo principal desta etapa é adequar o máximo possível o modelo de simulação com a realidade física da rede, de maneira que os resultados gerados no modelo estejam em relativa concordância com os dados observados em campo.

As diferenças entre os resultados da aplicação do modelo e as observadas em campo podem ser causadas por diversos fatores ORMSBEE e LINGIREDY (1997) *apud* PIZZO (2004):

- erros na modelação dos parâmetros (valores de rugosidade de tubulações e distribuição de demandas nodais);
- geometria incorreta da rede (tubos conectados a nós errados);
- definição incorreta dos limites das zonas de pressão;

- dados incorretos da rede (diâmetro dos tubos, comprimentos, etc.);
- erros nas condições de contorno (ou seja, incorreções nos dados de válvulas reguladoras de pressão, nível de água dos reservatórios, curvas de bombas, etc.)
- erros em registros da operação do sistema (por exemplo, bombas partindo e parando em períodos incorretos);
- erros nos equipamentos de medição;
- erros de leitura nos instrumentos.

Antes de passar à micro-calibração é útil realizar a análise de sensibilidade do modelo, a fim de auxiliar na identificação da provável fonte de erros deste. Isto pode ser conseguido variando os parâmetros do modelo em diferentes faixas e então medindo os efeitos associados.

## **b) Micro-calibração**

A micro-calibração é realizada depois que os resultados do modelo e as observações de campo estiverem em relativa concordância. Os parâmetros a serem ajustados durante esta fase final mais refinada da calibração são a rugosidade dos tubos e as demandas nodais.

ORTIZ et al (s.d.) *apud* PIZZO (2004) cita que o grau de precisão do modelo é comumente definido em termos das pressões ou cargas nos nós monitorados, e depende principalmente da precisão na formulação dos dados de entrada e da dedicação e investimento que o usuário do modelo está disposto a aplicar para alcançar um adequado ajuste.

Estimar até que grau o ajuste é considerado razoável não é tarefa fácil, já que diversos fatores são envolvidos, como:

- Qualidade dos dados de pressões e cotas utilizados;
- Quantidade de recursos econômicos disponíveis para efetuar as medições em campo e trabalho de escritório, para ajustar o modelo.

Como critério de avaliação da precisão dos dados obtidos na simulação WALSKI (1983) *apud* PIZZO (2004) propõe uma diferença média de 1,5 m entre a pressão medida e a pressão calculada, com um valor máximo de 5,0 m para um bom grupo de dados de entrada. Entretanto WALSKI (1986) e BHAVE (1988) *apud* PIZZO (2004) aponta como preferível estabelecer um critério de avaliação através das relações entre os valores de pressão e carga previstos pelo modelo e os observados (medidos) em campo, junto aos nós que estão sendo monitorados e nos locais onde a perda de carga tenha sido medida. Esse critério de “relação” independe das unidades utilizadas e da natureza do gradiente hidráulico, seja este plano ou com forte declividade. Uma tolerância de  $\pm 3,0\%$  nas pressões ou perdas de carga, para diferentes condições de operação, é considerado um valor aceitável.



## **6. ESTUDO DE CASO**

A análise do modelo computacional de localização de fugas será realizada no setor Vila Liberdade do sistema de abastecimento da cidade de Jundiaí-SP, com os recursos disponíveis no Departamento de Água e Esgoto, de modo a tentar reproduzir, o mais próximo possível da realidade, as condições e recursos disponíveis nas companhias de água.

Jundiaí possui uma população de aproximadamente 330 mil habitantes urbanos com 95,41% de sua população atendida com rede de água e 91,31% com coleta de esgoto. Existem 84.552 ligações de água. O índice de perdas é da ordem de 35%.

A realidade da companhia de água de Jundiaí infelizmente não reflete a condição observada na maioria das companhias brasileiras. Embora de médio porte, o Serviço de Água conta com um departamento responsável pelo controle das perdas, bem como equipes responsáveis pela micro-medição (hidrômetros) que possuem equipamentos de coleta e armazenadores de dados de vazão e pressão, utilizados na campanha de medição empreendida.

### **6.1 Levantamento de dados do setor**

O setor Vila Liberdade foi escolhido por ter seus limites bem definidos e, principalmente, possuir uma rede recém substituída, tornando o cadastro relativamente confiável. O setor possui ainda um cadastro digitalizado bastante completo com localização das redes, identificação dos consumidores e cotas topográficas, com mostrado no Anexo I.

Os indicadores gerados pela Divisão de Perdas e Controle apontam para um índice de perdas bastante pequeno como mostra o gráfico da Figura 6.1, onde se observam os volumes macro-medidos e micro-medidos nos anos de 2003 e 2004 respectivamente. A relação entre os volumes macro e micro-medidos apresentam inconsistência nos meses de julho e agosto de 2003 e no mês de fevereiro de 2004, relatadas pelo DAE como, por exemplo, falha no macro-medidor.

Os números apresentados apontam para um índice de perdas médio no setor de 7,56% ou 75 l/dia.ligação no ano de 2003 e de 5,29% ou 40 l/dia.ligação nos cinco primeiros meses de 2004. Valores bastante baixos se comparados a índices de perdas nacionais ou mesmo internacionais.

Estes baixos índices são fruto da recente troca de suas tubulações, reduzindo portanto a quase nulas as ocorrências de vazamentos na rede. Desta forma não há necessidade de realização de uma campanha de pesquisa, detecção e reparo de vazamentos antes da construção do modelo, tornando sua aplicação mais rápida e precisa.

Mesmo a rede apresentando condições favoráveis para a realização do estudo em campo, como redes novas com rugosidades conhecidas e uma boa base cadastral, e a companhia possuir informações atualizadas e um elevado grau de organização, a pesquisa esbarrou em alguns limites, dificultando uma análise mais detalhada do modelo proposto. A principal dificuldade encontrada foi em relação ao pequeno número de aparelhos de coleta e armazenamento de dados disponíveis, impossibilitando a instalação de um maior número de estações de monitoramento.

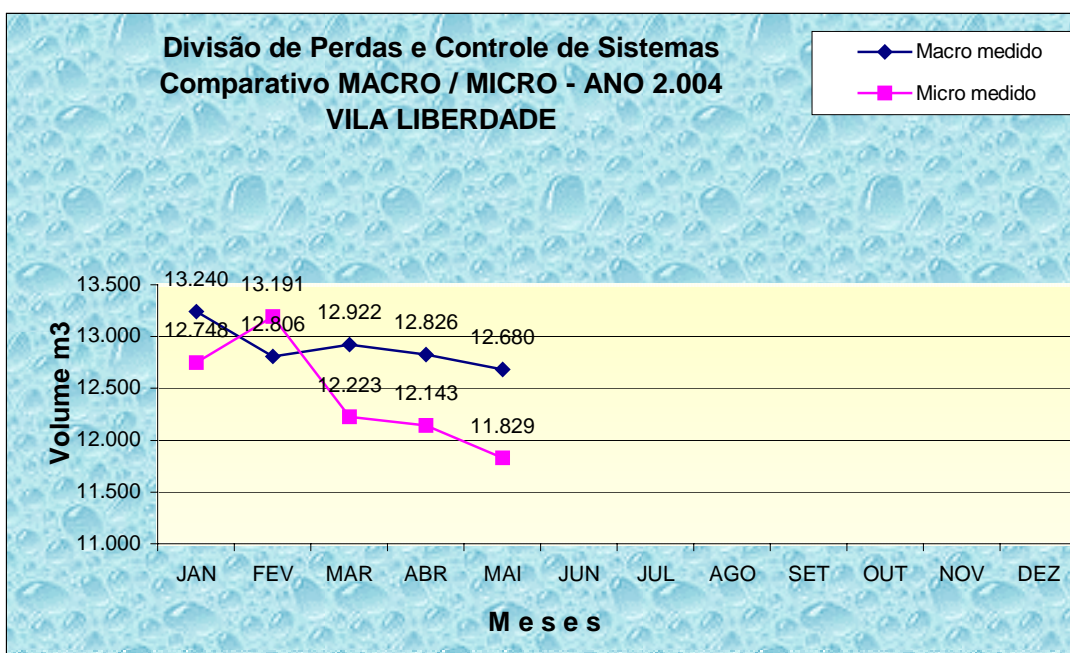
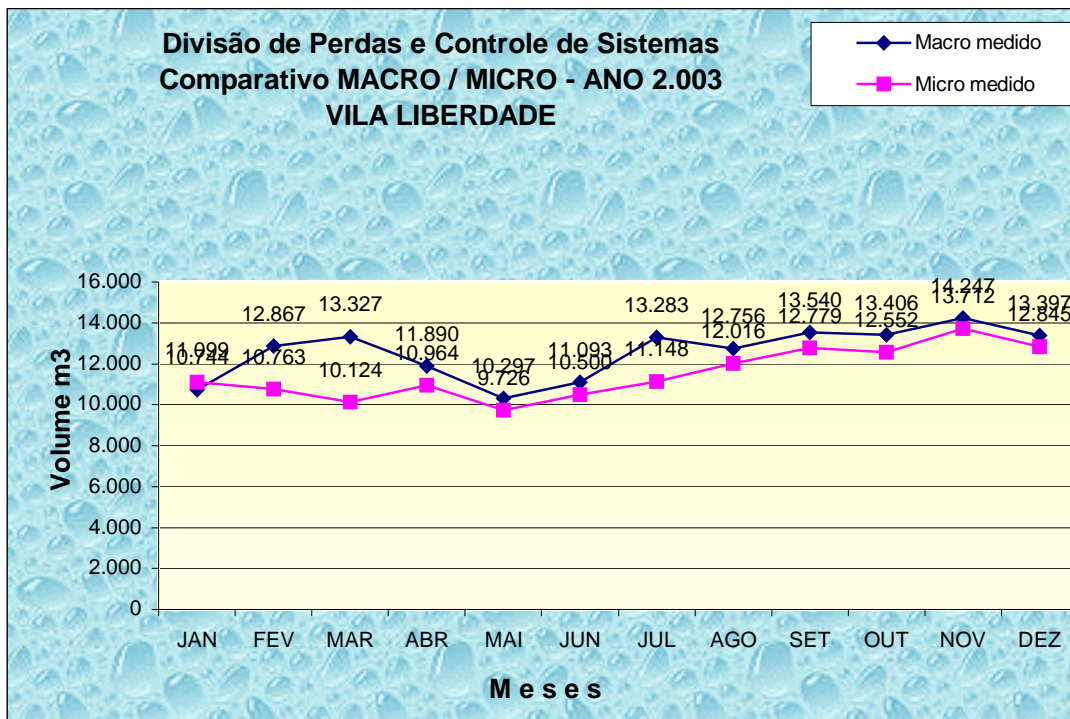


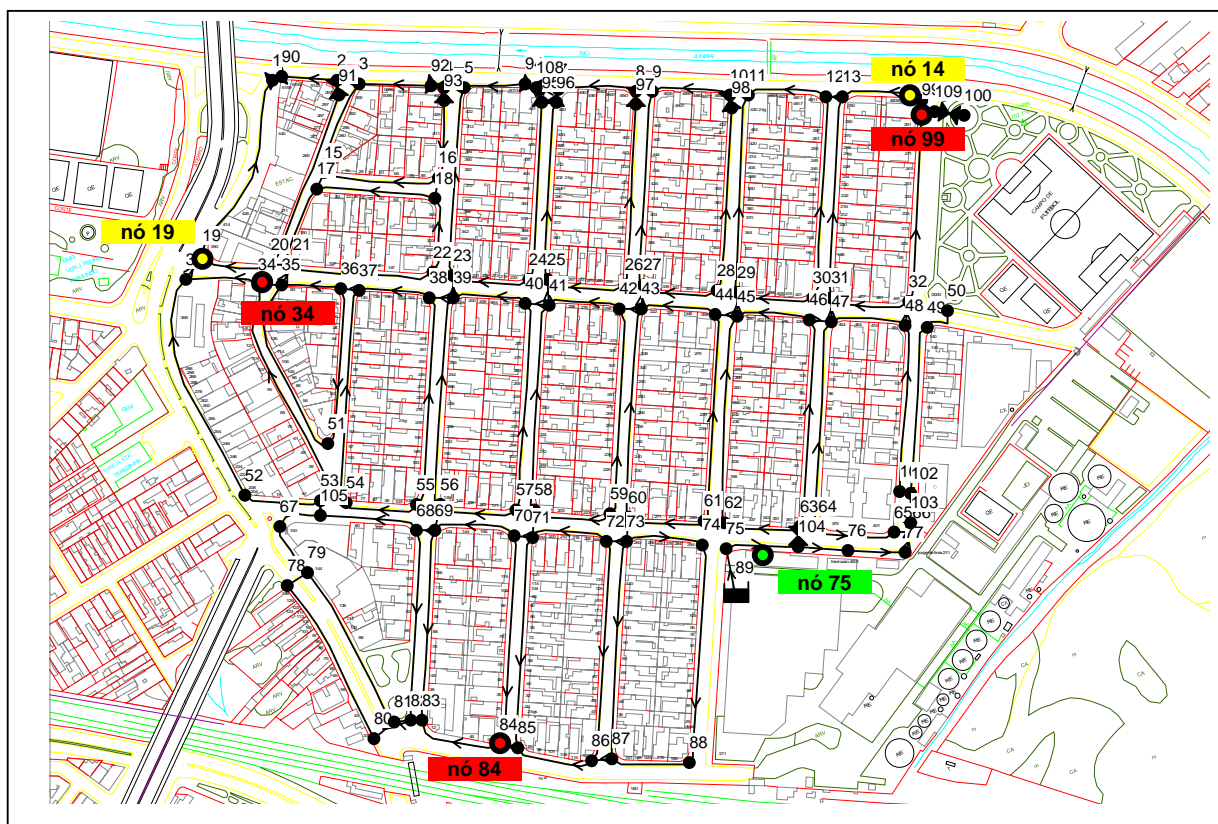
Figura 6.1: Gráficos comparativos entre os volumes macro e micro-medidos do setor Vila Liberdade nos anos de 2003 e 2004  
 Fonte: DAE Jundiaí – Divisão de Perdas e Controle

## 6.2 Topologia da rede

A rede de distribuição foi desenhada inicialmente no software EPANET sobre a planta digitalizada do setor, incluindo os trechos de rede e nós e criando um reservatório de nível variável junto do ponto de monitoramento da entrada do setor. Como nível deste reservatório, foi atribuída a pressão medida no local. O EPANET atribui automaticamente a numeração dos trechos e nós e considera para o coeficiente de rugosidade, extensão e diâmetro do trecho como os padrões de entrada pré-estabelecidos (*default*), que devem ser alterados depois. As demandas nodais e as cotas topográficas devem ser atribuídas em cada nó. O EPANET permite ainda imprimir a rede criada e também exportar o arquivo de topologia para o formato de texto (extensão .INP que pode ser convertida em .TXT), conforme apresentados no Anexo II.

Com o arquivo na extensão texto (.TXT) foi possível tratar as informações, organizando-as de modo a serem reconhecidas pelo modelo computacional MUFFLED DETECTION, utilizado neste trabalho.

A topologia resultante deste tratamento, e empregada na modelagem computacional está apresentada na Figura 6.2 e detalhada em maior escala no Anexo III.



#### LEGENDA

- ponto de monitoramento de vazão e pressão
- ponto de monitoramento de pressão
- nó com suspeita de fuga

Figura 6.2: Rede de distribuição de água do setor Vila Liberdade, com pontos de monitoramento e nós com suspeita de fuga

### 6.3 Levantamento de dados em campo

O levantamento de dados de campo coletou, durante um período de sete dias, as variáveis de estado pressão e vazão em um ponto da rede de distribuição, e pressão em outros dois pontos, durante um período de 7 dias, em um intervalo de tempo de 15 minutos, entre os dias 21/08/2004 e 27/08/2004.

A coleta de vazão e pressão foi realizada na entrada do setor. Neste local já está instalado o macro-medidor do setor, sendo acoplado apenas um armazenador de dados, conforme mostrado na Figura 6.3. Esta medição gerou uma curva de modulação da demanda geral do setor, utilizada posteriormente para definir as demandas atribuídas aos nós ao longo do dia e principalmente no horário de simulação da fuga (3h).

A coleta dos dados de pressão na rede é realizada nos cavaletes residenciais, conforme Figura 6.4, com exceção do nó de monitoramento da entrada do setor e da válvula de descarga da rede em que a medida será tomada na própria rede. A diferença topográfica existente entre o terreno e o cavalete será considerada na simulação hidráulica. Os medidores serão posicionados nos cavaletes residenciais em pontos extremos do setor (nó 19 e nó 14). O aparelho instalado junto ao nó 14 está bastante próximo do ponto de simulação da fuga.



Figura 6.3: Medidor de vazão e pressão instalado na entrada do setor Vila Liberdade (nó 75)





Figura 6.4: Instalação do medidor de pressão em cavalete no setor Vila Liberdade (nó 19)

As principais medidas coletadas em campo, utilizados nas operações de calibração da rede e localização das fugas estão apresentadas na Tabela 6.1. Os gráficos com as curvas diárias de vazão e pressão são apresentados no Anexo IV.

Tabela 6.1: Principais medidas de campo obtidas nos pontos de monitoramento

NÓ	VAZÃO 21/08/03 – 3h (l/s)	PRESSÃO	
		medição SEM a vazão da fuga criada 21/08/04 – 3h (mH <sub>2</sub> O)	medição COM vazão da fuga criada 24/08/04 – 3h (mH <sub>2</sub> O)
<b>75</b>	1,33	33.70	30.20
<b>14</b>	-	37.25	33.20
<b>19</b>	-	31.78	27.60

## 6.4 Consumos nodais

As demandas de consumo dos nós foram determinadas a partir de levantamento mensal dos consumos em cada economia do setor, através das leituras dos micro-medidores (hidrômetros), fornecidos pelo setor comercial da companhia de água. As demandas do setor são eminentemente residenciais, sendo distribuídas conforme critério de distribuição apresentado no método. Neste setor está instalada uma industria de alimento, grande consumidora de água, entretanto está localizada junto à entrada do setor e com baixo consumo noturno, pouco interferindo no modelo. As demandas micro-medidas referentes ao setor no mês de maio de 2004 estão apresentadas no anexo V.

A cada nó da rede foram atribuídos os consumos das ligações existentes na área de influência. A área de influência é a metade da extensão do trecho ligado ao nó, como mostrado na Figura 6.5. O consumo relativo é o consumo do nó no instante requerido, obtido a partir dos valores médios levantados, conforme expressão 6.1.

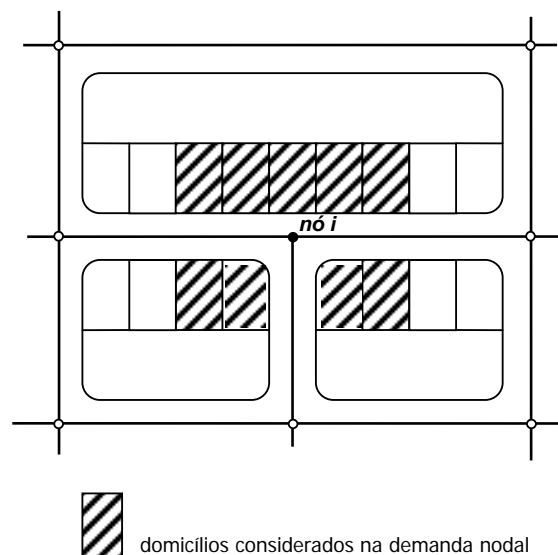


Figura 6.5: Consumos domiciliares considerados na demanda do nó i



$$\text{Consumo Relativo}_{(i)} = \frac{\text{Consumo Mensal do Nó}}{n^{\circ} \text{ de segundos do mês}} * \frac{Q_i}{Q_m} \quad (6.1)$$

onde o Consumo Relativo no instante  $i$  é dado em l/s, o Consumo Mensal do nó em litros,  $Q_i$  é a vazão obtida no instante  $i$  e  $Q_m$  é a vazão média diária, ambas obtidas na curva de demanda da macro-medição.

Como medida de verificação final das demandas nodais foi realizada a comparação entre a somatória das demandas nos nós com a demanda geral do setor no instante escolhido (3h), obtendo valores bastante próximos, como mostrado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Verificação das demandas nodais

<b><math>\Sigma</math> das demandas nodais</b> <b>t=3h</b> <b>(l/s)</b>	<b>Vazão de entrada no setor</b> <b>t=3h</b> <b>(l/s)</b>
0.96	1.33

## 6.5 Calibração da rede

Uma primeira verificação dos parâmetros estabelecidos para a simulação da rede foi realizada no EPANET onde logo em princípio observaram-se alguns valores de entrada incorretos. Esse primeiro ajuste permitiu o processamento da rede, uma vez que erros grosseiros pudessem ser corrigidos.

Os valores de carga obtidos nos pontos monitorados quando comparados com os obtidos a partir da simulação hidráulica não apresentassem grandes diferenças, como mostra a Tabela 6.3 a partir do critério estabelecido por WALSKI (1986) e BHAVE (1988) *apud* PIZZO (2004) o detalhado em 5.6.

Tabela 6.3: Cargas nos nós 14 e 19

<b>Nós</b>	<b>Carga Monitorada (23/8 - 5h) H*</b>	<b>Carga Calculada H</b>	<b>Diferença</b>	<b>Erro admissível segundo WALSKI (1986) e BHAVE (1988)</b>
<b>Nó 14</b>	737,76	738,99	-0,17%	± 3%
<b>Nó 19</b>	739,00	738,99	0%	

Os valores apresentados na Tabela 6.3 são provenientes de simulação realizada para o horário de 5h. A escolha deste horário tem por objetivo minimizar os efeitos do consumo sem uniformidade, das manobras e demais influências sobre as medidas de carga da rede. Estes efeitos são comuns e inerentes às atividades realizadas durante o período diurno.

Embora os valores simulados e os monitorados não apresentassem grandes divergências, foram realizadas tentativas de melhorar o modelo, com o intuito de reduzir ao máximo a possibilidade de influência na localização correta das fugas. Para tanto, foi utilizado o modelo calibrador apresentado em PIZZO (2004), Figura 6.6, construído a partir dos mesmos princípios do modelo de detecção, denominado CALIBRADOR que, após várias tentativas, não conduziu a melhorias significativas.

O reduzido número de aparelhos de coleta de dados levou à instalação de reduzidos pontos de monitoramento da rede, tornando sua calibração complexa do ponto de vista da modelagem, o que não inviabiliza os estudos, uma vez que os resultados obtidos na simulação do regime permanente apresentaram, conforme visto, cargas bastante próximas das monitoradas em campo.

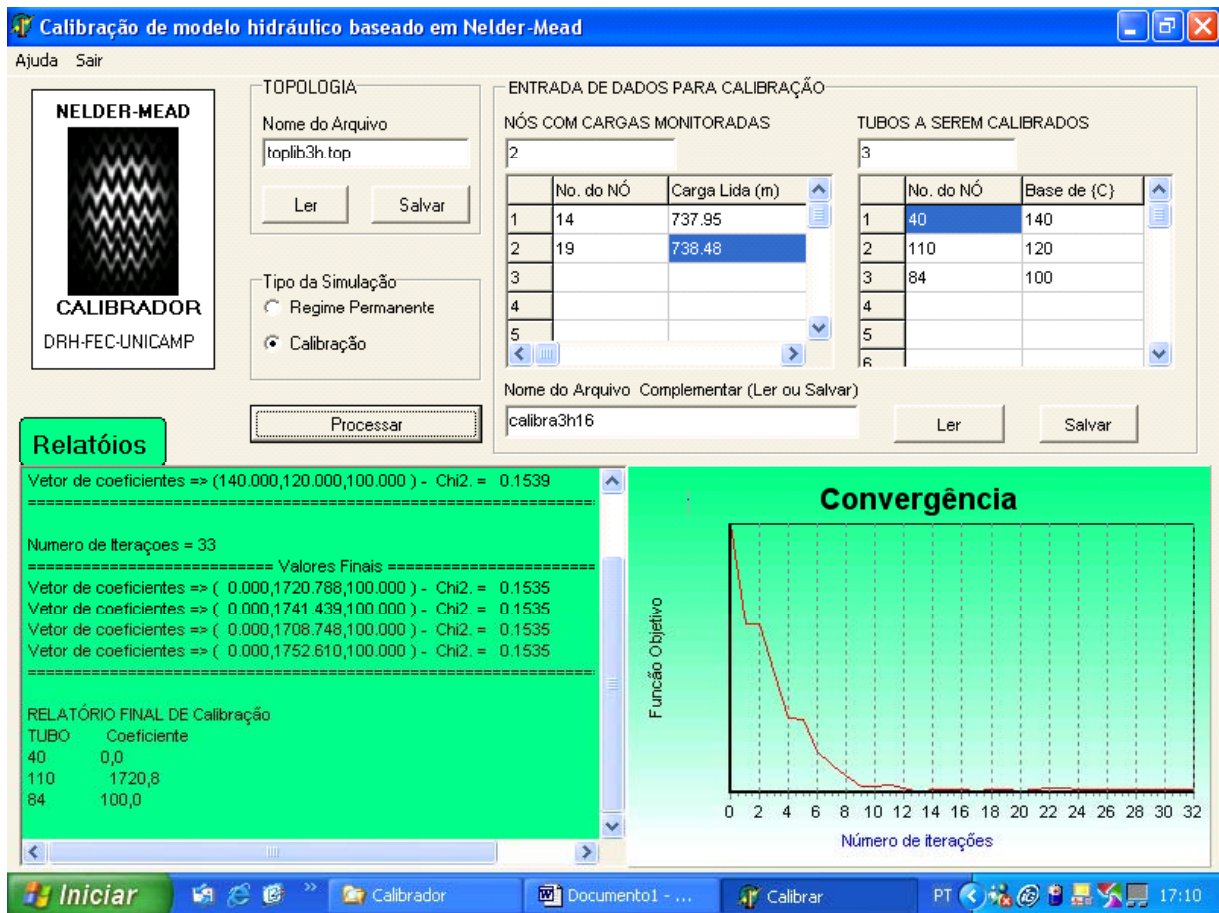


Figura 6.6: Tela gerada no modelo de calibração CALIBRADOR

## 6.6 Simulação de uma fuga e estimativa de sua vazão

A simulação de uma fuga em campo foi realizada a partir da abertura de uma válvula de descarga existente na rede, durante a madrugada (3h) para que o vazamento criado não fosse mascarado pelo consumo. A válvula está localizada junto ao nó 100.

Por falta de medidores disponíveis no DAE Jundiaí, não foi possível realizar a medição destas vazões, o que, de modo geral, não interfere no processo, tendo em vista que nas fugas realmente existentes não se conhece sua magnitude (vazão).

Entretanto, seria bastante interessante saber, pelo menos de maneira estimada, seu valor. O que se mostrou fundamental no desenvolvimento posterior do trabalho, como será relatado. Para realização desta estimativa, novamente foi utilizado o software EPANET simulando o comportamento da rede para a nova situação apresentada. A carga no ponto 14 (monitorado) foi alterada para o valor medido no momento da abertura das válvulas e atribuído ao ponto 100 (localização da fuga) uma demanda temporal variando de 0 a 10 l/s, obtendo assim um gráfico da variação da pressão em relação à demanda criada, conforme apresentado na Figura 6.7. O refinamento da estimativa da vazão pode ser feito reduzindo-se a variação da demanda temporal para o intervalo entre 0 e 5 l/s, gerando o gráfico da Figura 6.8. O valor estimado da vazão da fuga obtido foi de aproximadamente 3,5 l/s.

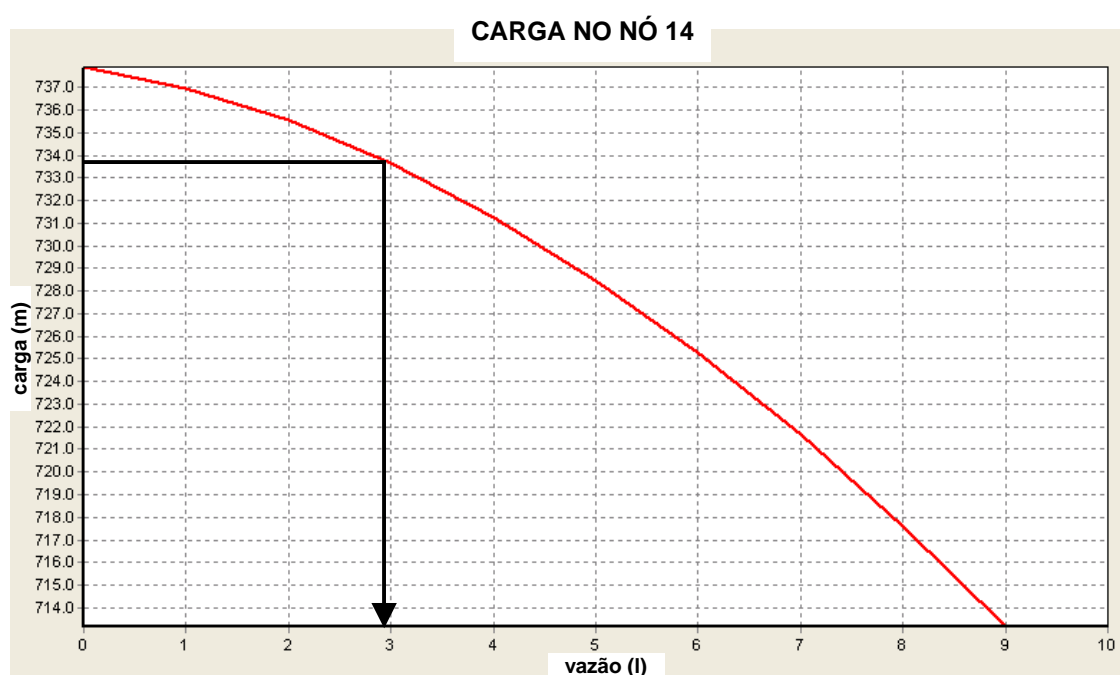


Figura 6.7: Variação da carga no nó 14 e vazão de fuga simulada para intervalo entre 0 e 10 l/s

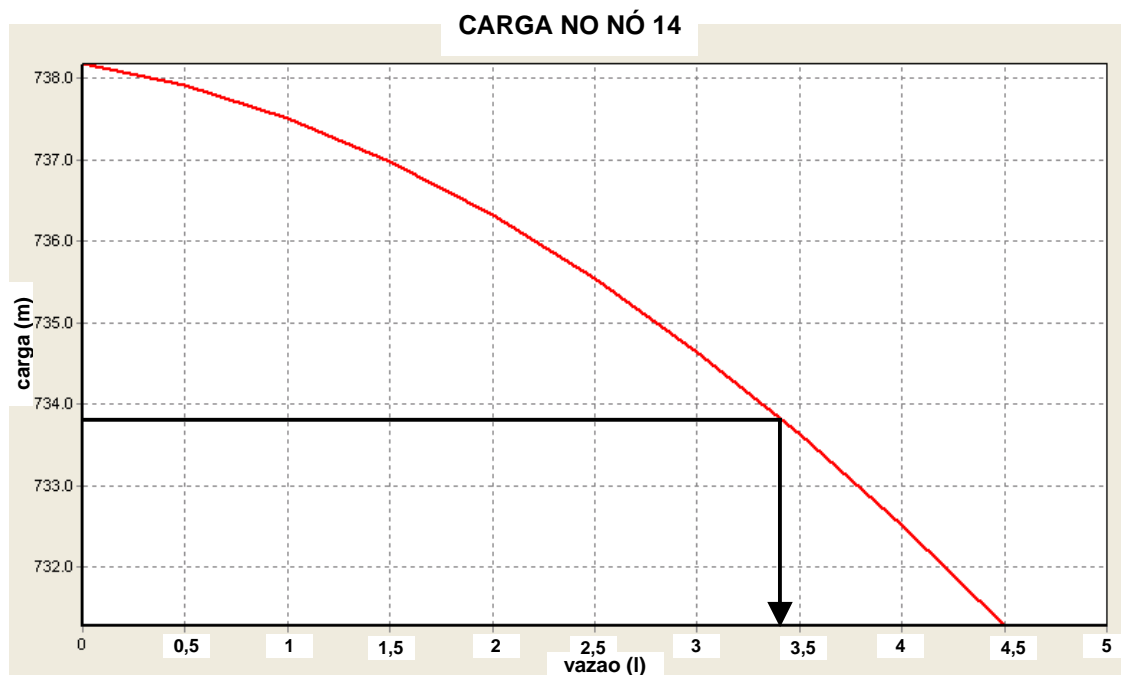


Figura 6.8: Variação da carga no nó 14 e vazão de fuga simulada para intervalo entre 0 e 5 l/s

## 6.7 Localização da fuga

A localização da fuga é realizada com o modelo MUFFLED DETECTION, cuja tela de entrada de dados é mostrada na Figura 6.9. Criando uma topologia, é possível realizar a simulação da rede em regime permanente, obtendo em retorno as cargas nos nós e vazões nos trechos de rede. Atribuindo os nós com suas respectivas cargas monitoradas e os nós com suspeitas de fuga e uma vazão inicial atribuída (totalmente aleatória), determina-se a localização da região com maior probabilidade de localização de(s) fuga(s).

Os parâmetros de localização das fugas, utilizados no modelo computacional, estão relacionados na Tabela 6.4.

Para avaliar os erros nas medições, será admitida uma variação de mais ou menos 0,5 metro em relação à carga obtida a partir dos valores medidos em campo, criando uma faixa de análise de desempenho do modelo. Desta forma o modelo é avaliado dentro da faixa de tolerância citada em 5.6 (b), ou seja,  $\pm 1,5$  m e  $\pm 3\%$ .

**MUFFLED DETECTION**  
DRH-FEC-UNICAMP

**TOPOLOGIA**  
Nome do Arquivo:   
Ler Salvar  
Tipo da Simulação:  
☒ Regime Permanente  
☐ Deteccção  
Processar

**ENTRADA DE DADOS PARA DETECÇÃO**

**NÓS COM CARGAS MONITORADAS**

No. do NÓ	Carga Lida (m)
1	
2	
3	
4	
5	

**NÓS COM SUSPEITA DE FUGA**

No. do NÓ	Fuga Max. (l/s)
1	
2	
3	
4	
5	
6	

Nome do Arquivo Complementar (Ler ou Salvar):  Ler Salvar

**Convergência**

Número de iterações: 0

Taskbar: Iniciar, Detector, Calibrar, Detector, PT, 17:18

Figura 6.9: Tela de entrada do modelo de detecção MUFFLED DETECTION

A varredura da faixa de análise é feita fixando a leitura medida de um dos nós monitorados para, em seguida, variar a medida do(s) outro(s) nó(s) em escalas de 0,10 m, percorrendo toda a faixa de  $\pm 0,50$  m. Desta forma, cria-se um conjunto de pontos que serão adotados como parâmetro de entrada no modelo.

Tabela 6.4: Parâmetros utilizados na localização das fugas

<b>NÓ</b>	<b>CARGA</b>	
	<b>medição SEM a vazão da fuga criada 21/08/04 – 3h (m)</b>	<b>medição COM vazão da fuga criada 24/08/04 – 3h (m)</b>
<b>14</b>	737.95	733.90
<b>19</b>	738.48	734.39

## 6.8 Resultados obtidos

### a) TESTE 1 : Verificação da rede sem a fuga criada em campo

No TESTE 1, o modelo foi processado com as pressões obtidas nas estações de monitoramento nos instantes em que a descarga da rede permaneceu fechada, ou seja, sem a presença da fuga criada na rede. A partir das cargas verificadas nos nós 14 e 19 de 737,95 mH<sub>2</sub>O e 738,48 mH<sub>2</sub>O, respectivamente, foi realizada a verificação dos resultados produzidos pelo modelo proposto variando as cargas no intervalo de análise de  $\pm 0,50$  m em escala de 0,10 m. Os resultados obtidos no modelo são apresentados na Figura 6.10 e na Tabela 6.5. A análise dos resultados leva à avaliação de uma provável fuga de 1 l/s no nó 99. Entretanto o valor de 1 l/s pode ainda ser interpretado apenas como um erro admissível. Este primeiro teste demonstra que os parâmetros sugeridos para o modelo representam as condições da rede, proporcionando uma primeira análise de consistência do modelo proposto.

### Análise de Frequência dos Resultados TESTE 1

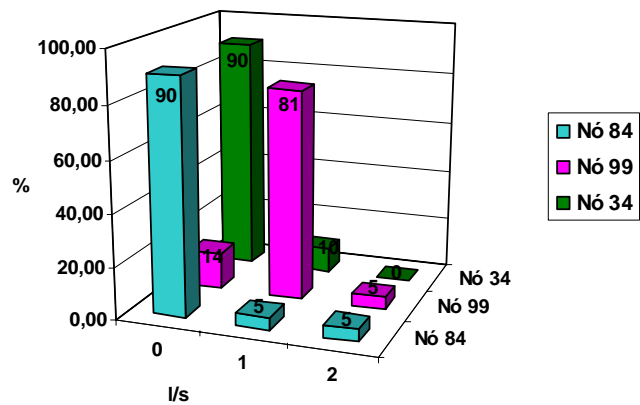


Figura 6.10: Análise de frequência dos resultados do TESTE 1

Tabela 6.5: Valores obtidos no TESTE 1 para localização de fuga

Nós monitorados		Nós com suspeita de fuga			E Resíduo
Nó 14	Nó 19	Nó 84 (10 l/s)	Nó 99 (30 l/s)	Nó 34 (20 l/s)	
H (m)	H (m)				
737.95	737.98	2	1	1	0
737.95	738.08	1	1	1	0
737.95	738.18	0	1	0	0
737.95	738.28	0	1	0	0.0013
737.95	738.38	0	1	0	0.5390
737.95	738.48	0	1	0	0
737.95	738.58	0	1	0	0
737.95	738.68	0	1	0	0
737.95	738.78	0	1	0	0.2860
737.95	738.88	0	1	0	0.4026
737.95	738.98	0	1	0	0.5390

*continua*



*continuação*

737.45	738.48	0	2	0	0.0723
737.55	738.48	0	1	0	0.0691
737.65	738.48	0	1	0	0.0658
737.75	738.48	0	1	0	0.0625
737.85	738.48	0	1	0	0.0591
738.05	738.48	0	1	0	0.0518
738.15	738.48	0	1	0	0.0474
738.25	738.48	0	0	0	0.0409
738.35	738.48	0	0	0	0.0432
738.45	738.48	0	0	0	0,0655

**b) TESTE 2 : Localização de fugas com cargas monitorados nos nós 14 e 19  
(com erro de medição)**

O objetivo do TESTE 2 é localizar o(s) ponto(s) suspeito(s) de fuga a partir da atribuição de vazões fictícias em pontos aleatórios da rede. Neste teste foram atribuídas vazões de fuga iniciais fictícias (sementes) de 10 l/s no nó 84, 30 l/s no nó 99 e 20 l/s no nó 34. A carga adotada para os nós monitorados 14 e 19 foi de 733,90 mH<sub>2</sub>O e 734,39 mH<sub>2</sub>O, respectivamente. Estas cargas foram obtidas nas estações de monitoramento durante o período em que a descarga da rede permaneceu aberta, simulando uma vazão de fuga.

O processo de verificação dos resultados, como no TESTE 1, também analisou uma faixa de carga de  $\pm 0,5$  m em intervalos de 0,10 m. Os resultados obtidos apresentaram valores de fuga acima do esperado, conforme demonstrado na Figura 6.11 e na Tabela 6.6.

Os resultados obtidos mostraram vazões de fuga em todos os nós lançados como suspeitos e em todas as combinações de carga verificadas. Embora os resultados indicassem desvios nos resultados, quando comparados com a vazão esperada de aproximadamente 3,5 l/s (anteriormente estimada), a somatória das vazões, em todas as combinações de nós e cargas, totalizavam 12 l/s aproximadamente.

As análises dos valores de vazão obtidas neste teste indicam que pode ter havido um pulso transitório ocorrido, causando inconsistência no registro das cargas nos nós monitorados, principalmente em relação à estação de monitoramento instalada no nó 19, gerando incoerência no valor de carga do nó 19 empregado para detecção.

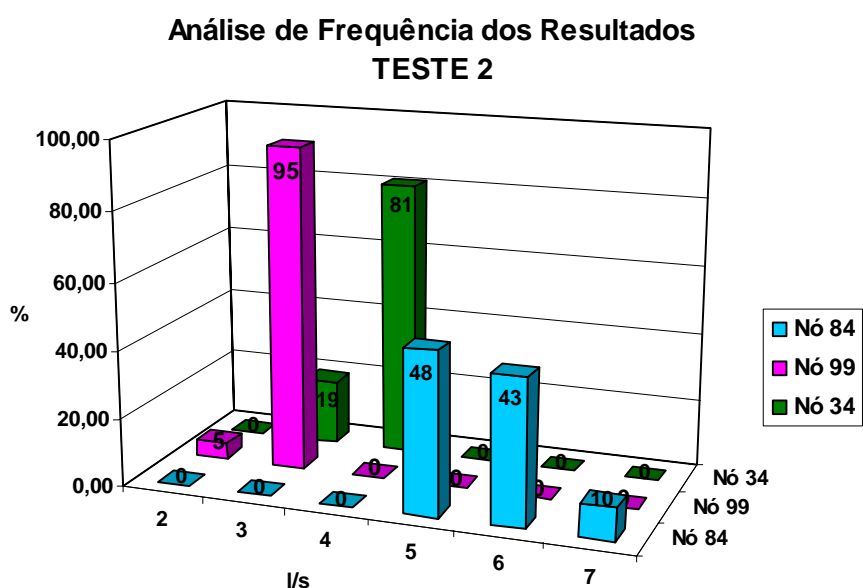


Figura 6.11: Análise de frequência dos resultados do TESTE 2

Tabela 6.6: Valores obtidos no TESTE 2 para localização de fuga

Nós monitorados		Nós com suspeita de fuga			$\epsilon$ Resíduo
Nó 14	Nó 19	Nó 84	Nó 99	Nó 34	
H (m)	H (m)	(10 l/s)	(30 l/s)	(20 l/s)	
733.90	733.89	6	3	4	0
733.90	733.99	6	3	4	0
733.90	734.09	6	3	4	0
733.90	734.19	6	3	4	0
733.90	734.29	5	3	4	0
733.90	734.39	6	3	4	0
733.90	734.49	5	3	4	0
733.90	734.59	5	3	4	0
733.90	734.69	5	3	4	0.2860
733.90	734.79	6	3	3	0.4026
733.90	734.89	6	3	3	0.5390
733.40	734.39	5	3	4	0.0723
733.50	734.39	5	3	4	0.0691
733.60	734.39	5	3	4	0.0658
733.70	734.39	5	3	4	0.0625
733.80	734.39	5	3	4	0.0591
734.00	734.39	7	2	3	0.0518
734.10	734.39	6	3	4	0.0474
734.20	734.39	7	3	3	0.0409
734.30	734.39	5	3	4	0.0432
734.40	734.39	6	3	4	0,0655

A instalação de um maior número de pontos de monitoramento contribui para análise de consistência dos dados utilizados para detecção, além de melhorar o desempenho do modelo, permitindo que resultados mais exatos sejam gerados.

Um artifício para incrementar o número de pontos monitorados é assumir como monitoradas as cargas obtidas na simulação do regime permanente, porém, serão imprecisões que estarão associadas aos valores resultantes.

Desta forma, um novo teste foi proposto com o emprego da carga do nó 19 obtida na simulação hidráulica do regime permanente.

### **c) TESTE 3 : Localização de fugas com carga monitorada no nó 14 e carga simulada no nó 19**

O TESTE 3 propõe uma nova série de simulações onde o valor utilizado como carga monitorada no nó 19 será a carga obtida na simulação hidráulica do regime permanente e a carga monitorada do nó 14 será o resultado obtido na estação de monitoramento. Os nós apontados como suspeitos de fuga e os valores adotados como “sementes” permanecem os mesmos utilizados desde o TESTE 1.

A carga obtida para o nó 19 na simulação hidráulica do regime permanente e utilizada na detecção de fugas é de 738,07 mH<sub>2</sub>O. Os demais parâmetros empregados no modelo são aqueles praticados no TESTE 2, ou seja: Fugas iniciais fictícias (sementes) de 10 l/s no nó 84, 30 l/s no nó 99 e 20 l/s no nó 34 e carga do nó monitorado 14 de 733,90 mH<sub>2</sub>O.

O processo de verificação dos resultados, como nos testes anteriores, analisou uma faixa de carga de  $\pm 0,5$  m em intervalos de 0,10 m. Os resultados obtidos apresentaram valores de fuga acima do esperado, conforme demonstrado na Figura 6.12 e na Tabela 6.7.

A Figura 6.18 e a Tabela da figura 6.19 apresentam os resultados obtidos nesta simulação. Foi adotado o mesmo procedimento de varredura da faixa de análise executado na simulação anterior.

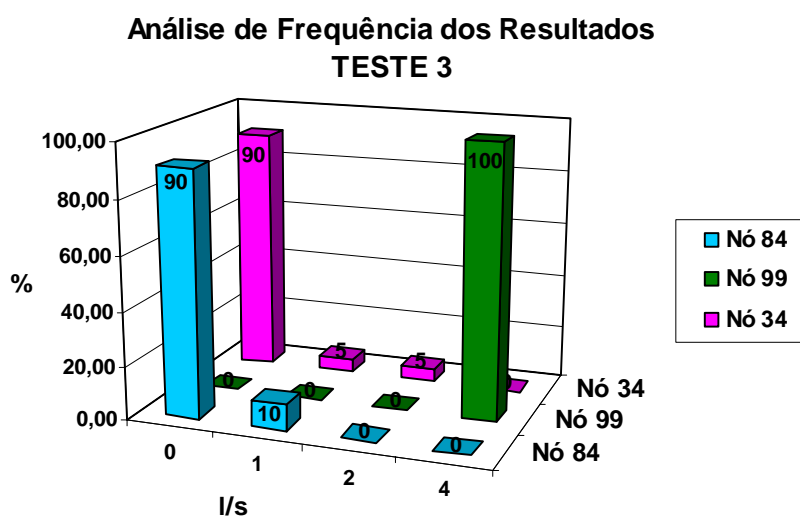


Figura 6.12: Análise de frequência dos resultados do TESTE 3

O resultados obtidos neste teste apontaram, para todas as combinações de carga, sem exceção, uma vazão de 4 l/s no nó 99. Este nó está situado nas imediações do local onde foi criada a fuga em campo, demonstrando que o modelo correspondeu às expectativas de localização de regiões com suspeita de fuga.

A vazão de fuga de 4 l/s apontada no nó 99 também é bem próxima do valor de 3,5 l/s, estimado inicialmente através da simulação do regime permanente realizada no *software Epanet* a partir de uma curva de modulação de vazões.

Tabela 6.7: Valores obtidos no TESTE 3 para localização de fuga

Nós monitorados		Nós com suspeita de fuga			Resíduo
Nó 14	Nó 19	Nó 84	Nó 99	Nó 34	
H (m)	H (m)	(10 l/s)	(30 l/s)	(20 l/s)	
733.90	737.57	0	4	2	0
733.90	737.67	1	4	1	0
733.90	737.77	0	4	0	0
733.90	737.87	1	4	0	0
733.90	737.97	0	4	0	0
733.90	738.07	0	4	0	0.0013
733.90	738.17	0	4	0	0.0186
733.90	738.27	0	4	0	0.0557
733.90	738.37	0	4	0	0.1130
733.90	738.47	0	4	0	0.1900
733.90	738.57	0	4	0	0.2872
733.40	738.07	0	4	0	0.0035
733.50	738.07	0	4	0	0.0030
733.60	738.07	0	4	0	0.0005
733.70	738.07	0	4	0	0.0021
733.80	738.07	0	4	0	0.0017
734.00	738.07	0	4	0	0.0010
734.10	738.07	0	4	0	0.0007
734.20	738.07	0	4	0	0.0005
734.30	738.07	0	4	0	0.0003
734.40	738.07	0	4	0	0.0002

Figura 6.19: Valores de fugas obtidos no TESTE 3

O emprego de diferentes combinações de cargas, dentro de uma faixa considerada como erro aceitável, possibilitou uma análise mais detalhada do desempenho do modelo e de seu comportamento, permitindo verificar como eventuais divergências na calibração podem afetar a localização das fugas.

Neste teste pode-se observar que, no limite mínimo de variação de carga do nó 19 (-1,5m) em relação à carga monitorada do nó 14, o nó 34 apresentou uma vazão de fuga de 2 l/s. Esta fuga é irreal, já que a descarga da rede foi aberta próximo ao nó 99. Este resultado reflete como os erros de calibração podem interferir na exatidão dos resultados gerados pelo modelo de detecção.

Os principais parâmetros adotados no modelo – topologia, rugosidade da tubulação e consumos nodais – mostraram-se apropriados, conduzindo aos resultados esperados na detecção da fuga simulada. Embora a adoção dos parâmetros do modelo tenha sido facilitada pelo bom nível de cadastro da rede existente, de maneira geral, não é esta a realidade verificada nas companhias de água. Desta forma, é fundamental que o modelo seja devidamente calibrado antes que se inicie a simulação para a localização de fugas.

## 7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento de novos métodos, técnicas e ferramentas de localização de fugas é fundamental para a racionalização dos trabalhos, redução de custos e a otimização dos programas de controle de perda, devendo ser amplamente investigados.

Neste contexto, os modelos matemático de simulação-otimização para localização de fugas, baseados no método inverso, se inserem como uma poderosa ferramenta, principalmente no direcionamento das campanhas de investigação de fugas em campo, reduzindo, substancialmente, a área a ser pesquisada com os aparelhos acústicos de detecção (*pin point*).

O modelo utilizado foi capaz de localizar as fugas criadas artificialmente na rede, embora se dispusesse de apenas duas estações de monitoramento.

Entretanto, no estudo de campo realizado, ficou claro que, para suprir as deficiências de monitoramento, devido sobretudo à falta de equipamentos de medição nas companhias de água, o modelo matemático ideal é aquele que permite uma análise do regime ao longo do tempo, variando a carga também ao longo do tempo. Desta forma, as alterações nas variáveis do modelo (carga), ocorridas devido às oscilações no regime de escoamento provocadas pelo surgimento de fugas podem ser prontamente identificadas.

Como o modelo proposto permite a simulação hidráulica no regime transitório, recomenda-se, como sugestão de continuidade das investigações, a análise do modelo sob tais condições.



Ainda como sugestão, deveria ser investigada a quantidade de pontos de monitoramento adequada, atribuindo diferentes “pesos” a cada ponto em função da sua capacidade de sensibilização do todo, muito embora, na prática, esta quantidade de pontos esteja limitada pelos recursos disponíveis nas companhias de água.

Por fim, na certeza de trilhar o caminho adequado, como aspiração futura, deseja-se ver todas estas ferramentas operando de forma integrada nos sistemas de abastecimento como forma de reduzir aos menores níveis possíveis os índices de perda de água que hoje são, nada menos que preocupantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO NETTO, J.M. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. atual. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2003. 669p.

BUZOLIN JR, O. **Sistematização para a gestão de abastecimentos urbanos de água com auxílio do SIG**. 2001. 108p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, Campinas, 2001.

CETRE DO BRASIL. **Deteção de Vazamentos não Visíveis – Métodos Acústicos**, São Paulo, 2003.

HERPETZ, P. **Basics of Maintenance**. Encontro Técnico SABESP, São Paulo, 2003

HIRNER, W.; ALEGRE, H.; COELHO, S. T. **Perdas de água em sistemas de abastecimento: Conceitos básicos, Terminologia e Indicadores de desempenho**. 2000.

LAMBERT, A.; MYERS, S.; TROW, S. **Managing Water Leakage – Economic and Technical Issues**. Financial Times, London, 1998.

LAMBERT, A. O. *et al.* **A review of performance indicators for real losses from water supply systems**. IWA/AQUA, Reino Unido, jan. 2000

LAMBERT, A.; THORNTON, J. **Relatório de consultoria sobre avaliação de perdas reais**. São Paulo: SABESP, 2002.

LUVIZOTTO JR, E. **Relatório final de programa de pós doutoramento na Universidade Politécnica de Valência – Espanha**, 1998.

LUVIZOTTO Jr, E.; OCAMPOS, A. **Comparando os métodos Levenberg-Marquardt e Nelder-Mead em modelos de detecção de fugas**. In: SEMINÁRIO HISPÂNO-BRASILEIRO SOBRE PLANIFICAÇÃO, PROJETO E OPERAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO, 2, 2002, Valência. **Anais...**

LUVIZOTTO Jr, E.; SOLIANI, R.; PIZZO, H. S.; JAQUIÊ, L. **Análise de técnica de busca para um modelo de detecção de fugas**. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 19., 2000, Córdoba. **Anais...** p.309-318

OCAMPOS, A. A. **Avaliação do método de Nelder-Mead na construção de um modelo de detecção de fuga em sistemas de abastecimento de água.** 2003. 104p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, Campinas, 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Banco Mundial. **Water Resources Management Policy Paper**, 1993. 101p.

PNCDA – **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.** Ministério Do Planejamento e Orçamento – Secretaria De Política Urbana. Documentos Técnicos de Apoio. Brasília, 1998.

OLIVEIRA, L. H. **Metodologia para a implementação de programa de uso racional da água em edifícios.** 1999. 343p. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP, São Paulo, 1999.

PIZZO, H. S. **Calibração de modelos de distribuição de água através do acoplamento do TMA com o otimizador de Nelder-Mead.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 137 páginas.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica.** 3. ed. São Carlos: EESC-USP, 2004. 540 p.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Ministério das Cidades. **Relatório de Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2002.** Brasília, 2004.

SMITH, D. **Pinpoint those leaks to save money.** Water/Engineering & Management Magazine, EUA, 1994

THORNTON, J. **Water Loss Control Manual**, McGraw Hill, New York, 2002.

VELA, A; et al. **Estrategias optimas para la reduccion de perdidas de agua en sistemas de abastecimiento.** Revista Ingenieria del Agua. Valencia-Espanha. Vol. 1, n.1, p.35-54. 1994.

WATER RESEARCH CENTRE – WRC. **Leakage Police and Practice.** Report 26, London, 1985.

## BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). **Overview of hydrographic regions in Brazil**. Brasília, 2002.

ALMEIDA, M.C.S.R.S. *et al* **A detecção sistemática de fugas na rede de distribuição de Lisboa e o projeto SPRINT**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais... p.1080-1088

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE – CEPIS. Division de Proteccion de la Salud Ambiental. **Manual sobre control de fugas y mediciones en rede de distribucion de agua**, 1982.

CONFERÊNCIA DA INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION – IWA. **Leakage management – a practical approach**, 2002, Lemesos-Chipre, Anais...326p.

CUNHA, J.M.R.; MELO, J.A.C. **Tecnologia utilizada na operação de redes de distribuição para redução de perda de água – setorização em distritos pitométricos**. In: SIMPÓSIO LUSOBRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, 2000, Porto Seguro. Anais... p.365-372

FAVERO, J. A; DIB M. E. M. **Pesquisa e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. Revista DAE. São Paulo. N.50. São Paulo.

GONÇALVES, E. *et al* **Determinação e controle de perdas na distribuição de água através de monitoramento da vazão mínima noturna**. In: SIMPÓSIO LUSOBRASILEIRO D ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, 2000, Porto Seguro. Anais... p.316-323

GONÇALVES, E. **Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – estudos de caso da CAESB**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Brasília, Universidade de Brasília, 1998 173p.

KATAYAMA, P. T. **Pitometria em sistemas de abastecimento de água**, vol. 1, 163p. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental CETESB, São Paulo, 1989.

SILVA, F.G.B. **Estudo de calibração de redes de distribuição de água através de algoritmos genéticos**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003 234p.

TUCCIARELLI, T., CRIMINISI, A., TERMINI D. **Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation**. Journal of Hydraulic Engineering. p. 277-285. março. 1999.

## **ABSTRACT**

GUMIER, Carlos César. **Leakage management with computational model in water supply system**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 128p. Dissertação (Mestrado).

This work presents, under diverse aspects, the water losses that occur in the distribution networks of the water supply systems and the available mechanisms of control. Amongst the objectives, it detaches the proposal of a computational model as a new tool for leak localization. The considered model was developed through the coupling of hydraulic simulator based in Time Marching Approach – TMA method with the Nelder-Mead optimization algorithm. The work aims to extend the results obtained by LUVIZOTTO (1998) and OCAMPOS (2003), by applying the model to a real water distribution network, using the data provided by the water company and suggesting a methodology for application of the model for such conditions.

**Keywords:** water loss, leak detection, computational model, Nelder-Mead

## **Anexo I – Planta cadastral do setor Vila Liberdade**

# VILA LIBERDADE





## **Anexo II – Planta de topologia da rede de distribuição do setor Vila Liberdade**

# VILA LIBERDADE - TOPOLOGIA DA REDE



### **Anexo III – Topologia empregada na modelagem do setor Vila Liberdade**

Vila Liberdade 3h

107	155	154	1	106		
12	90	2	0.050	50	110	0
13	2	3	0.050	8	110	0
14	3	92	0.050	62	110	0
15	4	5	0.050	8	110	0
16	5	94	0.050	56	110	0
17	6	7	0.050	8	110	0
18	7	8	0.050	56	110	0
19	8	9	0.050	8	110	0
20	9	10	0.050	56	110	0
21	10	11	0.050	8	110	0
22	11	12	0.050	56	110	0
23	12	13	0.050	8	110	0
24	13	14	0.050	56	110	0
25	1	19	0.050	80	110	0
26	91	20	0.050	135	110	0
27	3	15	0.050	70	110	0
28	15	17	0.050	8	110	0
29	17	21	0.050	60	110	0
30	93	16	0.050	70	110	0
31	16	18	0.050	8	110	0
32	18	22	0.050	56	110	0
33	5	23	0.050	132	110	0
34	95	24	0.050	135	110	0
35	96	25	0.150	134	110	0
36	97	26	0.050	136	110	0
37	9	27	0.050	138	110	0
38	98	28	0.050	138	110	0
39	11	29	0.050	140	110	0
40	12	30	0.050	142	110	0
41	13	31	0.050	142	110	0
42	99	32	0.050	144	110	0
43	19	20	0.050	50	110	0
44	15	16	0.050	80	110	0
45	17	18	0.050	90	110	0
47	20	21	0.050	8	110	0
48	21	22	0.050	100	110	0
49	22	23	0.050	8	110	0
50	23	24	0.050	56	110	0
51	24	25	0.050	8	110	0
52	25	26	0.050	56	110	0
53	26	27	0.050	8	110	0
54	27	28	0.050	56	110	0
55	28	29	0.050	8	110	0
56	29	30	0.050	56	110	0
57	30	31	0.050	8	110	0
58	31	32	0.050	56	110	0
59	33	19	0.050	8	110	0
60	35	21	0.050	8	110	0
61	39	23	0.050	8	110	0
62	41	25	0.150	8	110	0
63	43	27	0.050	8	110	0
46	29	45	0.050	8	110	0
64	31	47	0.050	8	110	0
65	32	48	0.050	8	110	0
66	49	50	0.050	12	110	0

67	33	34	0.050	50	110	0
68	34	35	0.050	8	110	0
69	35	36	0.050	50	110	0
70	36	37	0.050	8	110	0
71	37	38	0.050	56	110	0
72	38	39	0.050	8	110	0
73	39	40	0.050	56	110	0
74	40	41	0.050	8	110	0
75	41	42	0.050	56	110	0
76	42	43	0.050	8	110	0
77	43	44	0.050	56	110	0
78	44	45	0.050	8	110	0
79	45	46	0.050	56	110	0
80	46	47	0.050	8	110	0
81	47	48	0.050	56	110	0
82	33	52	0.050	160	110	0
83	34	53	0.050	110	110	0
84	35	51	0.050	120	110	0
85	36	51	0.050	110	110	0
86	37	54	0.050	148	110	0
87	38	55	0.050	148	110	0
88	39	56	0.050	148	110	0
89	40	57	0.050	148	110	0
90	41	58	0.150	148	110	0
91	42	59	0.050	148	110	0
92	43	60	0.050	148	110	0
93	44	61	0.050	148	110	0
94	45	62	0.050	148	110	0
95	46	63	0.050	148	110	0
96	47	64	0.050	148	110	0
97	48	101	0.050	114	110	0
98	101	102	0.050	8	110	0
99	49	102	0.050	120	110	0
100	102	103	0.050	30	110	0
102	52	53	0.050	50	110	0
103	53	54	0.050	8	110	0
104	54	55	0.100	56	110	0
105	55	56	0.100	8	110	0
106	56	57	0.100	56	110	0
107	57	58	0.100	8	110	0
108	58	59	0.100	56	110	0
109	59	60	0.100	8	110	0
110	60	61	0.100	56	110	0
111	61	62	0.100	8	110	0
112	62	63	0.100	56	110	0
113	63	64	0.100	8	110	0
114	64	65	0.100	56	110	0
115	65	66	0.100	8	110	0
117	105	53	0.050	8	110	0
118	69	56	0.050	8	110	0
119	71	58	0.050	8	110	0
120	73	60	0.050	8	110	0
121	67	105	0.050	30	110	0
122	105	68	0.050	70	110	0
123	68	69	0.050	8	110	0
124	69	70	0.050	56	110	0
125	70	71	0.050	8	110	0

126	71	72	0.050	56	110	0
127	72	73	0.050	8	110	0
128	73	74	0.050	56	110	0
129	67	79	0.050	35	110	0
130	79	81	0.050	120	110	0
131	78	80	0.050	120	110	0
132	78	79	0.050	16	110	0
133	80	81	0.050	16	110	0
134	68	82	0.050	135	110	0
135	81	82	0.050	15	110	0
136	69	83	0.050	145	110	0
137	82	83	0.050	8	110	0
138	83	84	0.050	56	110	0
139	70	84	0.050	150	110	0
140	71	85	0.050	152	110	0
141	72	86	0.050	158	110	0
142	85	86	0.050	56	110	0
143	84	85	0.050	8	110	0
144	86	87	0.050	8	110	0
145	73	87	0.050	158	110	0
146	74	88	0.050	154	110	0
147	87	88	0.050	56	110	0
149	75	104	0.200	5	110	0
150	104	76	0.200	40	110	0
151	76	77	0.200	40	110	0
152	77	66	0.200	10	110	0
154	108	6	0.050	1	110	0
155	99	109	0.050	1	110	0
148	75	89	0.200	1	110	0
1	1	90	0.050	1	110	0
2	2	91	0.050	1	110	0
4	4	93	0.200	1	110	0
5	94	108	0.050	1	110	0
6	6	95	0.050	1	110	0
7	96	7	0.050	1	110	0
8	97	8	0.050	1	110	0
9	98	10	0.050	1	110	0
10	14	99	0.050	1	110	0
11	109	100	0.050	1	110	0
101	66	103	0.100	1	110	0
116	104	63	0.200	6	110	150
3	4	92	0.200	1	110	0
89	110	75	738.3			
1	0.0000226					
2	0.0000066					
3	0.0000063					
4	0.0000034					
5	0.0000089					
6	0.0000095					
7	0.0000228					
8	0.0000066					
9	0.0000120					
10	0.0000079					
11	0.0000058					
12	0.0000075					
13	0.0000114					
14	0.0000100					

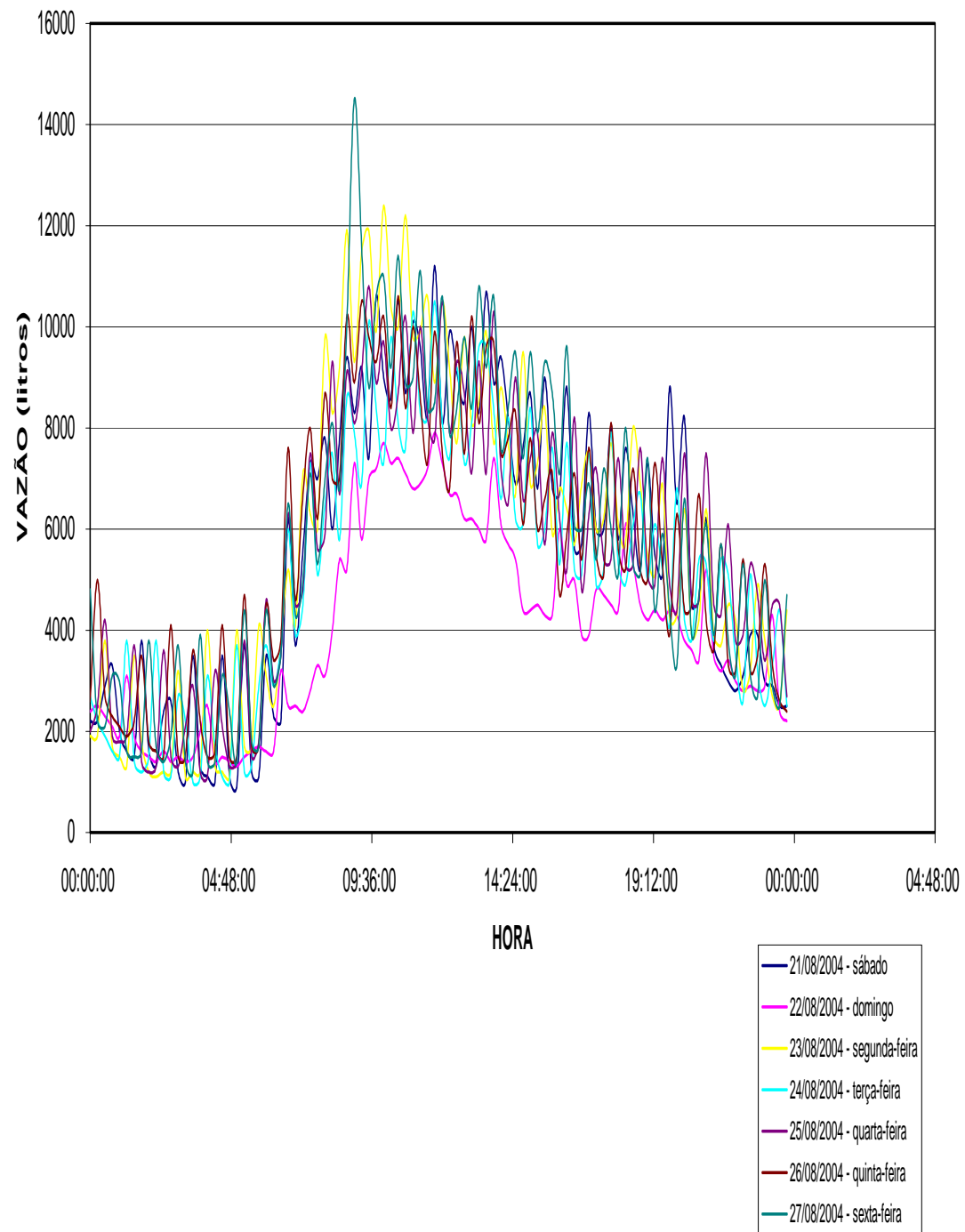
15	0.0000068
16	0.0000040
17	0.0000075
18	0.0000078
19	0.0000039
20	0.0000039
21	0.0000070
22	0.0000058
23	0.0000108
24	0.0000063
25	0.0000084
26	0.0000054
27	0.0000075
28	0.0000089
29	0.0000090
30	0.0000088
31	0.0000093
32	0.0000091
33	0.0000152
34	0.0000120
35	0.0000045
36	0.0000031
37	0.0000096
38	0.0000109
39	0.0000125
40	0.0000164
41	0.0000075
42	0.0000063
43	0.0000064
44	0.0000070
45	0.0000071
46	0.0000084
47	0.0000058
48	0.0000080
49	0
50	0
51	0.0000070
52	0.0000087
53	0.0000053
54	0.0000103
55	0.0000134
56	0.0000094
57	0.0000104
58	0.0000907
59	0.0000066
60	0.0000090
61	0.0000126
62	0.0000070
63	0.0000111
64	0.0000184
65	0.0000216
66	0
67	0.0000030
68	0.0000075
69	0.0000098
70	0.0000092
71	0.0000126

72	0.0000113
73	0.0000106
74	0.0000132
75	0
76	0.0002013
77	0
78	0.0000053
79	0.0000035
80	0.0000060
81	0.0000020
82	0.0000035
83	0.0000115
84	0.0000086
85	0.0000102
86	0.0000105
87	0.0000103
88	0.0000105
90	0
91	0
92	0
93	0
94	0
95	0
96	0
97	0
98	0
99	0
100	0
101	0.0000041
102	0.0000221
103	0
104	0
105	0
108	0
109	0

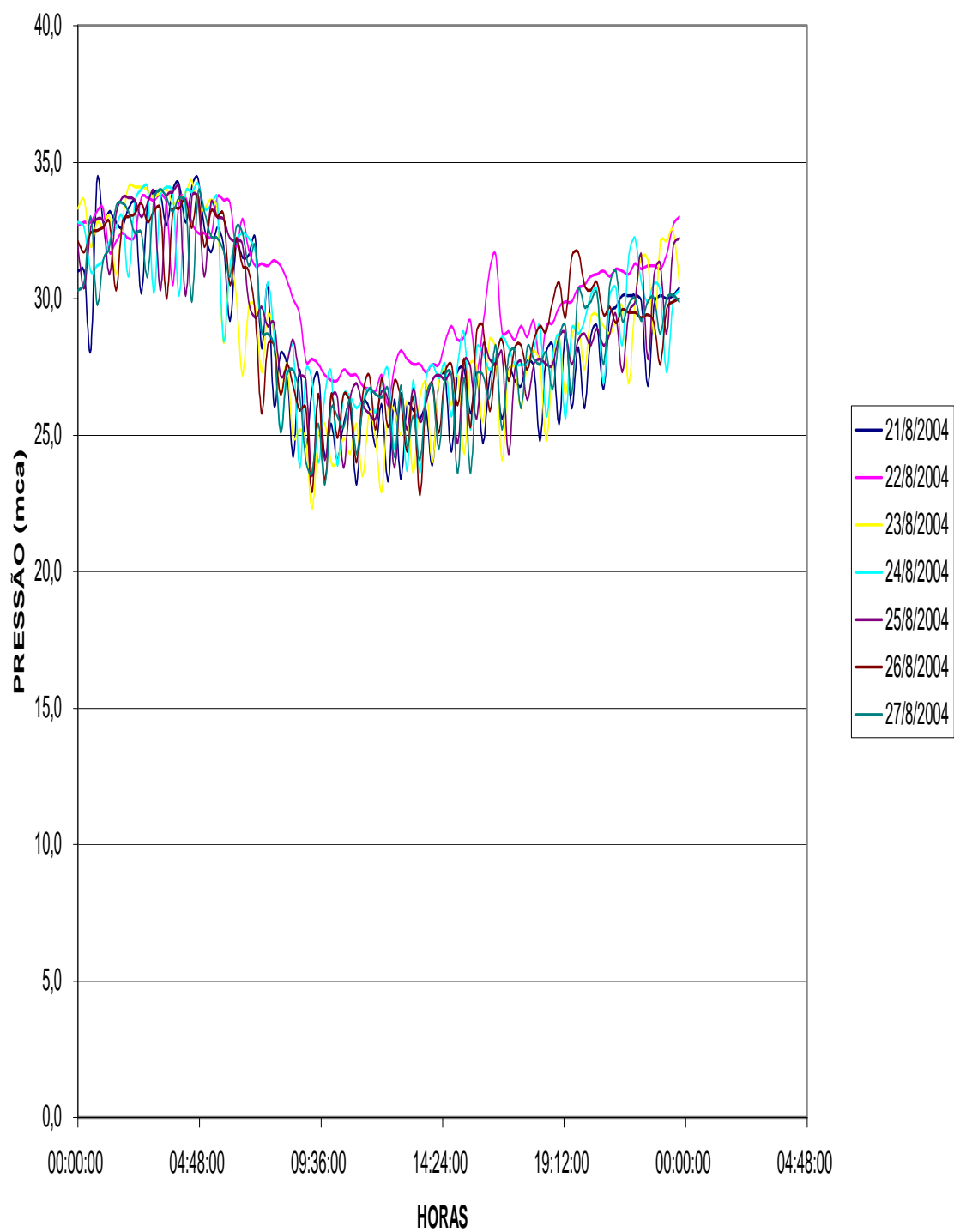


## **Anexo IV – Curvas de coleta de dados dos pontos monitorados**

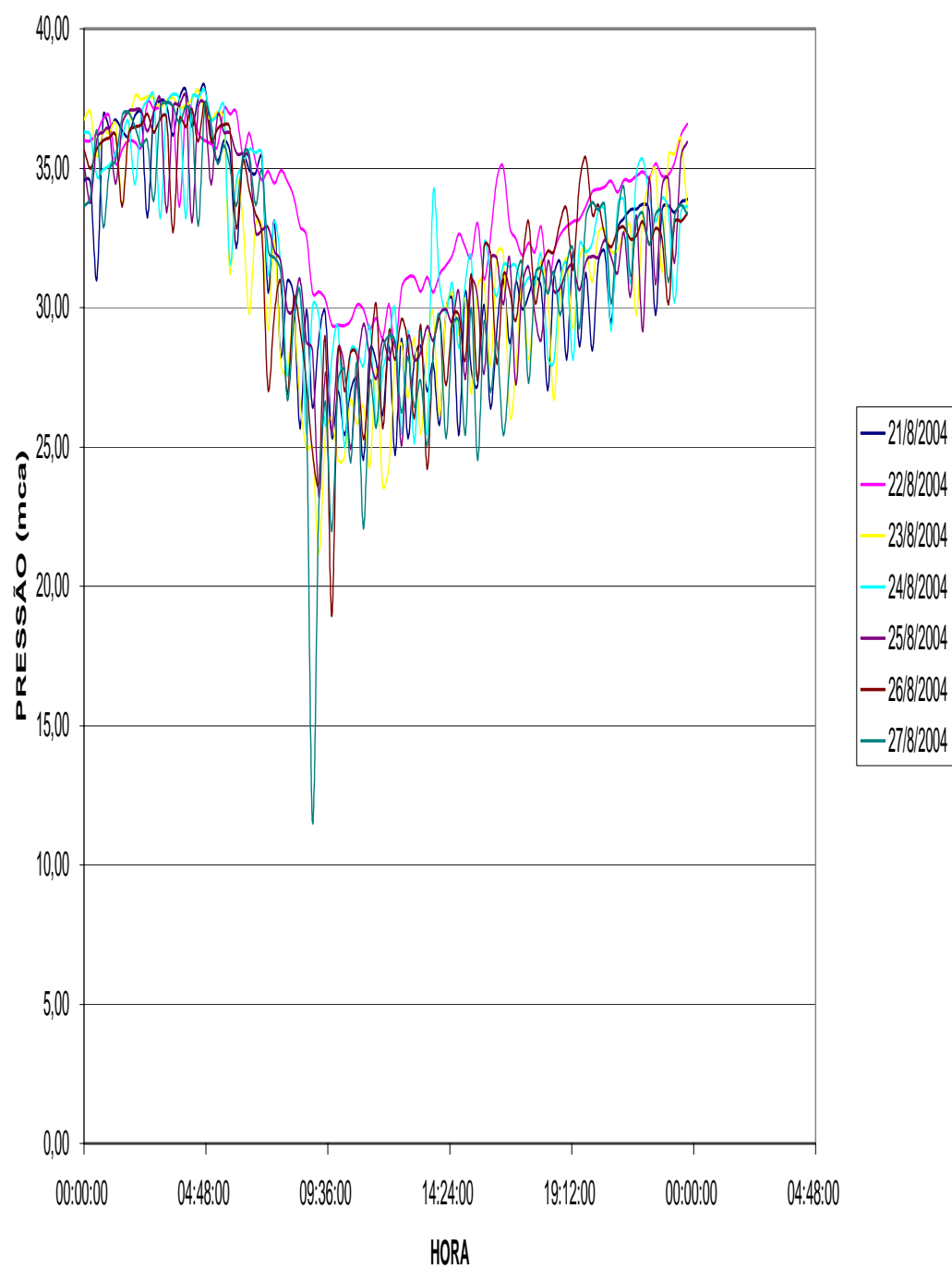
### CURVA DE DEMANDA DO SETOR VILA LIBERDADE (NÓ 75)



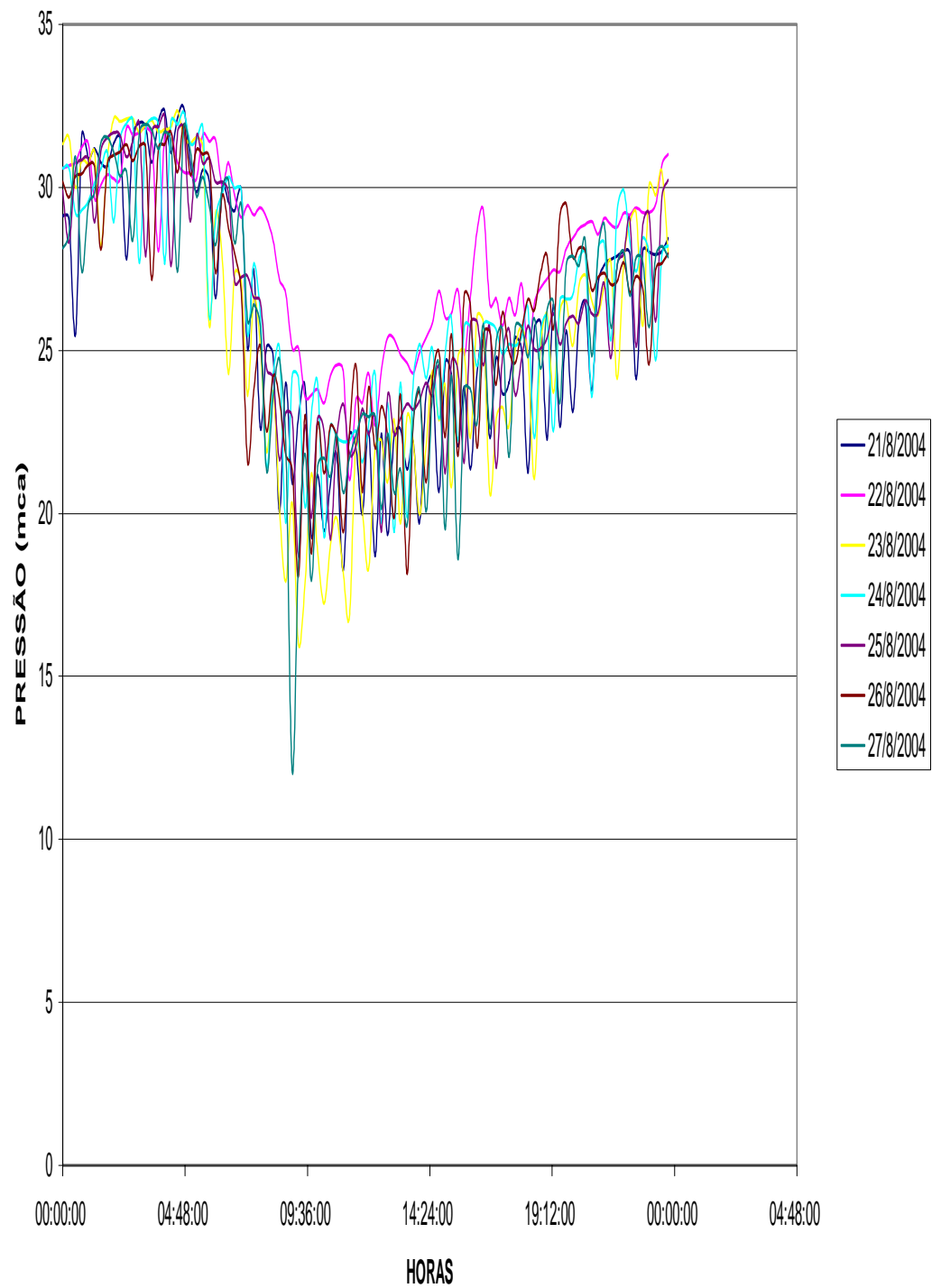
### VILA LIBERDADE - PRESSÃO MEDIDA JUNTO À ENTRADA DO SETOR (NÓ 75)



VILA LIBERDADE - AV. FREDERICO OZANAN x R. SILVIO ROMERO - PRESSÃO MEDIDA PRÓXIMO  
AÓ NÓ 14



# VILA LIBERDADE - AV. ITATIBA - PRESSÃO MEDIDA PRÓXIMO AO NÓ 19



**Anexo V – Distribuição do consumo nodal conforme dados da micro-medição  
do setor Vila Liberdade**

NÓ	IDENTIF	DV	ENDLIG	HIDROM	LANT	LATUA L	CONSUMO MES
1	3216200515100	86	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,05151	A98T227775	594	600	6
1	3216200515900	90	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,05159	A98T120582	893	904	11
1	3217500044000	31	AV ITATIBA,00440	0000127153	3450	3712	262
							<b>279</b>
2	3217300027100	04	R. MANOEL BANDEIRA,00271	A98T227953	740	759	19
2	3217300027700	92	R. MANOEL BANDEIRA,00277	A98N727062	678	682	4
2	3217300028700	41	R. MANOEL BANDEIRA,00287	A98T121153	1692	1715	23
2	3217300029700	00	R. MANOEL BANDEIRA,00297	A98T227959	1117	1125	8
2	3217300029701	88	R. MANOEL BANDEIRA,00297-FDS	A01L404953	123	129	6
2	3216200514300	53	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,05143	A98T227772	1531	1553	22
							<b>82</b>
3	3217300029200	80	R. MANOEL BANDEIRA,00292	A98T227960	2260	2278	18
3	3217300030000	01	R. MANOEL BANDEIRA,00300	A98T228482	686	701	15
3	3216200509500	06	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,05095	A98T228133	2764	2789	25
3	3216200509501	94	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,05095	A01S070403	687	707	20
							<b>78</b>
4	3216200508500	57	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,05085	A98T227774	1840	1862	22
4	3217100042900	73	R. LUPE COTRIN,00429	A98N727104	583	589	6
4	3217100043100	18	R. LUPE COTRIN,00431	A98T261041	833	847	14
							<b>42</b>
5	3217100038200	03	R. LUPE COTRIN,00382	A96L158570	631	637	6
5	3217100039000	36	R. LUPE COTRIN,00390	A98N727068	1294	1313	19
5	3217100039400	98	R. LUPE COTRIN,00394	A98N727061	1408	1427	19
5	3217100040200	19	R. LUPE COTRIN,00402	A00S196733	864	881	17
5	3217100041200	78	R. LUPE COTRIN,00412	A99N395726	1150	1176	26
5	3217100042200	27	R. LUPE COTRIN,00422	A98N726967	2199	2205	6
5	3216200501900	26	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,05019	A98T228138	1254	1270	16
5	3216200502700	59	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,05027	A98T227773	1167	1168	1
							<b>110</b>
6	3216200501300	48	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,05013	A98T228136	2289	2308	19
6	3217000044100	99	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00441	A98T228473	1176	1193	17
6	3217000043500	92	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00435	A97T007358	2111	2148	37
6	3217000042500	33	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00425	A98T228472	1424	1440	16
6	3217000041500	84	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00415	A98L451435	884	897	13
6	3217000040500	25	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00405-S	A04X010456	6	21	15
							<b>117</b>
7	3217000040200	31	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00402	A98T117790	2004	2033	29
7	3217000040201	19	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00402	A00S371389	153	156	3
7	3217000041200	90	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00412	A97T007354	1401	1418	17
7	3217000042200	49	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00422	A97T319704	1233	1245	12
7	3217000042600	01	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00426	A03L286919	47	62	15
7	3217000043000	72	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00430	A97T006942	676	682	6
7	3217000044000	21	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00440	A00S380161	1106	1130	24
7	3216200496100	60	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04961	A04X010346	9866	14	148
7	3216200496700	48	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04967	A98T228140	3094	3121	27
							<b>281</b>
8	3216200494100	52	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04941	A98T228549	1887	1909	22
8	3216200494700	30	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04947	A98T228548	364	370	6
8	3216200495300	37	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04953	A98T228235	297	303	6
8	3216900042300	70	R. RAIMUNDO CORREIA,00423	A98T228281	1421	1438	17
8	3216900043300	29	R. RAIMUNDO CORREIA,00433	A04X022685	0	4	4
8	3216900044300	88	R. RAIMUNDO CORREIA,00443	A98L451482	1467	1478	11
8	3216900045300	37	R. RAIMUNDO CORREIA,00453	A98L451470	1423	1438	15
							<b>81</b>
9	3216900043400	97	R. RAIMUNDO CORREIA,00434	A98T121442	1101	1118	17
9	3216900044400	46	R. RAIMUNDO CORREIA,00444	A03L023136	144	153	9
9	3216900045200	79	R. RAIMUNDO CORREIA,00452	A97T007359	1884	1902	18
9	3216900046200	28	R. RAIMUNDO CORREIA,00462	A98T228467	669	675	6
9	3216200493500	55	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04935	A98T228236	1614	1654	40
9	3216200489700	67	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04897	A98T228237	2733	2778	45
9	3216200490700	14	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04907	A97T373719	1170	1183	13
							<b>148</b>
10	3216200484300	30	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04843	A98N727025	375	380	5
10	3216200487700	59	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04877	A98N726956	526	530	4
10	3216200488300	56	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04883	A98N727026	469	475	6
10	3216800043300	41	R. CRUZ E SOUZA,00433	A98T228439	1364	1382	18
10	3216800042700	44	R. CRUZ E SOUZA,00427	A98T228440	1953	1977	24

10	3216800041700	95	R. CRUZ E SOUZA,00417	A98T227913	637	646	9
10	3216800041100	07	R. CRUZ E SOUZA,00411	A98T227918	1007	1026	19
10	3216800040300	84	R. CRUZ E SOUZA,00403	A98T228276	1447	1460	13
							<b>98</b>
11	3216800039800	47	R. CRUZ E SOUZA,00398	A98L451497	1098	1106	8
11	3216800040400	42	R. CRUZ E SOUZA,00404	A98T227920	1266	1289	23
11	3216800041400	01	R. CRUZ E SOUZA,00414	A98T227915	1600	1600	0
11	3216800042000	08	R. CRUZ E SOUZA,00420	A98T227911	245	245	0
11	3216800042400	50	R. CRUZ E SOUZA,00424	A98T228545	817	819	2
11	3216800043000	57	R. CRUZ E SOUZA,00430	A98T121101	1090	1093	3
11	3216800043001	35	R. CRUZ E SOUZA,00430	A01S070493	292	300	8
11	3216200482300	22	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04823	A01L311558	591	604	13
11	3216200483100	55	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04831	A03X078389	58	72	14
							<b>71</b>
12	3216200481700	25	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04817	A97T319945	555	555	0
12	3216200481701	03	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04817	A97T007316	377	377	0
12	3216200481100	47	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04811	5000111806	3217	3233	16
12	3216700026700	96	R. CARLOS MAXIMILIANO,00267	A98T228976	576	586	10
12	3216700026100	08	R. CARLOS MAXIMILIANO,00261	A02S628985	356	380	24
12	3216700024900	04	R. CARLOS MAXIMILIANO,00249	A02S629090	300	309	9
12	3216700025500	01	R. CARLOS MAXIMILIANO,00255	A98T121106	1656	1677	21
12	3216700023900	55	R. CARLOS MAXIMILIANO,00239	A97T319929	861	865	4
12	3216700024500	52	R. CARLOS MAXIMILIANO,00245	A98T228971	349	358	9
							<b>93</b>
13	3216700023400	35	R. CARLOS MAXIMILIANO,00234	A98T228248	1768	1786	18
13	3216700024800	46	R. CARLOS MAXIMILIANO,00248	A98T228247	1288	1302	14
13	3216700025800	05	R. CARLOS MAXIMILIANO,00258	A99N396232	747	769	22
13	3216700025801	83	R. CARLOS MAXIMILIANO,00258-FDS	A99N396219	1187	1207	20
13	3216700027000	09	R. CARLOS MAXIMILIANO,00270	A97T373939	2985	3019	34
13	3216700028000	58	R. CARLOS MAXIMILIANO,00280	A98T228978	1208	1234	26
13	3216700029000	07	R. CARLOS MAXIMILIANO,00290	A98T228245	1136	1143	7
							<b>141</b>
14	3216200480500	40	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04805	A97T007076	1555	1573	18
14	3216600025300	07	R. SILVIO ROMERO,00253	A97T007340	1719	1743	24
14	3216600026100	20	R. SILVIO ROMERO,00261	A98T120672	1343	1365	22
14	3216600027100	89	R. SILVIO ROMERO,00271	A98T031128	822	837	15
14	3216600028100	38	R. SILVIO ROMERO,00281	A98L451501	1467	1481	14
14	3216600029100	97	R. SILVIO ROMERO,00291	A97T373720	2137	2167	30
							<b>123</b>
15	3217400005100	98	R. JUNQUEIRA FREIRE,00051	A04X010917	9991	4	13
15	3217400003700	68	R. JUNQUEIRA FREIRE,00037	A98T228611	779	790	11
15	3217400002900	35	R. JUNQUEIRA FREIRE,00029	A98T121155	1453	1468	15
15	3217400001500	24	R. JUNQUEIRA FREIRE,00015	A98T228712	1038	1048	10
15	3217300025600	16	R. MANOEL BANDEIRA,00256	A93S131521	1398	1412	14
15	3217300028000	05	R. MANOEL BANDEIRA,00280	A98T227958	661	668	7
15	3217300028600	83	R. MANOEL BANDEIRA,00286	A98T121160	1429	1443	14
							<b>84</b>
16	3217100041100	00	R. LUPE COTRIN,00411	A98N727065	1656	1679	23
16	3217400006500	09	R. JUNQUEIRA FREIRE,00065	A98T227586	1935	1941	6
16	3217400007500	58	R. JUNQUEIRA FREIRE,00075	A02S628678	250	264	14
16	3217400008500	07	R. JUNQUEIRA FREIRE,00085	A98T228903	1499	1505	6
							<b>49</b>
17	3217400001000	04	R. JUNQUEIRA FREIRE,00010	A98T228228	2462	2504	42
17	3217400002000	63	R. JUNQUEIRA FREIRE,00020	A97T204086	2102	2125	23
17	3217400002200	99	R. JUNQUEIRA FREIRE,00022	A98T120666	1060	1082	22
17	3217400002600	41	R. JUNQUEIRA FREIRE,00026	A98T228713	1003	1006	3
17	3217400003000	12	R. JUNQUEIRA FREIRE,00030	A97T238169	276	279	3
							<b>93</b>
18	3217400004000	71	R. JUNQUEIRA FREIRE,00040	A98T228223	791	798	7
18	3217400005000	20	R. JUNQUEIRA FREIRE,00050-C/2	A98T228485	719	729	10
18	3217400005001	08	R. JUNQUEIRA FREIRE,00050-C/1	A98T228481	849	862	13
18	3217400006400	31	R. JUNQUEIRA FREIRE,00064	A98T228488	1468	1488	20
18	3217400007400	90	R. JUNQUEIRA FREIRE,00074	A01L311406	512	525	13
18	3217100035300	04	R. LUPE COTRIN,00353	A98T121157	584	592	8
18	3217100034300	55	R. LUPE COTRIN,00343	A01S404624	636	661	25
							<b>96</b>
19	3217500041400	26	AV ITATIBA,00414	A98T227588	1203	1218	15
19	3217500042600	01	AV ITATIBA,00426	A98T120664	1267	1282	15
19	3217500039000	68	AV ITATIBA,00390	A98T227589	719	737	18
							<b>48</b>



20	3217300019100	74	R. MANOEL BANDEIRA,00191	A97T006954	2172	2202	30
20	3217300020100	21	R. MANOEL BANDEIRA,00201	A99N394630	1547	1562	15
20	3217300021100	80	R. MANOEL BANDEIRA,00211	A98T227955	2083	2086	3
							<b>48</b>
21	3216300011700	41	AV ALVARES DE AZEVEDO,00117	A98T031255	1835	1841	6
21	3216300010700	92	AV ALVARES DE AZEVEDO,00107	A03S444380	134	159	25
21	3217300019000	06	R. MANOEL BANDEIRA,00190	A98T228725	2304	2359	55
							<b>86</b>
22	3217100032100	11	R. LUPE COTRIN,00321	A98N727030	1675	1703	28
22	3217100032700	09	R. LUPE COTRIN,00327	A03S443106	33	47	14
22	3217100033300	06	R. LUPE COTRIN,00333	A98N726962	117	118	1
22	3216300012700	00	AV ALVARES DE AZEVEDO,00127	A98T228222	1376	1394	18
22	3216300013700	59	AV ALVARES DE AZEVEDO,00137	A03S188261	101	101	0
22	3216300014700	08	AV ALVARES DE AZEVEDO,00147	A98T031055	1107	1117	10
							<b>71</b>
23	3216300019500	57	AV ALVARES DE AZEVEDO,00195	A98T031091	1305	1321	16
23	3216300020100	52	AV ALVARES DE AZEVEDO,00201	A98T121059	829	845	16
23	3216300020700	30	AV ALVARES DE AZEVEDO,00207	A98T368284	729	741	12
23	3217100034200	97	R. LUPE COTRIN,00342	A98N726963	1935	1961	26
23	3217100034800	75	R. LUPE COTRIN,00348	A03X079584	60	70	10
23	3217100035400	72	R. LUPE COTRIN,00354	A98N726969	1138	1158	20
23	3217100036200	05	R. LUPE COTRIN,00362	A98N727063	805	815	10
23	3217100037200	54	R. LUPE COTRIN,00372	A98N726966	2189	2212	23
							<b>133</b>
24	3217000039500	78	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00395	A03S444226	17	26	9
24	3217000038300	93	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00383	A03S444149	22	37	15
24	3217000037300	34	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00373	A98L451443	786	793	7
24	3217000036300	85	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00363	A98T121107	566	571	5
24	3217000035900	04	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00359	A98L451441	1394	1406	12
24	3216300023300	45	AV ALVARES DE AZEVEDO,00233	A98T120811	1120	1131	11
24	3216300021900	15	AV ALVARES DE AZEVEDO,00219	A98T120628	358	358	0
24	3216300021300	37	AV ALVARES DE AZEVEDO,00213	A98T261450	1687	1706	19
							<b>78</b>
25	3216300025700	05	AV ALVARES DE AZEVEDO,00257	A98T120812	1428	1428	0
25	3216300026700	64	AV ALVARES DE AZEVEDO,00267	A98T031171	1993	2013	20
25	3216300027300	61	AV ALVARES DE AZEVEDO,00273	A98T120780	1537	1553	16
25	3217000036000	91	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00360	A98T368669	996	1006	10
25	3217000037200	76	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00372	A98L451473	928	938	10
25	3217000038200	25	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00382	A97T007020	2633	2660	27
25	3217000039000	58	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00390	A97T007355	1878	1893	15
25	3217000039400	00	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00394	A98L451449	537	543	6
							<b>104</b>
26	3216900041500	47	R. RAIMUNDO CORREIA,00415	A95T141422	1086	1089	3
26	3216900040500	98	R. RAIMUNDO CORREIA,00405	A98T228282	418	423	5
26	3216900039500	31	R. RAIMUNDO CORREIA,00395	A98T117987	471	476	5
26	3216900038500	82	R. RAIMUNDO CORREIA,00385	A97T007339	999	1003	4
26	3216300027900	49	AV ALVARES DE AZEVEDO,00279	A98T031177	934	943	9
26	3216300028500	46	AV ALVARES DE AZEVEDO,00285	A98L451485	911	923	12
26	3216300029300	79	AV ALVARES DE AZEVEDO,00293	A98T031173	1634	1663	29
							<b>67</b>
27	3216300033500	19	AV ALVARES DE AZEVEDO,00335	A98T121213	1340	1359	19
27	3216300032700	96	AV ALVARES DE AZEVEDO,00327	A98T117909	787	795	8
27	3216300032100	08	AV ALVARES DE AZEVEDO,00321	A98T227979	486	492	6
27	3216900038400	14	R. RAIMUNDO CORREIA,00384	A98T227811	931	942	11
27	3216900039400	73	R. RAIMUNDO CORREIA,00394	A98T227816	1552	1570	18
27	3216900040400	20	R. RAIMUNDO CORREIA,00404	A98T228187	1378	1378	0
27	3216900041400	89	R. RAIMUNDO CORREIA,00414	A98T121328	772	783	11
27	3216900042400	38	R. RAIMUNDO CORREIA,00424	A98T117982	1610	1629	19
							<b>92</b>
28	3216800039300	27	R. CRUZ E SOUZA,00393	A97T319993	1253	1270	17
28	3216800038300	78	R. CRUZ E SOUZA,00383	A98L451498	1826	1837	11
28	3216800037300	19	R. CRUZ E SOUZA,00373	A98L451496	1697	1712	15
28	3216800035300	01	R. CRUZ E SOUZA,00353	A98L451492	942	947	5
28	3216800036300	60	R. CRUZ E SOUZA,00363	A98L451490	853	865	12
28	3216300035900	89	AV ALVARES DE AZEVEDO,00359	A98T228224	985	993	8
28	3216300035300	01	AV ALVARES DE AZEVEDO,00353	A98T031174	950	977	27
28	3216300034100	16	AV ALVARES DE AZEVEDO,00341	A00S062802	1017	1032	15
							<b>110</b>
29	3216300040300	74	AV ALVARES DE AZEVEDO,00403	A98T227912	427	433	6
29	3216300039700	79	AV ALVARES DE AZEVEDO,00397	A98T031180	1077	1088	11

29	3216300039100	91	AV ALVARES DE AZEVEDO,00391	A98T117787	1116	1141	25
29	3216800035200	43	R. CRUZ E SOUZA,00352	A98T227768	1426	1440	14
29	3216800036400	28	R. CRUZ E SOUZA,00364	A98L451479	1480	1495	15
29	3216800037000	25	R. CRUZ E SOUZA,00370	A98L451477	688	693	5
29	3216800038000	84	R. CRUZ E SOUZA,00380	A98T121310	368	373	5
29	3216800038400	36	R. CRUZ E SOUZA,00384	A98L451503	1140	1153	13
29	3216800039000	33	R. CRUZ E SOUZA,00390	A98T121152	1439	1456	17
							<b>111</b>
30	3216700022900	06	R. CARLOS MAXIMILIANO,00229	A98T117782	889	889	0
30	3216700021900	47	R. CARLOS MAXIMILIANO,00219	A98T117783	1541	1555	14
30	3216700020500	36	R. CARLOS MAXIMILIANO,00205	A98T228242	1009	1022	13
30	3216700019500	89	R. CARLOS MAXIMILIANO,00195	A98T031108	1027	1042	15
30	3216700018500	20	R. CARLOS MAXIMILIANO,00185	A98T117786	2023	2051	28
30	3216300042100	56	AV ALVARES DE AZEVEDO,00421	A98T368288	735	745	10
30	3216300041500	59	AV ALVARES DE AZEVEDO,00415	A98T228168	932	945	13
30	3216300040900	52	AV ALVARES DE AZEVEDO,00409	A98T031190	1501	1516	15
							<b>108</b>
31	3216300047500	83	AV ALVARES DE AZEVEDO,00475	A98T031104	908	918	10
31	3216300047700	09	AV ALVARES DE AZEVEDO,00477	A98T121214	1142	1153	11
31	3216700018800	14	R. CARLOS MAXIMILIANO,00188	A98T031103	652	683	31
31	3216700019200	95	R. CARLOS MAXIMILIANO,00192	A98T031101	684	695	11
31	3216700020000	16	R. CARLOS MAXIMILIANO,00200	A98N726951	544	551	7
31	3216700021200	01	R. CARLOS MAXIMILIANO,00212	A98T117902	993	1006	13
31	3216700021800	89	R. CARLOS MAXIMILIANO,00218	A98T117785	1212	1227	15
31	3216700022200	50	R. CARLOS MAXIMILIANO,00222	A98T228241	257	261	4
31	3216700023000	83	R. CARLOS MAXIMILIANO,00230	A98T228246	1306	1319	13
							<b>115</b>
32	3216600019300	75	R. SILVIO ROMERO,00193	A98T228711	684	699	15
32	3216600020300	22	R. SILVIO ROMERO,00203	A97T320261	1575	1604	29
32	3216600021300	81	R. SILVIO ROMERO,00213	A98L451438	1422	1446	24
32	3216600022300	30	R. SILVIO ROMERO,00223	A98T228229	1689	1709	20
32	3216600023300	99	R. SILVIO ROMERO,00233	A98T228905	574	578	4
32	3216300048100	80	AV ALVARES DE AZEVEDO,00481	A98T031109	1119	1122	3
32	3216300049100	39	AV ALVARES DE AZEVEDO,00491	A98L451505	1403	1420	17
							<b>112</b>
33	3217500025600	82	AV ITATIBA,00256	A99S341252	83	83	0
33	3217500026200	89	AV ITATIBA,00262	A98T228901	639	650	11
33	3217500026201	67	AV ITATIBA,00262-LADO	A98T227583	445	450	5
33	3217500027800	16	AV ITATIBA,00278	A98T120662	330	338	8
33	3217500028800	75	AV ITATIBA,00288-CASA 01	A02S629202	851	895	44
33	3217500028801	53	AV ITATIBA,00288-CASA 04	A01S400515	636	672	36
33	3217500028802	31	AV ITATIBA,00288-LJ03	A03L417744	34	52	18
33	3217500028803	19	AV ITATIBA,00288-LJ02	A03L417741	9	13	4
33	3217500035800	56	AV ITATIBA,00358	B96T003405	4063	4125	62
							<b>188</b>
34	3217300014300	25	R. MANOEL BANDEIRA,00143	A00S195316	1027	1043	16
34	3217300014700	87	R. MANOEL BANDEIRA,00147	A98T227812	1353	1387	34
34	3217300013500	02	R. MANOEL BANDEIRA,00135	A97T006947	1820	1844	24
34	3217300013700	28	R. MANOEL BANDEIRA,00137	A98T227670	1038	1045	7
34	3217300012700	79	R. MANOEL BANDEIRA,00127	A98T228730	10	10	0
34	3217300011900	46	R. MANOEL BANDEIRA,00119	A98T227815	1762	1780	18
34	3216300004200	40	AV ALVARES DE AZEVEDO,00042	A98T121212	920	934	14
34	3216300004800	28	AV ALVARES DE AZEVEDO,00048	A93T094923	1332	1336	4
34	3216300005600	51	AV ALVARES DE AZEVEDO,00056	A98T228221	2922	2953	31
							<b>148</b>
35	3217300014800	45	R. MANOEL BANDEIRA,00148	A98T227818	1169	1179	10
35	3217300014000	31	R. MANOEL BANDEIRA,00140	A98T227817	592	597	5
35	3217300013400	34	R. MANOEL BANDEIRA,00134	A98T227813	1407	1421	14
35	3217300012600	01	R. MANOEL BANDEIRA,00126	A97T319759	1422	1442	20
35	3217300011400	26	R. MANOEL BANDEIRA,00114	A98T227820	645	652	7
35	3216300008000	30	AV ALVARES DE AZEVEDO,00080	A98T120771	1252	1252	0
							<b>56</b>
36	3217200001600	26	R. FRANCISCO OTAVIANO,00016	A98T117893	1441	1454	13
36	3217200002600	85	R. FRANCISCO OTAVIANO,00026	A98N727069	765	776	11
36	3217200003400	08	R. FRANCISCO OTAVIANO,00034	A98T117891	1014	1027	13
36	3217200004400	67	R. FRANCISCO OTAVIANO,00044	A98T228980	383	384	1
							<b>38</b>
37	3217200003500	76	R. FRANCISCO OTAVIANO,00035	A98N727067	778	791	13
37	3217200004500	25	R. FRANCISCO OTAVIANO,00045	A98T117896	973	983	10
37	3217200005100	22	R. FRANCISCO OTAVIANO,00051	A98T117898	760	770	10

37	3217200005900	36	R. FRANCISCO OTAVIANO,00059	A98T117899	1488	1495	7
37	3217200006700	69	R. FRANCISCO OTAVIANO,00067	A98T117903	1785	1801	16
37	3216300013000	03	AV ALVARES DE AZEVEDO,00130	A98T121219	1242	1256	14
37	3216300013800	17	AV ALVARES DE AZEVEDO,00138	A97T007018	1371	1405	34
37	3216300014600	40	AV ALVARES DE AZEVEDO,00146	A98T120629	1039	1053	14
							<b>118</b>
38	3217100023500	84	R. LUPE COTRIN,00235	A99N395525	1610	1626	16
38	3217100024500	33	R. LUPE COTRIN,00245	A98N726955	2139	2167	28
38	3217100025500	92	R. LUPE COTRIN,00255	A98N726965	792	797	5
38	3217100026100	99	R. LUPE COTRIN,00261	A98N726957	1055	1071	16
38	3217100026900	03	R. LUPE COTRIN,00269	A02S630561	805	848	43
38	3216300017200	55	AV ALVARES DE AZEVEDO,00172	A98T374341	638	645	7
38	3216300015400	73	AV ALVARES DE AZEVEDO,00154	A98T121220	902	912	10
38	3216300016400	22	AV ALVARES DE AZEVEDO,00164	A98L451487	1889	1899	10
							<b>135</b>
39	3216300019400	99	AV ALVARES DE AZEVEDO,00194	A97T374342	1323	1337	14
39	3216300020000	94	AV ALVARES DE AZEVEDO,00200	8000134844	2928	2933	5
39	3216300020600	72	AV ALVARES DE AZEVEDO,00206	A98L451488	1512	1529	17
39	3217100027000	80	R. LUPE COTRIN,00270	A98N726968	1613	1643	30
39	3217100026200	57	R. LUPE COTRIN,00262	A98T121154	1008	1026	18
39	3217100025400	24	R. LUPE COTRIN,00254	A98N726964	1762	1788	26
39	3217100023600	42	R. LUPE COTRIN,00236	A98N726959	893	904	11
39	3217100024400	75	R. LUPE COTRIN,00244	A01S404655	690	723	33
							<b>154</b>
40	3217000023900	58	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00239	A98L451452	2372	2399	27
40	3217000024900	07	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00249	A03X078802	234	260	26
40	3217000025900	66	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00259	A98L451454	2354	2379	25
40	3217000026900	15	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00269	A97T203108	1623	1650	27
40	3217000027500	12	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00275	A98T117784	1279	1296	17
40	3217000028700	07	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00287	A97T319803	1457	1474	17
40	3216300021400	05	AV ALVARES DE AZEVEDO,00214	A98L451489	959	978	19
40	3216300022200	28	AV ALVARES DE AZEVEDO,00222	A98T120773	2242	2271	29
40	3216300023200	87	AV ALVARES DE AZEVEDO,00232	A03S187541	152	167	15
							<b>202</b>
41	3216300026800	22	AV ALVARES DE AZEVEDO,00268	A03S444840	143	169	26
41	3216300027600	55	AV ALVARES DE AZEVEDO,00276	A98T120871	820	834	14
41	3217000028800	65	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00288	A98T121102	707	714	7
41	3217000029600	98	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00296	5000116287	2906	2911	5
41	3217000027400	54	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00274	A98L451436	772	783	11
41	3217000026800	57	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00268	A98L451442	1658	1678	20
41	3217000025000	94	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00250	A98T228371	1201	1210	9
							<b>92</b>
42	3216900027700	01	R. RAIMUNDO CORREIA,00277	A98L451471	1292	1308	16
42	3216900028100	82	R. RAIMUNDO CORREIA,00281	A98L451418	1086	1090	4
42	3216900029100	31	R. RAIMUNDO CORREIA,00291	A98T228474	839	848	9
42	3216900030100	98	R. RAIMUNDO CORREIA,00301	A98L451416	1198	1213	15
42	3216900030500	40	R. RAIMUNDO CORREIA,00305	A98L451427	613	621	8
42	3216900031500	09	R. RAIMUNDO CORREIA,00315	A98L451425	1556	1576	20
42	3216300028400	88	AV ALVARES DE AZEVEDO,00284	056-139970	1935	1941	6
							<b>78</b>
43	3216300032200	76	AV ALVARES DE AZEVEDO,00322	A98T120872	990	1001	11
43	3216300033800	03	AV ALVARES DE AZEVEDO,00338	A02S628881	165	171	6
43	3216900030800	30	R. RAIMUNDO CORREIA,00308	A98L451461	1238	1253	15
43	3216900030000	24	R. RAIMUNDO CORREIA,00300	A98T227919	1750	1773	23
43	3216900029000	73	R. RAIMUNDO CORREIA,00290	A98L451511	1033	1044	11
43	3216900028000	14	R. RAIMUNDO CORREIA,00280	A98T121306	1098	1111	13
							<b>79</b>
44	3216800027900	59	R. CRUZ E SOUZA,00279	A98L451500	1099	1106	7
44	3216800026900	00	R. CRUZ E SOUZA,00269	A98T228380	1407	1426	19
44	3216800025900	41	R. CRUZ E SOUZA,00259	A98T031211	1609	1620	11
44	3216800024900	92	R. CRUZ E SOUZA,00249	A98T121211	616	623	7
44	3216300034800	62	AV ALVARES DE AZEVEDO,00348	A98T031242	940	955	15
44	3216300035800	11	AV ALVARES DE AZEVEDO,00358	A98T031110	2436	2464	28
							<b>87</b>
45	3216300039000	23	AV ALVARES DE AZEVEDO,00390	A97T319921	2804	2831	27
45	3216300040200	06	AV ALVARES DE AZEVEDO,00402	A98T031175	2277	2300	23
45	3216300041000	39	AV ALVARES DE AZEVEDO,00410	A97T319992	850	858	8
45	3216800028000	36	R. CRUZ E SOUZA,00280	A98L451502	1333	1344	11
45	3216800027000	87	R. CRUZ E SOUZA,00270	8000147772	1072	1072	0
45	3216800026000	28	R. CRUZ E SOUZA,00260	A97T202972	1240	1253	13

45	3216800026600	06	R. CRUZ E SOUZA,00266	A98T031212	769	775	6
45	3216800025000	79	R. CRUZ E SOUZA,00250	A99N396216	91	91	0
45	3216800025001	57	R. CRUZ E SOUZA,00250-FDS	1000111266	3095	3095	0
							<b>88</b>
46	3216700007700	59	R. CARLOS MAXIMILIANO,00077	A98T031184	1100	1111	11
46	3216700008500	82	R. CARLOS MAXIMILIANO,00085	A98L451475	1109	1121	12
46	3216700009500	31	R. CARLOS MAXIMILIANO,00095	A98T031185	1167	1187	20
46	3216700010500	98	R. CARLOS MAXIMILIANO,00105	A97T007336	1420	1442	22
46	3216700011500	47	R. CARLOS MAXIMILIANO,00115	A98T031107	1501	1520	19
46	3216300041600	17	AV ALVARES DE AZEVEDO,00416	A98T120779	591	596	5
46	3216300042600	76	AV ALVARES DE AZEVEDO,00426	A98T031105	1247	1262	15
							<b>104</b>
47	3216300045400	07	AV ALVARES DE AZEVEDO,00454	A98T031106	752	756	4
47	3216300046400	66	AV ALVARES DE AZEVEDO,00464	A98T120626	999	1011	12
47	3216700011400	89	R. CARLOS MAXIMILIANO,00114	A98T031102	2126	2157	31
47	3216700010400	20	R. CARLOS MAXIMILIANO,00104	A93T094921	1355	1362	7
47	3216700009600	09	R. CARLOS MAXIMILIANO,00096	A98T031182	1527	1528	1
47	3216700008800	76	R. CARLOS MAXIMILIANO,00088	A98T031181	1189	1205	16
							<b>71</b>
48	3216600009700	89	R. SILVIO ROMERO,00097	A97T320340	1980	2004	24
48	3216600010700	36	R. SILVIO ROMERO,00107	A97T216396	1552	1571	19
48	3216600011700	95	R. SILVIO ROMERO,00117	A98L451439	852	866	14
48	3216300047400	15	AV ALVARES DE AZEVEDO,00474	A98L451486	1605	1625	20
48	3216300049400	23	AV ALVARES DE AZEVEDO,00494	A97T373659	2561	2583	22
							<b>99</b>
49	0						0
50	0						0
51	3217300005600	20	R. MANOEL BANDEIRA,00056	A98T228244	1466	1466	0
51	3217300008600	97	R. MANOEL BANDEIRA,00086	A98T228979	616	616	0
51	3217300009600	46	R. MANOEL BANDEIRA,00096	A98T228479	781	787	6
51	3217300010000	15	R. MANOEL BANDEIRA,00100	A98T227819	1217	1232	15
51	3217300010600	03	R. MANOEL BANDEIRA,00106	A98T228478	1172	1187	15
51	3217200005400	16	R. FRANCISCO OTAVIANO,00054	A03S188192	322	344	22
51	3217200007200	08	R. FRANCISCO OTAVIANO,00072	A98T117894	1911	1932	21
51	3217200008200	57	R. FRANCISCO OTAVIANO,00082	A98T227917	1126	1134	8
							<b>87</b>
52	3216400001900	07	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00019	A02S629700	608	642	34
52	3217500020400	81	AV ITATIBA,00204	1000125669	2629	2630	1
52	3217500020800	33	AV ITATIBA,00208	A98T228910	174	178	4
52	3217500021800	92	AV ITATIBA,00218	A98T228678	295	303	8
52	3217500022201	41	AV ITATIBA,00222-DENT	A98T228674	220	230	10
52	3217500022202	29	AV ITATIBA,00222	A98T228680	382	385	3
52	3217500022400	99	AV ITATIBA,00224	A98T228673	985	1016	31
52	3217500024600	23	AV ITATIBA,00246	A98T228675	787	792	5
52	3217500024800	59	AV ITATIBA,00248	A98T228902	945	956	11
52	3217500025400	56	AV ITATIBA,00254	A98S401014	51	51	0
							<b>107</b>
53	3217300010700	61	R. MANOEL BANDEIRA,00107	A98T227814	1856	1869	13
53	3217300009500	88	R. MANOEL BANDEIRA,00095	A98S002146	280	281	1
53	3217300008500	70	R. MANOEL BANDEIRA,00085	A00S064788	389	402	13
53	3217300007500	29	R. MANOEL BANDEIRA,00075	A98T227549	1093	1106	13
53	3217300006100	69	R. MANOEL BANDEIRA,00061	A98T117788	657	657	0
53	3217300003900	06	R. MANOEL BANDEIRA,00039	A01S699078	49	49	0
53	3217300004900	65	R. MANOEL BANDEIRA,00049	A98T117789	1416	1429	13
53	3216400004100	60	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00041	A98T031052	845	858	13
							<b>66</b>
54	3216400006900	82	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00069	A98T120740	624	631	7
54	3216400007700	05	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00077	A98T120731	1081	1088	7
54	3216400008700	64	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00087	A03S444222	49	76	27
54	3217200007700	18	R. FRANCISCO OTAVIANO,00077	A98T117897	1703	1724	21
54	3217200008500	41	R. FRANCISCO OTAVIANO,00085	A98T228249	1073	1084	11
54	3217200009300	74	R. FRANCISCO OTAVIANO,00093	A99N394421	552	562	10
54	3217200009700	26	R. FRANCISCO OTAVIANO,00097	A98T368220	665	672	7
54	3217200010300	21	R. FRANCISCO OTAVIANO,00103	A03S444125	139	165	26
54	3217200011100	54	R. FRANCISCO OTAVIANO,00111	A98T117895	969	980	11
							<b>127</b>
55	3216400009500	97	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00095	A98T031051	2378	2407	29

55	3216400010300	18	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00103	A03S188408	175	188	13
55	3216400010900	06	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00109	A98T031159	1111	1123	12
55	3217100018300	85	R. LUPE COTRIN,00183	A98T228283	1366	1404	38
55	3217100018900	63	R. LUPE COTRIN,00189	A98T120661	1919	1948	29
55	3217100019900	12	R. LUPE COTRIN,00199	A98T120667	984	994	10
55	3217100020900	79	R. LUPE COTRIN,00209	A98N726953	186	186	0
55	3217100020901	57	R. LUPE COTRIN,00209	A00S549099	45	47	2
55	3217100021500	76	R. LUPE COTRIN,00215	A98N726958	747	750	3
55	3217100022500	25	R. LUPE COTRIN,00225	A98T368214	1856	1885	29
							<b>165</b>
56	3217100022600	93	R. LUPE COTRIN,00226	A98N726960	1328	1344	16
56	3217100020000	07	R. LUPE COTRIN,00200	A98T228939	895	902	7
56	3217100020800	01	R. LUPE COTRIN,00208	A98T228045	894	916	22
56	3217100019000	40	R. LUPE COTRIN,00190	A98T117892	905	916	11
56	3217100018400	43	R. LUPE COTRIN,00184	A01S404629	195	201	6
56	3217100017400	94	R. LUPE COTRIN,00174	8000135555	1125	1135	10
56	3216400013900	63	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00139	A98T031160	1942	1967	25
56	3216400014700	96	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00147	A98L451456	251	258	7
56	3216400015500	19	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00155	A98T031153	1251	1263	12
							<b>116</b>
57	3216400016300	42	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00163	A02S628171	255	275	20
57	3216400017100	75	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00171	A97T007338	1651	1671	20
57	3217000012500	09	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00125	A98T228787	446	454	8
57	3217000020100	87	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00201	A98L451481	801	810	9
57	3217000020700	65	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00207	A98L451483	1336	1353	17
57	3217000021700	14	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00217	A98L451451	2175	2181	6
57	3217000022500	47	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00225	A98L451453	2360	2388	28
57	3217000023500	06	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00235	A98T121108	1359	1379	20
							<b>128</b>
58	3217000024000	35	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00240	A98L451472	1395	1410	15
58	3217000023400	38	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00234	A97T007004	1523	1543	20
58	3217000022400	89	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00224	A98L451484	1710	1730	20
58	3217000021200	04	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00212	A98T261557	1110	1120	10
58	3217000020200	45	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00202	A98L451467	1404	1429	25
58	3216400019500	35	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00195	A98T031156	708	715	7
58	3216400020500	92	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00205	A98T120736	1364	1379	15
							<b>112</b>
59	3216400021700	77	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00217	A98L451510	963	973	10
59	3216400022300	74	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00223	A98T031269	662	666	4
59	3216400023100	07	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00231	A98T031270	1938	1964	26
59	3216900022900	62	R. RAIMUNDO CORREIA,00229	A98T228284	829	838	9
59	3216900023900	11	R. RAIMUNDO CORREIA,00239	A98L451423	1108	1121	13
59	3216900024900	70	R. RAIMUNDO CORREIA,00249	A98L451474	596	602	6
59	3216900025900	29	R. RAIMUNDO CORREIA,00259	A98L451476	477	480	3
59	3216900026900	88	R. RAIMUNDO CORREIA,00269	A98L451478	906	916	10
							<b>81</b>
60	3216900026600	94	R. RAIMUNDO CORREIA,00266	A98L451506	470	477	7
60	3216900025000	57	R. RAIMUNDO CORREIA,00250	A98L451504	1601	1621	20
60	3216900025800	61	R. RAIMUNDO CORREIA,00258	A98L451514	961	976	15
60	3216900024000	08	R. RAIMUNDO CORREIA,00240	A98L451462	932	942	10
60	3216900023000	49	R. RAIMUNDO CORREIA,00230	056-110134	3619	3631	12
60	3216400026100	64	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00261	A03S188300	385	418	33
60	3216400027100	13	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00271	A98T228720	1050	1064	14
							<b>111</b>
61	3216400027700	01	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00277	A98T031261	427	432	5
61	3216400028100	72	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00281- ANTIGO 287	A98T031264	971	984	13
61	3216400029300	57	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00293	A98T031262	1186	1195	9
61	3216800020100	62	R. CRUZ E SOUZA,00201	A98T120920	1610	1626	16
61	3216800020900	76	R. CRUZ E SOUZA,00209	A98T121028	741	753	12
61	3216800021900	25	R. CRUZ E SOUZA,00219	A99N394851	1639	1711	72
61	3216800022900	84	R. CRUZ E SOUZA,00229	A98T120680	1561	1571	10
61	3216800023900	33	R. CRUZ E SOUZA,00239	A98T031213	1912	1931	19
							<b>156</b>
62	3216800024200	46	R. CRUZ E SOUZA,00242	A98T121027	1076	1089	13
62	3216800023800	75	R. CRUZ E SOUZA,00238	A98T031172	936	947	11
62	3216800022800	16	R. CRUZ E SOUZA,00228	A98T120622	1307	1320	13
62	3216800021800	67	R. CRUZ E SOUZA,00218	A02S631073	326	339	13
62	3216800020800	08	R. CRUZ E SOUZA,00208	A98T228376	468	476	8
62	3216800019800	51	R. CRUZ E SOUZA,00198	A98T120624	1860	1881	21

62	3216400032700	74	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00327	A98T120670	543	550	7
62	3216400033700	23	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00337	A98T031263	1496	1497	1
62	3216400033701	01	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00337	A98T228209	402	402	0
							<b>87</b>
63	3216400034300	20	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00343	A98T031267	1655	1674	19
63	3216400035100	53	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00351	A04X022515	5	26	21
63	3216400036100	02	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00361	A02S631078	593	624	31
63	3216700003300	81	R. CARLOS MAXIMILIANO,00033	A97T245418	1009	1022	13
63	3216700004300	30	R. CARLOS MAXIMILIANO,00043	A98T117781	854	864	10
63	3216700005300	99	R. CARLOS MAXIMILIANO,00053	A98T031183	1242	1255	13
63	3216700006300	48	R. CARLOS MAXIMILIANO,00063	A98T031188	1283	1292	9
63	3216700007100	71	R. CARLOS MAXIMILIANO,00071	A98T031189	1874	1895	21
							<b>137</b>
64	3216700007600	91	R. CARLOS MAXIMILIANO,00076	A98T031187	960	969	9
64	3216700006200	80	R. CARLOS MAXIMILIANO,00062	A97T007335	1145	1152	7
64	3216700005200	21	R. CARLOS MAXIMILIANO,00052	A98T031186	1223	1243	20
64	3216400037500	13	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00375	E98F000139	17766	17957	191
							<b>227</b>
65	3216400040100	26	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00401	E01L000459	5521	5788	267
							<b>267</b>
66	0						0
67	3217500015000	56	AV ITATIBA,00150-MERCADO	A97T319807	3865	3902	37
							<b>37</b>
68	3216400008005	28	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00080	A98T228210	1527	1544	17
68	3216400010000	24	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00100	A98L451458	1452	1472	20
68	3217100010900	21	R. LUPE COTRIN,00109	A98T117986	2228	2253	25
68	3217100011500	28	R. LUPE COTRIN,00115	A01L312002	465	475	10
68	3217100012500	87	R. LUPE COTRIN,00125	A98T117901	1974	1994	20
							<b>92</b>
69	3217100008800	57	R. LUPE COTRIN,00088	A98T227982	1592	1615	23
69	3217100009800	06	R. LUPE COTRIN,00098	A97T216319	1167	1190	23
69	3217100010800	63	R. LUPE COTRIN,00108	A98T117906	1145	1159	14
69	3217100011200	34	R. LUPE COTRIN,00112	A98T117910	1823	1829	6
69	3217100016600	61	R. LUPE COTRIN,00166	A98T228471	1078	1089	11
69	3216400013400	43	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00134	A98T031154	1821	1842	21
69	3216400014400	02	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00144	A97T319946	1630	1653	23
							<b>121</b>
70	3216400015600	87	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00156	A97T007523	1910	1924	14
70	3216400017000	07	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00170	A98T031158	1194	1208	14
70	3217000007900	88	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00079	A98L451440	1062	1072	10
70	3217000008900	37	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00089	A98L451445	1830	1859	29
70	3217000009900	96	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00099	A97T319947	1059	1068	9
70	3217000010900	43	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00109	A98T451450	1235	1250	15
70	3217000011900	02	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00119	A98L451444	1100	1122	22
							<b>113</b>
71	3217000007200	32	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00072	A98L451432	1059	1073	14
71	3217000007800	10	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00078	A98L451426	987	1000	13
71	3217000008600	43	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00086	A97T204191	2576	2594	18
71	3217000009000	14	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00090	A98L451469	1471	1481	10
71	3217000009600	02	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00096	A98L451466	1083	1101	18
71	3217000010400	23	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00104	A98L451468	2222	2249	27
71	3217000011400	82	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00114	A96T100863	276	286	10
71	3217000012000	89	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00120	A98L451465	1967	1985	18
71	3216400021000	21	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00210	A99T047320	279	279	0
71	3216400020000	72	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00200	A98T031157	420	427	7
71	3216400019200	41	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00192	A98T031129	1740	1761	21
							<b>156</b>
72	3216400021800	35	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00218	A98T031151	2083	2096	13
72	3216400022600	68	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00226	A98T228782	1248	1275	27
72	3216400023400	91	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00234	A98T031265	896	907	11
72	3216900009500	07	R. RAIMUNDO CORREIA,00095	A98T228043	2161	2187	26
72	3216900010300	28	R. RAIMUNDO CORREIA,00103	A98L451422	901	908	7
72	3216900011100	51	R. RAIMUNDO CORREIA,00111	A98L451419	1102	1113	11
72	3216900011900	65	R. RAIMUNDO CORREIA,00119	A98L451421	562	571	9
72	3216900012500	62	R. RAIMUNDO CORREIA,00125	A98L451417	1210	1226	16
72	3216900013100	69	R. RAIMUNDO CORREIA,00131	A98L451415	1457	1476	19
							<b>139</b>
73	3216900009000	87	R. RAIMUNDO CORREIA,00090	A98L451512	2138	2160	22

73	3216900010000	34	R. RAIMUNDO CORREIA,00100	A98L451557	451	457	6
73	3216900011000	93	R. RAIMUNDO CORREIA,00110	A98L451455	1618	1640	22
73	3216900012000	42	R. RAIMUNDO CORREIA,00120	A97T007526	921	925	4
73	3216900013000	01	R. RAIMUNDO CORREIA,00130	A03S188292	307	335	28
73	3216400026000	06	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00260	A98T120737	2156	2182	26
73	3216400026600	84	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00266	A98T227587	1343	1363	20
73	3216400027200	81	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00272	A98T031266	1685	1688	3
							<b>131</b>
74	3216400027800	69	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00278	A97T006955	269	271	2
74	3216400028400	66	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00284	A98T120665	1025	1040	15
74	3216400029400	15	AV GUILHERME DE ALMEIDA,00294	A02S629651	438	471	33
74	3216800008100	08	R. CRUZ E SOUZA,00081	A98T031176	1666	1684	18
74	3216800009100	67	R. CRUZ E SOUZA,00091	A03X079214	233	259	26
74	3216800009500	19	R. CRUZ E SOUZA,00095	A98T120735	628	650	22
74	3216800010500	76	R. CRUZ E SOUZA,00105	A98T120677	1321	1337	16
74	3216800011500	25	R. CRUZ E SOUZA,00115	A98T121025	1668	1688	20
74	3216800012500	84	R. CRUZ E SOUZA,00125	A98T228372	1161	1172	11
							<b>163</b>
76	5216200450100	40	AV ANTONIO FREDERICO OZANAN,04501	J03L000177	23091	25576	2485
							<b>2485</b>
77	5216500021100	63	R. JORGE DE LIMA,00211	0000902381	114886	114886	0
							<b>0</b>
78	3217500010100	49	AV ITATIBA,00101-C/2	A98T228617	336	346	10
78	3217500010101	27	AV ITATIBA,00101-C/1	A98T228618	1059	1063	4
78	3217500010700	27	AV ITATIBA,00107	A98T228867	498	504	6
78	3217500011300	24	AV ITATIBA,00113	A98T228619	367	370	3
78	3217500011700	86	AV ITATIBA,00117	A98T228084	891	905	14
78	3217500012300	83	AV ITATIBA,00123	A98T228085	395	395	0
78	3217500012301	61	AV ITATIBA,00123	A99S251812	1166	1179	13
78	3217500012900	61	AV ITATIBA,00129	A97T006943	1640	1655	15
78	3217500013500	68	AV ITATIBA,00135	5000114170	2036	2036	0
							<b>65</b>
79	3217500013400	00	AV ITATIBA,00134	A97T238741	1657	1664	7
79	3217500013401	88	AV ITATIBA,00134	A98S401045	441	449	8
79	3217500013600	26	AV ITATIBA,00136	A98T228486	591	603	12
79	3217500014400	59	AV ITATIBA,00144	A98T228487	882	898	16
							<b>43</b>
80	3217500003300	94	AV ITATIBA,00033	A96T343036	284	284	0
80	3217500004300	43	AV ITATIBA,00043	A00S196812	343	352	9
80	3217500005900	80	AV ITATIBA,00059	A98T228662	997	1008	11
80	3217500006500	87	AV ITATIBA,00065	A96S261266	519	519	0
80	3217500006501	65	AV ITATIBA,00065	A02L434152	43	43	0
80	3217500007900	98	AV ITATIBA,00079	5000114151	1449	1449	0
80	3217500008500	95	AV ITATIBA,00085	A98T228665	944	975	31
80	3217500008900	47	AV ITATIBA,00089	A98T367119	122	124	2
80	3217500009700	70	AV ITATIBA,00097	A98T228620	1078	1099	21
							<b>74</b>
81	3217500008800	89	AV ITATIBA,00088	A03S188528	57	68	11
81	3217500010205	17	AV ITATIBA,00102	A03S444993	92	106	14
							<b>25</b>
82	3217100006900	07	R. LUPE COTRIN,00069	A97T373925	1379	1394	15
82	3217100008300	37	R. LUPE COTRIN,00083	A98T228273	1871	1888	17
82	3217100008900	15	R. LUPE COTRIN,00089	A98T228377	1437	1448	11
							<b>43</b>
83	3216500005200	65	R. JORGE DE LIMA,00052	A01S133047	606	623	17
83	3216500005400	91	R. JORGE DE LIMA,00054	A01S681776	0	10	10
83	3217100001200	96	R. LUPE COTRIN,00012	A98T228468	1864	1886	22
83	3217100003000	78	R. LUPE COTRIN,00030	A98T117907	1075	1090	15
83	3217100003800	82	R. LUPE COTRIN,00038	A98T117908	220	222	2
83	3217100004800	31	R. LUPE COTRIN,00048	A98T227981	1748	1778	30
83	3217100005800	90	R. LUPE COTRIN,00058	A98T228480	1638	1660	22
83	3217100007800	08	R. LUPE COTRIN,00078	A01S405066	564	588	24
							<b>142</b>
84	3217000002500	51	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00025	A98L451507	1797	1825	28
84	3217000003500	00	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00035	A98L451429	352	359	7
84	3217000004900	11	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00049	A98T120669	1205	1221	16
84	3217000005900	70	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00059	A98L451434	1533	1557	24
84	3217000007300	00	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00073	A98L451430	928	941	13
84	3216500004500	00	R. JORGE DE LIMA,00045	A98T031056	633	640	7
84	3216500005500	59	R. JORGE DE LIMA,00055	A98T031057	1139	1150	11

85	3216500009500	75	R. JORGE DE LIMA,00095	A98T031053	1991	2009	<b>106</b>
85	3216500010100	70	R. JORGE DE LIMA,00101	A98L451508	955	967	18
85	3217000002200	67	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00022-C/2	A01S410639	197	202	12
85	3217000002201	45	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00022-C/1	A98T228546	262	278	5
85	3217000003200	16	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00032	A03S444229	33	47	16
85	3217000004000	49	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00040	A98T261558	2341	2367	14
85	3217000005200	24	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00052	A03X078850	131	147	26
85	3217000005800	02	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00058	A98L451509	977	991	16
85	3217000006400	09	R. JULIA LOPES DE ALMEIDA,00064	A98L451433	1372	1377	14
							5
							<b>126</b>
86	3216900004100	70	R. RAIMUNDO CORREIA,00041	A98L451494	588	594	6
86	3216900004900	84	R. RAIMUNDO CORREIA,00049	A98T227572	774	782	8
86	3216900005700	07	R. RAIMUNDO CORREIA,00057	A04X010916	9980	14	34
86	3216900006700	66	R. RAIMUNDO CORREIA,00067	A98L451493	1158	1170	12
86	3216900007500	99	R. RAIMUNDO CORREIA,00075	A98L451424	1744	1766	22
86	3216500010900	84	R. JORGE DE LIMA,00109	A98T031054	731	739	8
86	3216500011500	81	R. JORGE DE LIMA,00115	A98T031058	1225	1242	17
86	3216500012300	04	R. JORGE DE LIMA,00123	A98T031059	1990	2012	22
							<b>129</b>
87	3216500015100	45	R. JORGE DE LIMA,00151	A98T031060	1370	1381	11
87	3216500015900	59	R. JORGE DE LIMA,00159	0000110225	2704	2704	0
87	3216500016900	08	R. JORGE DE LIMA,00169	A98L451464	1132	1145	13
87	3216900003800	67	R. RAIMUNDO CORREIA,00038	A95T113849	1138	1150	12
87	3216900004800	16	R. RAIMUNDO CORREIA,00048	A98L451499	1540	1559	19
87	3216900005800	75	R. RAIMUNDO CORREIA,00058	A98L451513	1631	1659	28
87	3216900006800	24	R. RAIMUNDO CORREIA,00068	A98L451463	1378	1394	16
87	3216900008000	28	R. RAIMUNDO CORREIA,00080	A98L451460	1609	1637	28
							<b>127</b>
88	3216800002900	98	R. CRUZ E SOUZA,00029	A97T007315	833	838	5
88	3216800003900	47	R. CRUZ E SOUZA,00039	A98T120734	1598	1615	17
88	3216800004900	06	R. CRUZ E SOUZA,00049	A03S188360	246	265	19
88	3216800006100	00	R. CRUZ E SOUZA,00061	A98L451495	1255	1275	20
88	3216800007100	59	R. CRUZ E SOUZA,00071	A98T120625	1693	1706	13
88	3216500017900	67	R. JORGE DE LIMA,00179	A97T319806	1630	1650	20
88	3216500018900	16	R. JORGE DE LIMA,00189	A00S131050	1194	1219	25
88	3216500018000	44	R. JORGE DE LIMA,00180	A96T307295	2016	2026	10
							<b>129</b>
90	0						0
91	0						0
101	3216600005900	99	R. SILVIO ROMERO,00059	A98T120738	801	810	9
101	3216600006900	48	R. SILVIO ROMERO,00069	A98L451480	809	823	14
101	3216600007900	07	R. SILVIO ROMERO,00079	A98T121307	328	333	5
101	3216600008700	20	R. SILVIO ROMERO,00087	A01S056308	975	997	22
							<b>50</b>
102	3216600000000	42	R. SILVIO ROMERO,00000	B03L000826	964	1068	104
102	3216600007400	87	R. SILVIO ROMERO,00074	A98T120732	1172	1182	10
102	3216600008400	36	R. SILVIO ROMERO,00084	A04X022553	21	38	17
102	3216600009000	33	R. SILVIO ROMERO,00090	A98T120739	376	381	5
102	3216600010000	90	R. SILVIO ROMERO,00100	A98T228352	2001	2021	20
102	3216600010800	04	R. SILVIO ROMERO,00108	A98T120733	1717	1733	16
102	3216600012000	08	R. SILVIO ROMERO,00120	A98T121151	632	686	54
102	3216600013000	57	R. SILVIO ROMERO,00130	A98T227683	2256	2286	30
102	3216600014000	06	R. SILVIO ROMERO,00140	A98T228353	1329	1346	17
							<b>273</b>
103	0						<b>11855</b>